



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA TERRA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

STEPHANY EMILIANE LOPES DA SILVA

DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES DE EROÇÃO DOS SOLOS NA VOÇOROCA
DO MINÉRIO, RIO CLARO, RJ, COMO SUBSÍDIOS PARA RECUPERAÇÃO DE
ÁREAS DEGRADADAS

Rio de Janeiro

2023

STEPHANY EMILIANE LOPES DA SILVA

DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES DE EROÇÃO DOS SOLOS NA VOÇOROCA
DO MINÉRIO, RIO CLARO, RJ, COMO SUBSÍDIOS PARA RECUPERAÇÃO DE
ÁREAS DEGRADADAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção título de mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

S586d Silva, Stephany Emiliane Lopes da
Diagnóstico das condições de erosão dos solos na
Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ, como subsídios
para recuperação de áreas degradadas / Stephany
Emiliane Lopes da Silva. -- Rio de Janeiro, 2023.
114 f.

Orientador: Antônio José Teixeira Guerra.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, 2023.

1. Voçoroca. 2. Processos erosivos. 3. Degradação
dos solos. I. Guerra, Antônio José Teixeira, orient.
II. Título.

STEPHANY EMILIANE LOPES DA SILVA

DIAGNÓSTICO DAS CONDIÇÕES DE EROÇÃO DOS SOLOS NA VOÇOROCA
DO MINÉRIO, RIO CLARO, RJ, COMO SUBSÍDIOS PARA RECUPERAÇÃO DE
ÁREAS DEGRADADAS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito para a obtenção título de mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antônio José Teixeira Guerra (Orientador)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof. Dr. André de Souza Avelar (Membro interno)
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Prof. Dr. Hugo Alves Soares Loureiro (Membro externo)

Este trabalho é dedicado aos meus amados avós:
Tereza (*in memoriam*), Mercês e Severino.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Maria de Fátima Lopes, que com muita dedicação, carinho e luta sempre investiu no meu futuro. Quem nunca deixou de acreditar em mim em tudo que me propus a fazer e que, certamente, está tão feliz e realizada quanto eu por finalizar mais essa etapa.

Ao meu companheiro de vida, Marcelo Motta, além de ter aguentado meus momentos mais difíceis durante essa jornada, me ajudou em grande parte dos processos para finalização de trabalho.

Ao meu orientador, Antônio Guerra, que me acolheu de braços abertos e me apresentou o time do LAGESOLOS. Desse time, agradeço, especialmente ao Hugo Loureiro, Diego Janoti, Wellyne Carla, Fabrizio Garritano, Ana Paula Furtado, Sabrina Gangá; Maria Vitória Gomes e Yuri Sena, por todos suporte desde os trabalhos de campo até as análises de laboratório.

Ao grupo de pesquisa da PUC-Rio, o MorfoTektos, que me conduziu até as portas do PPGG/UFRJ e me trouxe parcerias e amizades preciosas como a Julia Schoenche e Raphaela Almeida.

Às minhas amigas, Marcia Souza, Mariana Henriques, Ana Flávia Romão, Renata Teixeira e Isadora Santos, que dividiram as angústias da produção acadêmica durante todo esse processo.

E por fim, ao CNPq pela concessão do auxílio de bolsa, fundamental para o financiamento da pesquisa.

“Do rio que tudo arrasta
Se diz que é violento
Ninguém diz violentas
Às margens que o cerceiam.”

- Bertold Brecht

RESUMO

A necessidade de estudos sobre processos erosivos é pauta das pesquisas acadêmicas há bastante tempo e servem de subsídio para processos de recuperação ambiental. No Brasil e particularmente no planalto sudeste, os processos de voçorocamento chamam atenção pela magnitude de suas feições erosivas. A presente dissertação busca realizar o diagnóstico da dinâmica erosiva de uma encosta sob erosão incisa tipo voçoroca, no município de Rio Claro-RJ, criando assim subsídios para seu processo de reabilitação. A voçoroca estudada, denominada “Voçoroca do Minério”, tem atingido consideráveis profundidades desde as últimas duas décadas (2004 a 2023) que chegam a expor o substrato rochoso e mantém um fluxo hídrico contínuo. De modo a compreender a dinâmica erosiva foi usado a interação entre processos de diferentes escalas, integrando bacia hidrográfica, encosta e solos no interior da feição erosiva. Por meio de levantamentos, tanto de campo, como de imagens geradas por VANT (dos anos 2021 e 2023) e satélite (GoogleEarth), além de análises de laboratório para caracterização das propriedades físico-químicas dos solos, observou-se a atuação dos processos erosivos hídricos atuantes nessa feição erosiva e sua tendência evolutiva. Os processos erosivos se caracterizam não só pelo escoamento superficial, responsável pela mobilização das partículas, sobretudo, do topo do solo, mas também por movimentos de massa no interior da voçoroca. Os levantamentos na escala de bacia, discutem um processo evolutivo regional de expansão da rede de canais, com a detonação do processo erosivo do tipo voçoroca com causalidades associadas ao rebaixamento de nível de base regional. As análises em escala das encostas circundantes demonstram a presença de feições côncavas gerando concentração de fluxos hidrológicos em direção à feição erosiva. Para tal, foram avaliados, tanto perfis topográficos laterais, como longitudinais e análises em planta. Por fim, baseada nas imagens de VANT, foi elaborado o zoneamento para detalhamento das feições erosivas interior da voçoroca, apresentando três classes principais: “solo com cobertura vegetal”, “solo exposto”, “solo saturado”, representando a dinâmica erosiva. Sobre essas classes, as análises de erodibilidade dos solos demonstraram alta atividade erosiva, em que percentuais das partículas mais finas diminuíram, assim como o teor de matéria orgânica e a porosidade do topo do solo. As práticas de reabilitação devem se basear no entendimento dessa dinâmica erosiva.

Palavras-chave: Voçoroca; Processos erosivos; Degradação dos solos.

ABSTRACT

The necessity for studies on erosive processes has been on the agenda of academic research for a long time and serves as a subsidy for environmental recovery processes. In Brazil, and particularly in the southeastern plateau, gully processes draw attention due to the magnitude of their erosive features. The present dissertation aims to carry out the diagnosis of the erosive dynamics of a slope under incised gully-type erosion, in the municipality of Rio Claro-RJ, thus creating subsidies for its rehabilitation process. The gully studied, called "Voçoroca do Minério", has reached considerable depths since the last two decades (2004 to 2023) that expose the rocky substrate and maintain a continuous water flow. In order to understand the erosive dynamics, the interaction between processes of different scales was used, integrating watershed, slope and soils within the erosive feature. Through field surveys, as well as images generated by UAVs (from the years 2021 and 2023) and satellite (GoogleEarth), in addition to laboratory analyses to characterize the physicochemical properties of the soils, the action of the water erosive processes acting on this erosive feature and its evolutionary trend were observed. Erosive processes are characterized not only by surface runoff, responsible for the mobilization of particles, especially from the top of the soil, but also by mass movements within the gully. The basin-scale surveys discuss a regional evolutionary process of expansion of the channel network, with the detonation of the gully-type erosion process with causalities associated with the lowering of the regional base level. The scale analyses of the surrounding slopes demonstrate the presence of concave features generating a concentration of hydrological flows towards the erosive feature. For that goal, both lateral and longitudinal topographic profiles and plan analyses were evaluated. At last, based on the UAV images, the zoning was elaborated to detail the interior erosive features of the gully, presenting three main classes: "soil with vegetation cover", "exposed soil", "saturated soil", representing the erosive dynamics. On these classes, soil erodibility analyses showed high erosive activity, in which percentages of finer particles decreased, as well as the organic matter content and porosity of the soil top. Rehabilitation practices should be based on an understanding of these erosive dynamics.

Keywords: Gully; Erosive processes; Soil degradation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo (Voçoroca do Minério).....	34
Figura 2: Classificação climática do Brasil de acordo com o critério Köppen (1936). Fonte: Alvares <i>et al.</i> (2013).....	38
Figura 3: Tipos Climáticos do Rio de Janeiro. Fonte: Alvares <i>et al.</i> , 2013.	39
Figura 4: Perfil de Solo (Silva, 2022).	41
Figura 5: Localização dos Pontos de Coleta das Amostras.	51
Figura 6: Coleta de amostras indeformadas com amostrador volumétrico (de 100 cm ³) em Rio Claro-RJ. (Silva, 2021).....	52
Figura 7: Análise granulométrica pelo método da pipeta. Na imagem, a etapa de decantação de silte e argila nas provetas de 1.000 ml (Silva, 2021).....	53
Figura 8: Medição do pH com o medidor digital portátil (Silva, 2021).....	55
Figura 9: Forno mufla a 375°C e cadinhos de porcelana com amostra de solo (Silva, 2021).....	56
Figura 10: Carta de Padrões de Relevo: Município de Rio Claro (DANTAS et al., 2023).....	58
Figura 11: Carta de Padrões de Relevo da Bacia do Córrego das Canoas, Rio Claro, RJ (Adaptado de DANTAS et al, 2023).....	60
Figura 12: Aspectos do canal erosivo no interior da Voçoroca do Minério, com evidência de fluxo contínuo. (Silva, 2022).....	63
Figura 13: Mapa das geometrias côncavas das encostas no entorno da Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ.....	65
Figura 14: Mapa de Declividade das encostas no entorno da Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ com pontos de medição de declividade em campo.	68
Figura 15: Perfis topográficos longitudinais das encostas no entorno da Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ (Silva, 2023).	69
Figura 16: Perfis topográficos laterais das encostas no entorno da Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ (Silva, 2023).....	70
Figura 17: sequência de imagens Google Earth PRO ilustrando a evolução da Voçoroca do Minério de junho de 2004 a setembro de 2023, Rio Claro, RJ. (Silva, 2023).....	76
Figura 18: Mapa do zoneamento elaborado para o ano de 2021. Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ.....	80
Figura 19: Mapa de zoneamento elaborado para o ano de 2023. Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ.....	82
Figura 20: Aspecto do material saprolítico (rocha alterada) exposto após a expansão da voçoroca e remoção dos horizontes O, A e B do solo (Silva, 2022).....	83
Figura 21: Gráfico de transformação das áreas (%) das classes do zoneamento no interior da Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ (Silva, 2023).....	84
Figura 22: Valores de precipitação mensal da Estação Rio Claro, ano de 2021(INMET).....	85
Figura 23: Valores de precipitação mensal da Estação Rio Claro, ano de 2022(INMET).....	85
Figura 24: Perfis topográficos do interior da Voçoroca do Minério no ano de 2021.....	89
Figura 25: Perfis topográficos do interior da Voçoroca do Minério no ano de 2021.....	92
Figura 26: Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras de solo no entorno e no interior da Voçoroca do Minério.	93

Figura 27: Gráfico e Tabela com os resultados das análises de granulometria (%) e classificação textural das amostras de solo.....	95
Figura 28: Gráfico e Tabela com os resultados das análises de densidade do topo do solo.....	96
Figura 29: Gráfico e Tabela com os resultados das análises de porosidade do topo do solo.....	97
Figura 30: Gráfico dos Valores de matéria orgânica no ano de 2021 e 2022.	99
Figura 31: Gráfico dos valores de pH do solo encontrados nas amostras analisadas dos anos 2021 e 2022.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Pontos de coletas das amostras.....	52
Tabela 2: Valores de Declividade no entorno da Voçoroca do Minério (medidas em campo)...	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPRM – Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais)

DS – Densidade do Solo

GPS - *Global Positioning System*

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

ITPA – Instituto Terra de Preservação Ambiental

LAGESOLOS – Laboratório de Geomorfologia Ambiental e Degradação dos Solos

LPUOS - Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo

MDE - Modelo Digital de Elevação

MOS – Matéria Orgânica do Solo

PEC - Parque Estadual de Cunhambebe

PRAD - Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas

PT – Porosidade Total

PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

RJ- Rio de Janeiro

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

VANTs – Veículos Aéreos Não Tripulados

Sumário

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 Geral	15
2.2 Específicos	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL.....	16
3.1 Estudos Geomorfológicos.....	16
3.2 Erosão dos Solos	18
3.2.1 Erodibilidade dos solos	21
3.2.2 Processo erosivo.....	25
3.3 Degradação dos Solos	27
3.4 Recuperação ou Reabilitação de Áreas Degradadas	30
3.4.1. Uso de técnicas de bioengenharia para o controle da erosão e recuperação	31
3.4.2 Uso de técnicas de monitoramento por imagem de VANTs	32
4. ÁREA DE ESTUDO –	34
4.1 Geologia e Geomorfologia.....	35
4.2 Clima.....	37
4.3 Solos	41
4.4 Vegetação, Uso e Ocupação	42
5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
5.1 Levantamento cartográfico e obtenção de imagens digitais	44
5.2 Escala de Bacia	45
5.2.1. Análise do mapeamento geomorfológico da Bacia do Córrego Canoas, afluente do Rio Pirai - Município de Rio Claro	45
5.3 Escala da Encosta	46
5.3.1 Concentração de Fluxos/Concavidades.....	46
5.3.2 Declividade.....	47
5.3.3 Perfis topográficos das encostas.....	47
5.3.4. Sequência de Evolução da Voçoroca	48
5.4 Escala da Voçoroca.....	48
5.4.1 Zoneamento.....	48
5.4.2 Perfis topográficos no interior da voçoroca	50
5.4.3 Análises do Solo.....	51

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
6.1 Contexto geomorfológico da Voçoroca do Minério na Bacia do Córrego Canoas.	57
6.2 Análise das encostas circundantes	62
6.3 Zoneamento da voçoroca e evolução da sua dinâmica erosiva.....	77
6.4 Erodibilidade do Solo	93
7. CONCLUSÕES.....	101
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS –.....	105

1. INTRODUÇÃO

A compreensão da dinâmica de uma paisagem é essencial para identificação dos seus processos e, conseqüentemente, do seu manejo. Essas necessidades são referentes aos processos transformadores que atuam, de modo constante, sobre ela. Diante disso, o estudo das formas da paisagem serve como subsídio para o estabelecimento de limitações de uso do solo. O tipo de relevo, por exemplo, auxilia na determinação da susceptibilidade à erosão, mediante a avaliação da declividade e condições dos solos.

Os solos são o resultado de complexos processos físicos, químicos e biológicos no tempo e no espaço (UN, 2015). Suas propriedades e funções estão ameaçadas pela superexploração e degradação devido ao uso, assim como, ao manejo inadequado. Nesse sentido, a degradação dos solos é o resultado direto de práticas de manejo insustentáveis que promovem a perda significativa da capacidade de fornecer funções ecológicas para várias formas de vida (FERREIRA *et al.*, 2022).

Dentre os diferentes tipos de processos que causam a degradação dos solos, a erosão é um dos principais, sobretudo, a erosão hídrica em ambientes tropicais. Isso porque através dos processos erosivos de *splash* e *runoff*, a água das chuvas pode desagregar e transportar as suas partículas. Devido às perdas de solo no local (*on site*) e o transporte e deposição de sedimentos fora do local (*off site*), a erosão do solo tem vários impactos ambientais com efeitos negativos significativos ao longo do tempo (BORRELLI *et al.*, 2016). Diante desse cenário, há uma preocupação mundial com a questão da conservação dos solos, dado a essa conjuntura de degradação em âmbito global.

Em busca de abordar essa temática da degradação ambiental, associada à dinâmica da evolução da paisagem geomorfológica e erosão dos solos, a dissertação focaliza sobre a elaboração de estudos para o diagnóstico atual de uma feição erosiva, tipo voçoroca e propostas de reabilitação dessa área degradada para melhoria de sua qualidade ambiental. Através do zoneamento da voçoroca, realizado por subáreas, caracterizadas por seus aspectos morfológicos, a investigação recaiu sobre estudar a dinâmica geomorfológica da encosta e a erodibilidade do solo. Uma vez realizado o diagnóstico da área, pode-se então propor melhores alternativas para a reabilitação dessa área.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral realizar o diagnóstico das condições de degradação de uma área afetada por voçorocamento, como subsídios para seu processo de reabilitação.

2.2 Específicos

- Analisar o contexto geomorfológico da voçoroca em relação à situação regional e da encosta em que se encontra;
- Criar um zoneamento com as condições de degradação no interior da feição erosiva;
- Verificar e analisar a erodibilidade dos solos, a partir da análise das suas propriedades físicas e químicas;
- Contribuir com a elaboração de diretrizes para o processo de reabilitação.

3. REFERENCIAL TEÓRICO-CONCEITUAL

3.1 Estudos Geomorfológicos

A Geomorfologia tem como base o estudo das formas de relevo e sua respectiva evolução (JOLY, 1977). Nesse sentido, os estudos geomorfológicos recaem na análise da fisiografia da paisagem, assim como sua dinâmica evolutiva, a partir do entendimento dos seus processos atuantes e fatores controladores. Compreender os processos operantes na superfície terrestre se tornou relevante, uma vez que este conhecimento se mostra como um elemento chave para o planejamento das atividades humanas e suas organizações espaciais, diante da funcionalidade dos sistemas ambientais (DERBYSHIRE *et al.*, 1979; CHRISTOFOLETTI, 2001; FREITAS *et al.*, 2017; LAUT *et al.*, 2023).

Segundo Guerra e Marçal (2006), a capacidade que o geomorfólogo tem em fornecer técnicas de pesquisa e conhecimentos sobre a superfície terrestre, torna a interface entre Geomorfologia e Planejamento essencial para o manejo e uso do solo. A partir dessa perspectiva é possível dizer que a atuação do geomorfólogo, no planejamento ambiental é de extrema importância, à medida que leve a uma compreensão não só das formas geomórficas, mas também da dinâmica de todo seu sistema ambiental.

Nos estudos sobre os processos geomorfológicos observa-se a combinação de agentes físicos e químicos que atuam constantemente na modificação da superfície terrestre. Para Christofolletti (1980), as formas de relevo são representações espaciais visíveis que compõem as diferentes configurações da paisagem morfológica e caracteriza o modelado topográfico de uma área. Portanto, o estudo das formas e dos processos fornece subsídios teóricos sobre a dinâmica topográfica atual e contribui na compreensão das formas esculpidas por efeito de forças endógenas e exógenas. Isso ajuda a elucidar uma série de questões associadas à pesquisa geomorfológica e ambiental.

Segundo Penteadó (1978) a Geomorfologia tem como objetivos a análise dos processos operantes no relevo e a descrição explicativa da paisagem em si. Nesse sentido, o primeiro objetivo possui uma característica mais dinâmica, já o segundo contém um caráter mais estático, porém ambos são interdependentes uma vez que exigem dados um do outro para complementar a análise em questão. A autora ainda destaca que a descrição

apenas qualitativa não se faz satisfatória, pois há a necessidade da análise explicativa, com melhor precisão dos dados, por meio de métodos e técnicas específicas.

A pesquisa aplicada em Geomorfologia está relacionada diretamente com a coleta e análise de dados geomorfológicos, em função de objetivos para o uso do solo. Assim, na Geomorfologia experimental, ou aplicada, se faz necessária a realização de monitoramentos por meio de experimentos de campo e laboratório, que busquem dados menos subjetivos e mais próximos a realidade. A aplicação do conhecimento geomorfológico científico se sustenta no uso de métodos viabilizados pelas técnicas empregadas. Os métodos têm como base “o plano de pensar” que se fundamenta na teoria e na organização do raciocínio, enquanto as técnicas trazem a ideia de organização das informações que sustentam a pesquisa ao estarem associadas ao “plano de fazer”. Diante disso, torna-se possível reconhecer a importância dos experimentos para os estudos sobre os processos geomorfológicos, dando destaque aos estudos sobre a erosão dos solos (MARQUES, 1996; VENTURI, 2005, 2011; LOUREIRO, 2013; SANTOS e GUERRA, 2021).

Marques (1996) sugere que o campo, o laboratório e gabinete são os ambientes de desenvolvimento dos trabalhos geomorfológicos. Diante disso, a escolha do objeto analisado se faz crucial, principalmente, em relação a sua escala de análise. A escala determina o foco da área a ser estudada e dos processos a serem observados, para manejo e tomadas de decisão. Alguns trabalhos (BLAIKIE e BROOKFIELD, 1987; KOHLER, 2001; LOUREIRO *et al.*, 2018; GARRITANO, 2020) destacam que a escolha da escala de estudo é fundamental para determinar as estratégias e técnicas de abordagem da análise geomorfológica mais próximas a realidade. De acordo com Schumm (1985): "(...) a escala é muito importante na aplicação de uma abordagem analógica extrapolativa. Quanto mais longo for o espaço de tempo e maior a área, menos precisas serão as previsões ou pós-visões, para o passado ou para o futuro, baseadas sobre as visões do presente".

Com intuito de investigar a espacialização dos processos erosivos, deposicionais e sua sequência temporal, os estudos geomorfológicos recaem, portanto, sobre a evolução das paisagens geomorfológicas. O caminho de fluxos superficiais e subsuperficiais seguem as estruturas do substrato geológico e concentram o trabalho erosivo no modelamento das formas côncavas na paisagem. Esses processos erosivos, somados ao rebaixamento de níveis de base local (produto de eventos tectônicos), são expostos sobre

a forma de terraços fluviais e voçoramentos nas encostas de paisagens mais colinosas e/ou montanhosas (FREITAS, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2023).

Para o planejamento ambiental, por exemplo, o conhecimento geomorfológico fornece uma análise integrativa e sistêmica, a partir de diferentes escalas. Nesta análise integrativa, a aplicabilidade consiste em uma visão holística que abrange a totalidade do sistema ambiental estudado. No trabalho a ser dissertado, os estudos geomorfológicos servem como subsídios necessários para a reabilitação de um sistema ambiental de uma voçoroca em estágio avançado de degradação. É através da perspectiva geomorfológica que se busca identificar os mecanismos da erosão e compreender os processos que levaram o ambiente a ser degradado, como também, quais práticas poderão ser utilizadas para reabilitação e/ou recuperação desse sistema (CUNHA e GUERRA, 2012; GUERRA e JORGE, 2013; LIMA *et al.*, 2015; ARAÚJO *et al.*, 2017).

3.2 Erosão dos Solos

A erosão é um processo geomorfológico que atua no modelado do relevo, pois desagrega, remove, transporta e deposita as partículas do solo, das partes mais altas (encostas) para as partes mais baixas (vales). Esse processo pode ocorrer, de modo natural ou acelerado, por meio da ação da água (erosão hídrica), ou do gelo (erosão glacial), ou do vento (eólica). Portanto, a erosão é um processo, ou grupo de processos, que remove as camadas superficiais de solo e as transporta através dos agentes erosivos (EVANS, 1980; GRAY e LEISER, 1989; MORGAN, 2005; MENDES, 2007; LIMA *et al.*, 2008; BEZERRA, 2011; RANGEL e GUERRA, 2018).

Na superfície terrestre, a ocorrência dos processos erosivos sob condições naturais, é denominada de erosão geológica. No entanto, quando há condições adversas que provocam desequilíbrios nos sistemas naturais, geralmente geradas pela ação antrópica, a quantidade de material erodido aumenta no tempo para uma determinada área, denominando assim a erosão acelerada (LIMA *et al.*, 2009). Esta, por sua vez, resulta na perda do potencial físico, químico e biológico do solo, o que reduz a sua capacidade produtiva, configurando um problema ambiental ao se constituir como degradação do solo (FULLEN e CATT, 2004; LIANG *et al.*, 2022).

A erosão hídrica (ou pluvial) é o tipo mais comum e mais estudado, devido a sua maior recorrência. Esse processo erosivo se inicia com as gotas de chuva que ao colidirem com o solo desnudo podem provocar o destacamento (*detachment*) de partículas do solo. À medida que esse processo se intensifica, tende a evoluir para pequenos canais chamados ravinas (*rills*). Eventualmente, as ravinas podem se tornar canais maiores e mais profundos denominados voçorocas (*gullies*) (SELBY, 1994; MORGAN, 2005; GUERRA, 2003; CUNHA e GUERRA, 2012; OSMAN, 2014; ARAUJO *et.al.*, 2017; BOGUNOVIC *et al.*; 2018; LE ROUX *et al.*, 2022).

O início do processo erosivo ocorre quando as gotas de chuva atingem o solo causando a erosão por salpicamento (*splash*) ao provocar a ruptura dos agregados. Conforme os agregados se rompem no topo do solo, há a ocorrência da formação de crostas. Esse processo pode resultar na selagem do topo do solo, o que dificulta a infiltração das águas das chuvas, pois faz com que os agregados preencham a superfície do solo, diminua a porosidade e aumente, conseqüentemente, o escoamento superficial (GUERRA, 1999; GUERRA, 2003; GUERRA, 2019; BRIZZI *et al.*, 2019).

O escoamento superficial (*runoff*) ocorrerá quando o solo for atingido pelo impacto direto das gotas de chuva e, após a ação do *splash*, crostas se formem na superfície, dificultando a infiltração e, dessa forma, formando poças (*ponds*) ao se armazenarem nas irregularidades do topo do solo. Essas poças passam a não conter a água ao transbordam, promovendo a erosão laminar e podendo evoluir para escoamento superficial concentrado, responsável pela formação de ravinas. Caso ocorra o aprofundamento e alargamento das ravinas, promovidas pela atuação do escoamento superficial concentrado contínuo, terá origem outra feição erosiva, a voçoroca, provocada também pela atuação do escoamento subsuperficial (SELBY, 1994; MORGAN, 2005; GUERRA, 2003 e 2019; GUERRA *et al.*, 2014; CENTERI, 2022).

O escoamento subsuperficial e o subterrâneo são agentes principais para a detonação dos processos de voçorocamento. Para Avelar e Coelho Netto (1992), a expansão da rede de drenagem apresenta relação direta com as estruturas do substrato geológico (principalmente fraturas e foliação), pirataria de água subterrânea e direcionamento dos fluxos hidrológicos em subsuperfície, provocando os processos erosivos de voçorocamentos e abertura de concavidades. Coelho Netto (2019) ressalta que as mudanças de nível de base, sejam elas por incisão fluvial, capturas de drenagem

ou ações antrópicas, desencadeiam processos erosivos do tipo voçorocamento, por criarem uma face de exfiltração dos fluxos subsuperficiais e subterrâneo. Afirma ainda que o problema de identificação da origem desses fluxos torna mais difícil a mitigação das feições erosivas por eles provocada.

O escoamento subsuperficial ocorre na zona aerada, logo abaixo da superfície do solo, e seu desencadeamento é associado a determinadas condições hidrodinâmicas do solo (WHIPKEY & KIRKBY, 1978). A erosão causada pelos fluxos subsuperficiais está relacionada à capacidade de formação dos dutos (*pipes*) em que a água infiltrada percorre, pelos macro e/ou microporos do solo, levando sedimentos ao longo da encosta. Esse processo pode desencadear a evolução da voçoroca, a partir do momento que esses dutos concentrarem fluxos, a ponto de formar túneis erosivos que, somados a condições extremas, venham a colapsar e dar origem a feição incisa das voçorocas.

A capacidade de infiltração do solo é regulada a partir da sua saturação devido ao aumento de teor de umidade no solo, por suas características estruturais (HORTON, 1945), ou por efeitos de selagem da superfície, proveniente do efeito *splash* (GUERRA, 2003 e 2019; MORGAN, 2005). Além disso, Guerra (2003) destaca que o processo de infiltração da água no solo será influenciado pelas propriedades do solo, características das chuvas, tipo de cobertura de vegetal, uso e manejo do solo, características das encostas e a microtopografia do terreno.

De acordo com Guerra e Marçal (2006), a erosão dos solos é um problema de alta complexidade, pois seus riscos dependem tanto das condições naturais quanto dos modelos de uso da terra. Sendo um processo complexo, a erosão quando acelerada pela ação antrópica tende a causar danos ambientais e à própria sociedade. Para Guerra e Mendonça (2014) os efeitos desses processos erosivos podem ser observados em nível local (*onsite*) na formação de ravinas e voçorocas, como também, fora do local (*offsite*) ao provocar o assoreamento de corpos hídricos, por exemplo.

Entende-se então que para melhor compreensão de estudos sobre degradação ambiental, desencadeada por processos erosivos, é necessário analisar os fatores condicionantes da erosão. Portanto, é importante destacar a importância do estudo da erodibilidade, como fator que afeta diretamente os problemas das áreas degradadas. Conforme Sun *et al.* (2013), a degradação de uma área está diretamente relacionada à precipitação e à erodibilidade do material presente na superfície. Diante disso, a

identificação da erodibilidade dos solos implicaria compreender a susceptibilidade do solo à erosão, assim, entendendo o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência de solos à desagregação e transporte (LAL, 1988; GUERRA *et al.*, 2023).

3.2.1 Erodibilidade dos solos

A erodibilidade dos solos refere-se à resistência do solo à erosão, onde as propriedades físicas, químicas e mineralógicas são significativas para a indicação da sua suscetibilidade à erosão associadas aos outros fatores controladores. Essa suscetibilidade depende de uma série de parâmetros, incluindo a distribuição do tamanho das partículas, composição química e mineralógica, presença de matéria orgânica e teor de umidade.

Cavaliere (1994) aborda o fator erodibilidade como uma medida da suscetibilidade do solo relacionada à erosão hídrica. Para a autora, o fator erodibilidade observaria que diferentes solos perdem quantidades variáveis de materiais, mesmo enquanto os demais fatores que influenciam no processo erosivo sejam mantidos constantes. Bertoni e Lombardi Neto (1999), da mesma forma, destacam que alguns solos se mostram mais erodidos do que outros, ainda que a pluviosidade, a declividade, a cobertura vegetal e as práticas de manejo sejam as mesmas. Assim, um solo com alta erodibilidade sofreria mais erosão que um solo com baixa erodibilidade, mesmo se ambos estiverem expostos as condições idênticas e constantes. Os autores ressaltam que, embora, alguns solos sejam mais erodíveis que outros, a quantidade de solo perdida pela erosão é, também, influenciada pelo tratamento ou manejo que recebe e não somente pelas características do próprio solo.

De acordo com Bouyoucos (1935) a erodibilidade está relacionada ao tamanho das partículas sólidas e à estabilidade dos agregados do solo. Nesse sentido, a erodibilidade tende a aumentar, por exemplo, quando os teores de areia muito fina e silte forem elevados, e a diminuir, com o aumento dos teores de argila e matéria orgânica. Devido a sua capacidade de agregação, a remoção da fração argila é mais difícil, enquanto que a areia muito fina e o silte são removidos mais facilmente, por não apresentarem características agregantes (WISCHMEIER & SMITH, 1978; MORGAN, 2005; GUERRA, 2019; THOMAZ *et al.*, 2022).

De acordo com Chilton & Spotila (2022), a erodibilidade no leito rochoso em ambientes fluviais exerce um controle fundamental sobre a transformação da paisagem, por exemplo. Isso porque ela impacta a capacidade de um rio de rocha de incidir em seu leito, forçando ajustes na taxa e no estilo da incisão e influenciando como a paisagem circundante responde à perturbação. A erodibilidade tende, portanto, a desempenhar um papel importante na definição da forma da paisagem. Para Shobe *et al.* (2017), padrões complexos de intemperismo podem produzir variações espaciais em pequena escala na erodibilidade, influenciando as vias de fluxo e contribuindo para zonas de erosão focalizada, representando assim um controle significativo na morfologia local.

Variável ao longo do tempo, a erodibilidade está associada à dinâmica pedológica e sua relação com o ambiente. As análises das propriedades físicas e químicas dos solos, portanto, são fundamentais para o estudo da erodibilidade, uma vez que são propriedades que afetam diretamente a erosão dos solos. Assim, destacam-se como propriedades fundamentais a serem avaliadas: a textura, a porosidade, a densidade, teor de matéria orgânica, a estabilidade dos agregados e o pH do solo (DE PLOEY & POESEN, 1985; LAL, 1988; EVANS, 1990; GUERRA, 2019; XIAO *et al.*, 2022).

Segundo Lal (1988), a **textura do solo** é um fator importante na erodibilidade já que influencia nos processos de desagregação e transporte de partículas. A textura é uma propriedade física que diz respeito ao tamanho das partículas, onde algumas frações granulométricas são mais suscetíveis à erosão que outras. Essas frações podem ser classificadas de acordo com suas dimensões: matacões (200-20 mm), cascalho (20-2 mm), areia grossa (2-0,2 mm), areia fina (0,2-0,05 mm), silte (0,05-0,002 mm) e argila (< 0,002 mm). As frações granulométricas, como a areia grossa resistem ao transporte, já as frações de silte e areia fina são mais propícias à erosão, enquanto a fração de argila são mais resistentes a desagregação das suas partículas. Ressalta-se ainda que, essa propriedade física, além de apresentar grande relevância para coesão do solo, estabilidade de agregados e permeabilidade, deve, também, ser tratada em conjunto com outras propriedades do solo (MORGAN, 2005; GUERRA e MARÇAL, 2006; LEPSCH, 2011; GUERRA, 2019).

A **porosidade** possui um papel extremamente importante na funcionalidade hidrológica do solo, sendo responsável pela retenção de mais ou menos água no solo. Essa propriedade física se refere ao volume não ocupado pelos constituintes sólidos do solo.

Tais volumes são considerados espaços ocupados pelo ar e água, responsáveis por transferir gases, líquidos e, mesmo, sólidos no interior do solo, como também, por permitir sua atividade biológica (e ser influenciada por ela). Os poros podem ser classificados em macroporos, onde há a circulação livre da água em função de seu diâmetro maior, e microporos, com diâmetros menores que retém a água através da propriedade física da capilaridade. Portanto, a percolação e velocidade da água no solo vão depender diretamente da porosidade e, dessa forma, se houver predominância de macroporos, como em solos de textura arenosa, esse movimento tende a ser mais rápido, já em solos de textura mais fina, onde há o predomínio de microporos, a velocidade do fluxo diminui (SILVA, 1999; BRADY & WEIL, 2017). Além disso, é necessário destacar que essa propriedade física está relacionada à densidade do solo, sendo esta inversamente proporcional à porosidade (GUERRA, 2019).

