



# Processos e Formas de Vertente

---

## Organização:

- Grace Bungenstab Alves
- 





# Processos e Formas de Vertente

---

## **Organização:**

- Grace Bungenstab Alves

---

MOSSORÓ- RN, 2026.

# UERN



**Universidade do Estado do Rio Grande do Norte**

**Reitora**

Cicília Raquel Maia Leite

**Vice-Reitor**

Francisco Dantas de Medeiros Neto

**Diretor da Editora Universitária da Uern (Eduern)**

Francisco Fabiano de Freitas Mendes

**Chefe do Setor Executivo da Editora Universitária da Uern (Eduern)**

Jacimária Fonseca de Medeiros

**Chefe do Setor de Editoração da Editora Universitária da Uern (Eduern)**

Lindercy Francisco Tomé de Souza Lins

**Conselho Editorial das Edições UERN**

Andreza Tacyana Félix Carvalho

Francisco Fabiano de Freitas Mendes

Franklin Roberto da Costa

Fernanda Abreu de Oliveira

Gleisson do Carmo Oliveira

Ismênia Gurgel Martins

Jacimária Fonseca de Medeiros

Lindercy Francisco Tomé de Souza Lins

Maria Ione da Silva

Otoniel Fernandes da Silva Júnior

Patrícia Batista Barra

Kalidia Felipe de Lima

Saulo Gomes Batista

Sérgio Luiz Pedrosa Silva

**Capa e Diagramação**

Gabriela Mabel Alves Vieira

**Catálogo da Publicação na Fonte.  
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Processos e Formas de Vertente-Vol. II [recurso eletrônico]. / Grace Bungenstab Alves (org.). – Mossoró, RN: Edições UERN, 2026.

86 p.

ISBN: 978-85-7621-578-3 (E-book).

Coleção: Geomorfologia do Brasil.

1. Processos e Formas de Vertente. 2. Estudos Geomorfológicos 3. Geomorfologia - Brasil. I. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. II. Título.

UERN/BC

CDD 551.4

Bibliotecário: Aline Karoline da Silva Araújo CRB 15/ 783

# Sumário:



## APRESENTAÇÃO.....

05

### 1. A MORFOMETRIA DO RELEVO E A SUA RELAÇÃO COM A OCORRÊNCIA DE FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES EM AREA DE CUESTA: NASCENTES DO RIO CABEÇA (SP)

Higor Lourenzoni Bonzanini;  
Cenira Maria Lupinacci.

07

### 2. PAISAGENS ENCOURAÇADAS NA BACIA SEDIMENTAR BAURU: DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA DE UM MORRO TESTEMUNHO EM BANDEIRANTES, MATO GROSSO DO SUL

Viviane Capoane;  
Patricia Colombo Mescolotti.

26

### 3. VARIÁVEIS GEOMORFOMÉTRICAS DA BACIA COLÔNIA ANTÔNIO ALEIXO (MANAUS-AM): IMPLICAÇÕES PARA SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA

Armando Brito da Frota Filho;  
Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira.

38

### 4. GEOMORFOLOGIA DA PAISAGEM NO SEMIÁRIDO NORDESTINO, MACIÇO DA SERRA NEGRA (SE): CORRELAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS SUPERFICIAIS E DEPÓSITOS ALUVIAIS E COLUVIAIS

Iasmin Teles Carvalho;  
Daniel Rodrigues de Lira;  
Paulo Vitor Souza dos Santos.

57

### 5. ANÁLISE MULTIVARIADA DE FEIÇÃO EROSIVA DO TIPO VOÇOROCA NO CONTEXTO URBANO E RURAL NOS ESTADOS DO MARANHÃO E PIAUÍ

Gilberlene Serra Lisboa;  
Wellynne Carla de Sousa Barbos;  
José Fernando Rodrigues Bezerra;  
Antonio José Teixeira Guerra.

74



## Geomorfologia do Brasil

# Apresentação

A **Coleção Geomorfologia do Brasil**, editada pela Edições Uern - EDUERN, reúne contribuições de pesquisadores e pesquisadoras de diferentes regiões do país que apresentaram seus trabalhos no XV Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), realizado em Natal (RN), entre os dias 4 e 8 de agosto de 2025.

Composta por 14 volumes temáticos, a coleção expressa a diversidade e a vitalidade da produção científica brasileira em Geomorfologia, contemplando desde abordagens clássicas até perspectivas inovadoras que integram novas tecnologias, análises ambientais e dimensões sociais da paisagem. Cada livro reflete o compromisso coletivo de fortalecer e divulgar o conhecimento geomorfológico produzido no Brasil, promovendo diálogo entre diferentes áreas e instituições.