A **densidade dos solos** depende do grau de compactação, da porosidade, e da composição mineralógica dos solos, bem como das propriedades granulométricas e estruturais. Nesse sentido, segundo Lima (2008), a densidade do solo pode variar em função do tipo de solo, somado à influência da cobertura vegetal e das práticas de manejo utilizadas. O teor de matéria orgânica do solo pode influenciar a densidade de maneira inversamente proporcional, assim, à medida que teor de matéria orgânica diminui, os agregados tendem a se romper com mais facilidade, o que reduz a porosidade e consequentemente a infiltração de água, permitindo a formação de crostas na superfície do solo e, provocando o aumento da compactação do solo (JORGE, 1975; KIRKBY, 1980; SELBY, 1993; GUERRA, 2019). Diferentes estudos (VORONEY *et al.*, 1981; BRADY, 1989; LUCIANO *et al.*, 2012; KEESTRA *et al.*, 2016) apontaram que entre as causas do aumento da densidade do solo está, principalmente, as práticas agrícolas, as quais reduzem a matéria orgânica do solo, pela utilização de máquinas para aragem ou pelo superpastoreio (constante pisoteio de animais). Em relação a valores, Morgan (2005) considera o valor 1,50 g/cm³ para o limite entre a baixa e alta densidade do solo.

Produzida por restos vegetais e animais que se depositam sobre o topo do solo, se decompõem e passam a compor o solo, a **matéria orgânica** é fundamental para a compreensão da dinâmica hidrológica do solo. Isso porque o teor de matéria orgânica afeta a erosão dos solos em diferentes níveis, à medida que interage com outras propriedades físicas e químicas (GUERRA, 1990). Segundo os autores De Ploey e Poesen (1985), o teor de matéria orgânica proporciona melhor estabilidade dos agregados, além

de promover o aumento da fertilidade através do fornecimento de nutrientes. Conforme o teor de matéria orgânica aumenta, maior será a resistência dos agregados à desagregação e, conseqüentemente, maior porosidade e melhor capacidade de retenção da água no solo, reduzindo processos erosivos como o *splash* e o *runoff* (MORGAN 2005, MACHADO *et al.*; 2010; GUERRA, 2019; XIAO *et al.*, 2022).

A **estabilidade dos agregados**, portanto, se refere à resistência do conjunto de partículas primárias do solo (os agregados) a partir de seu contato com a água. Nesse sentido, agregados mais estáveis reduzem a erodibilidade do solo, por conta da grande porosidade que desenvolvem, favorecendo a infiltração e, conseqüentemente, reduzindo o escoamento superficial (GUERRA, 2019). Conforme dito anteriormente, a estabilidade desse conjunto de partículas é influenciada pelo teor de matéria orgânica, assim, solos ricos em matéria orgânica tendem a apresentar agregados estáveis. No entanto, solos ricos em silte, ou com excesso de água, por exemplo, tendem a apresentar agregados mais instáveis (KIEHL, 1979; DE PLOEY & POESEN, 1985; SILVA, 1999). Conta ainda nesses processos, o tipo de argilomineral, sendo um fator importante para controlar a estabilidade dos agregados e também a sua erodibilidade. Evans (1980), em análises granulométricas, observou que solos com mais de 30 a 35% de argila são, em geral, coesivos e formam agregados estáveis, que resistem ao impacto das gotas de chuva (*splash*) e, conseqüentemente, à erosão.

O **potencial de hidrogênio (pH)** pode fornecer informação sobre a estabilidade dos agregados dos solos, por conta das interações químicas entre as suas partículas. Amostras classificadas como ácidas possuem valores baixos de pH o que indica baixo índice de agregabilidade, facilitando o risco de desagregação das partículas do solo (Y, 1989; MORGAN, 2005). Para Fonseca (1999), o pH tem uma importante função na absorção de cátions de argilas e matéria orgânica em virtude da ligação preferencial dos íons de hidrogênio nas reações de troca. Portanto, a variação do pH atua, de modo efetivo, na estabilidade dos compostos dos solos, a qual uma vez perdida, pode possibilitar a atuação dos processos erosivos. Ressalta-se que para uma melhor compreensão da erodibilidade, o pH, ao ser considerado como um indicador, deve ser relacionado com outras propriedades do solo (GUERRA, 2019).

3.2.2 Processo erosivo

Para Baccaro e Soares (2005), os processos erosivos por voçorocamento têm sido desenvolvidos e/ou dinamizados pela ação antrópica descontrolada, assim como, pelo uso indevido do solo e ocupação da área desconsiderando seu limite de equilíbrio dinâmico. Além disso, é de conhecimento que as voçorocas são feições erosivas mais comuns em áreas de pasto, isso porque estão associadas pela retirada de cobertura vegetal e práticas pecuaristas que tendem a degradar o solo.

Olhando para uma escala mais abrangente, a situação de encosta em que se encontra o processo erosivo é de suma importância. Coelho Netto e Avelar (2013) chama atenção para área de contribuição de fluxos em um processo de voçorocamento. Os autores apontam que toda a chuva que atinge determinado ponto de uma bacia hidrográfica, irá escoar, na superfície ou subsuperficialmente, desde os divisores de águas até os fundos de vales, onde serão, então, coletadas pelo sistema de canais. As áreas próximas aos canais, que drenam aos fundos de vales, recebem os fluxos d'água vindos das partes mais elevadas das encostas, correspondendo às principais fontes dos fluxos de água das chuvas (HEWLETT, 1961; WHIPKEY, 1967). Assim, conforme Bryan e Jones (1997), entender o transporte de sedimentos das encostas para os canais, onde se tornam acessíveis aos processos fluviais, é de central importância, pois tende a modificar toda a dinâmica de uma bacia de drenagem, ao redistribuir os fluxos, alterar o gradiente topográfico e modificar o relevo.

Em se tratando de processos erosivos por escoamento, derivado de mecanismos atuantes em diferentes escalas espaciais e temporais, o tipo de erosão por voçoroca se desenvolve a partir de fluxos de escoamento superficial e/ou subsuperficial (CHEROBIN, 2012; COELHO NETTO, 2019). Um dos principais agentes nos processos erosivos é a água da chuva, já que tudo começa quando as gotas de chuva atingem o solo, proporcionando o transporte de partículas. Posteriormente, essas gotas geram a chamada erosão laminar, selando a superfície e, por fim, pode ocorrer a formação de fluxos altamente concentrados os quais serão responsáveis pela abertura de ravinas e canais que podem evoluir para voçorocas, sendo, esta, a última etapa do processo de erosão. No processo de formação de voçorocas, além da erosão superficial ocorre também o escoamento subsuperficial, capaz de gerar o desmonte das paredes das voçorocas provocando seu alargamento e aprofundamento.

A erosão linear é causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, e tem como resultado incisões na superfície do terreno na forma de ravinas e, no estágio mais avançado, voçorocas (GUERRA, 1999). Com pequenas dimensões, que ocorrem em declives maiores que 2-3 %, esses canais causam pequena ruptura na superfície do terreno, podendo ser originária de precipitações muito intensas (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985; SELBY, 1994).

Já a ravina pode ser considerada como incisão profunda no solo, provocado pela ação erosiva da água de escoamento superficial concentrado, normalmente alongado, com maior comprimento que largura e com profundidades geralmente inferiores a 50 centímetros. Ressalta-se que a interação entre eventos chuvosos e fluxos de água pode aumentar a probabilidade de formação e ampliação da rede de ravinas, uma vez que essa rede tende a ser formada por fluxos principais e fluxos menores de água que ocorrem em uma determinada encosta (MOSS *et al.*, 1982; SAVAT, 1979; DOBEK *et al.*, 2011). As ravinas não são conectadas à drenagem fluvial e não atingem o nível de água subterrânea, mas seu aprofundamento pode anteceder à formação de voçorocas por meio de processos mais complexos como erosão por dutos (ou *pipings*), escorregamentos laterais e arraste de partículas por percolação, por exemplo (FOSTER *et al.*, 1985; SLATTERY & BRYAN, 1992; MORGAN, 2005).

A voçoroca é a forma de erosão linear mais grave e intensa, constituindo um processo de erosão acelerada e de instabilidade nas paisagens, segundo Suertegaray *et al.* (2008). São feições erosivas consideradas permanentes nas encostas e podem apresentar paredes íngremes, bem como, ter grande extensão e profundidade (SELBY, 1991). Para Guerra (2003) o voçorocamento pode ser resultado do alargamento e aprofundamento de ravinas pela ação erosiva das águas na base e nas laterais, que geraria colapso das laterais e em direção ao topo. Além disso, o mesmo autor diz que a voçoroca pode ocorrer, também, a partir do escoamento superficial concentrado das águas das chuvas, no interior de cicatrizes abertas por deslizamentos em vertentes íngremes.

De maneira geral, a definição internacionalmente mais aceita para voçorocas estipula que tenham mais de 50 centímetros de largura e profundidade, podendo chegar a 30 metros ou mais de comprimento (OLIVEIRA 1999; GUERRA, 2003). No entanto, Guerra (2019) destaca que apesar desses valores propostos, eles não são fixos, pois além

de existir diversas classificações, segundo o tamanho dessas feições, deve-se, também, considerar valores relativos a características de cada região.

Como dito anteriormente, as voçorocas tendem ser associadas à erosão acelerada e às instabilidades na paisagem. No entanto, para Oliveira (1999), as voçorocas podem ser feições erosivas resultantes de desequilíbrios naturais, e não apenas desequilíbrios induzidos pela ação humana. Nesse sentido, as voçorocas resultariam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio, entre energia disponível e eficiência do sistema em dissipar energia. Podem levar a uma situação de desequilíbrio entre energia disponível e capacidade de dissipação de energia, a mudança na intensidade e frequência de precipitações, o teor de umidade dos solos associadas ao tipo de uso do solo, cobertura vegetal e grau de estruturação, por exemplo (SELBY, 1994; INFANTI JR. & FORNASARI FILHO, 1998; LEPSCH, 2002; LI *et al.*, 2022).

A densidade da cobertura vegetal é outra importante condição para a análise da erosão. Isso porque a densidade e o tipo de vegetação oferecem diferentes graus de proteção ao solo, determinando como evoluirá o processo de erosão e a formação do mesmo (CARRIJO, 1999; CANTALICE *et al.*, 2017; GUERRA, 2019). Oliveira (1999) acredita que o diagnóstico preliminar sobre a atividade da feição erosiva possibilita uma melhor compreensão sobre o desenvolvimento da feição ao longo tempo. Através de observações de cunho qualitativo, pode-se ter uma noção do quanto recente ou antiga é a feição erosiva. Diante disso, segundo Lucchi (1992), feições erosivas recentes apresentam estruturas sedimentares ou erosivas efêmeras, indicando direções de fluxo. Já as feições erosivas mais antigas exibem formação de superfície compactada com crosta de argilominerais e óxidos variados, além de colonização de crosta por leveduras e musgos até por vegetação graminácea e arbustiva (NASCIMENTO, 1998).

É necessário observar que toda feição erosiva é a representação de determinados mecanismos, ou processos que contém diferentes graus de atividade e de evolução. Portanto, compreender a dinâmica desses processos erosivos atuantes na paisagem é um caminho essencial para a construção de alternativas que funcionem na resolução de problemas associados, principalmente, a degradação ambiental.

3.3 Degradação dos Solos

De acordo com Bitar e Braga (1995) a degradação ambiental corresponde a uma situação de deterioração do meio físico, motivada por diferentes tipos de intervenção. Cunha e Guerra (2012) corroboram com essa ideia ao assumirem que a aceleração dos processos de degradação é resultado do manejo inadequado somado às condições naturais. No entanto, Tavares (2008) destaca que o termo degradação raramente é empregado para alterações oriundas de processos naturais, pois tem sido mais associado a efeitos negativos ou adversos causados ao ambiente decorrentes, principalmente, da intervenção do homem (BOARDMAN *et al.*, 2019). Blaike e Brook-Field (1987) se atentam para a questão da degradação ambiental como um problema social. Para esses pesquisadores os processos oriundos da intervenção humana, tendem a ser identificados como degradação quando se encontram intrínsecos a problemas sociais, vistos sob a perspectiva da relação do uso da terra, já em curso ou em potenciais. Portanto, a análise sobre a degradação ambiental não deve ser realizada apenas sob o ponto de vista físico, sendo necessário observar as relações existentes entre a degradação ambiental e a sociedade geradora dessa degradação (CUNHA e GUERRA, 2012). Associado a esse pensamento, a ideia de dano ambiental, definida por Milaré (1993) e implícita na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº.6.938/81), considera que qualquer lesão causada, por intervenção humana, no meio ambiente pode gerar a degradação da qualidade ambiental, ou seja, a alteração adversa das características do meio ambiente e diminuição de seus recursos ambientais. Conforme Araújo *et al.* (2009), a redução de potenciais recursos renováveis causado por combinações de processos que agem sobre as terras leva à sua degradação. Diante disso, a degradação das condições dos solos se torna cada vez mais preocupante, já que os processos de formação e regeneração são muito lentos e os danos causados no solo são mais difíceis de serem revertidos.

De acordo com a FAO (1980), o conceito de degradação de terras “se refere à deterioração ou perda total da capacidade dos solos para uso presente e futuro”. As perdas estão relacionadas, principalmente, aos tipos de erosão (eólica e hídrica) e as formas de deteriorações química e física. A degradação do solo é, portanto, um processo interativo múltiplo que envolve fatores causais, entre os quais a variabilidade climática, a qualidade do solo e a gestão da terra desempenham um papel significativo. Sendo assim, a degradação do solo é considerada um processo que ocorre não apenas em áreas semi-naturais, mas também em terras agrícolas e periurbanas (LAMBIN *et al.*, 2001; BAJOCCO *et al.*, 2012; KUZYAKOV&ZAMANIAN, 2019).

A FAO (1980 *in* ARAÚJO *et al.*, 2009) – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – classifica, ainda, as atividades antrópicas e as condições naturais para os fatores de degradação das terras, conforme a Quadro 1 abaixo:

Quadro 1: Classificação dos fatores de degradação das terras.

	Ações antrópicas	Condições naturais
Fatores facilitadores	<ul style="list-style-type: none"> - desmatamento - permissão do superpastoreio - uso excessivo da vegetação - taludes de corte - remoção da cobertura vegetal para cultivo 	<ul style="list-style-type: none"> - topografia - textura do solo - composição do solo - cobertura vegetal - regimes hidrográficos
Fatores diretos	<ul style="list-style-type: none"> - uso de máquinas - condução do gado - encurtamento do pousio - entrada excessiva de água/ drenagem insuficiente - excesso de fertilização ácida - uso excessivo de produtos químicos/estrume - disposição de resíduos domésticos/industriais 	<ul style="list-style-type: none"> - chuvas fortes - alagamentos - ventos fortes

Fonte: FAO (1980, *in* ARAÚJO *et al.*, 2009).

As mudanças no uso da terra podem ter efeitos na fertilidade do solo, como também, interferir nos componentes biológicos do solo, por meio do efeito do preparo da terra e do uso de fertilizantes e outros agroquímicos. Alguns estudos indicam que o cultivo convencional contínuo, de atividades agrícolas, pode ter efeitos negativos sobre as propriedades físicas do solo, como densidade e textura do solo, influenciando na capacidade de infiltração de água, por exemplo (GOMEZ *et al.*, 1999; ROLANDO *et al.*, 2018). Destaca-se ainda que, de acordo com a estimativa global da degradação dos solos estima-se que, que aproximadamente 33% dos solos do planeta estão moderado ou fortemente degradados (FAO, 2019). Nesta perspectiva, a erosão acelerada do solo tende provocar a degradação da qualidade do solo devido à danificação das propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo (NOFFS *et al.*, 2000). Lepsch (2011) e Costa *et al.* (2018) destacam que a erosão hídrica é responsável pela maior perda de solo, sobretudo, pelas atividades agrícolas que transportam materiais das encostas e provocam a aceleração da erosão dos solos.

Em áreas agrícolas o tipo de atividades exercidas tende a impactar o meio ambiente de muitas maneiras. No entanto, o resultado desse impacto depende das condições naturais e seus efeitos podem variar em termos de tipo e intensidade. Dessa forma, as condições naturais como topografia, solos, clima e geologia moldam significativamente a vulnerabilidade das paisagens agrícolas a diferentes tipos de degradação ambiental, como a erosão do solo (BAI *et al.*, 2008; NOWAK & SCHNEIDER, 2017; SIETZ *et al.*, 2017; LOUREIRO *et al.*, 2022). Em contrapartida, é importante destacar que qualquer forma de degradação dos solos pode, ainda, minar a própria produtividade agrícola.

Diante da capacidade da sociedade gerar danos ambientais às terras, a conservação do solo e o controle da degradação tornaram ações essenciais. É necessário avançar na compreensão das dinâmicas inerentes ao solo, através da análise espaço-temporal de suas propriedades e processos associados, buscando melhores alternativas de uso e gestão (BLUM, 2002; DUMANSKI, 2015). Uma situação, que pode ser uma dificuldade para o manejo do solo, seria o predomínio de frações relacionadas a menores diâmetros, como a argila. De acordo com DONAGEMMA *et al.* (2016) a fração argila tende a condicionar uma menor retenção de água no solo, devido à sua menor área superficial específica e menor capilaridade, o que implicaria em um entrave em medidas de manejo que tenham como objetivo o plantio de espécies para recomposição da cobertura vegetal, por exemplo.

Segundo Scherr e Yadav (1996), muitas formas de degradação podem ser amenizadas e/ou reparadas através de uma reconstrução da saúde do solo. O conhecimento da dinâmica ambiental de uma área degradada permite o correto dimensionamento do tipo de intervenção, ou de obra, além dos materiais necessários à recuperação ambiental. Nesse sentido, Sietz e Van Dijk (2015) propõem que as práticas de conservação do solo incorporem as relações biofísicas e ambientais, considerando as diferentes escalas e graus de importância, ou seja, é necessário entender as diferentes particularidades e dinâmicas locais para adoções de estratégias mais eficazes na recuperação ambiental.

3.4 Recuperação ou Reabilitação de Áreas Degradadas

Referentes ao processo inverso à degradação, os termos recuperação e reabilitação têm sido, bastante, utilizados. Segundo Griffith (1986), recuperação seria o processo de reparação dos recursos em uma determinada área, capaz de restabelecer a composição e a frequência das espécies encontradas originalmente no local. A reabilitação estaria associada a uma situação intermediária isso porque, de acordo com Majer (1989) e Bitar (1997), seria o retorno da área degradada a um estado biológico apropriado, mesmo que esse retorno não tenha como resultado a utilização da área para outra produção a longo prazo. No entanto, de maneira geral, tais termos são baseados em técnicas e tem como objetivo procurar restabelecer as condições originais do sítio degradado, portanto, buscam-se alternativas em que a estabilidade do ambiente e a sua sustentabilidade tenham condições de serem e/ou continuarem garantidas.

Conforme Cunha e Guerra (2006), o primeiro passo em direção à recuperação de áreas degradadas é a realização de diagnósticos da degradação, através de levantamentos sistemáticos, associados a monitoramentos das diversas formas de degradação. Com os objetivos definidos, relacionados ao melhoramento da área degradada, faz-se necessário técnicas tanto de monitoramento como de reparação do sítio escolhido. O conhecimento geomorfológico, associado a técnicas de contenção vem contribuindo no controle e recuperação de processos erosivos (ROSS, 2001; BERTOLINO, 2004; SALOMÃO, 2005; BEZERRA, 2011; GUERRA *et al.*, 2017; GUERRA *et al.*, 2023).

3.4.1. Uso de técnicas de bioengenharia para o controle da erosão e recuperação

A bioengenharia de solos em conjunto com geomorfologia e outras ciências, pode solucionar a problemática da degradação dos solos e seus efeitos na paisagem. Nessa perspectiva, a utilização de técnicas de bioengenharia tem se mostrado como uma alternativa sistêmica e tecnológica ambientalmente sustentável, de baixo custo, com capacidade de conter a erosão dos solos e, por consequência, promover a recuperação de uma área degradada (SCHMEIER, 2013). Trata-se de uma técnica que utiliza material inerente à natureza vegetal, ou seja, plantas que, geralmente, são provenientes da própria região da área a ser recuperada.

As técnicas de bioengenharia podem ser utilizadas sozinhas ou em combinação com outras técnicas mais convencionais (ARAÚJO *et al.*, 2017). Nesse sentido, para

Couto *et al.* (2010) a bioengenharia de solos compreende a utilização de elementos inertes como concreto, madeira e fibras sintéticas em sinergismo com elementos biológicos como a vegetação, no controle da erosão. Com a estabilização biotécnica, decorrentes do uso dos materiais vivos vegetais para estabilização do solo, tende a ocorrer o fortalecimento do solo e a favorecer o desenvolvimento da cobertura vegetal (SCHIECHTL e STERN, 1996; GRAY e SOTIR, 1996; GOMES, 2005; DURLO e SUTILI, 2005; MOSCATELLI *et al.*, 2009; BEZERRA, 2011; LOUREIRO, 2013 e 2019).

As estratégias de controle de erosão propostas para a recuperação da área do voçorocamento constituem práticas mecânicas e vegetativas de baixo custo. Dessa forma, para o controle do voçorocamento, a técnica consiste em realizar a sua estabilização ou evitar que cresça, tanto em largura como em profundidade. Assim, a primeira medida a ser adotada, há de ser a prática mecânica ao promover o desvio do fluxo de água contínuo que está ocasionando a voçoroca, o que ajudará a estabelecer condições mínimas para que se possam implantar as práticas vegetativas. Tais práticas consistem no plantio de espécies nativas e/ou espécies adaptadas a determinadas condições locais, promovendo estabilização do solo (ANDRADE *et al.*, 2005; VERDUM, 2016; JENSEN *et al.*, 2020).

3.4.2 Uso de técnicas de monitoramento por imagem de VANTs

Por fim, atualmente as tecnologias de imagem tem ajudado muito nos processos iniciais para os estudos de diagnóstico e análises para recuperação de processos de degradação. O baixo custo para o levantamento, a alta resolução espacial e temporal e a possibilidade do uso em locais de difícil acesso são os principais motivos para o uso de VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado) em pesquisas na área de geomorfologia (PAZ e SAMPAIO, 2019; GUERRA *et al.*, 2020). Glendell *et al.* (2017) ressaltam que os VANTs, permitem combinar os pontos fortes de técnicas mais custosas, que têm a capacidade de reconstruir a superfície topográfica do solo, mas com plataformas cada vez mais disponíveis de baixo custo e, ainda assim, ágeis e leves. Para Longhitano (2010), o uso de VANTs, associado ao sensoriamento remoto, se mostra uma ferramenta com grande potencial positivo para as áreas de mapeamentos de uso da terra, cobertura vegetal, geração de MDEs, monitoramento de áreas e planejamento e gestão.

Diferentemente das técnicas tradicionais, o VANT tende a proporcionar agilidade na coleta e processamento de dados sobre os processos erosivos monitorados em uma determinada área. Os métodos tradicionais de monitoramento de campo, baseados em medições do solo, com caixas coletoras de sedimentos, pinos de erosão e estacas de erosão, apesar de serem mais utilizados, são mais trabalhosos e requerem muito tempo para serem realizados (LOUREIRO, 2013; MARCHIORO *et al.*, 2016; KASHTANOV *et al.*, 2018; RANGEL e GUERRA, 2018; BOARDMAN, 2020).

Garritano (2020) destaca que, com as imagens obtidas pelo VANT, é possível elaborar um modelo digital de elevação (MDE), mensurar área, comprimento e largura da voçoroca, além de elaborar perfis transversais e longitudinais. Essa técnica, em conjunto com o conhecimento geomorfológico, torna possível a compreensão do quanto a forma erosiva evoluiu (REGO *et al.*, 2015; GUPTA e SHUKLA, 2018; HOVHANNISYAN *et al.*, 2018; TSCHIEDEL *et al.*, 2018). Portanto, a partir da análise das imagens processadas se torna possível diagnosticar as áreas que estão sofrendo com o processo erosivo, de maneira mais eficaz e rápida, ao observar o entorno da voçoroca e sua geometria (GARRITANO, 2020).

4. ÁREA DE ESTUDO –

Para a realização desse estudo voltado ao diagnóstico de processos erosivos e propostas de recuperação de áreas degradadas, foi escolhida uma feição incisa de voçorocamento, localizada no alto curso da bacia hidrográfica do rio Pirai, município de Rio Claro no Estado do Rio de Janeiro. A área de estudo selecionada se trata de uma feição erosiva incisa, do tipo voçoroca, em estágio avançado (Figura 1), denominada localmente de “Voçoroca do Minério” (seu Manoel, agricultor local). Situada na margem da rodovia BR – 494, a voçoroca, objeto de estudo, tinha, no início dessa pesquisa no ano de 2021, dimensões físicas aproximadas de 83 metros de comprimento, 39 metros de largura na sua parte inferior e 35 metros na parte superior, próximo à cabeceira, conforme Garritano (2020).

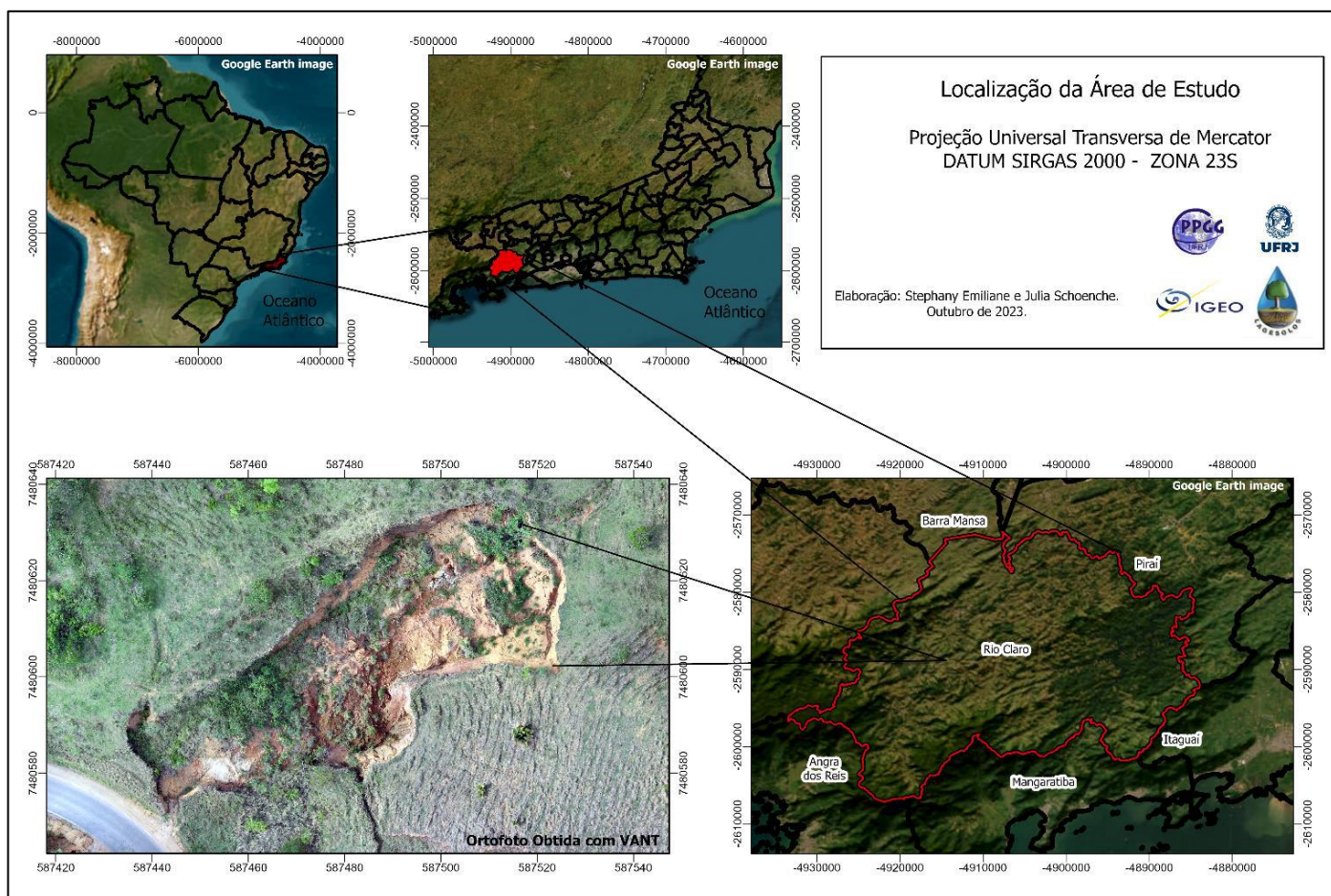


Figura 1: Mapa de Localização da Área de Estudo (Voçoroca do Minério)

A Voçoroca do Minério situa-se em uma área côncava da encosta, que se constitui como uma bacia de ordem zero (STHALER, 1957) afluyente do Córrego das Canoas, bem próxima à sua foz no Rio Pirai, este afluyente direto do Rio Paraíba do Sul em seu médio curso. É importante destacar que para compreender e analisar a erosão dos solos usamos a interação entre processos de diferentes escalas, integrados na bacia hidrográfica (SANTOS, 2016; ALBUQUERQUE e SOUZA, 2016; WILKINSON *et. al.*, 2018; NUNES e CASTRO, 2023). Nesse sentido, de modo a localizar e situar o leitor no contexto da área de estudo, descrevemos brevemente sua história geológica e geomorfológica, assim como, o clima, os solos, a cobertura vegetal e seu histórico de uso e ocupação, a partir da escala de bacia.

4.1 Geologia e Geomorfologia

A área de estudo está localizada no reverso da Serra do Mar, e apresenta como característica de seu embasamento geológico a ocorrência de rochas pré-cambrianas do ciclo Brasileiro. Este evento tectônico está associado ao processo de colisão continental na formação do supercontinente Gondwana que, particularmente no sudeste brasileiro, originou a Faixa Móvel Ribeira (Heilbron *et al.*, 2000, 2003 e 2016). A faixa de dobramentos foi formada em condições de alta temperatura e pressão durante o ciclo orogénico de colisões continentais que a gerou, onde há a predominância de gnaisses de alto grau metamórfico, orto e paraderivados, além de migmatitos e granitos.

De acordo com o mapeamento realizado por Heilbron *et al.* (2016), no contexto geológico, o alto curso da bacia hidrográfica do rio Pirai situa-se no Terreno Ocidental da Faixa Móvel Ribeira, onde ocorrem, principalmente, as unidades paraderivadas Conservatória e Arcádia-Areal, associadas ao Grupo Raposo. Tais unidades são descritas predominantemente por biotita gnaisses, com intercalações comuns de lentes de quartzitos. Em contato com essas unidades, encontram-se as unidades ortoderivadas dos antigos embasamentos Quirino e Juiz de Fora. Estas, constituem rochas mais resistentes ao intemperismo e geralmente estão associadas a um relevo mais protuberante na Região, garantindo alinhamentos serranos. Ainda, nos trechos das nascentes da bacia, ocorrem litotipos das unidades do Terreno Oriental, associadas ao Complexo Rio Negro, também constituídas de gnaisses ortoderivados e bastante resistentes ao intemperismo de uma maneira geral. Ocorrendo entre todas as unidades descritas, destaca-se a ocorrência

de corpos graníticos, originados da fusão parcial das outras unidades, nos momentos mais avançados da orogenia, já no Cambriano (HEILBRON *et al.* 2016).

Especificamente nas encostas no entorno da Voçoroca do Minério (área de estudo), a unidade predominante é a Conservatória descrita como granada-biotita gnaiss, sillimanita-granada-biotita gnaiss bandado, migmatítico, com intercalações de anfibolito e quartzito (HEILBRON *et al.*, 2016). Estruturalmente a Faixa Móvel Ribeira apresenta uma marcante foliação, incluindo falhas empurrão e zonas de cisalhamento, com direção principal NE-SW, o que pode ser constatado também nos afloramentos no entrono da Voçoroca.

Ainda descrevendo a influência das estruturas geológicas, é importante destacar outro evento tectônico marcante para o continente Sul Americano e, particularmente, para o Planalto Sudeste, ocorrido no juro-cretácico, relativo à abertura do Oceano Atlântico. Este evento de característica rúptil, marca a estruturação do relevo do Planalto Sudeste com a implantação de um sistema de *grabens* e *horsts*, como descrito por Riccomini *et al.* (2004). Tal tectônica foi responsável pela estruturação de conjunto de falhas e fraturas com padrões predominantes de orientação NE-SW, NW-SE e N-S, como direções principais. Estas estruturas, em conjunto com as estruturas neoproterozóicas, são fundamentais para o posterior trabalho erosivo dos sistemas de drenagem e a esculturação do relevo.

Devido à diferença de composição mineral entre essas rochas, os graus de resistência ao intemperismo tendem a serem distintos, de modo que quanto maior o teor de minerais silicatados, mais resistência ao intemperismo essas rochas apresentam. Contam também para a resistência ou não ao intemperismo, o grau de estruturação dessas rochas, seja por fraturas, falhas ou foliações, entendendo-as como estruturas tectônicas que funcionam como planos preferenciais para a infiltração de fluidos intempéricos que fragilizam o substrato. Além de provocarem a erosão diferencial no relevo, os sedimentos produzidos, por tais tipos de rochas, são mineralogicamente pobres dando origem a solos de baixa fertilidade natural e relativamente carente em nutrientes (ITPA, 2008).