### ... OS VOLUMES QUE COMPÕEM A COLEÇÃO SÃO:



#### 1. Intemperismo, Solos e Paisagem

organizado por Davi do Vale Lopes (UFRN)



#### 2. Processos e Formas de Vertente

organizado por Grace Bungenstab Alves (UFBA)



#### 3. Geomorfologia Fluvial e Lacustre

organizado por José Yure Gomes dos Santos (UFRN)  
e Filipe da Silva Peixoto (UERN)



#### 4. Geomorfologia Costeira, Marinha e Eólica

organizado por Antônio Rodrigues Ximenes Neto (UFRN)



#### 5. Geomorfologia de Áreas Cársticas

organizado por Luiz Eduardo Panisset Travassos (PUC-MG)



#### 6. Geomorfologia Estrutural

organizado por Abner Monteiro Nunes Cordeiro (UFRN)



#### 7. Geomorfologia Ambiental

organizado por Glairton Cardoso Rocha (IFPI)



## 8. Quantificação de Processos, Modelagem e Geocronologia

organizado por Kleber Carvalho Lima (UPE)  
e Everton Vinicius Valezio (UPE)



## 9. Mapeamento Geomorfológico: Básico e Aplicado

organizado por Rosangela Garrido Machado Botelho (IBGE)



## 10. Risco Geomorfológico: Diagnóstico, Prevenção e Previsão

organizado por Maria Carolina Villaça Gomes (UERJ)



## 11. Antropoceno e Geomorfologia Urbana

organizado por Guilherme Borges Fernandez (UFF)  
Miguel Felipe (UFJF)  
e Maria Luíza de Oliveira Terto



## 12. Geodiversidade e Patrimônio Geomorfológico

organizado por Thiara Oliveira Rabelo (UFRN)  
e Luciana Martins Freire (UFPA)



## 13. Geotecnologias e Inteligência Artificial Aplicadas à Geomorfologia

organizado por Paulo Victor do Nascimento Araújo (IFRN)  
e Sílvio Braz de Sousa (UFRN)



## 14. Ensino de Geomorfologia na Educação Formal e Não Formal

organizado por Emanuel Lindemberg Silva Albuquerque (UFDFPar)  
e José Falcão Sobrinho (UVA)

Mais do que uma coletânea de textos, esta coleção constitui um registro histórico da consolidação da geomorfologia brasileira em múltiplas frentes — teórica, metodológica e aplicada. Esperamos que cada volume inspire novas leituras do relevo, novas formas de pensar a paisagem e novos caminhos de pesquisa comprometidos com a compreensão das dinâmicas da superfície terrestre.

**Desejamos a todos uma excelente leitura!**

*Jacimária Fonseca de Medeiros, Thaís Guimarães,  
e Marco Túlio Mendonça Diniz*

Organizadores da Coleção Geomorfologia do Brasil



# A MORFOMETRIA DO RELEVO E A SUA RELAÇÃO COM A OCORRÊNCIA DE FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES EM ÁREA DE CUESTA: NASCENTES DO RIO CABEÇA (SP)

Higor Lourenzoni Bonzanini<sup>1</sup>  
Cenira Maria Lupinacci<sup>2</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Mapeamento morfométrico, relevo de cuestras, feições erosivas lineares.

## RESUMO

O relevo de *cuestras*, por apresentar grande declividade inerente a esta feição, pode potencializar a ocorrência de processos erosivos. Assim, a realização de mapeamentos morfométricos constitui-se em uma ferramenta que pode auxiliar na compreensão da dinâmica de feições erosivas lineares ao apontar os terrenos com maior potencialidade para o desenvolvimento de processos denudativos. Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar a ocorrência de feições erosivas lineares junto da morfometria do relevo em área de relevo cuestiforme. A área de estudo abarca setores de nascentes do Rio Cabeça, próximo as cidades de Itirapina e Rio Claro, no centro do estado de São Paulo, área que representa as feições regionais deste tipo de relevo. Foram elaboradas cartas de declividade e de energia do relevo, em escala de 1:10.000, a fim de se compreender a natureza dos terrenos. Para obtenção das feições erosivas lineares, do tipo sulco, ravina e voçoroca, foram realizados mapeamentos em três cenários (1988, 2010 e 2022), também em escala de 1:10.000, a fim de se analisar a ocorrência destas em momentos históricos distintos. Na sequência, foi quantificado do número de ocorrência de feições erosivas lineares por classe das cartas de morfometria, sendo gerado posteriormente um índice de ponderação de 0 a 1, sendo que valores próximos a 1 indicam a classe de energia do relevo ou de declividade com a maior concentração de feições erosivas lineares, considerando a área ocupada pela classe de morfometria em relação a quantidade total de feições erosivas lineares. Após a realização do cruzamento das informações, constatou-se a concentração dos três tipos de feições erosivas lineares nas classes 10-15% e 15-30% de declividade e nas classes medianamente forte e forte de energia do relevo. Estas concentrações permitiram identificar que as feições erosivas ocorrem em alguns casos distantes das áreas de maior declividade e de energia, se desenvolvendo logo abaixo do *front* cuestiforme, em áreas de média e de baixa vertente, em direção aos fundos de vale, revelando uma relação de vizinhança entre as áreas mais elevadas (de maior declive e de energia do relevo), dissipadoras de energia para com as áreas mais baixas, onde ocorrem principalmente as classes de 10 – 15% e 15 -30% de declividade e a classe medianamente forte de energia do