Na área de estudo, as estruturas, descritas acima, podem ser observadas nos afloramentos próximos, com foliações marcantes na direção NE-SW e planos de fratura subparalelos, também coincidentes, nas direções descritas, e em uma escala regional, na orientação de sistemas de drenagem e compartimentação do relevo. Isso porque tais

estruturas constituem em zonas de fraqueza para o intemperismo e erosão, garantindo o caminho preferencial dos processos erosivos, incluindo a rede de canais fluviais. Assim, por outro lado, as litoestruturas que apresentam mais resistência a erosão formam degraus topográficos, tanto nos alinhamentos serranos locais, como na forma de degraus, quando ocorrem ao longo do perfil longitudinal de um rio, definidos como níveis de base locais rochosos ou knickpoints (EIRADO SILVA *et al.*, 1993).

Geomorfologicamente, segundo Dantas *et al.* (2023), a classificação de padrões de relevo da região do alto curso do Rio Piraí apresenta amplitudes que variam até 300 m, sendo definido por serras, escarpas de borda de planalto, morros altos, morros baixos, colinas e planícies de inundação. Nas bordas desse relevo, de maiores amplitudes, encontram-se colúvios poucos espessos e solos residuais mais profundos, de textura argilo-arenosa. Já para padrões de relevo com menor amplitude, observam-se colúvios e depósitos aluvionares de mesma textura (argilo-arenosa). Estes dados estarão mais detalhados para a área de estudo no item de resultados, já que foi realizado o seu mapeamento.

4.2 Clima

O clima se refere ao comportamento dos fenômenos atmosféricos em períodos tanto de médio, como de longo prazo. Assim, para definir o clima de uma região são calculadas médias de índices físicos, como, por exemplo, a precipitação, temperatura, umidade e vento, ao longo de intervalos grandes de tempo, definido como o comportamento de curto prazo desses fenômenos atmosféricos.

De acordo com o mapa climático do Brasil, elaborado por Alvares *et al.* (2013) através do sistema de classificação climática Köppen (1936) e ilustrado na Figura 2, o clima do Brasil é dividido entre zonas tropical, seca e subtropical úmida.

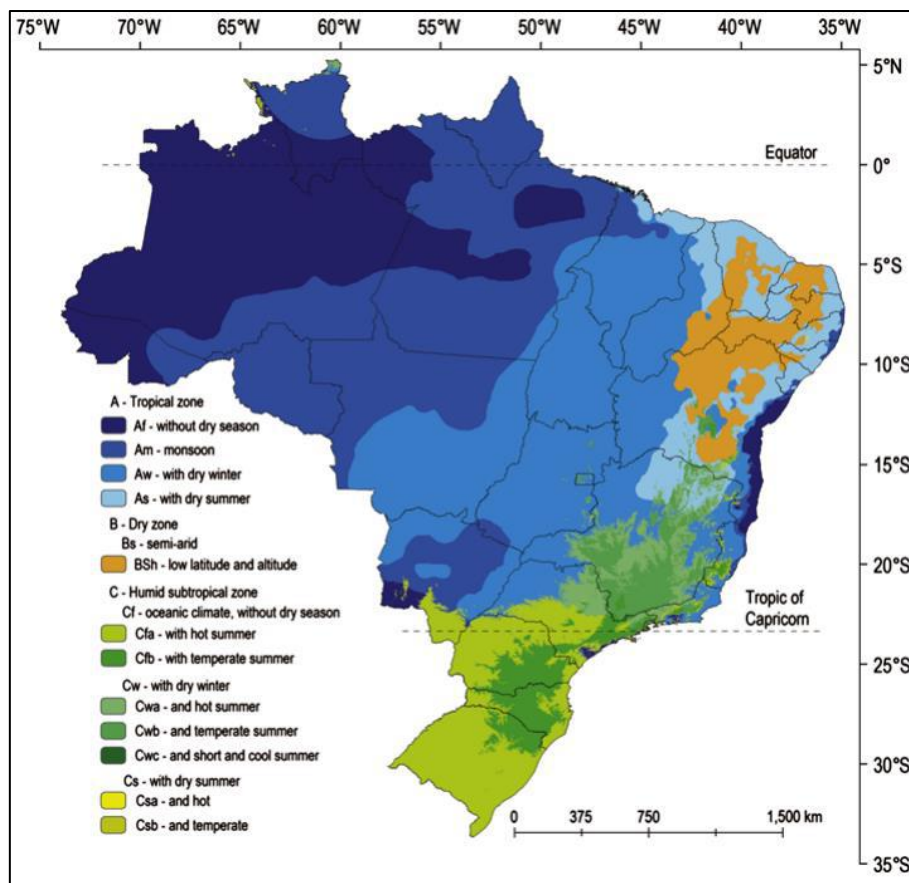


Figura 2: Classificação climática do Brasil de acordo com o critério Köppen (1936). Fonte: Alvares *et al.* (2013)

A área de estudo está localizada dentro dos limites do município de Rio Claro, RJ, compreendido na Região Sudeste do Brasil, onde há a predominância do tipo climático Cwa: subtropical úmido de inverno seco e verão quente, de acordo com a classificação climática de Köppen (1936), como observado na Figura 3 a partir da área delimitada pelo polígono em vermelho. Assim, esse tipo de clima apresenta condições típicas da região serrana, como invernos brandos e verões chuvosos (INMET, 2021).

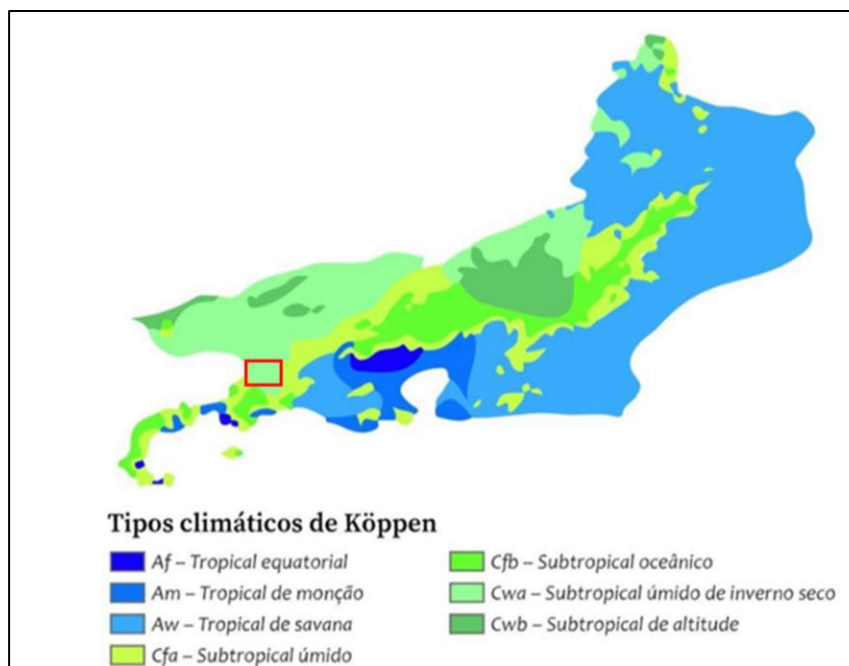


Figura 3: Tipos Climáticos do Rio de Janeiro. Fonte: Alvares *et al.*, 2013.

Com grande influência o fator geográfico que caracteriza o clima dessa localidade é o relevo, já que a variação de altitude diferencia os valores de precipitação localmente, entre a frente e o reverso da Serra do Mar.

A região da Costa Verde, na frente da Serra do Mar, em direção aos municípios de Angra dos Reis e Parati, garante os maiores índices de precipitação dado o efeito de represamento das chuvas, exercido pela Serra do Mar. No reverso da Serra onde situa-se a área de estudo, o efeito sota-vento reduz drasticamente os valores de precipitação. Segundo o Plano de Manejo de Cunhambebe (INEA, 2015) o valor da normal climatológica para a estação de Angra dos Reis do INMET é de 1883.7mm anuais, enquanto para Piraí no reversos da Serra, o valor do acumulado anual na normal climatológica reduz para 1240.8mm. Nota-se uma diminuição, em média, de mais de 600mm no valores anuais.

As estações meteorológicas da região registram essa variação, ressaltando o papel do relevo na distribuição dos valores de chuva para Angra dos Reis, Piraí e as estações próximas de Lídice e Represa de Tocos. Segundo a caracterização climática contida no Plano de Manejo do Parque Estadual de Cunhambebe (PEC), em poucos quilômetros de distância, o estudo cita:

“Em Angra dos Reis as médias pluviométricas mensais ficam entre 221,9 e 261,1 mm de dezembro a março, e entre 71,9 e 78,9 mm de junho a agosto. (...) há situações em que ocorrem precipitações acima de 200 mm diários. (...)

(...) Em Pirai, a precipitação média mensal fica acima de 100 mm de outubro a março. As maiores precipitações se concentram entre novembro e março, totalizando 864,6 mm para o período. No período de maio a setembro, as médias não passam de 46 mm. Julho é o mês mais seco (28,8 mm) e janeiro é o mês mais chuvoso (209,5 mm).(…)

(...) As estações de Lídice e Barragem de Tocos, localizadas na vertente norte do PEC, apresentaram índices pluviométricos maiores do que a estação de Pirai. Enquanto em Lídice e na Barragem de Tocos a precipitação média anual é de 1.786 e 1.507 mm, respectivamente, em Pirai a média anual é de 1.323 mm (ITPA, 2008)”. (INEA 2015)

É importante destacar que mesmo os índices pluviométricos serem menores quando comparados aos sistemas orográficos da Serra do Mar e da Mantiqueira, ainda assim há uma alta intensidade da precipitação, que aliada ao relevo de colinas, pisoteadas pelo gado e sem cobertura florestal, necessitam de atenção por apresentarem suscetibilidade à erosão do solo (DEVIDE, 2013; FACADIO *et al.*, 2023).

De acordo com a normal climatológica para o período de 1960 a 1991, do INMET (2021), a sazonalidade da região é marcada com um período chuvoso no verão (de outubro a março) e um período com diminuição do índice pluviométrico no inverno (de abril a setembro). Tais dados são retirados das estações de Barragem de Tocos e Lídice (ambas no município de Rio Claro) em que, durante o verão, a primeira apresenta médias mensais entre 250 mm a 100 mm, enquanto que a segunda estação aponta mais de 300 mm de chuva mensal.

Para a análise dos processos erosivos na área de estudo, foram usados os dados primários da Estação Rio Claro do INMET para os anos de 2021 e 2022, a fim de entender a dinâmica de evolução da Voçoroca do Minério perante as entradas de chuva locais.

4.3 Solos

As características geológicas, geomorfológicas e climáticas influenciam fundamentalmente nos tipos de solo de uma região. Ao identificarmos as características do solo bem como os agentes atuantes sobre ele, é possível diagnosticar as áreas mais suscetíveis à erosão e orientar medidas para seu uso e manejo adequado (GUERRA, 2014; GUERRA *et al.*, 2023).

A bacia do alto rio Piraí, segundo o ITPA (2011), descritos de montante para jusante, apresenta solos do tipo Neossolos Litólicos na base de afloramento rochosos situados nas partes mais altas da bacia, Cambissolos em encostas mais íngremes, associadas aos relevos com amplitudes mais elevadas, Latossolos Vermelho-Amarelos, encontrados em encostas menos íngremes e próximas aos fundos de vales, ricos em minerais primários e associados ao relevo de morros baixos e colinoso e, ainda além de Neossolos Flúvicos e Planossolos nos fundos de vale que apresentam topografias mais suaves.

Especificamente para a área de estudo, a Voçoroca do Minério encontra-se em uma encosta com Cambissolo Háptico, de acordo com o mapeamento da Embrapa (CARVALHO FILHO *et al.*, 2001). Nos trabalhos de campo realizados para essa dissertação, o solo identificado foi verificado, sendo observado, a coloração vermelho-amarelada em uma sequência de horizontes B e C bem definidas e com profundidade considerável, conforme a Figura 4.



Figura 4: Perfil de Solo (Silva, 2022).

4.4 Vegetação, Uso e Ocupação

O município de Rio Claro originalmente tinha uma vegetação, típica da Mata Atlântica, caracterizada como Floresta Estacional Semi-decidual. Esse tipo de vegetação está associado ao tipo de sazonalidade da área, sendo o inverno como período seco bem definido e o verão como um período mais úmido por ser uma estação chuvosa. Esse tipo de vegetação se apresenta, próximo à área de estudo, em fragmentos distribuídos tanto nas áreas de floresta ombrófila quanto de formações semidecídua, rente aos pastos e às poucas áreas com agricultura (DEVIDE, 2013; INEA, 2015). Os processos de ocupação desde o ciclo econômico do Café e posteriormente da criação de gado bovino foram responsáveis pela devastação de grande parte das formações de Mata Atlântica da região planáltica associada ao Vale do Rio Paraíba do Sul (DEAN, 1996). A paisagem resultante registra atualmente fragmentos de formações florestais secundárias em regeneração entremeados em uma matriz de pastagens de baixa utilização.

Segundo o estudo realizado pelo ITPA (2011), para criação de Unidades de Conservação na Bacia do Rio Pirai, seu alto curso possui 65% de cobertura por Florestas Ombrófilas, chegando a 76% de recobrimento florestal quando somadas as áreas de matas secundárias. Além disso, é considerado que cerca de 20% da cobertura seja representada por gramíneas (pastagens), possuindo maior proporção de áreas com agricultura (4%), em comparação a áreas do entorno.

A paisagem do entorno da área de estudo não escapa a esse processo histórico, marcada, portanto, por pastos cobertos por gramíneas e alguns fragmentos florestais isolados, principalmente, nos topos dos morros e colinas. Para Loureiro (2019), tais fragmentos podem ser, ainda, formações secundárias, originadas pelo abandono de áreas de pasto ou cultivos agrícolas que conseguiram dar sequência a sucessão ecológica, assim, se desenvolvendo.

Historicamente, a pecuária na região é o resultado da introdução da produção leiteira, em substituição ao café, após o estabelecimento da crise econômica na região em detrimento ao empobrecimento e a perda de prestígio da elite rural escravista-cafeeira por

conta da abolição da escravatura (DEVIDE, 2013; JUNQUEIRA *et al.*, 2017; SOUZA, 2021).

Agora com a pecuária consolidada, Rio Claro conta com uma economia baseada no gado de corte, fato que reflete nas paisagens do município, marcadas pela presença de pastagens. O Cadastro Ambiental Rural (CAR), atual instrumento de gestão do governo, identificou cerca de 611 imóveis rurais distribuídos em aproximadamente 100.050,30 hectares em Rio Claro (SICAR, 2021).

Ainda assim, há o turismo como uma atividade emergente na região, que tem se apresentado como um setor de grande potencial, devido à crescente procura de paisagens associadas a atrativos naturais, localizados no município. Os atrativos naturais mais frequentados, por exemplo, são as quedas d'água do rio Claro, com quase 130 metros em três saltos; cachoeira do rio Pirai, com corredeiras; e cachoeiras de Laje e da Cascata (ITPA, 2011). A proximidade com o Parque Estadual do Cunhambebe (INEA,2015) é outro fator de atração para o município.

5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa tem como ponto principal o diagnóstico ambiental de uma área degradada, a partir da análise da sua dinâmica erosiva, como subsídio ao processo de restauração. Desse modo, as análises recaem sob a caracterização da geomorfologia de encosta, onde se situa a voçoroca e das propriedades do solo dessa feição erosiva. É importante destacar que tais análises foram apoiadas em trabalhos de campo, obtenção e processamento digital de imagens aéreas, além das atividades de laboratório, para o processamento das amostras coletadas.

De modo a alcançar os objetivos propostos, os procedimentos adotados estão embasados em metodologias da literatura nacional e internacional. No entanto, algumas adaptações foram necessárias, devido às limitações de disponibilidade de dados e recursos. Dessa forma, os procedimentos metodológicos foram divididos em três escalas de análise: a primeira associada ao contexto da paisagem geomorfológica do município de Rio Claro e Alto Curso da Bacia do rio Pirai, a segunda intermediária associada ao sistema de encostas da sub-bacia, onde a feição erosiva está localizada e o último nível de escala voltado aos processos no interior da voçoroca e às propriedades físico-químicas dos seus solos.

5.1 Levantamento cartográfico e obtenção de imagens digitais

O levantamento cartográfico foi realizado em busca de bases geoespaciais, que contemplassem os mapeamentos geomorfológicos, geológicos e pedológicos da área. Para isso, as fontes desses dados foram os órgãos de pesquisa da CPRM – Serviço Geológico do Brasil e da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), respectivamente. Além disso, foram utilizadas as bases cartográficas vetoriais, de escala 1:50.000, do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), que também constituem tais mapeamentos temáticos da área de estudo.

Para a elaboração dos mapeamentos, no *software* ArcGis PRO, foi utilizado o mapa geomorfológico (escala 1:25.000) de Dantas (2023), produzido pela CPRM. Já na obtenção da imagem digital aérea, foi utilizado o VANT, seguindo os padrões

determinados na circular técnica da EMBRAPA (2018). Para que as imagens fossem obtidas, foi realizado trabalho de campo com voo pré-programado através do *software* “*Drone Deploy*”.

5.2 Escala de Bacia

5.2.1. Análise do mapeamento geomorfológico da Bacia do Córrego Canoas, afluente do Rio Pirai - Município de Rio Claro

A análise do contexto geomorfológico em que se insere a feição erosiva estudada é de fundamental importância para o entendimento de sua gênese e interações na dinâmica evolutiva da bacia de drenagem. A bacia de drenagem funciona como um grande sistema integrado de fluxos de matéria e energia que se integram em processos que se interferem e se autorregulam (DUNNE, 1980, FREITAS, 2007, BOTELHO, 2011, COELHO NETTO, 2019).

Para a análise geomorfológica do contexto da área de estudo, foi utilizado o Mapa de padrões de relevo do município de Rio Claro-RJ (escala - 1:25.000), realizado pela CPRM (DANTAS *et al*, 2023). A paisagem foi descrita em seus padrões de relevo, acompanhando as feições contidas na bacia e situando a Voçoroca do Minério no seu contexto evolutivo.

Para Dantas (2016):

“A compartimentação morfológica dos terrenos é obtida a partir da avaliação empírica dos diversos conjuntos de formas e padrões de relevo posicionados em diferentes níveis topográficos, por meio de observações de campo e análise de sensores remotos (fotografias aéreas, imagens de satélite e Modelo Digital de Elevação - MDE). Essa avaliação é diretamente aplicada aos estudos de ordenamento do uso do solo e planejamento territorial, constituindo-se em uma primeira e fundamental contribuição da geomorfologia”. (DANTAS, 2016)

Associando aos demais parâmetros geológicos e climatológicos, o entendimento das feições geomorfológicas responde às diferentes resistências ao trabalho intempérico e erosivo das unidades geológicas e suas estruturas. Da mesma forma, estas diferenças de resistência, como dito na revisão bibliográfica, influenciam na ocorrência dos níveis de

base locais, que, por sua vez, regulam a topografia das encostas de acordo com a expansão da rede de drenagem (FREITAS, 2007, FREITAS *et al*, 2022).

Neste sentido, foram descritos os padrões de relevo locais, com foco na sub-bacia onde ocorre a Voçoroca do Minério, passando para a escala local, onde foram avaliados parâmetros como as geometrias das encostas circundantes, declividade, perfis topográficos e conectividade da voçoroca com a rede local de canais.

5.3 Escala da Encosta

5.3.1 Concentração de Fluxos/Concavidades

Baccaro (1999) afirma que em “estudos geomorfológicos, sobretudo os que abordam a morfodinâmica das vertentes é fundamental, num primeiro nível de abordagem, a espacialização dos processos erosivos integrados às unidades geomorfológicas; há necessidade de se integrar e cruzar dados e conhecimentos sobre a litologia, a morfologia, o nível de dissecação e as formações superficiais”. Nesse sentido, entender a dinâmica da vertente e sua relação com processos associados à erosão, é essencial para a análise de determinadas feições desenvolvidas em encostas.

Como foi abordado anteriormente, as vertentes com perfis côncavos favorecem à convergência dos fluxos d’água (CHEROBIN, 2012; COELHO NETTO, 2019). Tais fluxos, quando atuam de forma contínua em um determinado ponto, podem formar feições incisivas, como a voçoroca, no relevo de uma de uma encosta. Para Castro (2005), as voçorocas estão localizadas principalmente nas cabeceiras de drenagem côncavas, ou nas proximidades dos canais de drenagem, também em setores côncavos das vertentes. Assim, compreender o comportamento hídrico da concavidade, bem como, a convergência de fluxos atuantes na encosta onde se encontra a feição erosiva em questão, tem como papel mostrar a dinâmica dos processos que levam, e/ou levaram, à condição atual da área.

As concavidades puderam ser identificadas e, conseqüentemente, mapeadas a partir da observação das curvas de nível recuadas em forma de anfiteatro, presentes na encosta. Ao analisarmos as concavidades da encosta, podemos observar as condições de

entorno para a formação da voçoroca e a contínua ação de determinados processos erosivos na encosta.

5.3.2 Declividade

A determinação da inclinação da encosta, de acordo com seu grau de declividade, fornece informações sobre o quanto a área está suscetível a processos erosivos, sendo neste caso, contínuos. Diante disso, a partir de dados hipsométricos podemos obter a topografia da área e, assim, extrair as informações sobre a declividade presente.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi utilizado para determinação das classes de declividade, obtidos a partir da missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). Posteriormente, para que se obtivesse maior compreensão da área analisada, o MDE foi reclassificado em novas classes altimétricas. Assim, sendo possível, gerar o mapa de declividade, a partir dessa reclassificação e das imagens SRTM (MARQUES *et al.*, 2019).

A declividade foi determinada através do mapeamento das curvas de nível da área, retiradas da carta topográfica de 1:50.000 do IBGE, além da realização de modelos digitais de elevação. Tais modelos permitem identificar dados morfométricos da área, através da representação tridimensional do relevo, fornecendo informações hipsométricas da área. Diante disso, podemos obter um produto final que tem como objetivo fornecer informações para uma compreensão mais integrada da dinâmica da encosta estudada, bem como, as condições do funcionamento dos processos erosivos atuantes, como o escoamento de fluxos de água.

5.3.3 Perfis topográficos das encostas

A fim de entender melhor a morfologia das encostas no entorno da Voçoroca do Minério, com foco em sua dinâmica hidrológica e erosiva, a técnica de perfis altimétricos foi utilizada. A fim de capturar a geometria das encostas concentradoras e dispersoras de fluxo, os perfis foram traçados em linhas paralelas de montante para jusante nas encostas circundantes, bem como em duas linhas laterais, ortogonais às anteriores. Nesse sentido,

pode-se analisar a influência das geometrias côncavas na concentração de fluxos em superfície e subsuperfície.

Para a realização desse mapeamento, foi utilizado o *software* Google Earth Pro. Através da imagem de satélite com a camada de elevação do terreno, foram traçadas linhas verticais e horizontais que forneceram gráficos, usados para a geração dos perfis topográficos.

5.3.4. Sequência de Evolução da Voçoroca

A sequência de imagens de satélite teve por objetivo apresentar a evolução, da Voçoroca do Minério, no contexto da encosta em que ela se encontra. Dessa forma, as representações cartográficas foram retiradas e geradas no *software* Google Earth Pro, com intervalos anuais. Esses intervalos foram determinados de acordo com o avanço das mudanças notadas no interior da feição erosiva e no seu entorno.

5.4 Escala da Voçoroca

5.4.1 Zoneamento

Entende-se por “zoneamento”, uma diversidade grande de significados e usos por diversas áreas do saber. De fato, todas voltadas para o planejamento espacial, com destaque para o planejamento urbano com a conhecida “Lei de Zoneamento, a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS), que, segundo a Prefeitura de São Paulo, por exemplo, “normatiza a ação pública e privada sobre as formas de uso do solo da cidade e traz avanços significativos para que todo o processo de desenvolvimento urbano ocorra de acordo com os parâmetros do Plano Diretor (PDE) – Lei nº 16.050/14” (Prefeitura de São Paulo, 2023). Na área de conhecimento das Geociências, é comum o uso do Zoneamento Geoambiental, onde a classificação e a identificação das diferentes áreas ou zonas em um determinado local, se faz com base nas características geomorfológicas, geológicas, climáticas e uso do solo. Isso é feito para compreender melhor a dinâmica da paisagem, avaliar riscos e oportunidades de uso da terra e, assim,

tomar decisões aplicáveis no planejamento e gestão espacial. Ohara *et al.* (2003) afirmam que:

“O Zoneamento Geoambiental trata-se de um método onde cada zona e/ou subzona, com determinadas características, são utilizadas de maneira a identificar e analisar suas potencialidades. Nesse sentido, a principal finalidade do zoneamento geoambiental é a obtenção de mapas de zonas e/ou subzonas geoambientais, que devem apresentar as informações da paisagem para a definição e priorização das aplicações para o planejamento ambiental” (OHARA *et al.*, 2003).

No caso específico dessa pesquisa, o zoneamento de uma encosta com uma voçoroca é essencial para avaliar os riscos, determinar as áreas adequadas para desenvolvimento e implementação de medidas de conservação do solo. A implementação de medidas de estabilização e restauração planejada nessas áreas é essencial para mitigar os efeitos da erosão e preservar a paisagem.

É importante ressaltar que o zoneamento de encostas varia de acordo com as características específicas de cada área, e os critérios usados podem ser adaptados às necessidades locais. Esse zoneamento é fundamental para o planejamento urbano, o manejo de recursos naturais, a prevenção de desastres naturais e a conservação ambiental em encostas. Além disso, ao realizar um zoneamento, se faz necessário considerar as leis e regulamentos locais relacionados ao uso da terra e à gestão de encostas (SILVA e SANTOS, 2004).

A elaboração do zoneamento, dessa pesquisa, parte do entendimento sobre a condição do solo, no interior da voçoroca, considerando a importância da análise do gradiente espacial para avaliação de áreas prioritárias para uma futura recuperação da feição erosiva.

Este zoneamento consistiu em identificar e delimitar situações ambientais com diferentes características, como os estados de degradação, a vegetação remanescente e o solo. Assim, a partir de trabalhos de campo, somados a análises em imagens aéreas georreferenciadas, obtidas pelo VANT, a voçoroca foi dividida em setores, ou zonas, de acordo com sua localização – parte alta, intermediária e baixa – assim como, pela condição aparente (visual) do solo, com cobertura vegetal, ou sem, e mobilizado e úmido. Assim, os setores identificados foram: solo exposto; solo movido e solo semiestruturado, com cobertura vegetal.

O Zoneamento foi elaborado sobre as imagens do VANT de anos seguidos: abril 2021 e abril 2023, a fim de capturar sua evolução. As imagens foram tratadas no Software *ArcGis* PRO. A partir desses mapeamentos, foram retirados os valores de área nos dois tempos distintos, a fim de caracterizar a evolução da feição erosiva, bem como da dinâmica de transformações no interior da Voçoroca do Minério.

Por fim foi elaborado um gráfico com auxílio do *software ArcGis* PRO, para medição das áreas e do Software Excel, para cálculo dos percentuais nos dois anos do zoneamento: 2021 e 2023, representando o processo dinâmico de transformações das zonas no interior da feição erosiva.

5.4.2 Perfis topográficos no interior da voçoroca

Da mesma forma que os perfis de encosta, foram elaborados três perfis topográficos no interior da feição erosiva, sendo dois laterais e um longitudinal. Os perfis demonstram a geometria das formas no interior da voçoroca, chamando atenção para o desenho de canais erosivos, assim como do ajuste das encostas e do material erodido no interior da feição. Os perfis foram elaborados também no Software *ArcGis* PRO, baseados no modelo digital de terreno, organizados em gráficos que respeitam as escalas horizontais e verticais, a fim de criar termo de comparação. Nesse caso, elaborou-se um total de quatro perfis laterais (parte superior 2021, parte inferior 2021, parte superior 2023 e parte inferior 2023) e dois perfis longitudinais, 2021 e 2023.

5.4.3 Análises do Solo

5.4.3.1 Seleção dos pontos e coleta de amostras do solo

Para as análises das propriedades físicas e químicas foram coletadas amostras indeformadas, em sete pontos no interior da voçoroca (Figura 5).

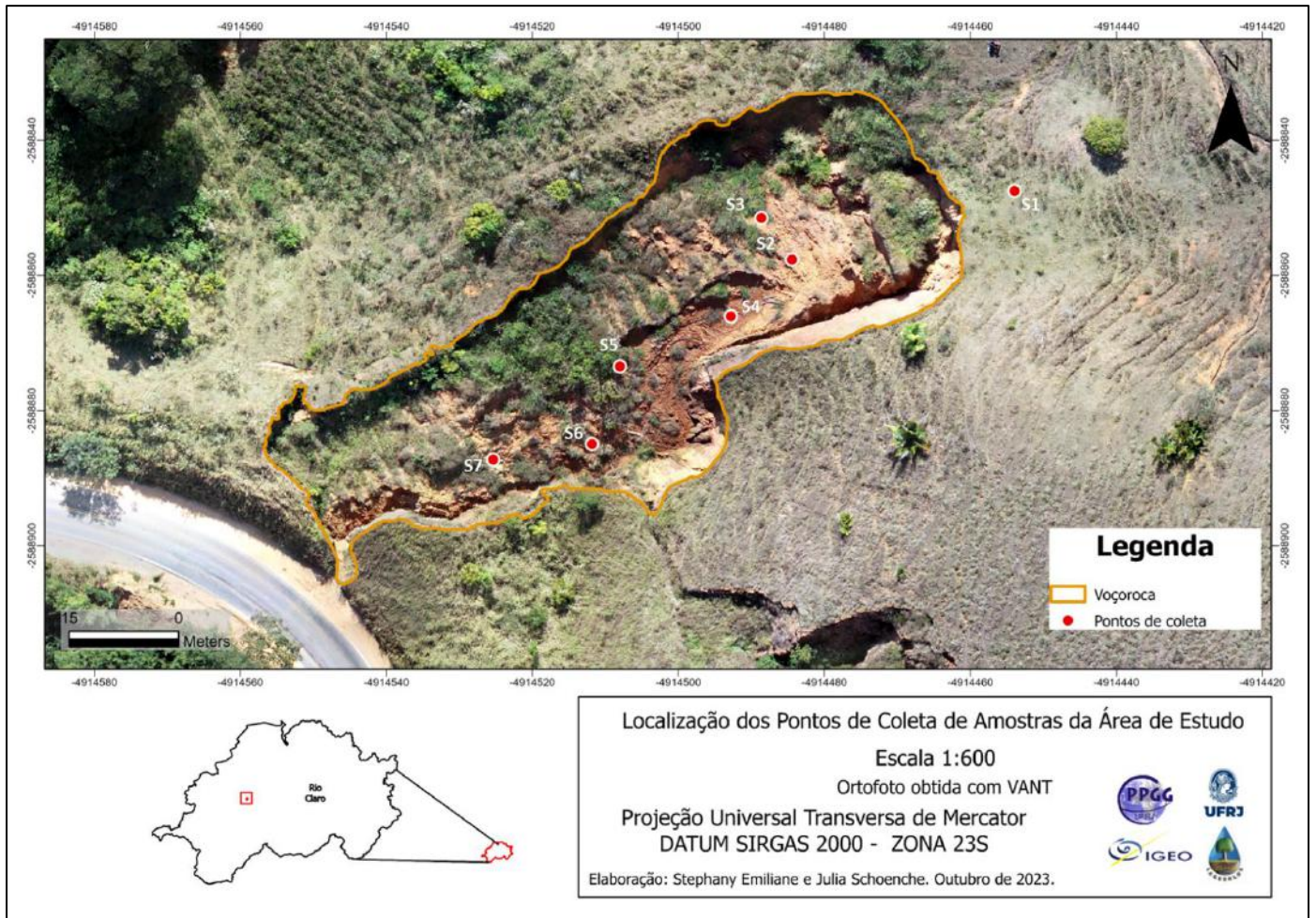


Figura 5: Localização dos Pontos de Coleta das Amostras.

Tais pontos foram definidos de acordo com a condição do solo em diferentes “zonas” identificadas e, conseqüentemente, classificadas na feição erosiva. Assim para cada amostra foram realizadas análises da granulometria, densidade do solo e de partículas, porosidade total, pH e teor de matéria orgânica. As coletas ocorreram no mês de julho de 2021 e 2022, de acordo com as condições do solo. Os registros das

informações de campo foram anotados em uma caderneta e planilhados em *software* Excel, além de fotografias (aéreas e não). Os pontos de coleta foram georreferenciados por GPS *Garmin* e descritos brevemente em suas condições de superfície, conforme observados na Tabela 1.

Tabela 1: Pontos de coletas das amostras.

Ponto de Coleta	Localização		Condição do Solo 2021	Condição do Solo 2022
	Latitude	Longitude		
S1	587530	7480627	Solo sob pastagem	-
S2	587502	7480618	Solo exposto	Solo exposto
S3	587498	7480630	Solo semiestruturado com cobertura vegetal	Solo movido
S4	587496	7480608	Solo movido	Solo movido
S5	587480	7480603	Solo semiestruturado com cobertura vegetal	Solo semiestruturado com cobertura vegetal
S6	587476	7489593	Solo exposto	Solo movido
S7	587466	7480587	Solo movido	Solo exposto

Ao todo foram coletadas 21 amostras indeformadas no interior da voçoroca. Todas amostras foram coletadas utilizando o coletor volumétrico, com o anel de Kopecky (100 cm³), em profundidade de 0-10cm do solo (Figura 6).



Figura 6: Coleta de amostras indeformadas com amostrador volumétrico (de 100 cm³) em Rio Claro-RJ. (Silva, 2021).

5.4.2.2 Análises de laboratório

Nesta etapa foram realizadas as análises físicas e químicas das amostras coletadas. Assim, para as propriedades físicas foram processadas análises de granulometria para definir a textura do solo, densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total do solo. Já as análises químicas foram obtidas através da medição do pH e dos teores da matéria orgânica do solo. Todas as análises citadas seguiram os procedimentos segundo o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2011).