<sup>1</sup> Mestre e Doutorando no Curso de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista (Unesp) – Rio Claro (SP), [higor.bonzanini@unesp.br](mailto:higor.bonzanini@unesp.br)

<sup>2</sup> Professora Doutora do Departamento de Geografia e de Planejamento Ambiental da Universidade Estadual Paulista (Unesp) – Rio Claro (SP), [cenira.lupinacci@unesp.br](mailto:cenira.lupinacci@unesp.br)



relevo. Por fim, a análise da morfometria do relevo se demonstra importante, ao destacar os terrenos mais suscetíveis a ocorrência de processos erosivos, por meio da identificação das classes de morfometria mais atingidas por estes. Este trabalho ainda auxilia no planejamento ambiental, ao apontar setores de média declividade (com potencial de uso antrópico), como problemáticos frente a ocorrência de feições erosivas, em especial para processos de voçorocamento, evidenciando a morfometria como uma importante ferramenta para a conservação dos solos.

## INTRODUÇÃO

Conforme aponta o relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2021), o Brasil apresenta grandes problemas frente a degradação dos solos em áreas agricultáveis. O relatório aponta que tais problemas estão ligados a falta de conhecimento técnico e de investimentos adequados na gestão de áreas agrícolas, o que potencializa a geração de processos erosivos e a diminuição da fertilidade do solo (FAO, 2021). Não obstante, ao redor do mundo, a FAO aponta que 34% dos solos em área agricultável se encontram degradados, com o continente sul-americano contendo 153 milhões de hectares extremamente degradados, o que corresponde a 8,7% da área total da região.

Conforme apontam Chuma et al. (2021), Descroix et al. (2008), FAO, (2015), Gashaw et al. (2020), ISRIC, (1992) e Zhao et al. (2022), a ação antrópica a partir do uso das áreas agrícolas sem respeitar os limites naturais, a partir da remoção da cobertura vegetal para as atividades agropastoris, é fator determinante para acelerar os processos erosivos.

Como destacam Guerra e Marçal (2006), para o uso consciente dos solos é imprescindível o conhecimento das características físicas do terreno, a fim de se evitar processos de degradação dos solos. Desta maneira, o reconhecimento da morfometria do relevo atua como uma importante ferramenta de análise, ao fornecer as características geométricas dos terrenos, destacando potenciais fragilidades naturais. Nesse sentido, trabalhos como os de Zacharias et al. (2005), Gomes et al. (2016), Zanatta (2018), Stefanuto et al. (2022) e de Bonzanini, Lupinacci e Stefanuto (2022) evidenciam a importância da morfometria para compreender as relações espaciais que levam a ocorrência de feições erosivas.

Neste sentido, a área de estudo deste trabalho compreende um setor marcado pela presença do relevo cuestiforme, típico do contato entre o Planalto Ocidental Paulista com a Depressão Periférica, encontrado majoritariamente na região central do estado de São Paulo. Nestas localidades, é notável que a grande declividade inerente a natureza desta feição de relevo pode potencializar a ocorrência de processos erosivos, ao atribuir energia ao sistema, conforme apontam Stefanuto et al. (2022) e Pinton (2016), principalmente em áreas antropizadas. O mapeamento da suscetibilidade à erosão do estado de São Paulo (Kertzman et al., 1995), aponta que as áreas do estado com a

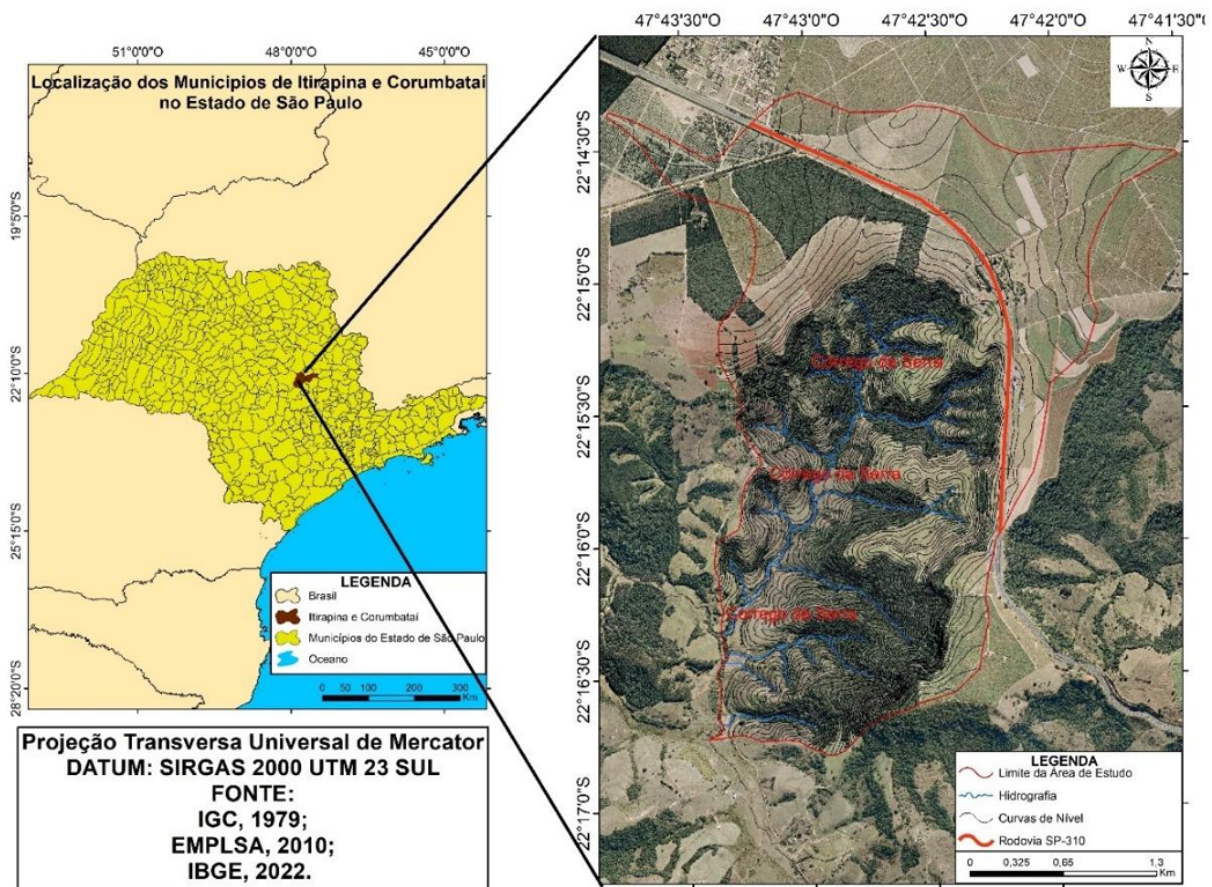


ocorrência do relevo cuestiforme se encontram nas categorias de “áreas extremamente suscetíveis a ravinas e voçorocas” ou em “áreas muito suscetíveis a ravinas e voçorocas”, evidenciando a fragilidade natural do relevo nestas regiões. Desta maneira, é notável a necessidade da compreensão da morfometria do relevo quando abarcado setores degradados, especialmente com a presença do relevo de *cuestas*.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar a ocorrência de feições erosivas lineares junto da morfometria do relevo em área com a presença de relevo cuestiforme, na alta bacia do Rio Cabeça (SP). Esta área apresenta características de relevo que representam as condições regionais das cuestas no estado. Além disso, convém lembrar que, segundo Ross e Moroz (1996), as cuestas ocorrem com frequência no cenário nacional, delimitando depressões de borda de bacias sedimentares e planaltos sedimentares. Portanto, pesquisas que envolvem tais morfologias são importantes também em escala nacional.

A área de estudo está localizada no interior do estado de São Paulo, posicionando-se nos municípios de Itirapina e Corumbataí, abarcando parte da rodovia SP-310. Caracteriza-se como uma área de nascentes, na alta bacia do Rio Cabeça (Figura 1).

**FIGURA 1:** Localização da alta bacia do Rio Cabeça (SP).



**FONTE:** Bonzanini e Lupinacci, 2025.



A classificação do relevo do Estado de São Paulo, desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1981), caracteriza a área de estudo como de contato entre as Cuestas Basálticas e a Depressão Periférica Paulista, na zona do Médio Tiete (IPT, 1981). No que se refere ao arcabouço geológico, a área de estudo se insere na Bacia Sedimentar do Paraná, caracterizada pela presença das formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral (Perinotto; Lino, 2010).