5.4.2.2.1 Granulometria

Primeiramente cada amostra de solo, após secas ao ar, foi destorroada de forma que sejam desfeitos os torrões e quebrados o máximo possível os seus agregados, evitando a quebra de minerais. Em seguida, para cada amostra de solo, são pesadas 20g colocadas em recipientes distintos. Após 24 horas de repouso em 10ml de Calgon (*hexametáfosfato de sódio*) e 100ml de água destilada, cada amostra cada amostra foi posta em um agitador elétrico por cerca de 15 minutos e, em seguida lavada manualmente, utilizando peneira de malha 0,053mm (n° 270 ou 53mic), para a separação entre a fração areia e as frações silte e argila. O conteúdo das frações de areia foi colocado em béqueres e levados para secar na estufa, enquanto que dos das frações silte e argila foram armazenados, com água destilada, em proveta de 1.000 ml para a realização do método da pipeta (Figura 7), de acordo com o Manual da Embrapa (2011).

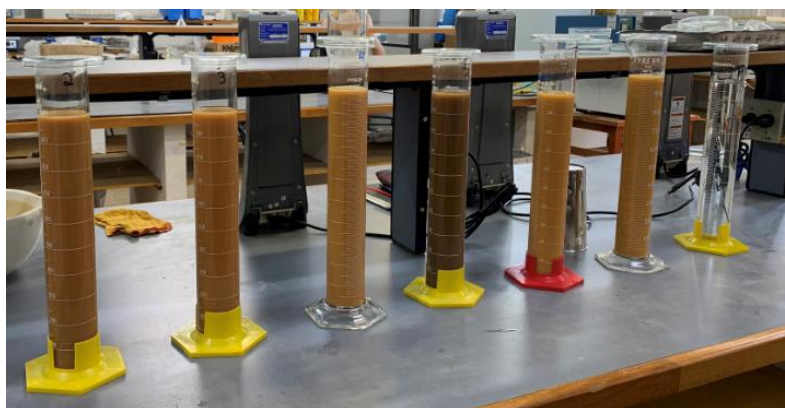


Figura 7: Análise granulométrica pelo método da pipeta. Na imagem, a etapa de decantação de silte e argila nas provetas de 1.000 ml (Silva, 2021).

As frações de areia seca foram primeiramente pesadas para extração do valor de areia total, em seguida, utilizando a peneira de malha 0,20 mm (n°70 ou 212mic), a fração areia grossa foi separada da fração areia fina. Logo após, cada fração de areia foi pesada separadamente.

Conforme a distribuição de cada fração granulométrica do solo foi determinada (argila, silte e areia), a classe textural da amostra pode ser obtida, visualmente, por meio do triângulo textural ou de calculadoras de triângulo textural disponíveis online, como a do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA): https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167

5.4.2.2.2 Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade

A determinação da densidade do solo utiliza a amostra volumétrica coletada, considerando o volume do anel coletor para o cálculo final da análise. As amostras foram colocadas em latas de alumínio, de peso conhecido e levadas à estufa por 24 horas, a uma temperatura de 105°C. O cálculo foi feito através da divisão entre o peso das amostras secas, em estufa, e o volume do anel do coletor (100 cm³), dispondo assim, em g/cm³, a densidade do solo.

Para análise da densidade de partículas utiliza-se 20g de solo em balão volumétrico e álcool etílico puro. Pesados os 20g de solo em latas de alumínio, estes foram levados à estufa, por cerca de 6 horas, a 105°C. Após a estufa, as amostras foram novamente pesadas e transferidas para seus respectivos balões volumétricos de 50ml. Aos poucos foi adicionado o álcool etílico, por meio de uma bureta, até chegar ao volume de aferição do balão. Assim, ao preencher 50 ml de álcool no balão volumétrico, foi anotado o valor de álcool usado, por meio da leitura da bureta. Por fim, o peso da amostra seca foi dividido pelo valor do álcool utilizado para preencher 50ml do balão, obtendo-se assim o valor da densidade de partículas em g/cm³.

A porosidade total é obtida através dos valores da densidade do solo e da densidade de partículas referindo-se, respectivamente, à microporosidade e à macroporosidade somadas. Sendo assim a porosidade, em porcentagem, é obtida pela fórmula: **Porosidade Total (%) = 100 (a-b)/a**; onde a é a densidade de partículas (ou real) e b é a densidade do solo.

5.4.2.2.3 pH

Para realizar a medição do pH do solo foi utilizado o medidor digital portátil de pH. Com base no manual de instruções, o medidor de pH é calibrado com soluções tampão de pH 4,00 e pH 7,00, antes da medição. Com 10g de amostra de solo pesada, acrescentou-se 25ml de água destilada. Em seguida, cada amostra foi agitada com bastão de vidro e deixadas em repouso por 1 hora. Após esse tempo, pôde ser feita a medição do pH do solo de cada amostra (Figura 8).



Figura 8: Medição do pH com o medidor digital portátil (Silva, 2021).

5.4.2.2.4 Teor de matéria orgânica

Para medição da matéria orgânica do solo foi utilizado o método direto que através da queima (ignição) da matéria orgânica, em forno mufla. Conforme Ball (1964), foram pesados 10g de solo em cadinhos de porcelana, estes foram levados à estufa a 105°C por 24 horas. Em seguidas, essas amostras foram pesadas novamente e levadas ao forno mufla com temperatura 375°C por 16 horas (Figura 9). Após retirar os cadinhos do forno, estes foram pesados novamente. Dessa forma, a partir do valor pós-forno mufla e do peso inicial da amostra pôde ser calculado o teor de matéria orgânica (%).



Figura 9: Forno mufla a 375°C e cadinhos de porcelana com amostra de solo (Silva, 2021).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Subdividido em quatro seções, a apresentação dos resultados acompanha os níveis de escala da análise: (6.1) o contexto geomorfológico da Voçoroca do Minério na Bacia de Drenagem do Córrego Canoas, afluente do Rio Pirai; (6.2) a situação de encosta em que se encontra a Voçoroca do Minério; (6.3) as características, o zoneamento e a dinâmica erosiva da feição e (6.4) as análises de propriedades físico-químicas do solo para o diagnóstico da erodibilidade. As discussões recaem sobre a evolução da feição erosiva e as características do solo, sob condições erosivas dinâmicas, criando subsídios para futuras propostas de reabilitação da voçoroca.

6.1 Contexto geomorfológico da Voçoroca do Minério na Bacia do Córrego Canoas.

A análise da situação geomorfológica em que se encontra a área de estudo, tem como intenção trazer à discussão o resultado da evolução geomorfológica regional como reflexo das interações entre a geologia da área e sua dinâmica climatológica ao longo do tempo. A geomorfologia é resultante dessa interação endógena e exógena, somada a todo o processo de evolução da rede de drenagem em seu pulso erosivo, ao longo da rede de canais. Para Freitas *et al.* (2022), a rede hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e seus afluentes são provenientes da evolução remontante da rede de drenagem, com capturas de diversos sistemas hidrográficos pretéritos, a partir do rebaixamento sucessivo de níveis de base. Para a área de estudo, a publicação da Carta de Padrões de Relevo: Município de Rio Claro, elaborada por Dantas *et al.* (2023) aponta o resultado dessa longa evolução geomorfológica até os dias de hoje, descrevendo, como o nome diz, os padrões de relevo atuais. Utilizando a biblioteca de Padrões de Relevo do Serviço Geológico da CPRM (2016), o relevo apresenta para o Município de Rio Claro, conforme o Mapa da Figura 10, as seguintes classes:

- Escarpas de borda de planalto;
- Domínio Serrano
- Cristas Isoladas e serras baixas
- Morros Altos
- Morrotes
- Morros baixos
- Colinas
- Rampas de Colúvio/Depósito de Tálus
- Rampas de alúvio-colúvio
- Planícies de inundação (várzeas)

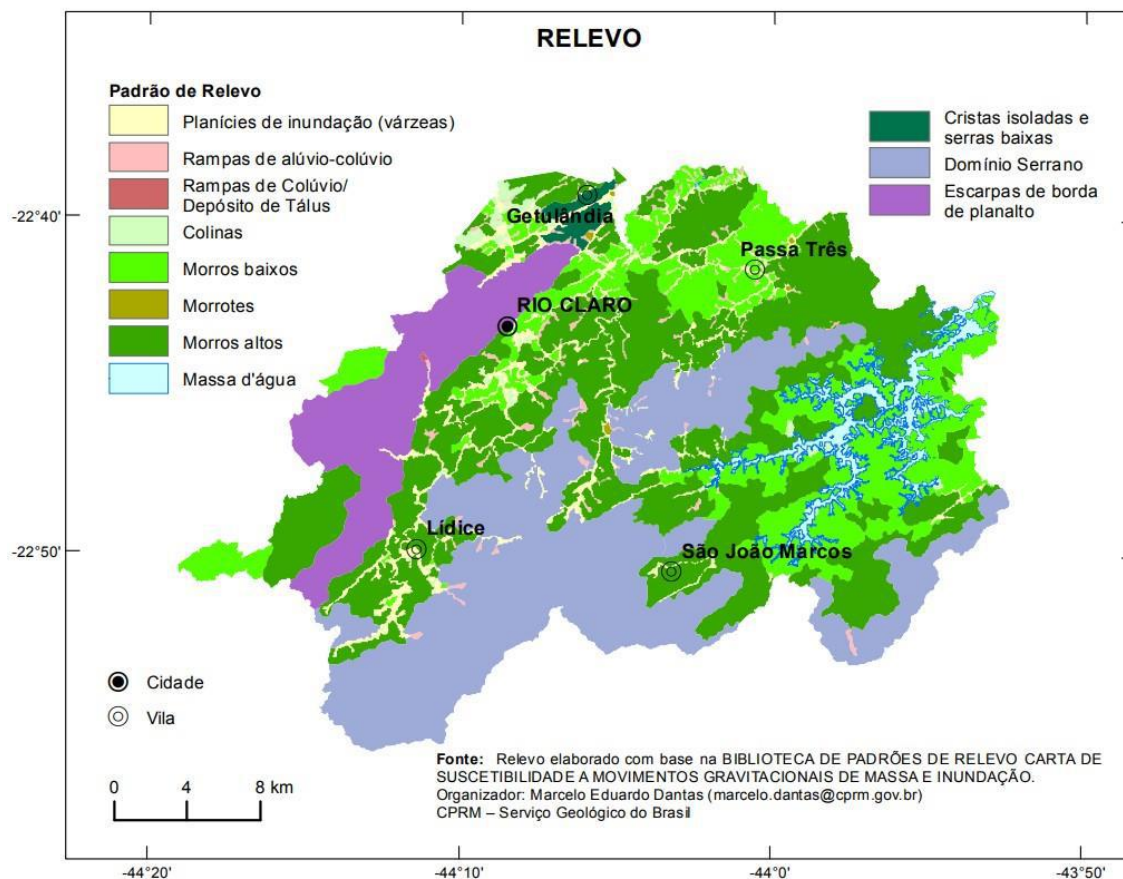
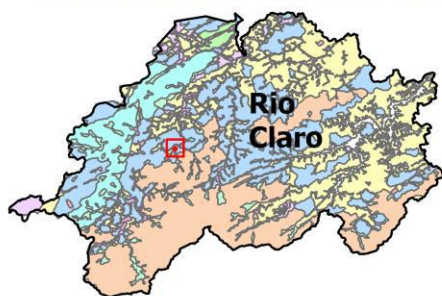
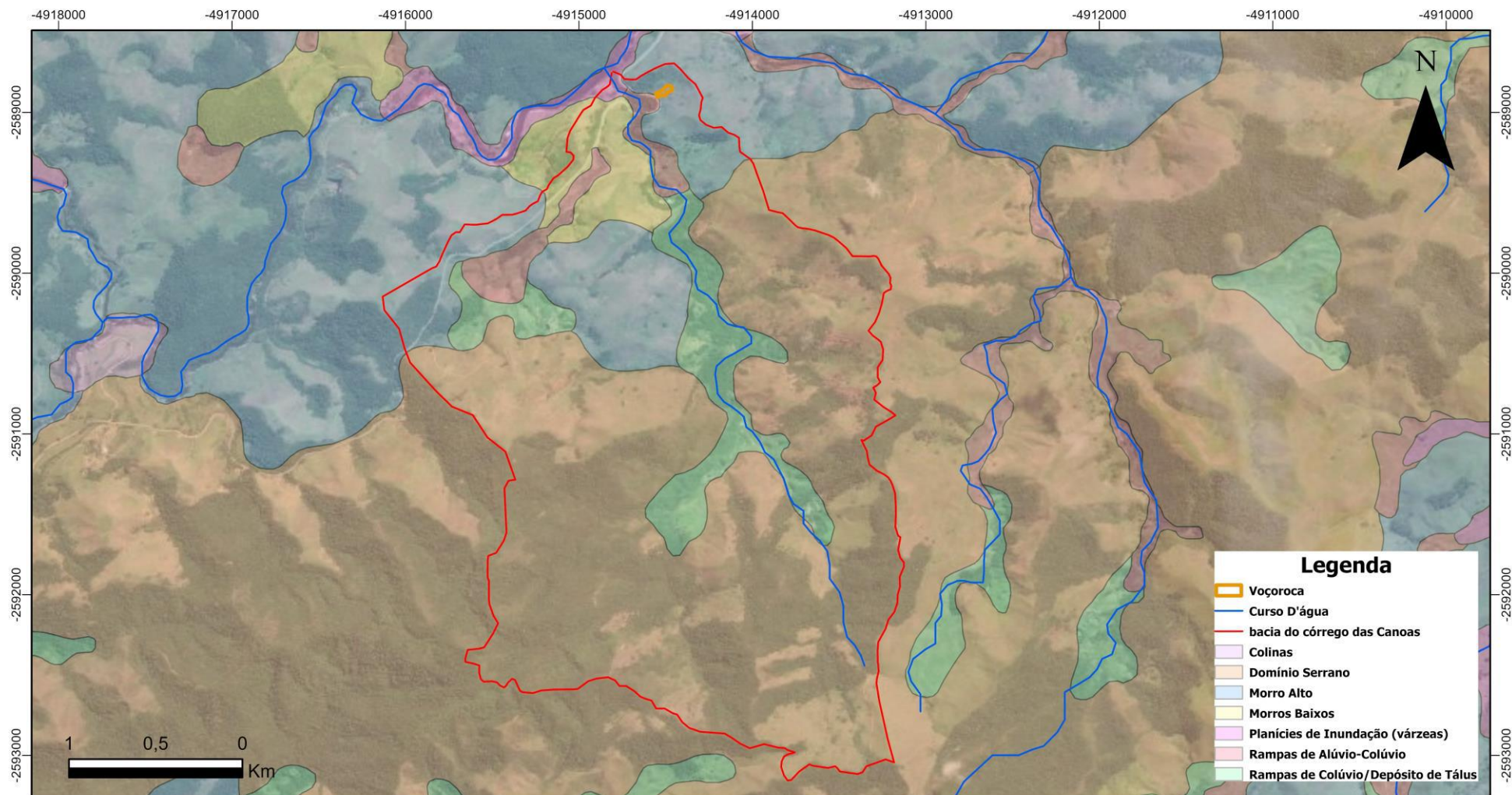


Figura 10: Carta de Padrões de Relevo: Município de Rio Claro (DANTAS *et al.*, 2023).

O Rio Piraí é o principal afluente do Rio Paraíba do Sul, que corta o município de Rio Claro, no entanto, a Voçoroca do Minério situa-se em uma bacia afluente do Rio Piraí, cujo canal principal é o Córrego das Canoas. Esse córrego configura-se como uma bacia de terceira ordem, com uma área de 7,16 km². Sua foz ocorre no médio curso do Rio Piraí entre as cidades de Lídice e Rio Claro e em seu curso percorre do domínio de Morros altos para Morros baixos, contendo algumas planícies de inundação ao longo do eixo do seu canal principal. O Mapa da Figura 11 foi elaborado a partir do recorte do mapa de domínios anterior, a fim de perceber a geomorfologia dentro do limite da Bacia do Córrego das Canoas. Os padrões de relevo encontrados dentro da Bacia do Córrego das Canoas são cinco:

- Domínio Serrano (Planalto Reverso da Serra de Mangaratiba) – amplitude > 300m
- Morros Altos – amplitude 80m a 250m
- Morros baixos – amplitude 50m a 120m
- Rampas de Colúvio/Depósito de Tálus – amplitude variável
- Rampas de alúvio-colúvio – amplitude variável
- Planícies de inundação (várzeas) – amplitude 0m



Compartimento Geomorfológico da Área de Estudo

Escala 1:30.000

Imagery Basemap-Arcgis Pro

Projeção Universal Transversa de Mercator

DATUM SIRGAS 2000 - ZONA 23S

Base Cartográfica: CPRM

Elaboração: Stephany Emiliane e Julia Schoenche. Outubro de 2023.



Figura 11: Carta de Padrões de Relevo da Bacia do Córrego das Canoas, Rio Claro, RJ (Adaptado de DANTAS *et al*, 2023)

A bacia do Córrego Canoas apresenta-se drenando uma elevação topográfica no interior da Bacia do Alto Curso do Rio Piraí. Os alinhamentos serranos a sul e a norte da Bacia, respectivamente o “Domínio Serrano” e o domínio das “Escarpas de Borda de Planalto” no mapa da Figura 10, estão associados às maiores elevações no Município e que vão caindo gradativamente para o eixo do Rio Piraí, passando de Morros Altos até os Morros Baixos e à própria “Várzea” do Rio. Este gradiente responde a própria evolução do Rio Piraí em seu processo de incisão e alargamento do seu vale. Já a bacia do Córrego Canoas, por sua vez, drena de elevações do Domínio Serrano, para os Morros Altos, em seqüência para os Morros Baixos, intercalados por Rampas de Colúvio, até atingirem a Planície do Rio Piraí. E, especificamente a Voçoroca do Minério se situa em uma encosta côncava, muito próxima à foz do Córrego das Canoas no Rio Piraí em um domínio de Rampa de Alúvio e Colúvio, entre Morro Alto e Morro Baixo, segundo as unidades descritas na Figura 11 (DANTAS *et al.*, 2023).

A articulação de escalas, discorrida acima, demonstra a própria evolução geomorfológica regional onde a voçoroca está integrada. Ou seja, a erosão no processo de alargamento do Vale do Rio Piraí e seus afluentes vem dissecando as porções mais altas do relevo “Domínios Serranos e Escarpas de Borda de Planalto”. Estes são transformados gradualmente em “Morros Elevados”, “Morrotes” e “Morros Baixos”, enquanto Rampas Colúvias e Planícies de Inundação são os locais de deposição dos sedimentos erodidos. É importante destacar também que, em determinados momentos dessa evolução, os pulsos erosivos podem formar voçorocas, como processo de expansão da rede de drenagem.

No caso da Voçoroca do Minério, a sua proximidade com a foz do Córrego Canoas no Rio Piraí, faz com que a incisão fluvial ocorrida no Rio Piraí avance rapidamente à montante para o seu afluente o Córrego das Canoas. Esse processo provocou um rebaixamento do nível de base local, desencadeando o pulso erosivo remontante, como descrito por Freitas (2007) e Freitas *et al.*, (2022). Esse ajuste de nível de base local influencia os processos de erosão nas encostas, uma vez que expõe faces de exfiltração (*seepage*), conforme descrito por Coelho Netto (2019) e Avelar e Coelho Netto (1992). Para estes autores, a feição erosiva incisa inicia-se após a exposição de uma face de exfiltração dos fluxos subsuperficiais da encosta, resultando em um túnel erosivo que colapsa e abre a voçoroca. A feição com solo exposto passa a sofrer processos erosivos superficiais e instabilizar as paredes laterais que sofrem movimentos de massa. Somadas

a isso, as ações antrópicas provocadas pela abertura de estradas com cortes na encosta, também expõem faces de exfiltração, sendo muito comum a abertura de voçorocas, a partir de “barrancos” de estrada. A intensificação da erosão na encosta, causada pelo escoamento concentrado e erosivo da água, pode levar ao desenvolvimento ou agravamento das voçorocas.

6.2 Análise das encostas circundantes

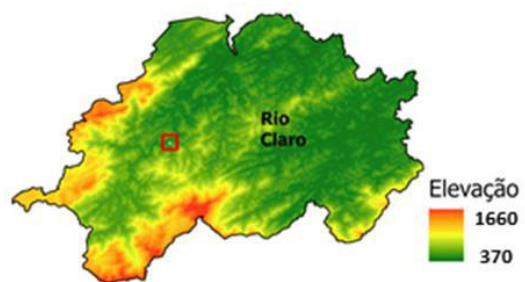
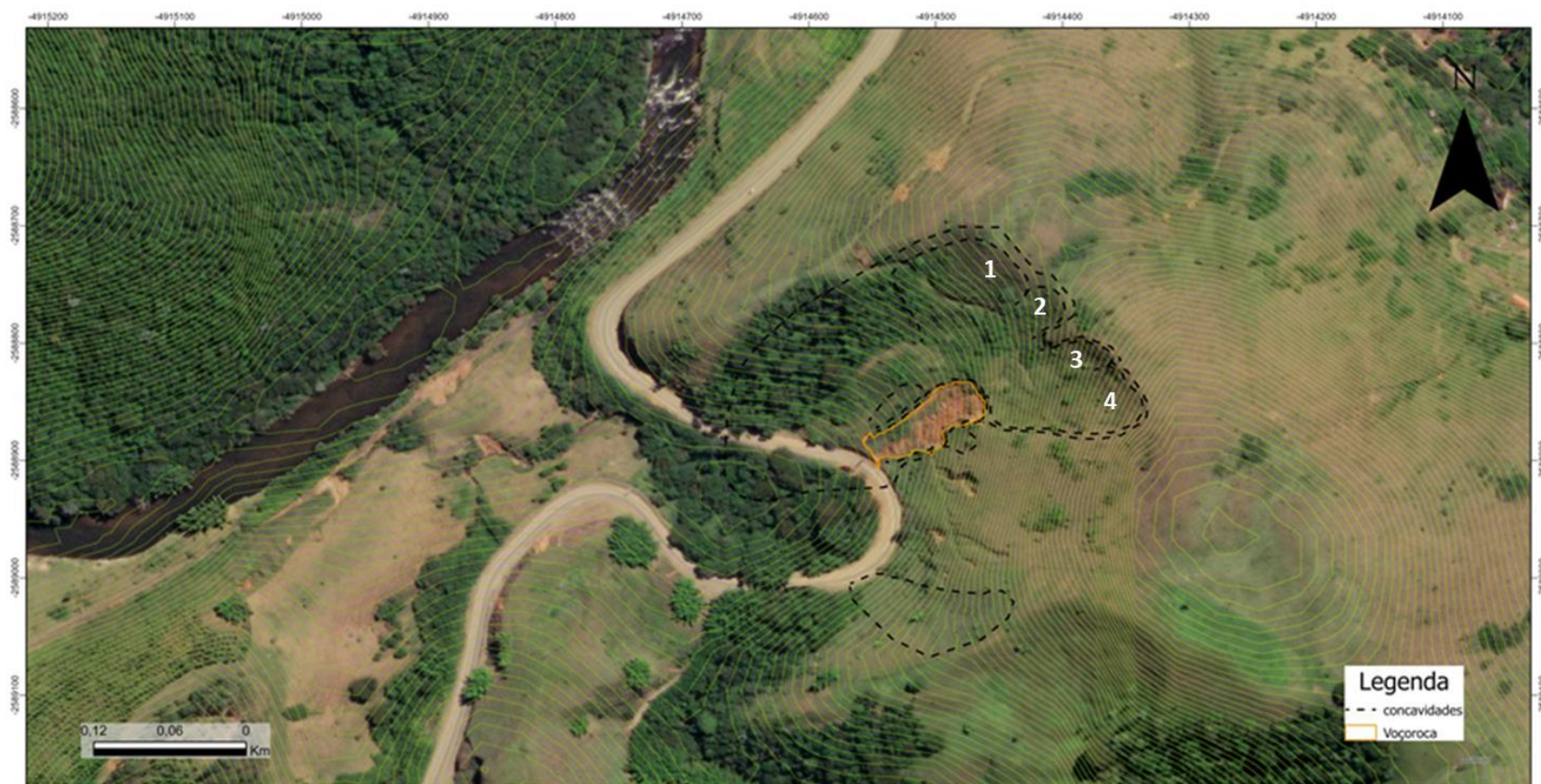
A análise na escala das encostas circundantes se faz importante para entender a influência de suas geometrias sobre a causalidade e dinâmica de evolução da feição erosiva. No contexto da pesquisa essa é entendida como uma escala intermediária de análise, uma vez que saímos, no item anterior, de um contexto de paisagem para chegar em uma escala de processos mais adiante. Nesse sentido, a geometria das encostas importa, chamando atenção para as feições côncavas do relevo.

As feições côncavas do relevo são descritas na literatura, como vimos, por diversos autores, como formas concentradoras de fluxos hidrológicos em superfície, subsuperfície e subterrâneos (COELHO NETTO, 2019; AVELAR e COELHO NETTO, 1992). Ao analisarmos essas concavidades no entorno da Voçoroca do Minério podemos observar os possíveis direcionamentos de fluxos hidrológicos das encostas, para a feição erosiva. Foi observado, durante os trabalhos de campo, ao longo dos dois anos de monitoramento, a umidade constante nos setores mais profundos da voçoroca, incluindo o fluxo constante nos canais erosivos, formados em seu interior (Figura 12). Isso evidencia o papel desempenhado pelas concavidades na concentração de fluxos superficiais e subsuperficiais e/ou o papel das estruturas do substrato geológico na condução de fluxos subterrâneos.



Figura 12: Aspectos do canal erosivo no interior da Voçoroca do Minério, com evidência de fluxo contínuo. (Silva, 2022)



Dessa forma, foram mapeadas quatro concavidades conjugadas à Voçoroca do Minério, conforme pode ser visto no Mapa da Figura 13. As duas primeiras, na porção superior da encosta (números 1 e 2 no mapa) e duas menores na porção inferior da encosta (números 3 e 4 no mapa), sendo uma delas tomada pela própria voçoroca (número 4 no mapa). As concavidades 3 e 4 estão topograficamente mais abaixo das duas primeiras, 1 e 2, que se encontram relativamente suspensas. Todas concentram fluxos superficiais e subsuperficiais. Pela configuração dessas geometrias supõe-se que os fluxos subsuperficiais das concavidades 1 e 2 no mapa, drenem para a voçoroca, porém isso não foi objeto dessa investigação (o que exigiria outro monitoramento de águas subsuperficiais).



Concauidades
Escala 1:3.000
 Imagery Basemap- Arcgis Pro

Projeção Universal Transversa de Mercator
 DATUM SIRGAS 2000- ZONA 23S

Elaboração: Stephany Emiliane e Julia Schoenche. Outubro de 2023.






Figura 13: Mapa das geometrias côncavas das encostas no entorno da Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ

A declividade das encostas influencia na energia de transporte dos sedimentos mobilizados pelos fluxos hidrológicos, em seu trabalho erosivo (GUERRA, 2019). O aumento da declividade define o aumento da velocidade dos fluxos hidrológicos e o consequente do poder erosivo dos mesmos. A preocupação com a declividade é inclusive motivo de definição de área de Preservação Permanente na legislação do Código Florestal (LEI N° 12.651, 2012) que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Em seu artigo 4° define como área de proteção de encostas com declividade igual ou superior a 45° (BRASIL, 2012). Neste sentido, cabe avaliar a declividade das encostas circundantes à Voçoroca do Minério. O compartimento da encosta à montante da Voçoroca do Minério, apresenta declividades maiores, comparadas ao compartimento onde ocorre a voçoroca, variando de 25° a 15° de montante para jusante (Figura 14). A Tabela 2 apresenta as medidas de declividade feitas em campo, com a bússola Brunton, no entorno da Voçoroca do Minério, com as respectivas coordenadas e localização no mapa da Figura 14.

Tabela 2: Valores de Declividade no entorno da Voçoroca do Minério (medidas em campo)

Ponto de medição	Localização UTM		Declividade em graus
	Latitude	Longitude	
1- encosta superior	587555	7480650	28
2 - encosta média	587559	7480647	25
3 - cabeceira da Voçoroca	587530	7480620	24
4 - lateral oeste	587461	7480603	18

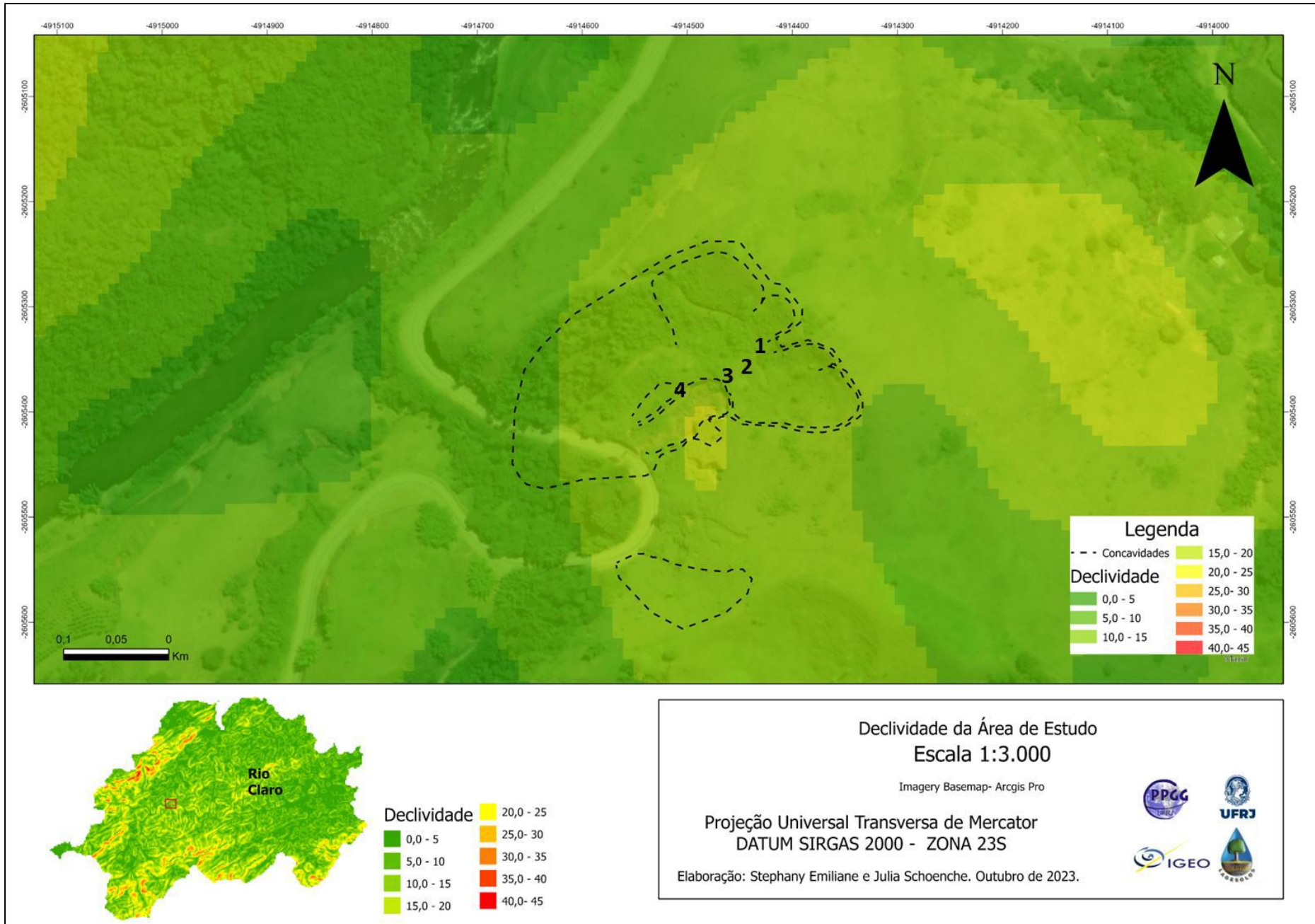


Figura 14: Mapa de Declividade das encostas no entorno da Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ com pontos de medição de declividade em campo.

Complementando as análises da geometria de encostas, foram traçados três perfis topográficos paralelos ao longo da encosta (1, 2 e 3) e outros três perfis, laterais (A, B e C), apresentados em sequência na Figura 15 e Figura 16.