Quanto aos solos, de acordo com o mapeamento de Rossi (2017), são encontradas as seguintes classes de solos, a saber: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, Distrófico, de textura arenosa/média, encontrado em relevo ondulado; LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO e VERMELHO, Distrófico, textura média, encontrados em relevo suave ondulado e ondulado. Para o *front* cuestiforme, ocorre uma associação de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico, NITOSSOLO VERMELHO Distro/Eutroférico e LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, sendo todos com textura argilosa ou muito argilosa, de relevo regional ondulado e forte ondulado, típico de local escarpado (Rossi, 2017).

A região está inserida, conforme classificação climática de Monteiro (1973), sob a influência dominante de massas equatoriais e tropicais, se caracterizando como clima tropical, com períodos úmidos no verão e primavera e com período seco entre as estações de inverno e outono. A temperatura média anual gira em torno de 20,9°C, e a pluviosidade média anual em torno de 1.638mm. O mês de janeiro se caracteriza como o de maior pluviosidade, com médias de 300mm, enquanto o mês de julho com uma média de 32mm se constitui como o mês de menor pluviosidade (Clima-Data, 2023).

## **METODOLOGIA**

Para atingir o objetivo proposto, foram elaboradas as cartas de declividade, dissecação vertical, dissecação horizontal e de energia do relevo, que contemplam a análise morfométrica, além do mapeamento das feições erosivas lineares. Os mapeamentos foram elaborados no software ArcGis em escala de 1:10.000, utilizando-se como base cartográfica (curvas de nível e hidrografia) os mapeamentos topográficos realizados pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do estado de São Paulo – IGC (1979), disponíveis de forma online e gratuita pela plataforma DATAGEO.

### **Carta de declividade**

Importante ferramenta de análise dos terrenos, a carta de declividade mostra a inclinação destes, o que evidencia os setores de maior fragilidade, permitindo identificar os setores com maior potencialidade ao desenvolvimento dos processos erosivos (De Biasi, 1992).



O procedimento para a realização do mapeamento é feito de forma automática. No ArcGis, a ferramenta Slope – 3D Analyst tool, gera a declividade a partir das curvas de nível. As classes de declividade foram estabelecidas a partir da obra de De Biasi (1970), considerando ainda as características dos terrenos da área de estudo, a saber: <2%, 3 -1 5%, 6% -1 12%, 13% -1 30%, 31% -1 45% e >45%.

### **Dissecação Vertical**

Permitindo a identificação das áreas com maior potencial ao risco e ocorrência de processos gravitacionais, a carta de dissecação vertical expõe a diferença altimétrica entre o fundo de vale e aos divisores de cada sub-bacia, levando em consideração os valores das curvas de nível, destacando assim os setores com maior grau de entalhamento dos vales (Cunha, 2001; Gomes et al., 2016; Zanatta, 2018).

Desta maneira, para a elaboração desta carta, foi utilizado como base a proposta original de Spiridonov (1981), sendo adaptada para o meio digital. Foram definidas 6 classes de dissecação vertical, conforme os apontamentos de Spiridonov (1981), através da equidistância entre as curvas de nível, a saber:  $\leq 10\text{m}$ , 10-20m, 20-30m, 30-40m, 40-50m e  $\geq 50\text{m}$ .

### **Dissecação horizontal**

Da mesma maneira que a carta de dissecação vertical, a carta de dissecação horizontal foi elaborada com base na proposta metodológica desenvolvida por Spiridonov (1981), que foi adaptada ao meio digital. A carta de dissecação horizontal possui grande importância para a identificação de localidades com concentração de cursos d'água e de nascentes, ao medir a distância em linha reta entre a linha de cumeada e o fundo de vale de cada sub-bacia, indicando setores com maior potencial natural a atuação da dinâmica erosiva fluvial (Zanatta, 2018, Bonzanini; Lupinacci; Stefanuto, 2022).

As classes foram elaboradas conforme a proposta de Spiridonov (1981), iniciando-se do mínimo mapeável de acordo com a escala (1mm = 10 metros) e dobrando-se os valores para cada classe seguinte, a saber:  $\leq 10\text{m}$ , 11-20m, 21-40m, 41-80m, 81-160m, 161-320m e  $> 321\text{m}$ .

### **Carta de energia do relevo**

A carta de energia do relevo destaca os setores com maior potencialidade ao desenvolvimento de processos denudativos e de ocorrência de movimentos de massa (Machado; Cunha, 2012). Para a elaboração desta carta foi utilizada como base a proposta original desenvolvida por Mendes (1993) e a adaptação para o software ArcGis desenvolvida por Zanatta e Ferreira (2015).