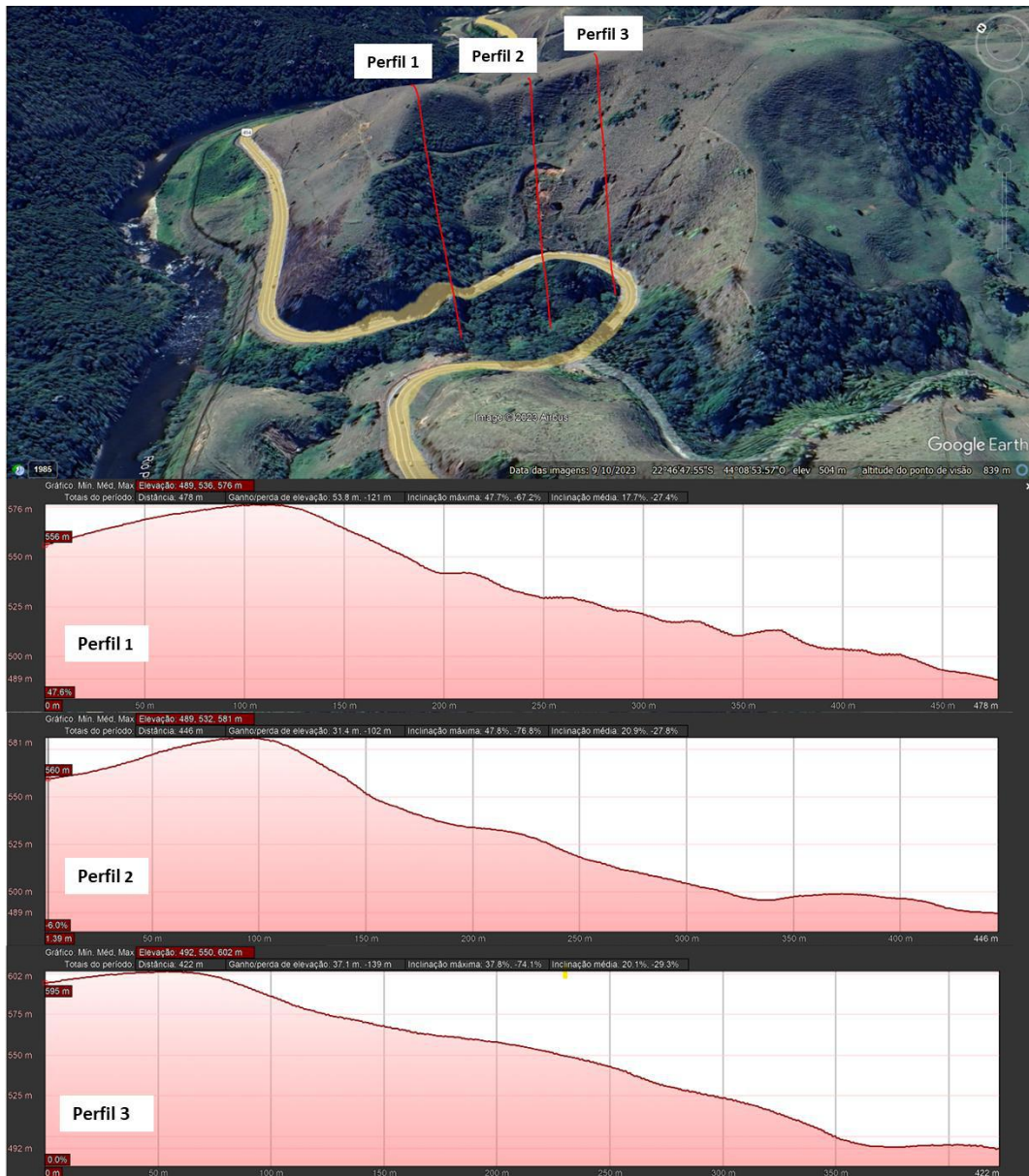


Figura 15: Perfis topográficos longitudinais das encostas no entorno da Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ (Silva, 2023).

O perfil 1 demonstra maior declividade na porção superior da encosta, a princípio convexa, mas tendendo a um perfil côncavo, logo fora do domínio do divisor de drenagem. Na resolução da imagem sobre a qual foi gerado o perfil nota-se uma “ondulação” para jusante até o fim da encosta, associada provavelmente à interpretação da elevação do terreno feita pelo *software* Google Earth PRO, sobre os remanescentes de

vegetação florestal neste trecho da encosta. O perfil 2, perpassa o eixo da Voçoroca do Minério, apresentando predominantemente um perfil côncavo, porém com uma pequena convexidade, justamente na cabeceira da Voçoroca, marcando um divisor entre as concavidades, comentado anteriormente, na análise das concavidades sobre a Figura 13, mostrando a diferença altimétrica entre as concavidades 2 e 4, reforçando a ideia de um pequeno divisor de drenagem entre as duas concavidades que está sendo rompido pelo avanço da Voçoroca encosta acima. Já o perfil 3, apresenta um perfil côncavo na porção superior, perpassando a cabeceira da concavidade 2 (numerada na Figura 13), mas logo mudando para um perfil convexo até o sopé da encosta.

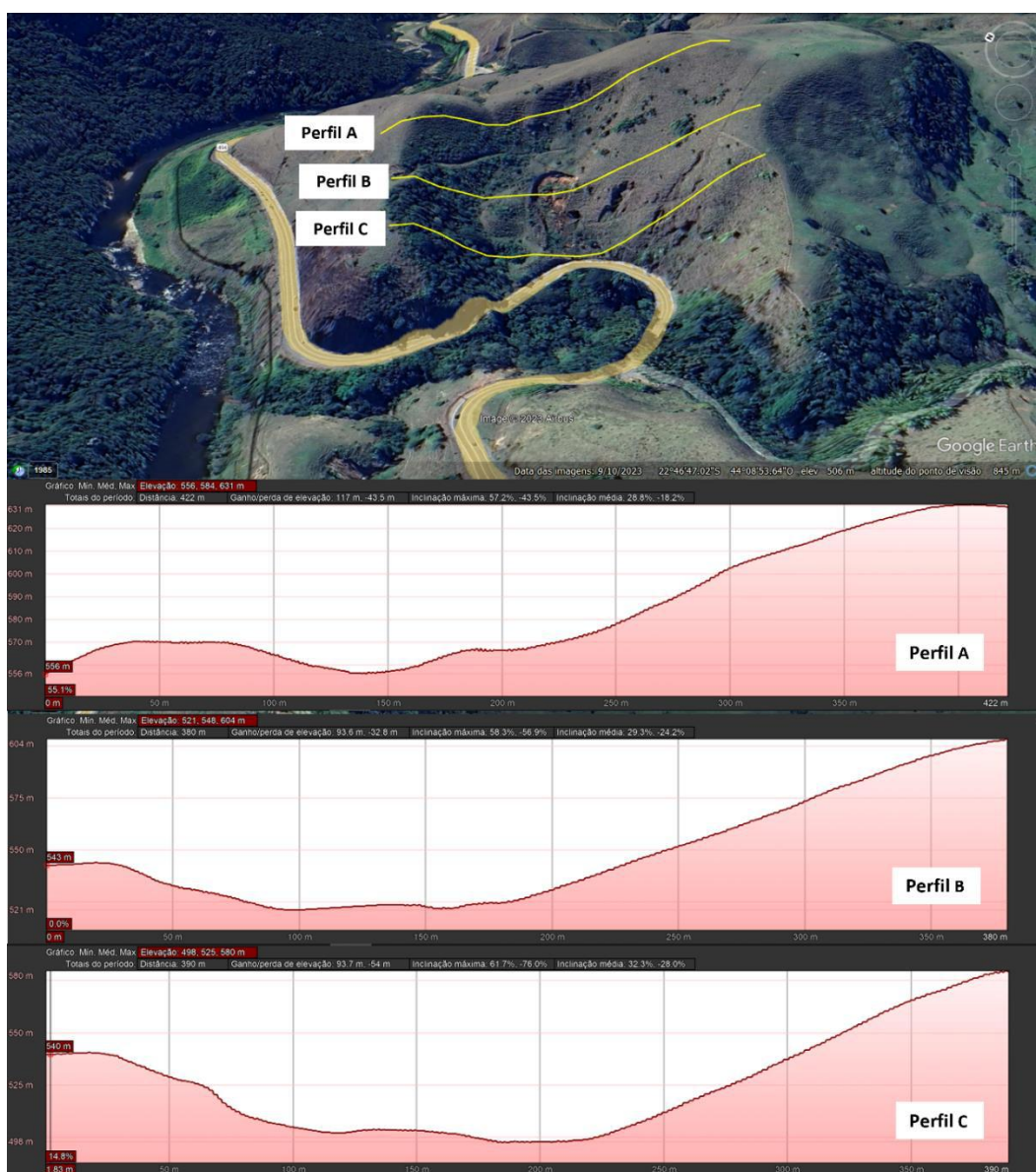
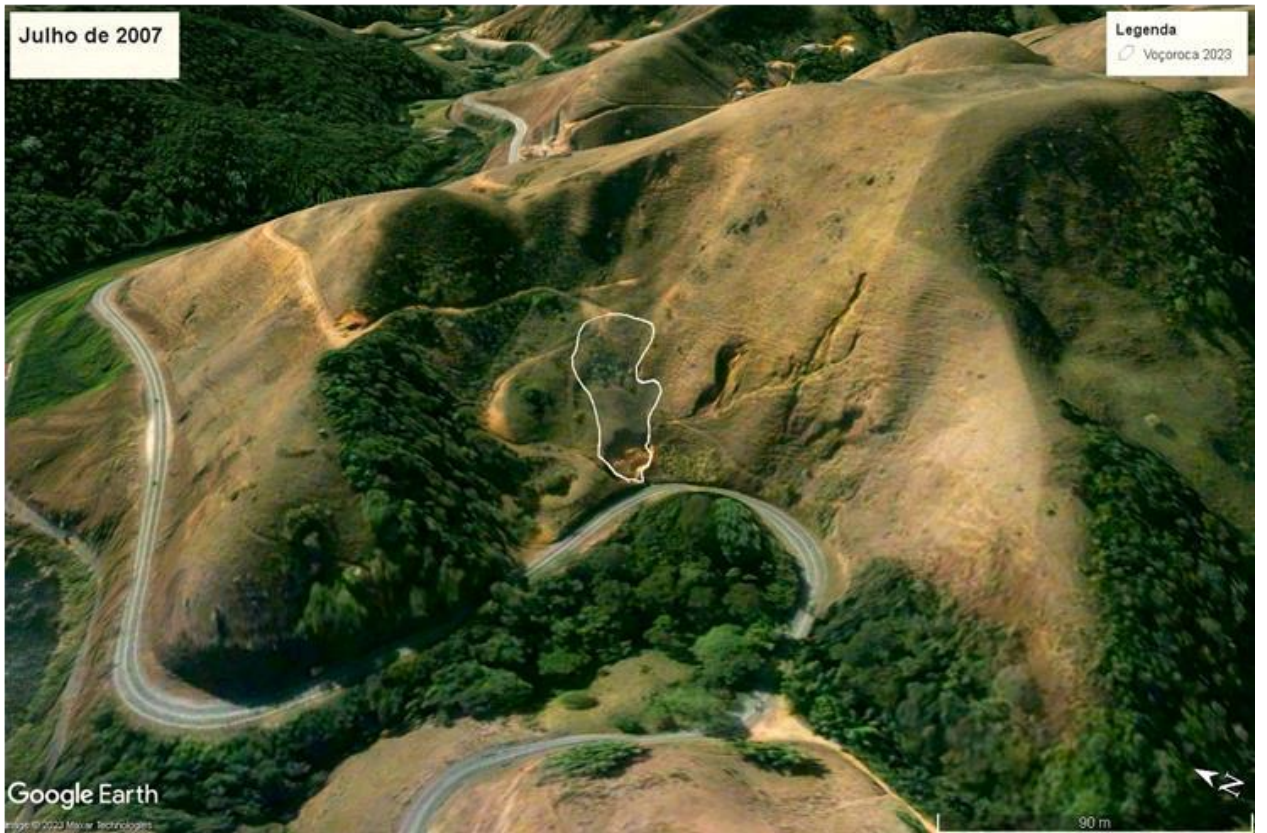


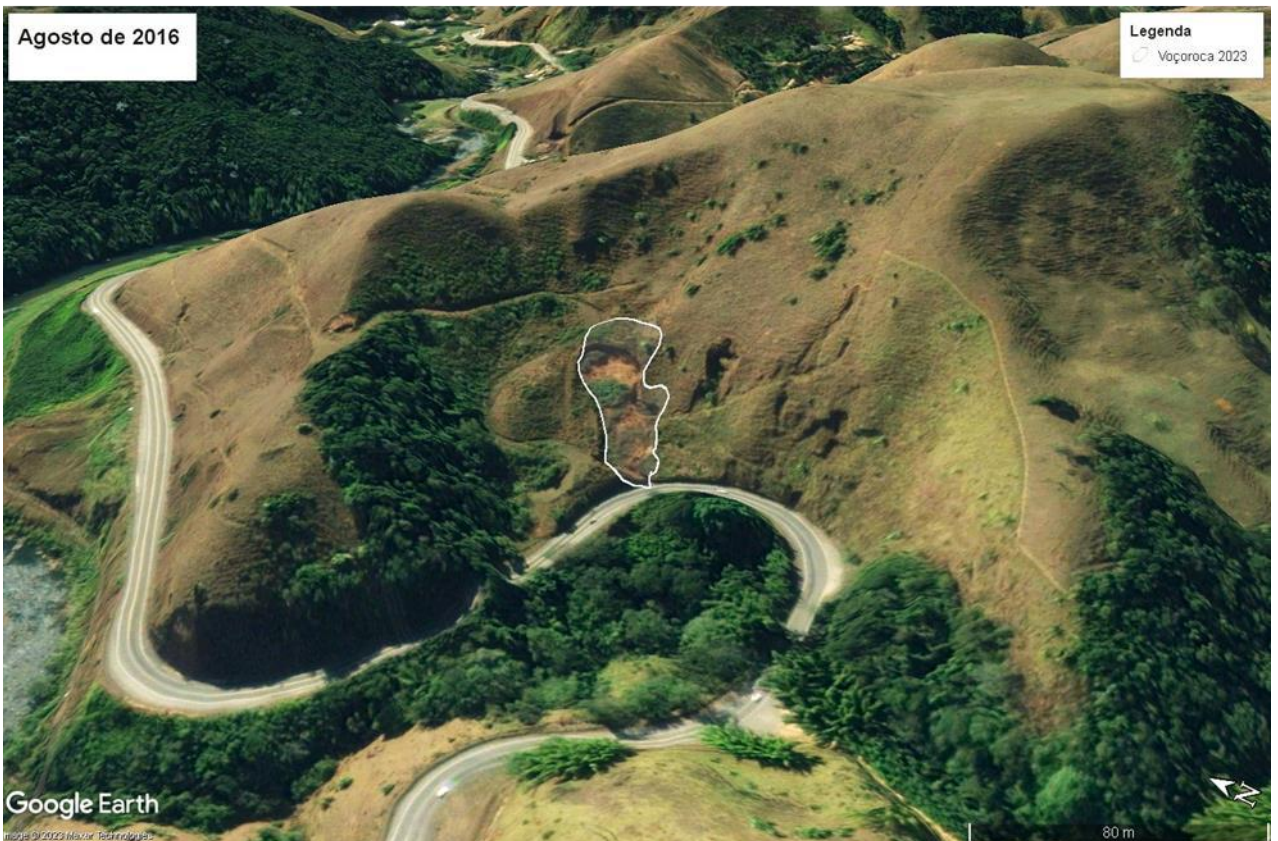
Figura 16: Perfis topográficos laterais das encostas no entorno da Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ (Silva, 2023).

A Figura 16 apresenta os perfis topográficos laterais das encostas circundantes da Voçoroca do Minério: perfis A, B e C de montante para jusante. Os três perfis confirmam a geometria côncava predominante da encosta, que possui a funcionalidade hidrológica de concentração de fluxos superficiais e subsuperficiais. O perfil A, mais a montante, apresenta um pequeno divisor convexo entre as concavidades 1 e 2, numeradas na Figura 13, enquanto os perfis B e C marcam um pequeno divisor convexo entre as concavidades 3 e 4 numeradas, também, na Figura 13.

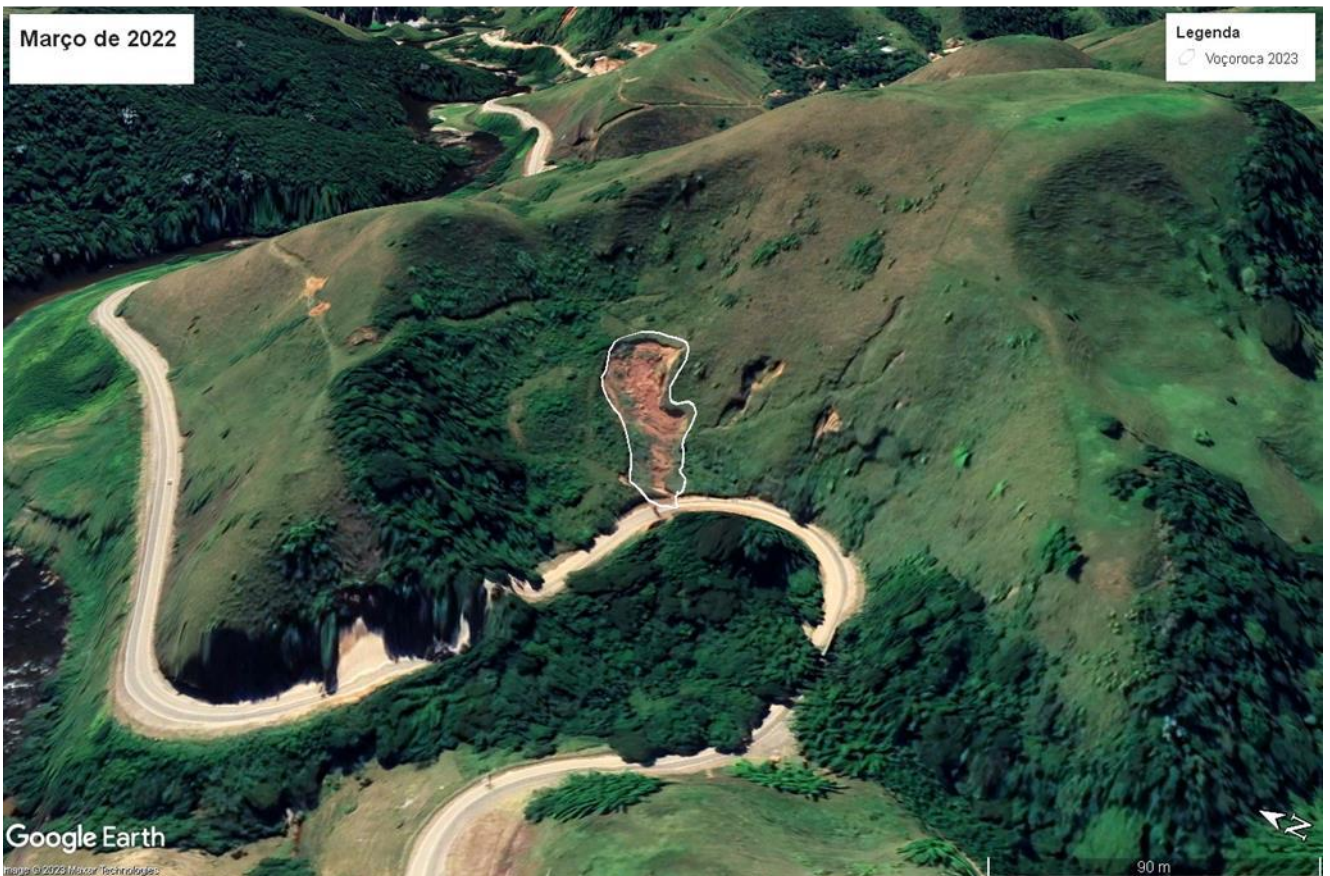
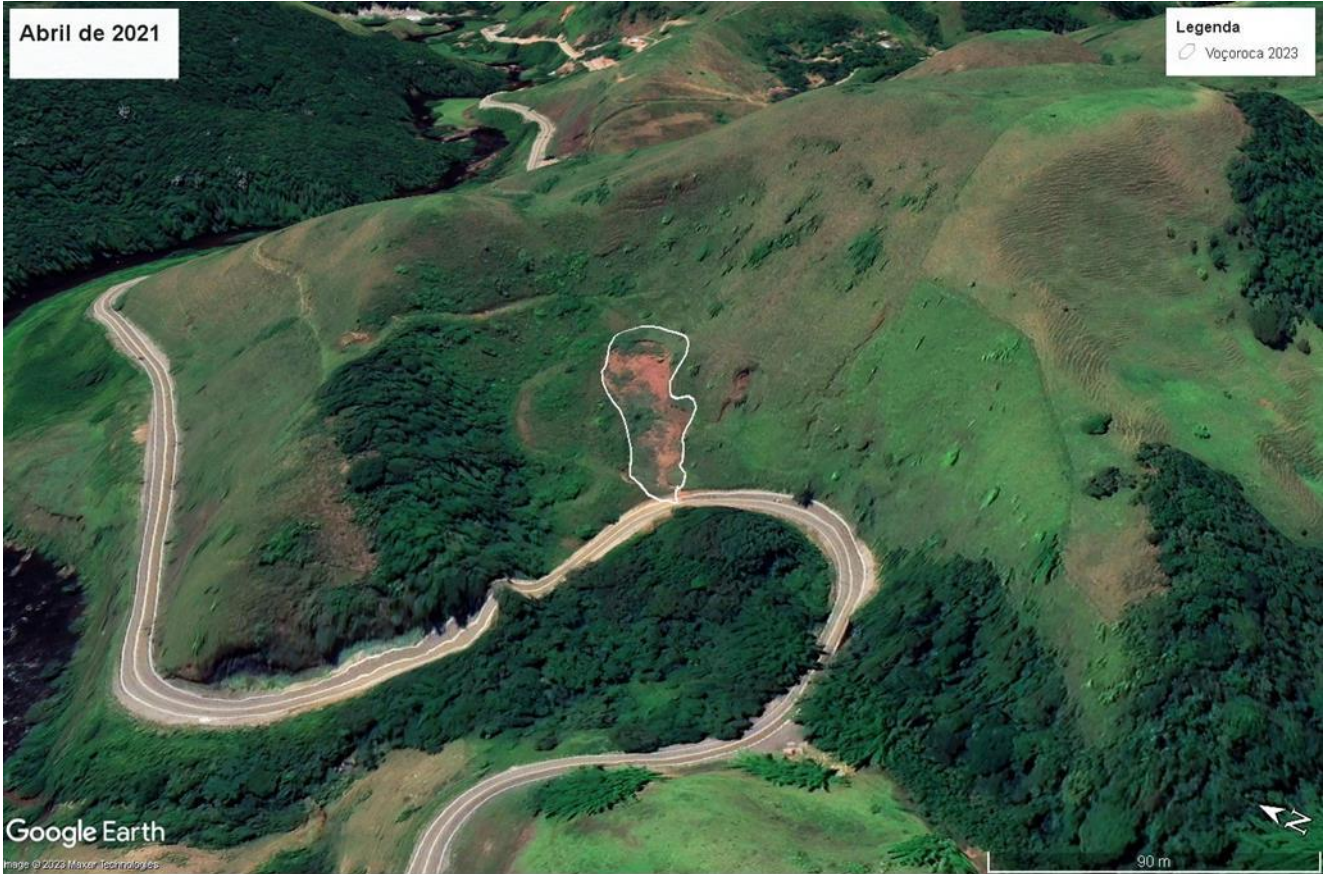
Seguindo para a análise da evolução da Voçoroca do Minério, foram selecionadas, conforme descrito nos procedimentos metodológicos, nove imagens do *software* Google Earth PRO que representam momentos marcantes da transformação da feição erosiva, crescendo na encosta (Figura 17). As imagens foram retiradas sequencialmente desde julho de 2004, até setembro de 2023. É importante ressaltar que a primeira intenção era capturar imagens nos mesmos meses, respeitando a sazonalidade das chuvas locais, porém foi dada prioridade à qualidade da imagem que melhor evidenciasse as transformações da Voçoroca do Minério. Portanto, as imagens não seguem uma sazonalidade padrão, por isso estão indicados os meses, junto com o ano, em cada representação.

Na primeira imagem de julho de 2004 nota-se o início de um processo se instalando no sopé da encosta, associado a um corte feito para construção de uma pequena estrada de chão, a sudeste da Voçoroca, que sai da BR 494, para subir em direção à porção superior da encosta. Nota-se ainda nessa imagem uma pequena depressão próxima à linha branca, que define o limite atual da voçoroca, circundada em vermelho na imagem. Desta depressão, segue para jusante uma linha mais escura que aparenta ser um pequeno canal inciso, destacado em amarelo. Esta depressão parece ser já o colapso do teto de um túnel erosivo, formando uma feição erosiva que dá origem à cabeceira de um novo canal desconectado da rede de drenagem. Vale ressaltar os processos erosivos já instalados nas encostas adjacentes, circundados em azul na imagem de junho de 2004, existentes até hoje. Em julho de 2007, a imagem mostra que ocorre o primeiro grande colapso no “barranco” gerado pelo corte da estrada de chão, conectado aos processos erosivos já existentes. Quatro anos depois, em junho de 2011, o recuo da voçoroca ganha dimensões significativas, atingindo e conectando-se com a depressão preexistente em julho de 2004 (círculo vermelho) na cabeceira da voçoroca.









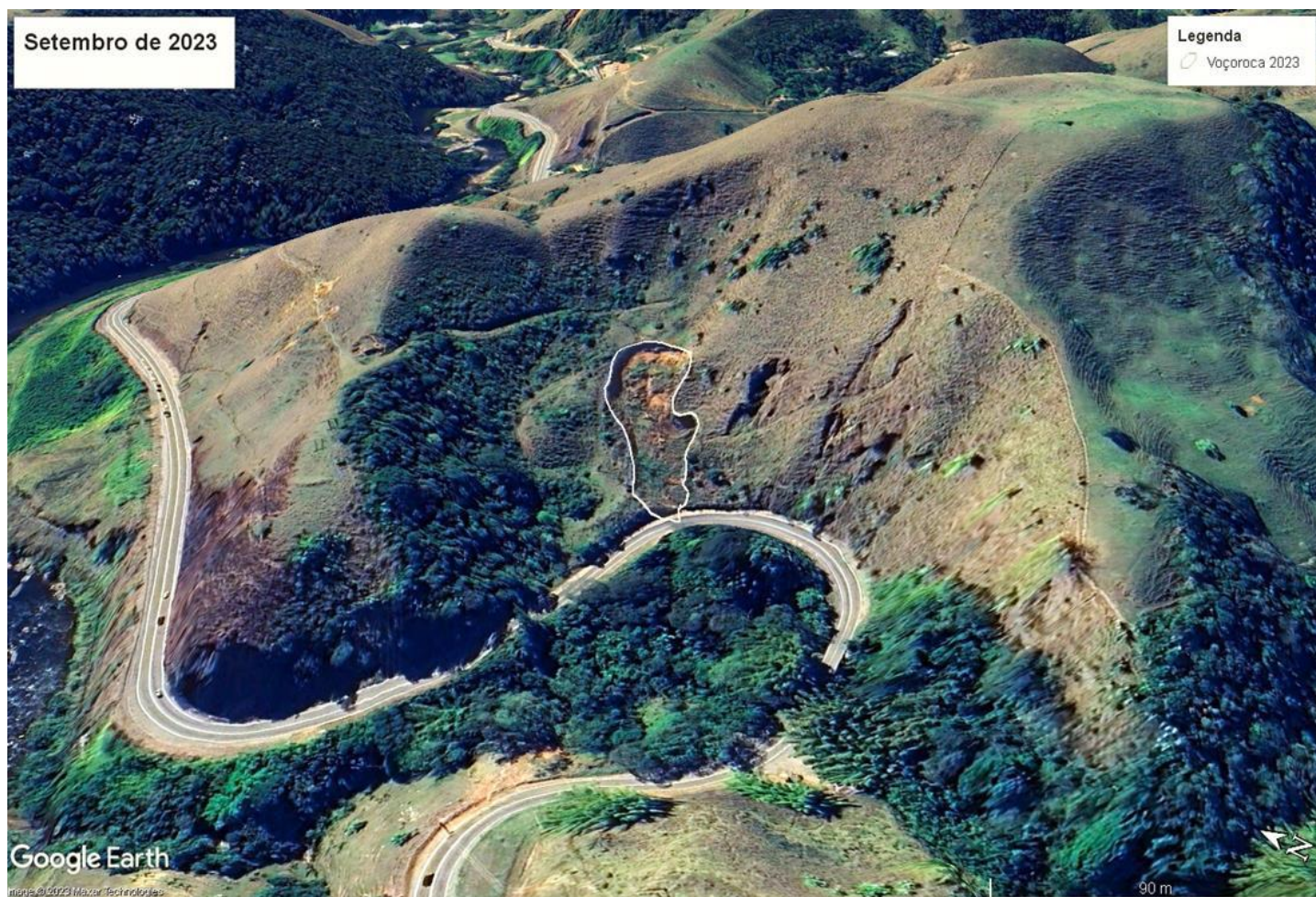


Figura 17: sequência de imagens Google Earth PRO ilustrando a evolução da Voçoroca do Minério de junho de 2004 a setembro de 2023, Rio Claro, RJ. (Silva, 2023)

Na sequência em agosto de 2016, essa depressão é completamente erodida, sendo incorporada na feição erosiva da Voçoroca, por movimentos de massa. Vale ressaltar que a declividade aumenta nesse trecho da encosta, fazendo com que os mecanismos de transporte erosivo tenham mais energia, envolvendo, assim, a ocorrência de movimentos de massa das paredes e da cabeceira da voçoroca.

Em setembro de 2017, destaca-se que as paredes laterais da voçoroca recuam para montante no sentido leste, enquanto a cabeceira aparenta maior estabilidade. Esta parede leste é marcada pelo canal inciso da voçoroca, notável até os dias atuais no seu interior. Tal canal mantém fluxo contínuo, mesmo nas épocas de estiagem e possui grande profundidade. Já em junho de 2019 o avanço da cabeceira é retomado por outro grande deslizamento de terra. A declividade mais alta nesse trecho garante movimentos de massa com grandes volumes de solo deslocado.

Já em abril de 2021, quando inicia-se essa pesquisa, a feição erosiva aparenta estabilidade, mantendo tamanho semelhante comparada à feição em junho de 2019. No entanto, em março de 2022, novos movimentos de massa ocorrem na porção da cabeceira da voçoroca, avançando ainda mais seu processo erosivo para montante. E, finalmente, chegando a setembro de 2023, a imagem registra a feição atual, com nítida queda dos materiais das paredes laterais e da cabeceira, guardando um material mobilizado no interior da feição. Vale ressaltar que os processos erosivos nas encostas adjacentes, se mantiveram estáveis ao longo de todo esse período, demonstrando que o trabalho erosivo está concentrado na Voçoroca do Minério.

6.3 Zoneamento da voçoroca e evolução da sua dinâmica erosiva

O zoneamento foi utilizado como metodologia para diferenciar áreas internas da voçoroca, a fim de entender a dinâmica dos processos ocorridos nos dois anos de análise. A diferenciação das áreas internas da voçoroca foi realizada a partir da percepção de campo e de imagens sobre os aspectos físicos da condição de revolvimento e de cobertura vegetal dos solos. Nesse sentido, foram diagnosticadas três tipologias: (1) solo com cobertura vegetal (solo deslocado, mantendo ainda um mosaico de cobertura vegetal), (2) solo exposto (seco e sem nenhum tipo de cobertura) e (3) solo saturado (este último sempre repleto de umidade, em condição de aparente saturação ou próxima a ela). Essas

tipologias foram mapeadas gerando os mapas da

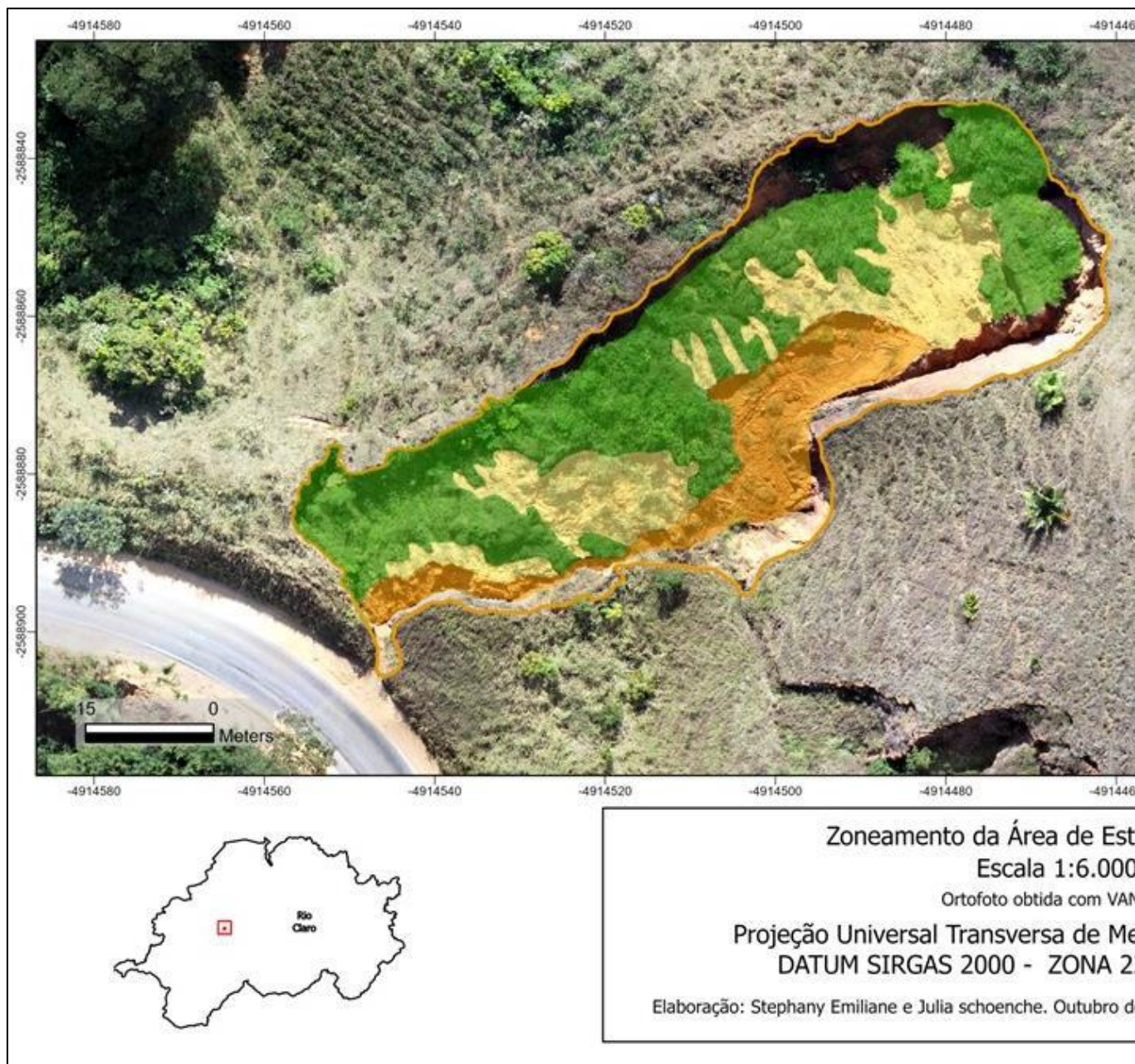


Figura 18 e da Figura 19, respectivamente para os anos de 2021 e 2023. O intervalo dessas imagens buscou contemplar dois anos de diferença, a fim de apresentar as transformações dinâmicas da feição erosiva em sua evolução.

Em 2021, observamos que havia uma considerável área de cobertura vegetal na voçoroca. Já em relação ao “solo exposto” havia pequenas e grandes áreas espalhadas principalmente mais ao interior/meio da feição erosiva. Sobre o “solo saturado” ele se encontrava, principalmente, em quase toda extensão da parte leste (lado direito) da voçoroca. Esse último, está diretamente associado ao canal de drenagem, o qual já

apresentava fluxos de água contínuos (Figura 12), e que mantinha o solo adjacente mais úmido e, assim, mais passível a deslocamentos.

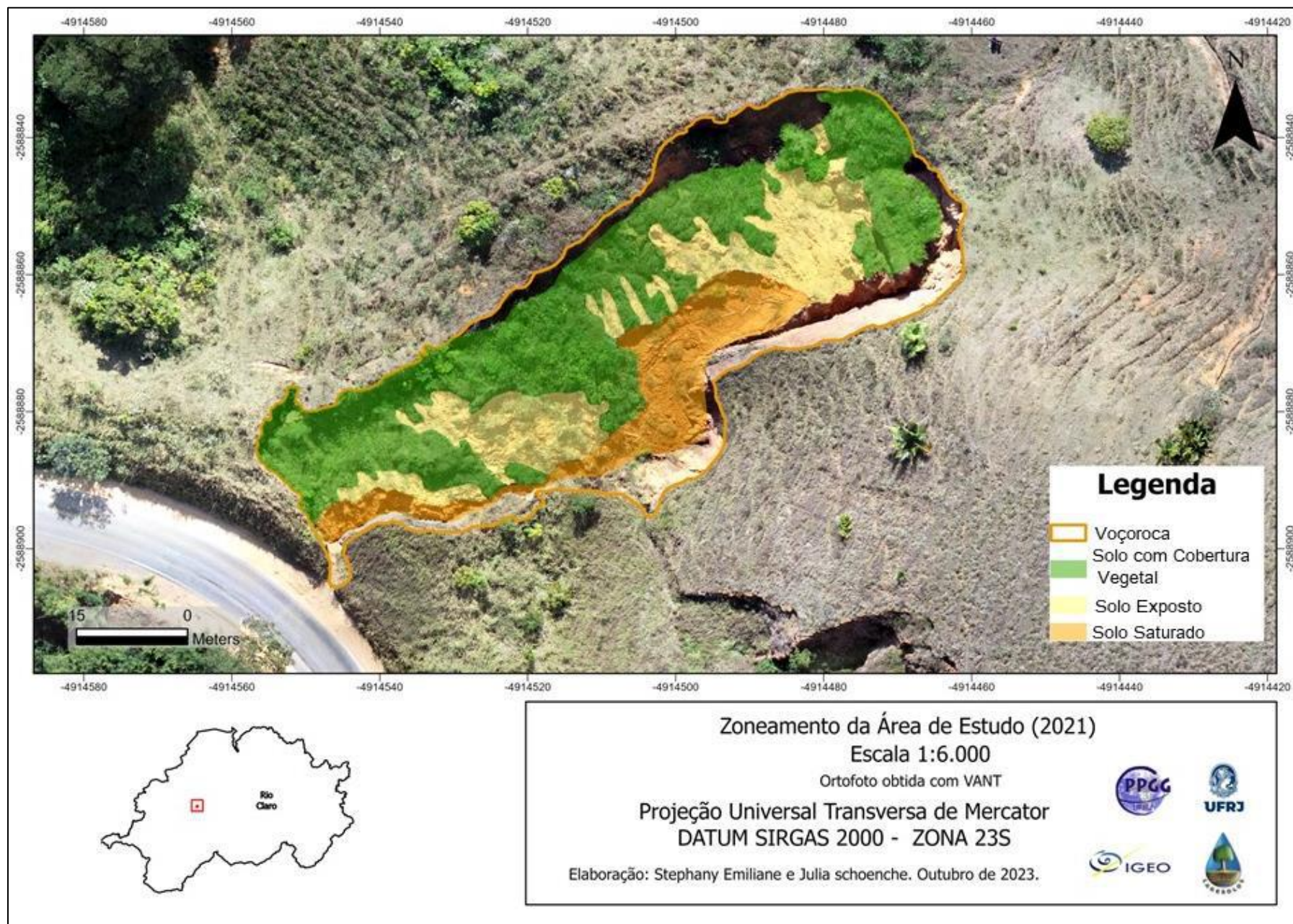


Figura 18: Mapa do zoneamento elaborado para o ano de 2021. Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ.



Legenda

- voçoroca
- Solo Exposto
- Solo Movido
- Solo Semiestruturado com Cobertura Vegetal



Zoneamento da Área de Estudo (2023)
Escala 1:6.000
Ortofoto obtida com VANT
Projeção Universal Transversa de Mercator
DATUM SIRGAS 2000 - ZONA 23S

Elaboração: Stephany Emiliane e Julia Schoenche. Outubro de 2023

No ano de 2023, nota-se que a zona “solo exposto” aumentou em relação a todas as áreas identificadas em 2021. No entanto, é possível notar também que apesar de ter aumentado, em algumas áreas, essa zona passou a ser “solo saturado”. O solo saturado identificado, se deve à mobilização de sedimentos no interior da feição erosiva. Em alguns pontos, essa mobilização foi tão intensa que retirou camadas profundas do solo (horizontes O, A e B), revelando assim, grandes fragmentos de rocha alterada (saprolito) (Figura 20). Já a respeito do “solo com cobertura vegetal” uma diminuição significativa em comparação ao ano de 2021. Essa perda está ligada, também, aos deslizamentos no interior da voçoroca que mobiliza todo material.



Figura 20: Aspecto do material de origem (rocha alterada) exposto após a expansão da voçoroca e remoção dos horizontes O, A e B do solo (Silva, 2022).

Analisando a transformação das tipologias das condições do solo, no interior da Voçoroca do Minério, nota-se a atuação da dinâmica dos processos erosivos. O gráfico da Figura 21 revela a variação das condições do solo entre os anos de 2021 e 2023. A cobertura vegetal em 2021 chegava a 55% enquanto em 2023 ela diminuiu para 46%. Já as condições de solo exposto e solo saturado aumentaram em 2023, passaram para 33% e 20%, em relação a 2021 que eram 25% e 18%, respectivamente.

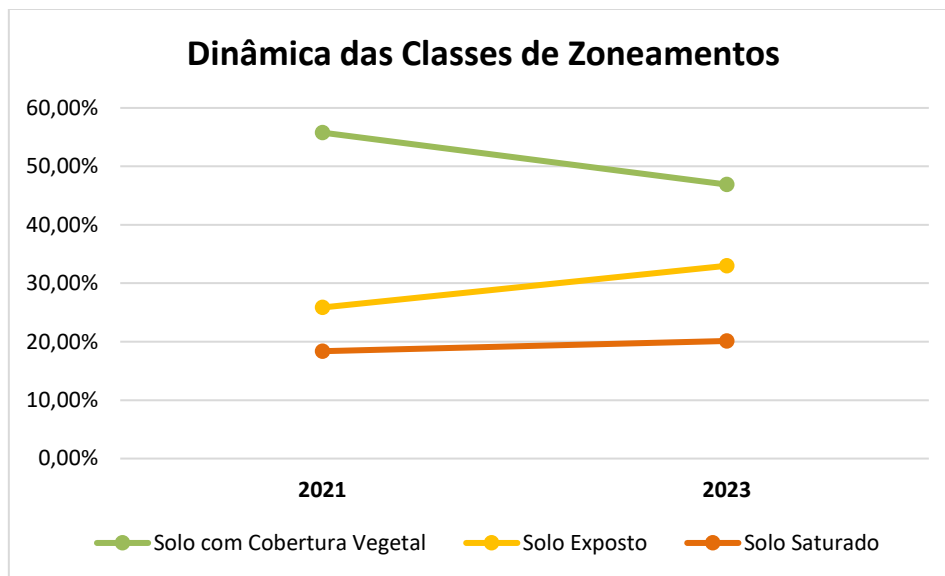


Figura 21: Gráfico de transformação das áreas (%) das classes do zoneamento no interior da Voçoroca do Minério, Rio Claro, RJ (Silva, 2023).

É interessante destacar que a dinâmica interior da voçoroca não segue uma sequência que pudesse ter sido pré-concebida no início das observações de campo, em uma linha gradativa de que a cobertura vegetal se transformasse em solo exposto e, após o processo erosivo, torna-se um solo mobilizado. Isso porque ao observarmos o zoneamento de 2021 e compararmos com o de 2023, notamos que em áreas que deixou de ter cobertura vegetal, não necessariamente se tornou solo exposto, ou que em áreas de solo exposto passa a ser solo movido. Nota-se que as áreas de solo exposto e solo movido podem variar de localização, transformando-se uma em outra, de acordo com a distribuição da umidade no interior da voçoroca. As transformações, nesse sentido, estão mais associadas ao comportamento dos fluxos hidrológicos no interior da voçoroca.

Um aspecto importante na dinâmica desses processos erosivos é a influência do regime de precipitação. Assim, analisamos os dados de chuva mensais para os anos da

pesquisa (2021 e 2022). Os dados foram retirados da Estação Meteorológica de Rio Claro-RJ do INMET. Nos gráficos da Figura 22 e da Figura 23, os valores médios mensais para precipitação confirmam o comportamento climático da região, marcado por uma estação mais seca nos meses de inverno e verões mais chuvosos.

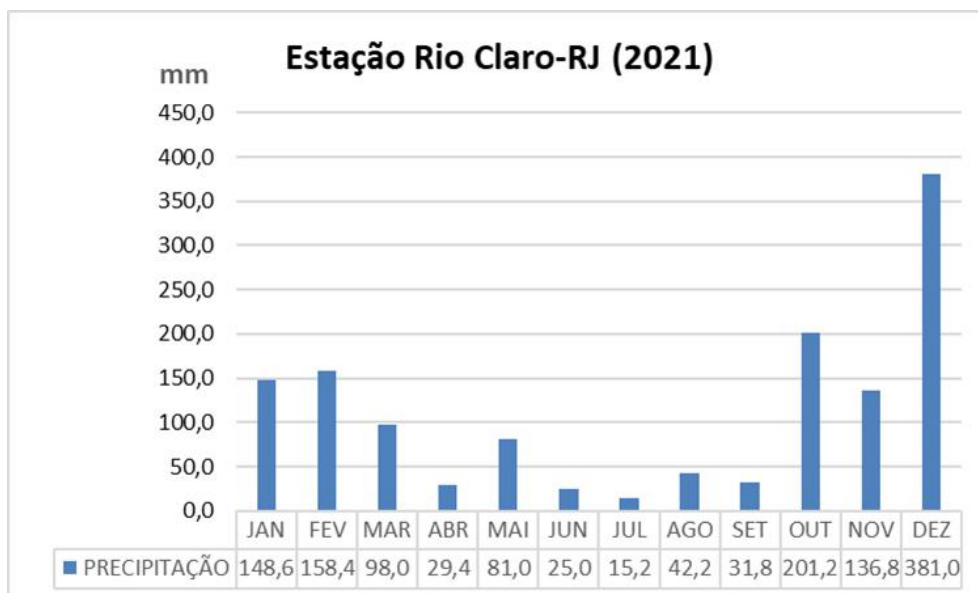


Figura 22: Valores de precipitação mensal da Estação Rio Claro, ano de 2021(INMET).

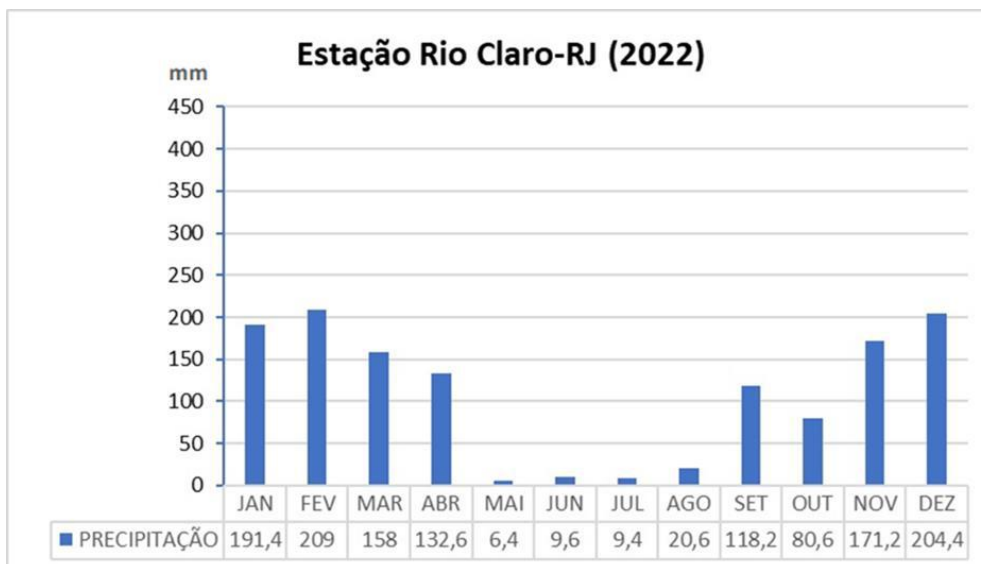


Figura 23: Valores de precipitação mensal da Estação Rio Claro, ano de 2022 (INMET).

Chama atenção na variação dos valores de precipitação mensal que o verão de 2021 para 2022 foi marcado por altos índices pluviométricos, registrando muitas chuvas desde o mês de outubro de 2021 até abril de 2022, o que certamente dinamizou a atividade

erosiva no interior da voçoroca. Essa maior energia vinda da precipitação pode explicar o resultado das intensas transformações das zonas entre os dois anos de comparação.

Da mesma maneira que foram feitos perfis topográficos para a escala da encosta, foram também feitos perfis no interior da voçoroca. Os perfis topográficos foram distribuídos da seguinte forma: (A) um perfil longitudinal e dois laterais (B) na porção média da voçoroca e (C) próximo à cabeceira na parte alta. Os perfis topográficos de voçorocas podem variar amplamente, em termos de dimensões e formas, dependendo de fatores como a geologia local, o clima, o uso da terra e a intensidade da erosão. A análise desses perfis é fundamental para entender a evolução da voçoroca ao longo do tempo e para planejar medidas de estabilização e/ou restauração apropriadas para mitigar os impactos da erosão.

Sendo uma representação gráfica da forma da fenda erosiva ao longo do seu comprimento, o perfil longitudinal descreve como a voçoroca se desenvolve ao longo do seu comprimento, enquanto os laterais descrevem o alargamento da feição erosiva.

A voçoroca se manifesta como uma grande fenda que corta o solo, criando uma escarpa íngreme nas margens. A profundidade e a largura da voçoroca podem variar, sendo que o talude pode atingir muitos metros de profundidade e ser significativamente larga. Uma característica distintiva dessa voçoroca é a exposição do lençol freático, devido ao seu aprofundamento, vide o canal fluvial na margem direita da feição erosiva. Este, se consideramos que a voçoroca é uma expansão da rede de drenagem, podemos considerá-lo como um canal fluvial (Figura 12). À medida que a erosão avança, a fenda escava profundamente o solo até atingir o nível da água subterrânea. Isso resulta na exposição do lençol freático, criando um pequeno canal perene na parte inferior da voçoroca.

A expansão da voçoroca ocorre pela sequência de pequenos deslizamentos, tanto nas margens dessa feição erosiva, como em sua cabeceira. Os deslizamentos, nas paredes e na cabeceira da voçoroca são eventos de instabilidade do solo que ocorrem dentro da própria fenda. Esses eventos podem ser acionados por vários fatores, incluindo chuvas intensas, saturação do solo, aumento da pressão da água subterrânea.

Os deslizamentos podem envolver a queda de grandes quantidades de solo, rochas e detritos no fundo da voçoroca, criando acumulação significativa do material que foi

instabilizado. Esse material pode bloquear a dinâmica erosiva, a partir da criação de níveis de base temporários, pelo entulhamento dos canais erosivos.

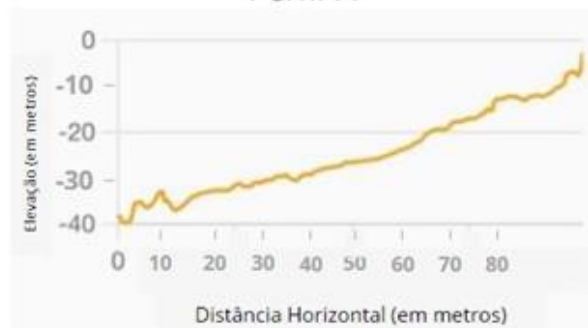
Através dos perfis topográficos da voçoroca, referentes aos anos de 2021 (Figura 24) e 2023 (Figura 25), podemos notar a evolução do processo erosivo e as mudanças morfológicas dentro da voçoroca, durante os dois anos de pesquisa.

Os perfis referentes ao ano de 2021 (Figura 24), mostram variações expressivas em seus níveis topográficos. O Perfil Lateral C apresenta variações abruptas em pelo menos dois trechos, sendo ambos bem próximos às paredes laterais da voçoroca. Essas variações mais expressivas correspondem aos canais de fluxos contínuos, que se formaram à medida que os processos erosivos foram se intensificando, atingindo níveis subsuperficiais mais profundos do solo.

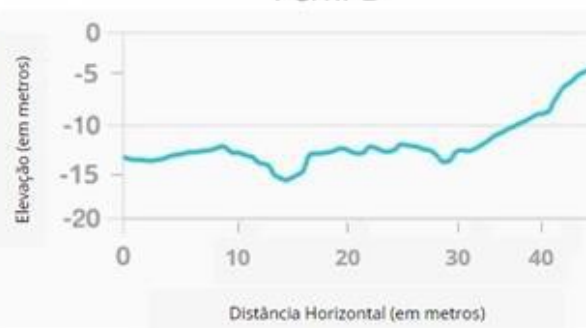
No Perfil B, é possível observar pequenas variações topográficas em todo seu trajeto. Essa parte da voçoroca ainda mantém níveis topográficos mais homogêneos, com exceção da parede mais ao sudeste (B') a qual apresentava um desnível mais abrupto, onde passa o canal. Já o Perfil Longitudinal A, que representa a voçoroca em toda sua extensão, apesar de acompanhar o desnível da encosta, apresentou apenas pequenas variações em seus níveis topográficos interiores.



Perfil A



Perfil B



Perfil C

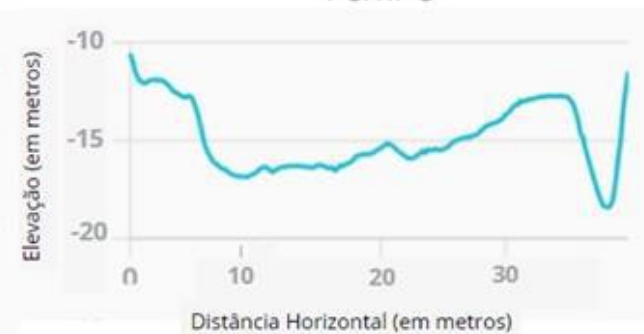


Figura 24: Perfis topográficos do interior da Voçoroca do Minério no ano de 2021

Para o ano de 2023 (Figura 25) podemos notar que no Perfil C as áreas, apresentadas antes no ano de 2021 com desníveis abruptos, mostram-se mais suaves. Isso se deve à presença de sedimentos entulhados, resultantes de deslizamentos nas paredes da voçoroca, com o avanço dos processos erosivos. No entanto, apesar desses sedimentos terem preenchidos os canais mais abruptos, presentes próximos às paredes da voçoroca, a profundidade da feição erosiva aumentou.

Ainda observando o ano de 2023, a respeito do Perfil B as variações dos níveis altimétricos ficaram mais suaves, em comparação à 2021, isso também se deve a presença dos sedimentos decorrentes de mobilizações do solo (pequenos deslizamentos) no interior da voçoroca e da mesma forma, aprofundou-se para níveis topográficos mais baixos. Por fim, no Perfil A, além de demonstrar o avanço da voçoroca encosta acima, notamos também que as variações de topografias se tornaram mais suavizadas no interior da feição erosiva.

Infere-se então que, ao compararmos os perfis de 2021 e de 2023, o processo erosivo continua, porém, as feições vão se tornando mais suaves devido aos ajustes aos níveis de bases temporários, formados pelos materiais mobilizados no interior da própria voçoroca.

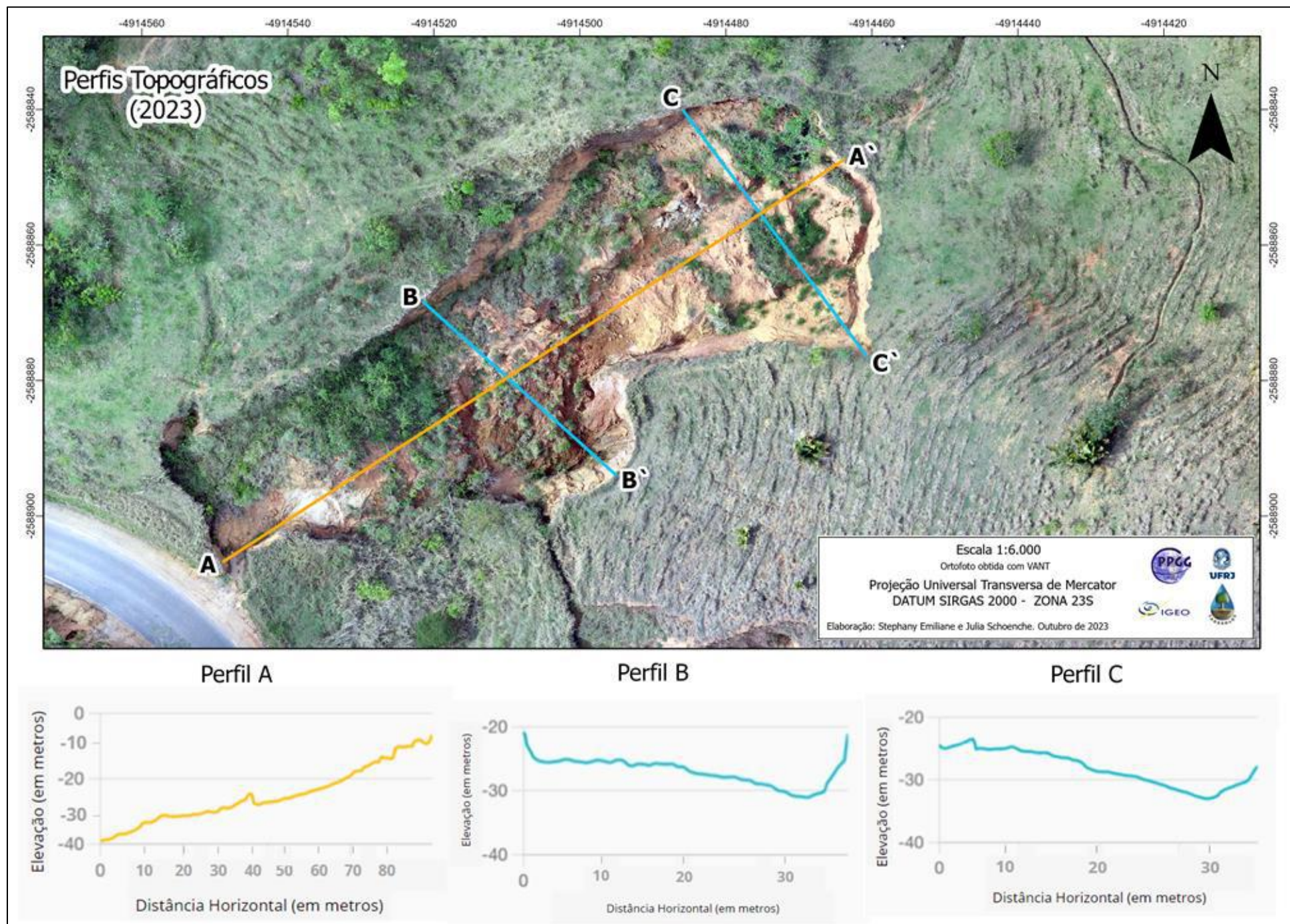


Figura 25: Perfis topográficos do interior da Voçoroca do Minério no ano de 2021

6.4 Erodibilidade do Solo

Os pontos para a retirada das amostras de solos, foram pensados de acordo com o zoneamento da voçoroca, a partir das condições morfológicas de trechos - parte alta, intermediária e baixa - no interior da feição erosiva (Figura 26).

As amostras foram retiradas em condições de solo distintas, iniciando pela porção exterior à voçoroca com solo sob pastagem, como termo de comparação, solo semiestruturado com cobertura vegetal, associado as amostras S3 e S5, solo exposto referente as amostras S2 e S6, e, finalmente, a condição denominada de solo movido relativa as amostras S4 e S7.

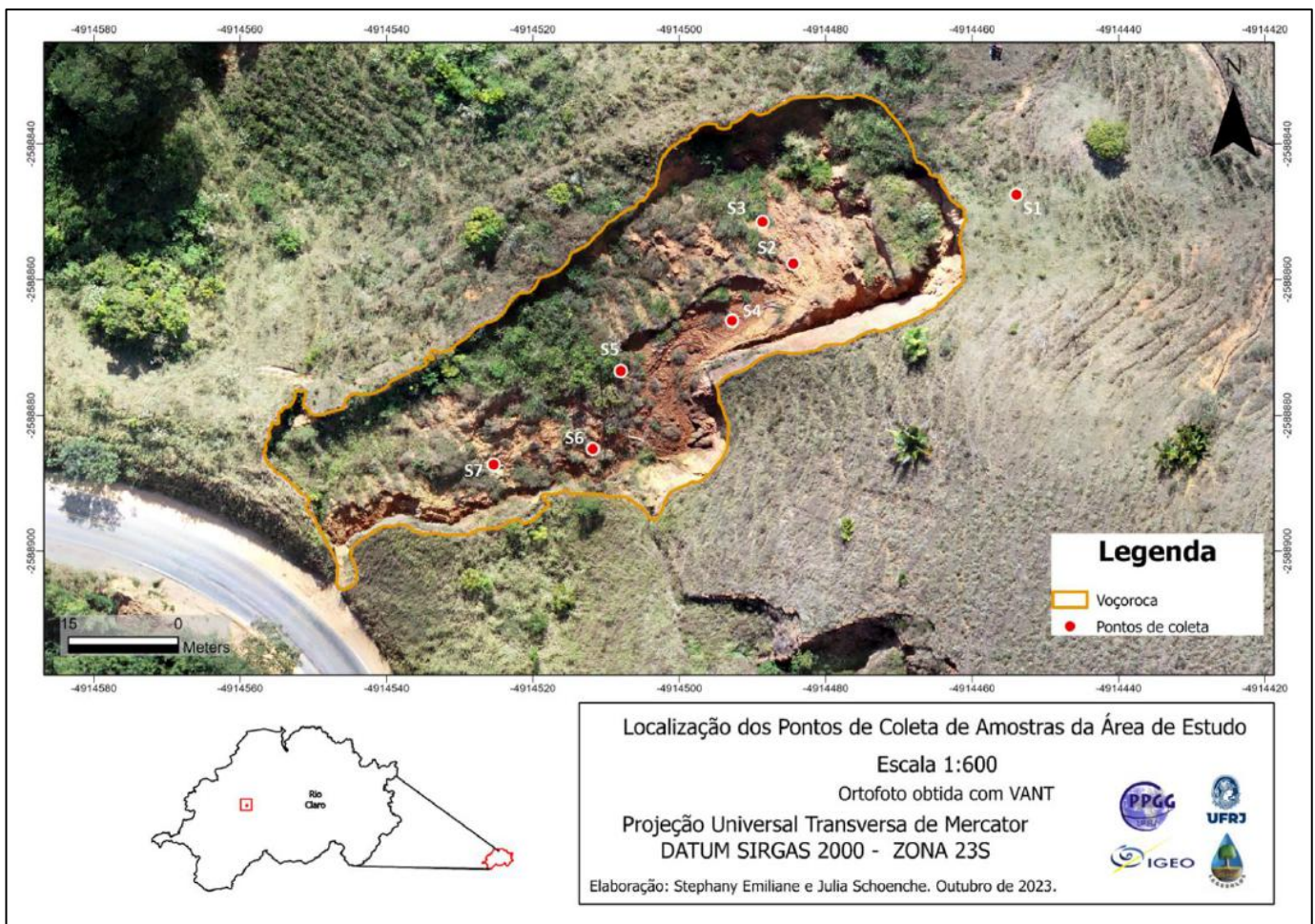


Figura 26: Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras de solo no entrono e no interior da Voçoroca do Minério.

A análise do solo é fundamental para que seja possível diagnosticar as condições do solo, tanto químicas como físicas, como acidez e o tamanho das partículas, permitindo identificar as necessidades reais para a conservação e/ou recuperação solo. Diante disso, neste capítulo serão apresentados os resultados das amostras coletadas e analisadas, em 2021 e 2022, com foco nos indicadores de erodibilidade dos solos. A análise recai sobre o grau de erosão no topo do solo, porém devemos considerar que, por conta da dinâmica interna de movimentos de massa e erosão, a superfície tende a apresentar diferentes horizontes do solo.

As propriedades do solo determinam seu comportamento quanto a maior ou menor susceptibilidade à erosão, dessa forma, deve-se analisar as variações na textura, estrutura, densidade, porosidade, teor de matéria orgânica e pH. As amostras para tais análises foram realizadas em dois tempos distintos: julho de 2021 e setembro de 2022, a fim de captar variações nas propriedades do topo do solo no intervalo de um ano.

Começando pelas as análises granulométricas, os resultados obtidos, a partir das amostras de solo coletadas (Figura 27), apresentaram duas classes texturais principais: franco-arenoso e areia-franca. Tendo apenas a classe textural franco-siltoso, referente a (S6), nas amostras do ano de 2021. Os percentuais dessas frações demonstram que o solo, da área de estudo, é predominantemente arenoso. Essa predominância da fração areia indica a alta permeabilidade do solo e a baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, respectivamente. Portanto, quanto maior for a porcentagem de areia em relação aos demais valores, maior é a lavagem dos materiais finos do solo, os quais são onde concentram-se os nutrientes necessários para o desenvolvimento da flora, por exemplo. Lima *et al.* (2021) destacam ainda que os Latossolos quando apresentam textura média e/ou elevados teores de areia, podem possuir comportamento semelhante às Areias Quartzosas (atuais Neossolos Quartzarênicos), sendo então mais suscetíveis à erosão.

Nas análises realizadas em 2022, podemos observar que, em relação aos resultados de 2021, os pontos em que há o aumento da areia grossa são nas amostras S2 (solo exposto) e S4 (solo movido). De um modo geral, as demais amostras tiveram redução, cerca de 1%, no teor de areia grossa, sendo apenas a amostra S5 que apresentou uma redução considerável de 13%.

Em relação aos teores de siltes, a amostra S5 foi a única que apresentou um aumento, já as amostras S4, S6 e S7 tiveram reduções consideráveis. Pereira *et al.* (2016),

ao monitorar parcelas de erosão na bacia do rio Maranduba (Ubatuba – SP), observou a redução dos teores de silte por transporte durante eventos de chuva, uma vez que cerca de 52% do material removido das parcelas correspondeu à fração silte. Sendo esse o cenário mais próximo do que está sendo apresentado nessa pesquisa, a redução desses teores de silte pode ser explicada por transporte durante processo erosivo.

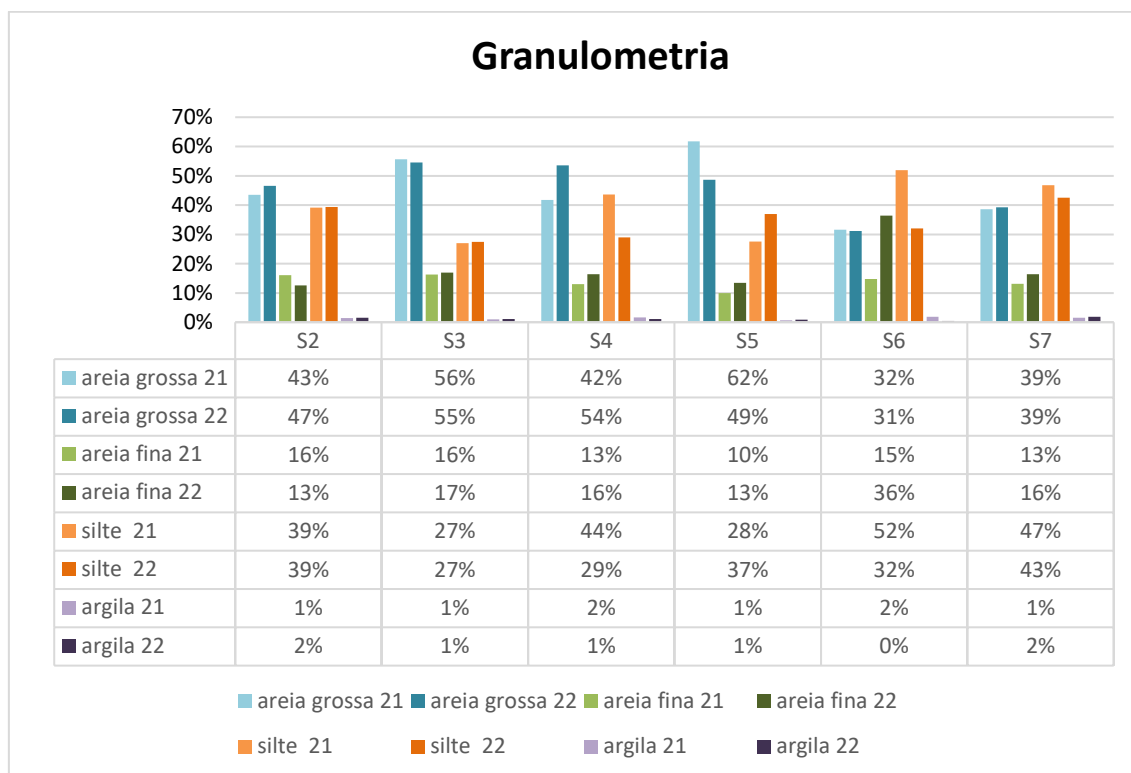


Figura 27: Gráfico e Tabela com os resultados das análises de granulometria (%) e classificação textural das amostras de solo.