Assim, para a elaboração da carta, utiliza-se como base três cartas morfométricas: declividade, dissecação vertical e de dissecação horizontal.

Desta forma, utilizando a linguagem de programação em Python no software ArcGis, as três cartas foram unidas, gerando a energia do relevo (Mendes, 1993; Zanatta e Ferreira, 2015). As diferentes classes de cada uma das cartas são avaliadas e combinadas, gerando classes de energia do relevo (Quadro 1).

**QUADRO 1:** Combinação de classes para o estabelecimento da energia do relevo

Classes de energia do relevo	Declividade (%)	Combinação	Dissecação Horizontal (m)	Combinação	Dissecação Vertical
Muito forte	$\geq 45\%$	Ou	$\leq 10$ m	-	-
Forte	31 – 45%	Ou	11 – 20m	Ou	$\geq 50$ m
Medianamente forte	13 – 30%	Ou	21 – 40m	Ou	40 – 50m
Média	6 – 12%	Ou	41 – 80m 81 – 160m	Ou Ou	30 – 40m 20 – 30m
Fraca	3 – 5%	Ou	161 – 320m	Ou	10 – 20m
Muito Fraca	$\leq 2\%$	Ou	$\geq 321$ m	Ou	$\leq 10$ m

Para a combinação de cada classe, foram consideradas as características geomorfológicas da área de estudo, seguindo a proposta de Mendes (1993) e de Zanatta (2018), a saber:

Muito fraca: Contempla os setores de menor declividade, com as menores classes de dissecação vertical e horizontal;

- **Fraca:** Demarca as localidades com pouco declive, baixa dissecação vertical e horizontal;
- **Média:** Destaca os terrenos com intensidades intermediárias de dissecação vertical e dissecação horizontal;
- **Medianamente Forte:** Indica áreas limites para a mecanização da agricultura, com potencial de intensificação dos processos morfogenéticos, pela intensificação da declividade, dissecação vertical e dissecação horizontal.
- **Forte:** Localidades de declividade elevada, com a dissecação vertical em sua classe mais alta e de dissecação horizontal em sua penúltima classe de intensidade. Ainda, constitui-se em setores além do limite para a mecanização agrícola.
- **Muito Forte:** Constitui-se em setores além do limite para o loteamento urbano. Possui declividades muito intensas, algumas com mais de 47% de inclinação do terreno, encontradas principalmente no front cuestiforme ou em áreas com a dissecação horizontal em sua classe mais elevada, próximas as confluências de rios da bacia.



## Mapeamento de feições erosivas lineares

Para a realização dos mapeamentos das feições erosivas lineares, foi usado como base as propostas de Tricart (1965) e de Verstappen e Zuidam (1975). Desta maneira, foram mapeadas as feições erosivas lineares de sulco, ravina e voçoroca, em três cenários diferentes (1988, 2010 e 2022). As imagens de 1988 foram disponibilizadas pela Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro, e foram elaboradas pela empresa BASE S.A. Já as ortofotos digitais de 2010, foram coletadas de forma online e elaboradas pela EMPLASA. As imagens do cenário de 2022 foram coletadas de forma online, através do *software Google Maps*.

A identificação das feições foi realizada a por meio da análise dos produtos de sensoriamento remoto dos três cenários, com o auxílio da estereoscopia, e foram mapeadas a partir de simbologias criadas no *software ArcGis*, seguindo a proposta original de Tricart (1965) e de Verstappen e Zuidam (1975), conforme pode ser observado no quadro 2.

**QUADRO 2:** Simbologias para o mapeamento das feições erosivas lineares

Elemento/ forma	Símbolo	Fonte	Chave de identificação
Sulco		Verstappen e Zuidam (1975)	
Ravina		Tricart (1965)	
Voçoroca		Tricart (1965)	



## **Tratamento dos dados: Feições erosivas lineares por Classe Morfométrica**

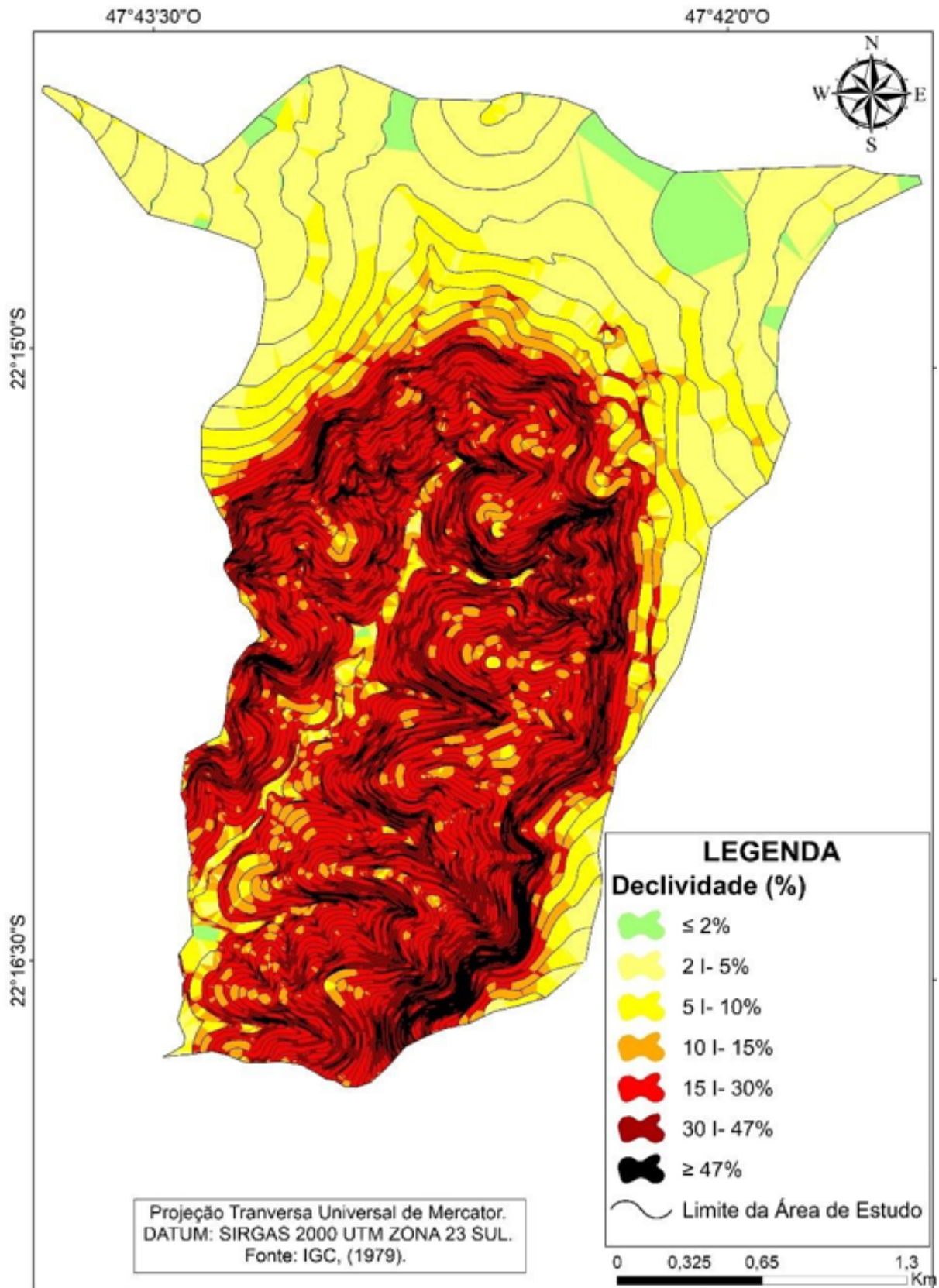
Para quantificar a área ocupada pelas feições erosivas lineares que ocorrem em cada classe de morfometria do relevo estas foram transformadas em polígonos. Os sulcos erosivos, que foram mapeados através de shapefile em formato de linha, foi adicionado um buffer de 5cm de entorno, obtendo-se assim a área desta forma. O buffer no entorno dos sulcos erosivos com 5cm se justifica pela escala de mapeamento realizada, uma vez que em escala de 1:10.000, não seria possível o mapeamento das áreas reais ocupadas por um sulco erosivo. Já as ravinas, mapeadas através de shapefile em formato de ponto, foram mapeadas novamente através de um shapefile em polígono, considerando o limite da forma erosiva destacado pelos taludes. O mesmo procedimento foi realizado para os taludes de voçoroca. Após esses procedimentos, através da ferramenta clip, disponível no ArcMap, os polígonos das classes de declividade e de energia do relevo foram recortados a partir da área das formas erosivas. Destacam-se neste trabalho, estes dois parâmetros morfométricos compreendendo que a energia do relevo embute dados de dissecação e, portanto, considerou-se desnecessário detalhar os dados das cartas de dissecação horizontal e vertical. O procedimento foi realizado para cada cenário mapeado (1988, 2010 e 2022), visando obter a área que cada feição erosiva ocupa em cada classe de declividade e energia do relevo. Posteriormente, foi gerada uma porcentagem referente a área ocupada pelas feições erosivas em cada classe, em cada um dos três cenários monitorados. Em seguida, para cada uma das classes, foram somados os valores obtidos nos três cenários, sendo estes divididos por três, gerando assim uma média dos três cenários em porcentagem. Com a média calculada, os valores foram divididos pela área total ocupada pela classe da variável, também em porcentagem. Os valores obtidos na divisão para cada classe temática foram divididos pelo maior valor encontrado, obtendo-se assim a relação de proporcionalidade, variando entre zero e um, sendo o um o valor que indica maior intensidade.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A morfometria do relevo destaca a presença do relevo cuestasiforme e sua potencial influência em facilitar a ocorrência de feições erosivas. A carta de declividade (Figura 2), destaca a presença do front cuestasiforme, marcado por uma declividade variando de 15% a áreas com mais de 47%.