Outro resultado a ser observado é a fração de areia fina (AF) que somada ao silte podem conferir aos solos uma alta erodibilidade, como pode ser destacado nas amostras (S6 e S7) que apresentaram os maiores percentuais 67% e 60% em 2021 e 68% e 59% em 2022, respectivamente. As frações que apresentam os maiores índices de erodibilidade são removidas mais facilmente do que outras. Além disso, apesar do valor ter diminuído em 2022, essas frações constam os maiores teores de silte que ao ultrapassar o valor de 350 g/kg, em 2021, o que pode indicar média e alta suscetibilidade à erosão (LIMA, 2008; SMETS *et al.*, 2011; LOUREIRO *et al.*, 2011; BONILLA e JOHNSON, 2012; RANGEL *et al.*, 2019; LOUREIRO, 2019).

Já em relação aos resultados de argila, tanto nas amostras de 2021 quanto nas de 2022, pode-se observar os baixíssimos teores, chegando a apresentar nenhuma presença

de argila na S5 de 2022. Solos com textura arenosa, segundo Donagemma *et al.* (2016), por conta da sua friabilidade, são caracterizados pela sua estrutura fina e granular. Portanto, solos muito arenosos, como o aqui estudado, apresentam baixa quantidade de argila o que proporciona pouca estruturação física (RIBEIRO, 1999).

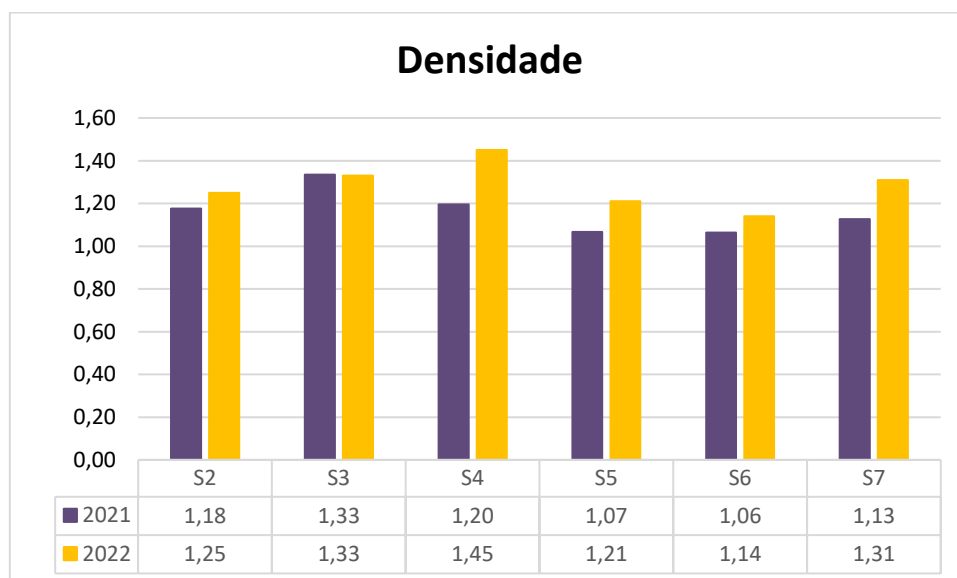


Figura 28: Gráfico e Tabela com os resultados das análises de densidade do topo do solo.

Os dados apresentados na Figura 28, registram os valores encontrados para as análises de densidade do solo. De forma geral, as amostras que se localizam dentro da voçoroca apresentaram valores baixos de densidade e estão associadas aos solos que estão sendo constantemente movidos pela ação da erosão e da gravidade. Vale ressaltar que uma amostra de referência foi retirada na porção externa voçoroca, a fim de mostrar como é o topo do solo em uma área ainda não afetada pela erosão. Esta amostra, localizada no mapa da Figura 26 e denominada S1, foi retirada em 2021 e representa um solo sob área de pasto na cabeceira da voçoroca. O resultado de sua análise de densidade apresenta um maior valor, quando comparada às demais no interior da voçoroca, atingindo $1,47 \text{ g/cm}^3$. De acordo com Morgan (2005), as densidades com valores próximos e/ou acima de $1,50 \text{ g/cm}^3$ podem ser consideradas como alta compactação do solo, já para Fullen e Catt (2004), em média, valores entre $1,0 \text{ g/cm}^3$ e $1,40 \text{ g/cm}^3$ indicam compactação baixa à moderada e acima de $1,40 \text{ g/cm}^3$ representa solos compactos. Essa é a condição das pastagens no exterior da voçoroca.

A porosidade, por sua vez, representa o teor de vazios dentro de um determinado volume de solo, consequentemente é uma propriedade física que revela a capacidade de infiltração de água no solo. Essa propriedade é passível de alteração em função dos processos de compactação ou de desestruturação do solo. São valores inversamente proporcionais a densidade de solo. Rangel e Guerra (2014) consideraram que percentuais de porosidade acima de 45% são de baixa suscetibilidade e menos que 35% correspondem a alta suscetibilidade à erosão.

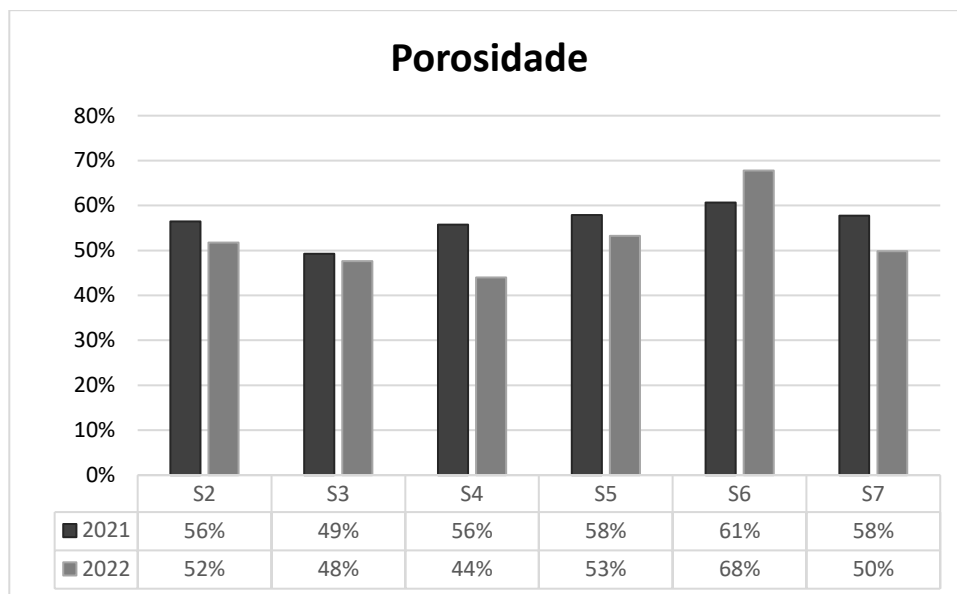


Figura 29: Gráfico e Tabela com os resultados das análises de porosidade do topo do solo.

No caso da área de estudo, os solos sob o uso da pastagem tendem a apresentar maior compactação, enquanto o solo sob a ação dos processos erosivos, a desestruturação vai predominar. Nesse sentido, de acordo com o gráfico da Figura 29, a amostra S4 em 2022, apresenta o menor valor de porosidade com 44%. Já as demais amostras, por sua vez, apresentaram valores entre 48% a 68%. No entanto, a distribuição espacial dessas amostras revela, ainda, a distinção dos valores de porosidade por diferentes setores da voçoroca. Estas variações demonstram as diferenças do processo de desestruturação do solo, dentro de um ambiente que está em plena movimentação. Assim, a amostra S2 coletada na área de solo exposto próximo a cabeceira, apresenta um valor de 56% e 52% de porosidade; a S3 com 49% e 48% situa-se em uma área com gramínea dentro da voçoroca; a S4 está na área de solo mais movido e obteve os valores divergentes de 56% e 44%; a amostra S5 com maior presença de vegetação apresentou 58% e 53%; e por fim, as amostras de solo, mais exposto, S6 com variação de 61% e 68%, e S7 com 58% e 50% de porosidade.

É interessante destacar que a amostra S6 é a que apresenta maior valor de porosidade, apesar de ser um solo exposto e mais vulnerável aos processos de compactação associados ao efeito *splash*, certamente, esta porosidade alta está relacionada à desestruturação do solo, devido ao movimento de massa que ocorre no interior da voçoroca. Em seus estudos, Loureiro (2018), discute o quanto de porosidade em porcentagem (%) do solo deve ter para ser considerado com alta suscetibilidade à erosão. Nesse sentido, autores como Grohmann (1975) e Kiehl (1979) apresentam suas considerações sobre a porosidade total do solo, sendo que o primeiro destaca que 60% seria a “condições naturais” do solo, apesar de considerar valores extremos a variação de 30% a 80%. Já o segundo autor chama atenção quanto à textura do solo, Kiehl (1979) diz que a porosidade total pode variar de 35 a 50% quando os solos são arenosos. Então, Lima (2008), a partir desses autores, definiu classes de suscetibilidade à erosão que entre 35 e 40% há baixa porosidade e alta suscetibilidade, entre 40 e 55% porosidade e suscetibilidade são médias, e que a partir de 55% há alta porosidade e baixa suscetibilidade erosiva.

O teor de matéria orgânica é apresentado no gráfico da Figura 30. Conforme mencionado na metodologia deste trabalho, o método realizado foi o da perda por ignição, ou seja, a queima da matéria orgânica em forno Mufla. Tal método, segundo Loureiro (2013), pode subestimar os valores. De modo geral, os resultados da matéria orgânica apresentaram um valor inferior a 3,5%, significando instabilidade e maior suscetibilidade à erosão (FULLEN e CATT, 2004; MORGAN, 2005; CONFORTI *et al.*, 2013; GUERRA, 2015). Seis das sete amostras analisadas apresentaram os valores menores que 3,5% de matéria orgânica como esperado. No entanto, a amostra S5 dentre todas foi a única que apresentou valor superior a 3,5%, chegando a 7,5% em 2021 e 4,81% em 2022, o que demonstra o papel local da cobertura vegetal mais densa, disponibilizando maior concentração de matéria orgânica. Esses valores mais altos, das amostras S5, apesar de incomuns, podem ser explicados por um efeito local. Isso porque a amostra S5 foi coletada em uma área, dentro da voçoroca, com expressiva cobertura de gramíneas e arbustos, movimentada em massa de um trecho do antigo pasto em regeneração. Santos (2017), por exemplo, encontrou em solos de pastagens valores que chegam até 6,8%, o que indica um alto teor de matéria orgânica, e ele atribui tal valor a oferta de matéria orgânica que a cobertura de gramíneas pode oferecer, ao se decompor e a possibilidade da presença de excrementos bovinos, concentrados localmente. Em seus resultados numa

feição erosiva, Loureiro (2019) também encontrou altos valores de matéria orgânica (8,7%) e designou esse resultado à presença tanto de excrementos, como de cobertura gramínea no local da amostra.

Nota-se também que os valores encontrados no ano de 2022 se mostraram inferiores aos valores identificados em 2021. Por conta da dinâmica interna da voçoroca, durante esse intervalo de tempo, ocorreram movimentos de massa, que transferiram material de um lugar para o outro. A feição erosiva perdeu material e foi completamente remodelada internamente. Apesar da coleta das amostras ter sido realizada nos mesmos pontos, o material coletado em 2022 não foi o mesmo de 2021.

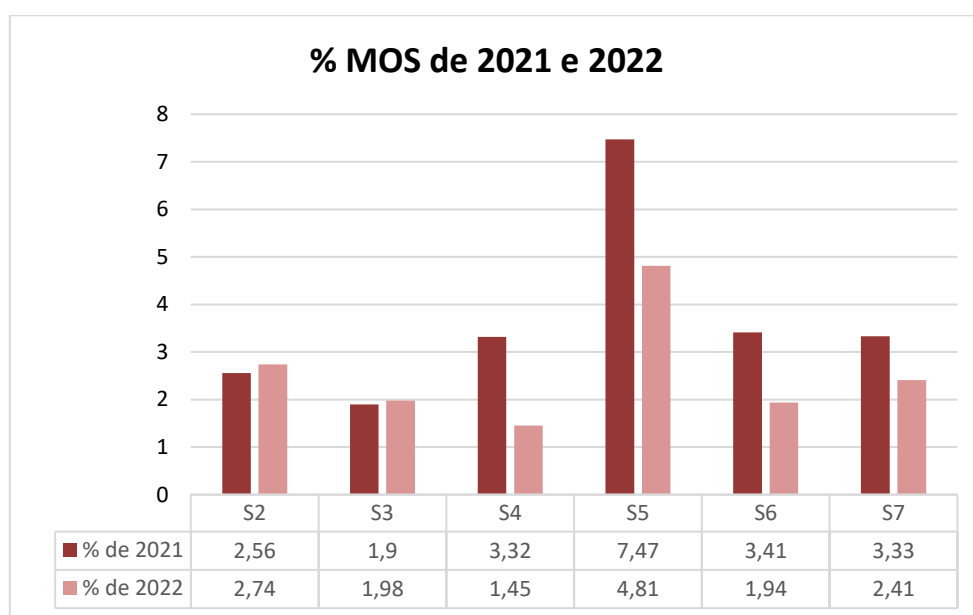


Figura 30: Gráfico dos Valores de matéria orgânica no ano de 2021 e 2022.

Os efeitos de diferentes condições de pH na erosão hídrica devem ser elucidados quando se avalia o risco de erosão hídrica do solo. As análises para determinar o pH do solo apontaram em seus resultados o caráter ácido desses solos, apresentando valor bem inferior a 7,0 (Figura 31). Essa acidez, que varia entre 3,8 a 5,6, tende a confirmar uma disposição que solos de clima úmido apresentam para a sua acidificação. No entanto, a erosão também pode ser uma das causas da acidez do solo, uma vez que há a remoção da camada superficial do solo, e esta possui maiores teores de bases e favorece a acidificação do solo, expondo as camadas mais ácidas do subsolo (YOSHIOKA, 2005).

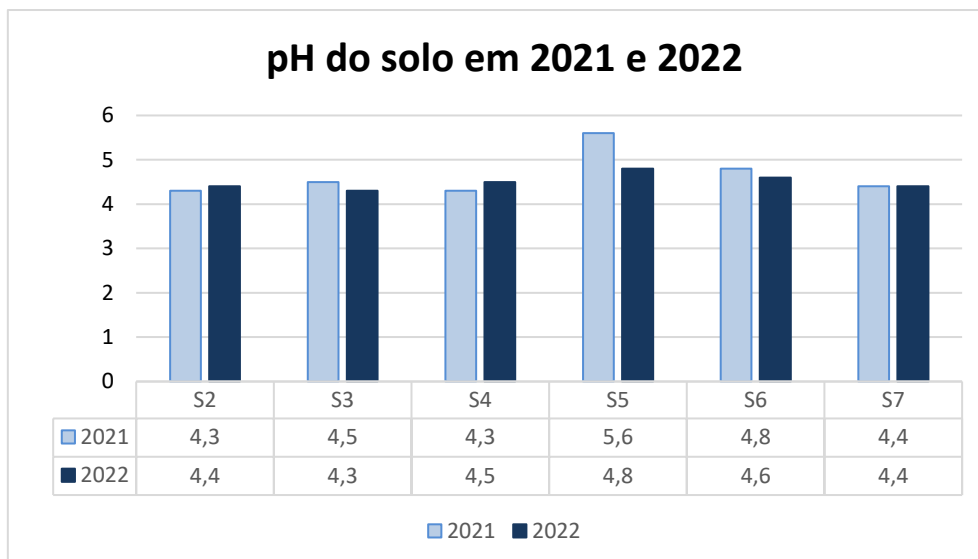


Figura 31: Gráfico dos valores de pH do solo encontrados nas amostras analisadas dos anos 2021 e 2022.

O menor resultado de pH foi encontrado nas amostras S2 e S4, as quais estão associadas às áreas de solo exposto e/ou movido da voçoroca. Já o maior resultado pode ser observado na amostra S5, a qual possui a cobertura vegetal mais densa e apresenta o maior teor de matéria orgânica da área de estudo. É importante destacar que, apesar de não terem sido realizadas algumas análises (campos em branco no Gráfico apresentado), se observarmos os valores de um modo geral, chegamos a mesma conclusão de um solo com grande atividade erosiva e com pH muito ácido. Esses resultados demonstram pouca disponibilidade de nutrientes no solo da voçoroca.

7. CONCLUSÕES

Diante dos resultados e das observações de campo, em uma escala mais ampla, a voçoroca consiste em um processo erosivo instalado e avançado, sem demonstrativos de estar perto da sua estabilização. A cada visita técnica desde 2021 e com as análises e mapeamentos das imagens de VANT, nota-se a expansão contínua da feição erosiva. A voçoroca, como processo erosivo inciso, tem atingido consideráveis profundidades que chegam a expor o substrato rochoso e um fluxo hídrico contínuo, demonstrando já ter atingido o lençol freático local. Tal condição indica a atuação de processos hídricos de fluxos subterrâneos, o que pode demonstrar a própria expansão das redes de canais presentes. A sua tendência evolutiva, com base nas análises do solo e observações de campo e imagens de VANT, seria, com o tempo, o alargamento do vale, a suavização das bordas e o reafeiçoamento de suas paredes laterais, transformando-se lentamente em uma concavidade na encosta local. Possivelmente, essa dinâmica conduzirá a transformação dessa feição, futuramente, em um pequeno novo vale afluente, no Alto Curso do Rio Pirai.

Com os resultados até aqui obtidos, pode-se notar em relação à atuação dos processos erosivos instalados e ativos no interior da voçoroca, condições que demonstram a alta atividade erosiva, demonstradas nas análises sobre a erodibilidade dos solos. Os percentuais das partículas mais finas diminuíram, assim como o teor de matéria orgânica e a porosidade do solo, demonstrando perda de material e desestruturação do topo do solo entre os anos de comparação. Os processos erosivos se caracterizam não só pelo escoamento superficial, responsável pela mobilização das partículas, sobretudo, do topo do solo, mas também por movimentos de massa no interior da voçoroca. Somados a isso, os valores encontrados em relação ao pH, mostram que a constante mobilidade do solo tende a intensificar sua acidez, por conta da remoção da camada superficial do solo e, consequentemente, exposição de camadas mais ácidas do subsolo.

Essas análises do interior da voçoroca em conjunto com os demais levantamentos na escala de encosta e de paisagem, demonstram um processo evolutivo regional de expansão da rede de canais, inserindo a Voçoroca do Minério em um contexto de evolução do relevo muito maior. Essa evolução associa-se com os processos de degradação conduzidos na encosta em questão. A retirada das florestas, historicamente na região, e sua substituição por plantios de café em algum momento histórico e o atual uso para pastagem, garantiram a erosão superficial e a compactação do topo do solo,

incentivando maior escoamento superficial e desestruturação dos solos. Mas, especificamente, a detonação do processo erosivo do tipo voçoroca tem causalidades regionais, como dito, no próprio processo de rebaixamento de nível de base regional e expansão da rede de drenagem. Contudo, o processo foi agravado pelo corte promovido pela abertura de uma pequena estrada que sai da BR 494 em direção ao topo da encosta. A feição erosiva já instalada na forma de uma pequena depressão no meio da encosta (certamente proveniente do colapso do teto de um túnel erosivo), encontra uma expressiva face de exfiltração no “barranco” da pequena estrada e detona, sobretudo a partir do ano de 2007, sequenciados movimentos de massa, abrindo a feição erosiva de baixo para cima, até encontrar a depressão preexistente. A análise das feições côncavas nas encostas circundantes, tanto em perfis topográficos laterais e longitudinais como em planta, colaboram para o entendimento do processo de concentração de fluxos hidrológicos em direção à feição erosiva.

A utilização das imagens de VANT mais recentes da voçoroca, permitiram um detalhamento das feições erosivas no seu interior, bem como a visualização da dinâmica dos processos de transporte erosivo atuantes nestes dois anos de análise. O zoneamento realizado sobre as tipologias de topo do solo no interior da feição demonstram migração da zona mais úmida (solo saturado), onde a condição de instabilidade do material é altíssima, e a diminuição das áreas com alguma cobertura vegetal, transformando-se em áreas de solo exposto. Esta movimentação das zonas no interior da voçoroca demonstrou claramente a intensa atividade erosiva em que se encontra a voçoroca, corroborada pela análise dos perfis topográficos que demonstram o aprofundamento da feição, rebaixando as cotas altimétricas de um ano para o outro (incisão). A atividade erosiva superficial soma-se a ocorrência de pequenos ou grandes deslizamentos das paredes laterais da voçoroca. Após fortes chuvas, é visível o transporte de sedimentos para o leito da estrada BR-494. Diante disso, o trabalho da prefeitura local tem sido paliativo, apenas retirando o material da estrada, levando-o para o outro lado, próximo à borda do rio Pirai e fazendo a desobstrução da calha na beira da estrada, que entope frequentemente. Isso indica que a recuperação direta através do plantio de mudas, instalações de estacas e construção de uma calha, para desviar o fluxo de água da chuva, no exterior da feição não são suficientes para a estabilizar o processo de voçorocamento no local.

Como dito, o foco dessa dissertação recai sobre a análise dos processos erosivos, não tendo foco na recuperação, no entanto, diante do entendimento da dinâmica erosiva

em curso, pode-se entender sua dinâmica e dar subsídios ao direcionamento do processo de recuperação, ou reabilitação da área. O zoneamento e o entendimento das características do topo do solo foram fundamentais para o entendimento do que pode ser feito no processo de recuperação, pois fornece o diagnóstico do que está ocorrendo na área, e permite subsidiar as orientações para diminuir a intensidade dos processos erosivos.

As zonas da voçoroca foram divididas em três: “solo com cobertura vegetal”, “solo exposto”, “solo saturado”, além das paredes da voçoroca e de seu canal. Em cada uma dessas zonas a dinâmica erosiva é distinta e, portanto, as ações de reabilitação devem acompanhar esse entendimento. Como dito, não se propõe aqui elaborar um Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), mas sim subsidiar os profissionais que vão se dedicar a essa função no futuro.

As paredes da voçoroca, se encontram íngremes e sofrendo com movimentos de massa frequentes. Portanto, um ambiente muito dinâmico e com declividade que garante alta energia de transporte, no caso movimentos gravitacionais. Em um cenário que não preveja nenhuma intervenção, a tendência é o processo continuar até alargar a voçoroca e ajustá-la à estrada BR-494, que forma um nível de base artificial eficiente para a voçoroca. As encostas laterais tenderão a cair até suavizarem a declividade das bordas, como se vê em outras feições erosivas do mesmo tipo. A intervenção sugerida nessas áreas, portanto pode adiantar esse processo criando taludes mais suaves com patamares em sequência, a fim de suavizar as paredes tirando sua condição íngreme.

No canal principal da voçoroca onde o fluxo já se encontra constante, recomenda-se a criação de barreiras físicas em sucessivos degraus que vão interromper o fluxo de sedimento para jusante. Essas barreiras funcionarão como uma escada hidráulica com sucessivos níveis de base locais, subindo de jusante para montante retendo o material sedimentar no interior da voçoroca. As barreiras podem ser feitas com materiais orgânicos ou não, mas devem ter a função de diminuir a energia de transporte do fluxo dos canais.

Na zona de “solo saturado”, assim como na zona de “solo exposto”, deve ser conduzido um processo rápido de recobrimento com matéria orgânica, importando serapilheira e material orgânico triturado de poda de outras regiões, a fim de proteger o solo do efeito “*splash*”, durante os eventos de chuva e impedir, ou diminuir, o escoamento superficial, responsável pelo carreamento do material. Nessas áreas devem ser utilizadas

plantas de crescimento rápido com função forrageira, como trepadeiras, feijões rasteiros etc., que tenham capacidade de recobrir a área o mais rápido possível. De fato, o especialista deve estar atento, para a escolha das espécies, na diferença de umidade no solo entre as duas tipologias, lembrando que o “solo saturado” apresenta-se sempre úmido.

Por fim, para a zona de “solo com cobertura vegetal” recomenda-se o plantio de mudas de plantas arbóreas e arbustivas, também de crescimento rápido, que possam aproveitar ainda as condições de matéria orgânica desses solos. As espécies devem ser nativas de Mata Atlântica, para que não se corra o risco de espécies exóticas virarem pragas nos ambientes degradados da região. Barreiras físicas com material orgânico (galhos e bambus) são importantes de serem usadas, formando terraços para acomodação e maior estabilização das mudas.

Diante disso, as ações de manutenção devem continuar, através do “convívio” com a condição atual da voçoroca, com a desobstrução da calha e retirada do material transportado na estrada. Entende-se que quanto mais detalhado for o diagnóstico de uma feição erosiva e de seus processos dinâmicos, melhores podem ser as soluções de recuperação ambiental.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, E.L.S.; SOUZA, M.J.N. de. **Condições ambientais e socioeconômicas nas bacias hidrográficas costeiras do setor leste metropolitano de Fortaleza, estado do Ceará.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, V. 09, Nº 01, p. 110-124, 2016.
- ALVARES, CLAYTON ALCARDE, STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's Climate Classification Map for Brazil.** *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 22, no. 6, 1 Dec, p. 711–728. 2013.
- ANDRADE, A. G.; PORTOCARRERO, H.; CAPECHE, C. L. **Práticas mecânicas e vegetativas para controle de voçorocas.** EMBRAPA. Comunicado Técnico 33: 1-4. 2005.
- ARAÚJO, G.H.S.; ALMEIDA, J.R.; GUERRA, A.J.T. **Gestão ambiental de áreas degradadas.** 12ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017.
- AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L. **Faturas e o desenvolvimento de unidades côncavas no médio vale do rio Paraíba do Sul.** *Revista Brasileira de Geociências*, v 22, n 2, Rio de Janeiro. 1992.
- BACCARO . C. AP. D.; SOARS, A. M. **The gully formation processes of the basins and their implications on the slopes stability, a relief evolution model on the brazilian savanna domain.** *Sociedade & Natureza : revista do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia*, Vol.Especial(1), pp.255-25. 01 May 2005.
- BACCARO, C. A. D. **Processos erosivos no domínio do cerrado.** In: GUERRA, Antonio José Teixeira et al (orgs). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.* Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2 ed. : 195 – 227, 1999.
- BAI, Z.G.; DENT, D.L.; OLSSON, L.; SCHAEPMAN, M.E. **Proxy global assessment of land degradation.** *Soil Use Manag.*,24 (3), p. 223-234. 2008.
- BAJOCCO, S. ; ANGELIS, A. ; PERINI, L. ; FERRARA, A. ; SALVATI, L. **The Impact of Land Use/Land Cover Changes on Land Degradation Dynamics: A Mediterranean Case Study.** *Environmental Management*. Vol.49(5), p.980-989. 2012.
- BALL, D.F. Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in noncalcareous soils. *Journal of Soil Science*, 15, 1, 84-92, 1964.
- BERTOLINO, A.V.F.A. **Influência do manejo na hidrologia de solo agrícolas em relevoforte ondulado de ambiente serrano:** Paty do Alferes – RJ. *Tese de Doutorado.* UFRJ.Programa de Pós-Graduação em Geografia, p. 169 2004.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** São Paulo: Editora Ícone – Coleção Brasil Agrícola. 4ª edição, p. 355. 1999.

BEZERRA, J. F. R. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga, São Luís – MA.** Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós- Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ): Rio de Janeiro, 2011.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. **Visão integrada da problemática da erosão.** IN: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3, 1985, Maringá. Livro Guia...Maringá: ABGE, p. 332. 1985.

BITAR, O. Y.; BRAGA, T.O. **O Meio Físico na Recuperação de Áreas Degradadas.** In: Bitar, O. Y. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 165 -77. 1995

BITAR, O. Y. **Avaliação da recuperação de áreas degradadas por mineração na região metropolitana de São Paulo.** 1997. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

BLAIKIE, P.; BROOK-FIELD, H. **Land degradation and society.** Methuen: London, p. 296, 1987.

BLUM, W.E.H. **The role of soils in sustaining society and the environment: realities and challenges for the 21st century.** In: 17th World Congress of Soil Science. August 2002, Bangkok, Keynote Lectures, IUSS, 66–86. 2002.

BOARDMAN, J. **A 38-year record of muddy flooding at Breaky Bottom: learning from a detailed case study.** Catena, 189, p. 12. 2020.

BOARDMAN, J.; POESEN, J.. **Soil erosion in Europe: major processes, causes and consequences.** in Soil Erosion in Europe (eds J. Boardman and J. Poesen), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. 2006.

BOARDMAN, J.; VANDAELE, K.; EVANS, R.; FOSTER, I.; AITKENHEAD, M. **Off-site impacts of soil erosion and runoff: Why connectivity is more important than erosion rates.** Soil Use and Management, 35(2), 245-256. 2019.

BOGUNOVIC, I.; PEREIRA, P.; KISIC, I.; SAJKO, K.; SRAKA, M. **Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia).** Catena, v. 160, p. 376-84, 2018.

BORRELLI, P., PAUSTIAN, K., PANAGOS, P., JONES, A., SCHÜTT, B., & LUGATO, E. **Effect of good agricultural and environmental conditions on erosion and soil organic carbon balance: A national case study.** Land Use Policy, 50, p. 408–421. 2016.

BOTELHO, R. G. M. **Bacias hidrográficas urbanas.** In: GUERRA, J. T. Geomorfologia urbana. Rio de Janeiro: Betrand Brasil, 2011.

BOUYOUCOS, G. J. **The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion.** Agronomy journal, v. 27, n. 9, p. 738-741, 1935.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 15 ed. Columbus: Pearson. Prentice Hall, 2017.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; 2012**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 28 maio 2012. Seção 1, p.1. Disponível em <<http://portal.in.gov.br/>>. Acesso em 10 outubro de 2023.

BRIZZI, R.R.; PORTOCARRERO, H.; SOUZA, A.P.; COSTA, A.J.S.T.; RANGEL, L.A. **Avaliação macro e microestrutural de solos sob diferentes usos a partir de análises físicas, microscopia eletrônica e espectroscopia por energia dispersiva**. R. Ra'e Ga. Curitiba, v.46, p. 25 -40 , Mar, 2019.

BRYAN, R. B., JONES, J.A.A. **The significance of soil piping processes: inventory and prospect**. Geomorphology 20, p. 209– 218. 1997.

CANTALICE, J.; SILVEIRA, F.; SINGH, V.; SILVA, Y.; CAVALCANTE, D.; GOMES, C. **Interrill erosion and roughness parameters of vegetation in rangelands**. Catena (Giessen), 148, p. 111-116. 2017.

CARRIJO, B. R. **A dinâmica e evolução dos processos de voçorocamento no Oeste do Triângulo Mineiro: a bacia do Ribeirão Boa Vista – Prata – MG**. Uberlândia: UFU. Monografia. 1999.

CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F. ; SANTOS, R. D. . **Os solos do estado do Rio de Janeiro**. In: SILVA, L.C.; SILVA, H.C.. (Org.). Estudo geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. 1ed.Brasília: CPRM, v. 1, p. 1-35. 2001.

CASTRO, S. S. **Erosão Hídrica na Alta Bacia do Rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo (SP), n. 17, p. 38-60. 2005.

CAVALIERI, A. (1994) **Erodibilidade do solo: avaliação por meio de propriedades físicas e químicas**. Dissertação de Mestrado, UNICAMP.

CENTERI, C. **Soil Water Erosion**. Water, v. 14, n. 3, p. 447-501, 2022. DOI: 10.3390/w14030447

CHEROBIN, S. F. **Estimativa de erosão e sua relação com os diferentes mecanismos erosivos atuantes: estudo da voçoroca Vila Alegre**. 2012. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

CHILTON, K. D., & SPOTILA, J. A. **Uncovering the controls on fluvial bedrock erodibility and knickpoint expression: A high-resolution comparison of bedrock properties between knickpoints and non-knickpoint reaches**. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 127, e2021JF006511. 2022.

CHRISTOFOLETTI, A. **Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento**. In: GUERRA, Antônio José Teixeira, CUNHA, Sandra B. da (orgs.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 4 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher. 1980.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Rio Claro, RJ**. (Biblioteca de Padrões de Relevo). 2019.

COELHO NETTO, A. L. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia**. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (Orgs.). *Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos*. 15ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 93-148. 2019.

COELHO NETTO, A. L. **Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 4, Nº 2, p. 69-100. 2003.

COELHO NETTO, A.L.; AVELAR, A.S. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia**. In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. 6 Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 103-138. 2013.

CONFORTI, M.; BUTTAFUOCO, G.; LEONE, A.P.; AUCELLI, P.P.C.; ROBUSTELLI, G. & SCARCIGLIA, F. **Studying the relationship between water-induced soil erosion and soil organic matter using VIS-NIR spectroscopy and geomorphological analysis: A case study in southern Italy**. *Catena*, p. 110:44-58, 2013.

COSTA, C.; LORANDI, R.; DE LOLLO, J.; IMANI, M.; DUPAS, F. **Surface runoff and accelerated erosion in a peri-urban well head area in southeastern Brazil**. *Environmental Earth Sciences*, 77(5). 2018.

COUTO, L.; GONÇALVES, W.; COELHO, A. T.; PAULA, C. C. de; GARCIA, R.; AZEVEDO, R. F.; LOCATELLI, M. V.; ADVÍNCULA, T. G. de L.; BRUNETTA, J. M. F.C.; COSTA, C. A. B.; GOMIDE, L. C.; & MOTTA, P. H. **Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil**. In: *Boletim Técnico CBCN*, No 001, Viçosa. 2010.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Degradação Ambiental**. In: *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Guerra, A. J. T. & Cunha, S. B. (orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 11ª edição, p. 337-379. 2012.

DANTAS, M. E. **Biblioteca de padrões de relevo: carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação**. Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 2016.

DANTAS, M. E., SILVA, S.E.L., BELCHIOR, A.C. e OLIVEIRA FILHO, I.B. **Mapa de padrões de relevo do município de Rio Claro-RJ (escala - 1:25.000)**. CPRM -

- Serviço Geológico do Brasil. Programa Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação. 2023.
- DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira.** In A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira , p. 484-484. 1996.
- DERBYSHIRE, E; GREGORY, K. J; & HAILS, J. R. **Geomorphology process.** Ed. Dowson & Son, England. 1979.
- DEVIDE, A.C.P. **História ambiental do Vale do Paraíba.** UFRRJ. Qualificação de doutorado Pós-Graduação em Fitotecnia, p. 23. 2013.
- DE PLOEY, J. & POESEN, J. (1985) **Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion.** Geomorphology and Soils. Ed. George Allen & Unwin, p. 99-120, London, 1985.
- DOBEK, K.; DEMCZUK, P.; RODZIK, J.; HOLUB, B. **Types of gullies and conditions of their development in silvicultural loess catchment (SzczepreszynRoztocze region, Poland).** Landform Analysis, v. 17, p. 39-42, 2011.
- DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L. DE; CARVALHO BALIEIRO, F. DE; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; SANTOS, F. C. DOS; ALBUQUERQUE, M. R. DE. **Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 51, n. 9, p. 1003–1020, 2016.
- DUMANSKI, J. **Evolving concepts and opportunities in soil conservation.** International Soil and Water Conservation Research, Vol. 3, p. 1-14. 2015.
- DUNNE, T. & BLACK, R. D. **An experimental investigation of runoff processes in permeable soils.** Water Research 6, 478-490. 1970.
- DUNNE, T. **Formation and controls of channel networks.** Prog. Phis. Geogr. 4 221-239. 1980.
- DUNNE, T. **Hydrology, mechanics, and geomorphic implications of erosion by subsurface flow.** In: Higgins, C. G. and Coates, D. R., eds., Groundwater geomorphology; The role of subsurface water in Earth-Surface Processes and Landforms: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 252. 1990.
- DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água.** Porto Alegre: EST Edições, p. 189. 2005.
- EIRADO SILVA, L. G.; DANTAS, M. E. & COELHO NETTO, A.L. **Condicionantes lito-estruturais na formação de níveis de base locais ("knickpoints") e implicações geomorfológicas no Médio Vale do rio Paraíba do Sul .** In: III Simpósio de Geologia do Sudeste - Rio de Janeiro/RJ - Atas, p. 96-102, 1993.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2011.

EVANS, R. **Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint**. In: KIRKBY, M.J.; MORGAN, R.P.C. (Eds.) *Soil erosion*. Cambridge: John Wiley and Sons Ltda., 1980. p.109-128. 1980.

FAO. **Diretrizes Voluntárias para a Gestão Sustentável dos Solos**. Roma. 2019.

FAO. **Natural resources and the human environment for food and agriculture**. Environment Paper n° 1. Roma, 1980.

FACADIO, A. C., SATO, A. M. ., & COELHO NETTO, A. L. **Eucalyptus Planting in Pasture Matrix and Erosive Reactivation of Gullies in the Sesmaria River Basin (SP/RJ): a cycle of instability in headwater valleys**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(00). 2023.

FERREIRA, C.S.S; SEIFOLLAHI-AGHMIUNI, S; DESTOUNI, G; GHAJARNIA, N; KALANTARI, Z. **Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences**. *Sci Total Environ*. 2022 Jan 20;805:150106. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150106. Epub 2021 Sep 4. PMID: 34537691. 2022.

FONSECA, A.C. (1999) **Geoquímica dos solos**. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs.) *Erosão e conservação de solos. Conceitos, temas e aplicações*. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro. 1999.

FOSTER, G.R.; YOUNG, R.A.; RÖMKENS, M.J.M.; ONSTAD, C.A. **Process of soil erosion by water**. In: FOLLET, R.F. & STEWART, B.A. (Eds). *Soil erosion and crop productivity*. Wisconsin: American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Soil Science Society of America, p. 137-162. 1985.

FREITAS, L. E.; NEVES, S. M. A.S; NUNES, M. C. M.; CARVALHO, M. A. C.; LUZ, C. C. Da S.; PAULA, D. G. **Abordagem Morfopedológica Avaliação da Suscetibilidade à Erosão dos Solos em Vale de São Domingos (MT)**. *Revista Ibero-Americana De Ciências Ambientais* 8, no. 1, pp: 49-61, 2017.

FREITAS, M.M. **Evolução da paisagem geomorfológica**. In: *Paisagem, espaço e sustentabilidade: uma perspectiva multidimensional da geografia*. Org.: João Rua. Rio de Janeiro: Ed. PUC-Rio. p. 91-128, 2007.

FREITAS, M.M.; PAIXÃO, R.W.; SALGADO, A.A.R.; EIRADO SILVA, L.G.; CUNHA, P.P.; GOMES, A.A.T.; MARTINS, A.A.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M. A.; DANTAS, M. . **The endorheic - Exorheic transition and later stage of fluvial incision in a wet tropical margin setting: The Atlantic draining Paraíba do Sul River basin (Brazil)**. *JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES*, v. 115, p. 103742, 2022.

FULLEN, M.A. e CATT, J.A. **Soil Management – Problems and Solutions**. Arnold Publisher, Londres, Inglaterra, p. 269. 2004.

GARRITANO, F. N. **Diagnóstico da degradação do solo na bacia do alto rio Piráí (RJ) – Monitoramento com uso de VANT em áreas com erosão em diferentes estágios de intervenção.** Dissertação de Mestrado em Geografia, 97 p. Programa de pós-graduação em geografia (PPGG) UFRJ, Rio de Janeiro, 2020.

GLENDALL, M.; MCSHANE, G.; FARROW, L.; JAMES, M. R.; QUINTON, J.; ANDERSON, K.; EVANS, M.; BENAUD, P.; RAWLINS, B.; MORGAN, D.; JONES, L.; KIRKHAM, M.; DEBELL, L.; QUINE, T. A.; LARK, M.; RICKSON, J.; BRAZIER, R. E. B. **Testing the utility of structure-from-motion photogrammetry reconstructions using small unmanned aerial vehicles and ground photography to estimate the extent of upland soil erosion.** *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol.42(12), p.1860-1871. 2017.

GOMES, L G. N. **A bioengenharia como ferramenta para restauração ambiental das margens do rio São Francisco.** 2005. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), São Cristóvão, 2005.

GOMEZ, J.A.; GIRALDEZ, J.V.; PASTOR, M.; FERERES, E. **Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard.** *Soil Tillage Res.*,5 (3–4), p. 167-175. 1999.

GRAY, D.H.; LEISER, A.T. **Biotechnical Slope Protection and Erosion Control.** Krieger Publishing Company, Malabar, Florida. 1989.

GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control.** New York: Wiley, p. 377.1996.

GRIFFITH, J. J. **Recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação.** Viçosa: UFV, 1986.

GUERRA, A.J.T. **Processos Erosivos nas Encostas.** In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (Orgs.). *Geomorfologia – Uma Atualização de Bases e Conceitos.* 15ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 149-209. 2019.

GUERRA, A.J.T. **Encostas e a Questão Ambiental.** In: *A Questão Ambiental: diferentes abordagens.* CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (Orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 191-218. 2003.

GUERRA, A. J. T. **O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos.** In: *Anuário do instituto de geociências*, 13, p. 43-52, 1990.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. **Erosão dos solos e movimentos de massa – recuperação de áreas degradadas com técnicas de bioengenharia e prevenção de acidentes.** In: *Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas.* São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O.; RANGEL, L. A.; BEZERRA, J. F. R.; LOUREIRO, H. A. S.; GARRITANO, F. N. **Erosão dos solos, diferentes abordagens**

- e técnicas aplicadas em voçorocas e erosão em trilhas.** William Morris Davis - Revista de Geomorfologia, v. 1, n. 1, p. 75-117. 2020.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental.** Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2006.
- GUERRA, A.J.T.; MENDONÇA, J.K.S. **Erosão dos Solos e a Questão Ambiental.** In: Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. A.C. Vitte e A.J..T.Guerra. (orgs). Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2014.
- GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M. S. **Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review.** Pedosphere, v. 27, n. 1, p. 27-41, 2017.
- GUERRA, A. J. T., BEZERRA, J. F. R., & JORGE, M. DO C. O. **Recuperação de voçorocas e de áreas degradadas, no Brasil e no mundo - estudo de caso da voçoroca do Sacavém - São Luís – MA.** Revista Brasileira De Geomorfologia, 24(00). 2023.
- GUPTA, S. K.; SHUKLA, D. P. **Application of drone for landslide mapping, dimension estimation and its 3D reconstruction.** Journal of the Indian Society of Remote Sensing, v.46, n. 6, p. 903-914, 2018.
- HEILBRON, M. & MACHADO, N. **Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil).** Precambrian Research, 125, p. 87-112. 2003.
- HEILBRON, M.; EIRADO, L. G.; ALMEIDA, J. (Org.). **Mapa geológico e de recursos minerais do estado do Rio de Janeiro.** Belo Horizonte: CPRM. 1 mapa. Escala 1:400.000. Programa geologia do Brasil. Mapas geológicos estaduais. 2016.
- HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C.M.; MILANI, E.; ALMEIDA J.C.H.; TUPINAMBÁ, M. **From collision to extension: the roots of the southeastern continental margin of Brazil.** In: TALWANI & MOHRIAK (eds). Atlantic Rifts and Continental Margins. American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series, 115:1-34. 2000.
- HEWLETT, J. D. **Soil moisture as a source of baseflow from steep mountain watersheds.** US Forest Service Southeast. Forest Experimental Station Research Paper SE 132. 1961.
- HIGGINS, C. G. **Gully development, with a case study.** In: Hill, B. R., and Lehre, A. K., in Higgins, C. G. and Coates, D. R., eds., Groundwater geomorphology; The role of subsurface water in Earth-Surface Processes and Landforms: Boulder, Colorado, Geological Society of America Special Paper 252. 1990
- HORTON, R.E. (1945). **Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology.** Geol. Soc. Am. Bull. v56, p. 144-152, 1945.

HOVHANNISYAN, T.; EFENDYAN, P.; VARDANYAN, M. **Creation of a digital model of fields with application of DJI phantom 3 drone and the opportunities of its utilization in agriculture.** *Annals Of Agrarian Science*, Elsevier BV, v. 16, n. 2, p.177-180, jun. 2018.

HUGO, G. **Trends in land degradation in South America.** Workshop of Agricultural Meteorology Programme (AgMP). World Meteorological Organization, Edited by R. Stefanski and P. Pasteris AGM-10, WMO/TD-No. 1428: Portland, Oregon, 2006, p. 127-146. Disponível em: http://www.wamis.org/agm/pubs/agm10/agm10_12.pdf. Acessado em: 25 ago 2011.

INFANTI JR., N.; FORNASARI FILHO, N. **Processos de Dinâmica Superficial.** In: OLIVEIRA, A. MS; BRITO, SNA. (Orgs). *Geologia de engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p. 131-152, 1998.

INEA - INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Plano de Manejo do Parque Estadual Cunhambebe.** 2015. Disponível em: https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/PM_PEC_COMPLETO.pdf. Acesso em: 30 de junho de 2022.

INMET, **Instituto Nacional de Meteorologia**, Min. Agricultura e Pecuária, disponível em <https://portal.inmet.gov.br/>, acesso em 25 de agosto de 2021.

ITPA, 2011, **Instituto Terra de Preservação Ambiental.** Estudos Técnicos para a criação de UCs. Instituto Terra – Instituto Estadual de Florestas (IEF) – Aliança para Conservação da Mata Atlântica – The Nature Conservancy (TNC) – Prefeitura Municipal de Rio Claro (PMRC). 2008. Disponível em: https://issuu.com/itpa/docs/estudo_para_cria_o_do_pe_cunhambebe_e_apa_alto_pi Acesso em: 23 de novembro de 2022.

JENSEN, J.; SCHJONNING, P.; WATTS, C.; CHRISTENSEN, B.; OBOUR, P.; MUNKHOLM, L. **Soil degradation and recovery – Changes in organic matter fractions and structural stability.** *Geoderma*, 364, 114181. 2020.

JOLY, F. **Point de vue sur la géomorphologie.** *Annales de Géographie*. 86(477): 522-541. 1977

JORGE, J.A. **Matéria orgânica.** In: MONIZ, A. C. (Org.) *Elementos de pedologia*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, p. 169-177. 1975.

JUNQUEIRA, A. A; LIMA, L. G. S.; SOUZA, J. P. de; SILVA, C. E. S. da; KNUPP, R. O.; BASSO, V. M. **Avaliação do projeto Produtores de Água e Floresta da bacia do rio Guandu – RJ.** 6 Simpósio de Gestão Ambiental e Biodiversidade – Anais, p. 47-56, 2017.

KASHTANOV, A.N.; VERNYUK, YU.I.; SAVIN, I.YU.; SHCHEPOT'EV, V.V.; DOKUKIN, P.A.; SHARYCHEV, D.V.; LI, K.A. **Mapping of Rill Erosion of Arable Soils Based on Unmanned Aerial Vehicles Survey.** *Eurasian Soil Science*, Vol.51(4), p. 479-484. 2018.

KESSTRA, S.; PEREIRA, P.; NOVARA, A.; BREVIK, E. C.; AZORIN-MOLINA, C.; PARRAS-ALCÁNTARA, L.; JORDÁN, A.; CERDÀ, A. **Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards**. *Science Total Environment*. May 1;551-552:357-66. 2016.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. Ed. CERES, São Paulo, 1979.

KIRKBY, M.J. **The Problem**. In: KIRKBY, M.J. e MORGAN, R.P.C. (Eds.) *Soil erosion*. John Wiley & Sons. 1980.

KOHLER, H.C.A. **Escala na Análise Geomorfológica**. *Revista Brasileira De Geomorfologia*, 2(1). 2001.

KUZYAKOV, Y.; ZAMANIAN, K. **Reviews and syntheses: Agropedogenesis – humankind as the sixth soil-forming factor and attractors of agricultural soil degradation**. *Biogeosciences*, 16(24), 4783-4803. 2019.

LAL, R. **Monitoring Soil Erosion from Tropical Arable Lands and Its Control**. *Advances in Agronomy*, 37, 183-248. 1988.

LAMBIN, E.F.; TURNER, B.L.; GEIST HJ, AGBOLA, S. B.; ANGELSEN, A.; BRUCE, J.W.; COOMES, O.T.; DIRZO, R.; FISCHER, G.; FOLKE, C.; GEORGE, P. S.; HOMEWOOD, K.; IMBERNON, J.; LEEMANS, R.; LI, X. B.; MORAN, E.F.; MORTIMORE; M.; RAMAKRISHNAN, P.S.; RICHARDS, J.F.; SKANES, H.; STEFFEN, W.; STONE, G.D.; SVEDIN; U.; VELDKAMP, T.A.; VOGEL, L. C.; XU, J.C. **The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths**. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions* 11:261–269. 2001.

LAUT, L.; PEREIRA, K.; BELART; P.; CARELLIAG, T. G. C; SOUZA, F.; SANTOS, V. F. **Caracterização ambiental do Estuário do Rio Oiapoque, Brasil-Guiana Francesa**. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 14(1):62-74. 2023.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 456 p. 2011.

LEOPOLD, L. B. & MILLER, J. P. **Ephemeral streams; Hydraulic factors and their relation to the drainage net: U.S.** Geological Survey Professional Paper 282-A, p.1-37. 1956.

LE ROUX, J.; MORAKE, L.; VAN DER WAAL, B.; LEIGH ANDERSON, R.; HEDDING, D. W. **Intra-gully mapping of the largest documented gully network in South Africa using UAV photogrammetry: Implications for restoration strategies**. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 2022.

LIANG, Y.; JIAO, J.; TANG, B. **Decreasing magnitude of soil erosion along vegetation succession on sloping farmland in the Loess Plateau of China: 5 years field monitoring evidence**. *J. Mt. Sci*. 2022.

LIMA, L. D. da M. **Suscetibilidade à Erosão dos Solos nas Sub-bacias do médio e alto cursos da Bacia do Rio Macaé / RJ**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geografia. UFRJ, Rio de Janeiro, p.127. 2008.

LIMA, C.G.R.; BACANI, V. M.; MONTANARI, R.; VICK, E.P.; FERREIRA, C.C.; SILVA, E.R.S. **Indirect methodologies for measuring soil erodibility and characterizing its spatial variability**. Mercator, Fortaleza, v. 20, ISSN 1984-2201. 2021.

LIMA, F. V. D.; SILVINO, G. D. S.; MELO, R. S. D. S.; LIRA, E. C.; RIBEIRO, T. D. S. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação**. Revista Caatinga, v. 28, n. 4, p. 53–63, 2015.

LI, J.; ZHAO, C.; CHEN, T.; JIAO, J.; WANG, H.; LIN, H.; XU, Q. **Gully erosion on alluvial fans can be mitigated by altering the hydrological connectivity between an alluvial fan and the contributing catchment: A study in the Lhasa River basin**. Land Degradation & Development, 33(8), 1170-1183. 2022.

LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. Universidade de São Paulo, p. 163. 2010.

LOUREIRO, H. A. S. **Monitoramento e diagnóstico de áreas degradadas na bacia hidrográfica do rio São Pedro (RJ): estudos experimentais em voçoroca e utilização de geotêxteis de fibra de bananeira**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia –PPGG, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. 2013.

LOUREIRO, H. A. S. **Diagnóstico de erosão por voçorocas: experimentos com geotecnologias e solos na bacia do Alto rio Piraí- Rio Claro-RJ**. Tese (Doutorado em Geografia -Planejamento e Gestão Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 224. 2019.

LOUREIRO, H. A. S.; SANTOS, D.S; SUAREZ, D. J. GARRITANO, F. N.; MOLINARO, Y. T.; PEPE, H. S.; NUNES, D. V. S.; GONÇALVES, J. B.; GUERRA, A. J. T.; ANDRADE, A. G. **Erodibilidade das camadas superficiais do solo em encostas com voçorocamento - Bacia Hidrográfica do rio Piraí, município de Rio Claro (RJ)**. Anais SINAGEO. Crato, p. 1-10. 2018.

LOUREIRO, H.A.S.; GUERRA, A.J.T.; BEZERRA, J.F.R.; PEREIRA, L.S.; GARRITANO, F.N. **Monitoramento da erosão hídrica no Brasil: dos métodos manuais, aos digitais**. In: CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GOMES, M.C.V.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A. *Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira*, p. 530-563, 2022.

LUCCHI, F. R. **Sedimentografia**. Atlante fotografico dell strutture dei sedimenti. Zanichelli. Bologna, p. 249. 1992.

LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A. DA; BATISTELLA, B.; WARMLING, M. T. **Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no Sul do Brasil**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 6, p. 1733–1744, 2012.

MACHADO, R. L.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C.; OLIVEIRA, J. Á.; FRANCO, A. A. **Soil and nutrient losses in erosion gullies at different degrees of restoration.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 945-954, 2010.

MAJER, J. D. **Fauna studies and land reclamation technology: review of the history and need for such studies.** In: MAJER, J. D. Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands. London: Cambridge University Press, p. 3-33. 1989.

MARQUES, J.S. **Ciência geomorfológica.** In: CUNHA, S.B. e GUERRA, A.J.T. (Orgs.). Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 103-138. 1996.

MARQUES LEAL, J.; MARIA SABÓIA DE AQUINO, C.; JOHN LENNON TAVARES DA SILVA, F. **Uso do mapa de Declividade e do Modelo Digital de Elevação na análise do relevo do município de São Miguel do Tapuio – Piauí.** Revista de Geociências do Nordeste, [S. l.], v. 5, n. 2, p. 97–107, 2019.

MENDES, S. P. **Diagnóstico Geotécnico e Sócio-Ambiental da Voçoroca do Bacanga, São Luís – MA.** Monografia para obtenção do bacharelado em Geografia – UFRJ: Rio de Janeiro, 58 p. 2007.

MEURER, E. J. **Fundamentos da química do solo**, 3. Ed., Porto Alegre. Editora Evangraf, p. 275, 2012.

MILARÉ, E. **Processo Coletivo Ambiental.** In: BENJAMIN, A. H. V (Org.). Dano Ambiental: Prevenção, Reparação e Repressão. São Paulo, Editora Revista dos Tribunais. p. 257-277. 1993.

MORGAN, R.P.C. **Soil Erosion and Conservation.** 3rd edition. England: Blackwell Publishing, 2005.

MOSCATELLI, M. C.; ROMAGNOLI, M.; CENFI, S.; LAGOMARSINO, A.; DI TIZIO, A.; SPINA, S.; GREGO, S. **Wood-soil interactions in soil bioengineering slope stabilization works.** iForest – Biogeosciences and Forestry, v. 2, p. 187-191, oct. 2009.

MOSS, A.J., GREEN, P. AND HUTKA, J. **Small channels: Their experimental formation, nature and significance.** Earth Surf. Process. Landforms, 7: 401-415. 1982.

NASCIMENTO, E. E. D.J. **Contribuição ao estudo de processos erosivos acelerados em áreas de sedimentos costeiros poligenéticos - o caso da Praia Mole - Ilha de Santa Catarina.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. p. 161. 1998.

NOFFS, P. S.; GALLI, L. F.; GONÇALVES, J. C (org.). **Recuperação de Áreas Degradadas da Mata Atlântica: Uma experiência da CESP Companhia Energética de São Paulo.** Caderno n. 3, Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, UNESCO: São Paulo. p. 48. 2000.

- NOWAK, A.; SCHNEIDER, C. **Environmental characteristics, agricultural land use, and vulnerability to degradation in Malopolska Province (Poland)**. The Science of the total environment, Vol.590-591, pp.620-632. 2017.
- NUNES, E. D.; CASTRO, S. S. **Análise multiescalar aplicada à avaliação de erosão hídrica linear para área tropical subúmida situada na região Sudoeste do estado de Goiás - Brasil**. Revista Brasileira De Geomorfologia, 24(00). 2023.
- OHARA, T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; MATTOS, J. T. de; CAETANO, N. R. **Zoneamento geoambiental da região do alto-médio rio Paraíba do Sul e a carta de aptidão física para a implantação de obras viárias**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 173-182. 2003.
- OLIVEIRA, A. I. A. **O Dano Ambiental e sua Reparação**. Rio de Janeiro. n.p. 1995.
- OLIVEIRA, M.A.T. **Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas**. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs.). *Erosão e Conservação dos Solos – Conceitos, Temas e Aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 57-99.1999.
- OLIVEIRA, M.A.T.; LEMOS, R.; PINTO; L. R. **Pode uma voçoroca resultar da evolução de voçorocas conectadas e desconectadas?** Revista Brasileira De Geomorfologia, 24(00). 2023.
- OSMAN, K. T. **Soil Degradation, Conservation and Remediation**. Dordrecht: Spring, 2014.
- OSMAN, I, R. R.; SOUZA, A. P.; COSTA, A. J. S. T. **Relação entre a infiltração da água nos solos e a estabilidade dos agregados em sistemas de manejos diferentes na bacia hidrográfica do rio São Romão – Nova Friburgo**. Caminhos de Geografia Uberlândia - MG v. 19, n. 67, p. 304–321. 2018..
- PAZ, O. L. S.; SAMPAIO, T. V. M. **Aeronaves Remotamente Pilotadas na Pesquisa Geográfica: Uma análise dos usos, aplicações e desenvolvimento tecnológico associado entre os anos de 2014 e 2017**. Revista Interface, Edição nº 17, p. 23 - 31.2019.
- PENTEADO, M.M. **Fundamentos de geomorfologia**. 2ª edição. Rio de Janeiro: IBGE, p. 180. 1978.
- PEREIRA, L. DOS. S.; RODRIGUES, A.M.; JORGE, M. DO. C. O.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M.A. **Processos hidro-erosivos em solos degradados em relevo de baixa declividade**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.17, n.2, p.299-316, 2016.
- PINHEIRO, A. G., DOS SANTOS, J. C. N., DE QUEIROZ PALÁCIO, H. A., DE ARAÚJO NETO, J. R., & DE ANDRADE, E. M. **Eficiência da cobertura vegetal na redução das perdas de água e solo no município de Iguatu**. Irriga, v. 23, n. 1, p. 133. 2018.

PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2023. **Gestão Urbana SP, Cidade de São Paulo**. Disponível em <https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/marco-regulatorio/zoneamento/>. Acesso em 20 agosto de 2022.

RANGEL, L. de A.; GUERRA, A. J. T. **Microtopografia e compactação do solo em trilhas geoturísticas no litoral do Parque Nacional da Serra da Bocaina- Estado do Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 19, n. 2, p. 391-405, 2018.

RANGEL, L. de A.; GUERRA, A. J. T. **Caracterização de atributos do solo de trilhas ecoturísticas em Unidades de Conservação do município de Paraty (RJ)**. Revista Brasileira De Geomorfologia, vol. 19, no. 1, 2018, pp. Revista brasileira de geomorfologia, Vol.19 (1), 2018.

REGO, J.; RUFINO, L.; FERREIRA, M. E.; VIEIRA, P. A. **Análise Morfométrica do Perímetro Urbano de Goiás/Rio Vermelho com Dados obtidos por VANT's**. Anais do SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. João Pessoa: Inpe, p. 2309 – 2316, 2015.

RIBEIRO, M. A. V. **Resposta da soja e do eucalipto a fósforo em solos de diferentes texturas, níveis de densidade e de umidade**. 1999. 71 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L.G. & FERRARI, A.L. **Evolução geológica do rift continental do Sudeste do Brasil**. In: MANTESSO-NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C.D.R., BRITO-NEVES, B.B. (Eds.) Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo. Editora Beca, p. 385-405. 2004.

ROLANDO, J.L.; DUBEUX, J.; RAMIREZ, D.; Moreno; M.R. **Land use effects on soil fertility and nutrient cycling in the Peruvian High-Andean Puna grasslands**. Soil. Sci. Soc. Am. J., 82 (2), p. 463-474. 2018.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia e geografia aplicadas a gestão territorial: teoria e metodologia para o planejamento ambiental**. Tese (Livre Docência) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 322 p. 2001.

SALOMÃO, F.X.T. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO,R.G.M. (Orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 229-267. 2005

SANTOS, J. R. U. **Análise integrada da vulnerabilidade erosiva da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas (ES)**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo – ES. 178, p. 2016.

SANTOS, R.C. **Avaliação da erosão dos solos na bacia hidrográfica do rio Pequeno, Paraty – RJ**. Dissertação (mestrado). UFRJ. PPGG. Rio de Janeiro, 140 p. 2017.

SANTOS, R.C.; GUERRA, A. J. T. **Avaliação Da Erosão Dos Solos Na Bacia Hidrográfica Do Rio Pequeno, Paraty-RJ**. Geosaberes, vol. 12, no. 1, p. 23–43. 2021.

SAVAT, J. **Laboratory experiments on erosion and deposition of loess by laminar sheet flow and turbulent rill flow**. Proceedings, Seminar on Agricultural soil erosion in temperate non-Mediterranean climate. Universitg Louis Pasteur, Strasbourg, p. 139-143. 1979.

SCHIECHTL, H. M.; STERN R. **Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control**. Australia: Blackwell Science, 146 p. 1996.

SCHERR, S.J.; YADAV, S. **Land Degradation in the Developing World: Implications for Food, Agriculture, and the Environment to 2020**. Food, Agriculture and the Environment Discussion Paper 14, FAO. 1996.

SCHMEIER, N. P. **Bioengenharia de solos: uma alternativa à recuperação de áreas degradadas**. Revista Destaques Acadêmicos, v. 5, n. 4, p. 127-130. 2013.

SCHUMM, S.A. **Explanation and extrapolation in geomorphology: seven reasons for geologic uncertainty**. Transactions, Japanese Geomorphological Union, 6, p. 1-18. 1985.

SELBY, M.J. **Hillslope sediment transport and depositional**. In: PYE, K. Sediment transport and depositional processes. Oxford, Osney Mead. 397p. 1994.

SELBY, M.J. **Hillslope materials and processes**. 2.a ed., Oxford: Oxford University Press. 451p. 1991.

SHOBE, C. M., HANCOCK, G. S., EPPES, M. C., & SMALL, E. E. **Field evidence for the influence of weathering on rock erodibility and channel form in bedrock rivers**. Earth Surface Processes and Landforms, 42(13), 1997–2012. 2017.

SICAR. Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. Disponível em:<http://www.car.gov.br/#/>. Acesso em Janeiro de 2022.

SIETZ, D.; ORDONEZ, J.C.; KOK, M.T.J.; JANSSEN, P.; HILDERINK, H.B.M.; ITTONELL, P.; VAN DIJK, H. **Nested archetypes of vulnerability in African drylands: where lies potential for sustainable agricultural intensification?** Environmental Research Letters, Vol.12, nº 9. 2017.

SIETZ, D.; VAN DIJK, H. **Land-based adaptation to global change: What drives soil and water conservation in western Africa?** Global Environmental Change 33:131-141. 2015.

- SILVA, A. S. **Análise morfológica dos solos e erosão**. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs.) Erosão e conservação dos solos. Conceitos, Temas e Aplicações. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro. 1999.
- SILVA, J. S. V. e SANTOS, R. S. Zoneamento para Planejamento Ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*. Vol. 21, n.2 - maio./ago. p. 221-263. 2004.
- SLATTERY, M.C.; BRYAN, R.B. **Hydraulics conditions for rill incision under simulated rainfall: A laboratory experiment**. *Earth Surface Proc. Landforms*, 17:127-146, 1992.
- SOUZA G.R. **Depois que o café acabou: Biogeografia e História Ambiental de remanescentes florestais do Vale do Rio Paraíba do Sul (RJ e SP)**. 220 f. : il. color. ; 30 cm. Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia e Meio Ambiente, 2021.
- STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *New Halen: Transactions: American Geophysical Union*, v.38. p. 913-920. 1957.
- SUN, L., FANG, H., QI, D. **A review on rill erosion process and its influencing factors**. *Chin. Geogr. Sci.* 23, p. 389–402. 2013. <https://doi.org/10.1007/s11769-013-0612-y>
- TAVARES, S. R. L. **Áreas degradadas: conceitos e caracterização do problema**. In: TAVARES, S. R. L. Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 228p. 2008.
- THOMAZ, E.; ARAUJO-JUNIOR, C. R. S.; VENDRAME, P.; DE MELO, T. **Mechanisms of aggregate breakdown in (sub) tropical soils: Effects of the hierarchical resistance**. *Catena (Giessen)*, 216, *Catena (Giessen)*, Vol.216, 2022.
- TSCHIEDEL, A. D. F., MONTE, B. E. O., MEDEIROS, M. S., MIERES, L. D. S., & FAN, F. M. **Construção de um modelo digital de superfície de uma voçoroca a partir do uso de drone**. Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos (13.: 2018 set.: Vitória).Trabalhos. Porto Alegre: ABRHidro, 2018.
- UCHIDA, T., KUSUGI, K. e MIZUYAMA, T. **Runoff characteristics of pipeflow and effects of pipeflow on rainfall-runoff phenomena in a mountainous watershed**. *Journal of Hydrology* 222, p. 18–36. 1999.
- UN. **The millennium development goals report 2015**. New York: United Nations, 2015.
- USDA, United States Department of Agriculture. **Soil Survey Manual**. 1993, 315 p. Disponível em: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_050993.pdf.

- VENTURI, L. A. B. - **Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- VENTURI, L. A. B. - **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.
- VERDUM, R. **Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo**. Roberto Verdum, Carmem Lucas Vieira e Jean Carlo GessiCaneppele. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2016.
- VORONEY, R. P.; VAN VEEN, J. A.; PAUL, E. A. **Organic C dynamics in grassland soils**. 2. Model validation and simulation of long-term effects of cultivation and rainfall erosion. *Can. J. Soil Sci* 61, p. 211–224. 1981.
- XIAO, H.; GUO, P.; ZHANG, Q.; HU, H.; HONG, H.; ZHANG, L.; ZHANG, G. **Variation in soil properties and its influence on the dynamic change of soil erosion resistance to overland flow in the water-level fluctuation zone of the Three Gorges Reservoir, China**. *Catena (Giessen)*, 213, *Catena (Giessen)*, 2022-06, Vol.213. 2022.
- WHIPKEY, R. Z.; M. J. KIRKBY. **Flow within the soil**. *In*: M. J. Kirkby (ed.), *Hillslope hydrology*. John Wiley & Sons: 121–144 Google Scholar. White, F. 1978.
- WILKINSON, S. N.; KINSEY-HENDERSON, A. E.; HAWDON, A. A.; HAIRSINE, P.B.; BARTLEY, R.; BAKER, B. **Grazing impacts on gully dynamics indicate approaches for gully erosion control in northeast Australia**. *Earth Surf. Process. Landforms* 43, p. 1711–1725. 2018.
- WISCHMEIER W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA; (Agricultural Handbook, 537), 1978.