**FIGURA 2:** Declividade da alta bacia do Rio Cabeça

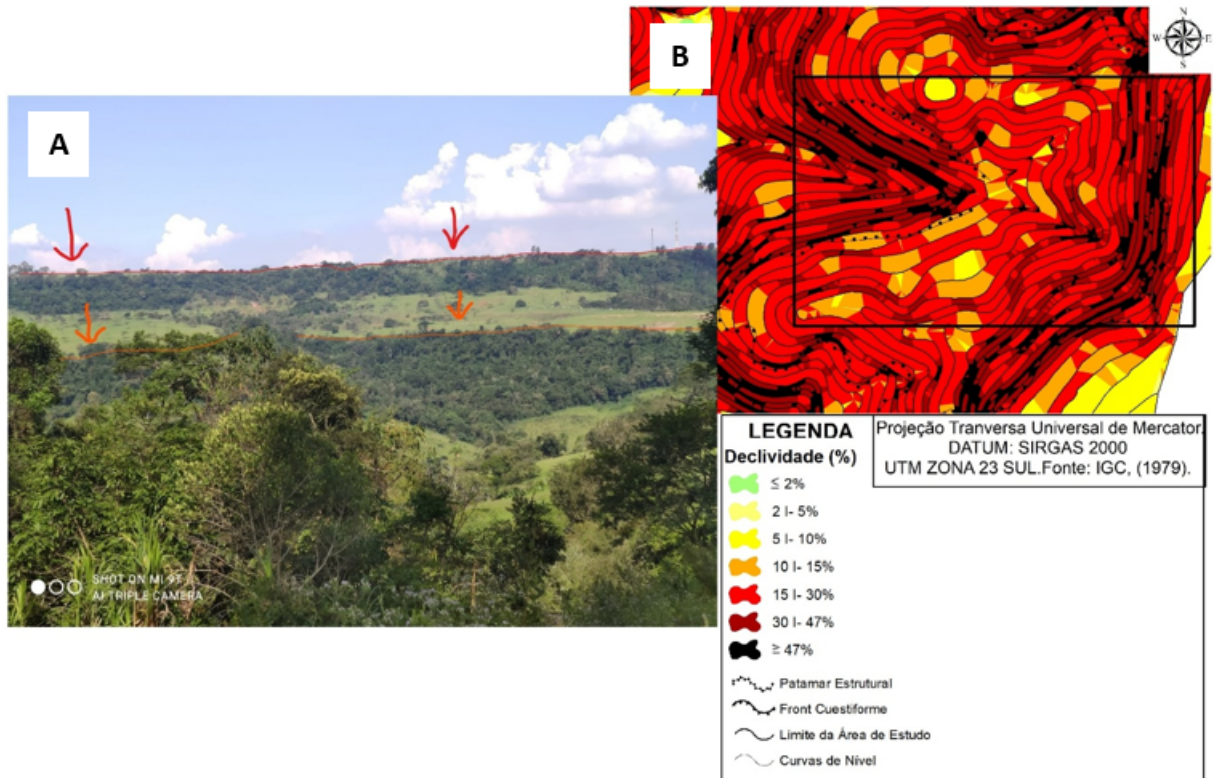


**FONTE:** Bonzanini e Lupinacci, 2025.



Ainda no setor cuestasiforme, a declividade destaca a ocorrência de um degrau logo abaixo do front, que se apresenta continuamente na paisagem, identificado como um patamar estrutural (Figura 3).

**FIGURA 3:** A: Fotografia de campo com um patamar estrutural em primeiro plano destacado pela seta em laranja, e em segundo plano o front cuestasiforme destacado em vermelho. B: Setor fotografado em campo recortado na carta de declividade.



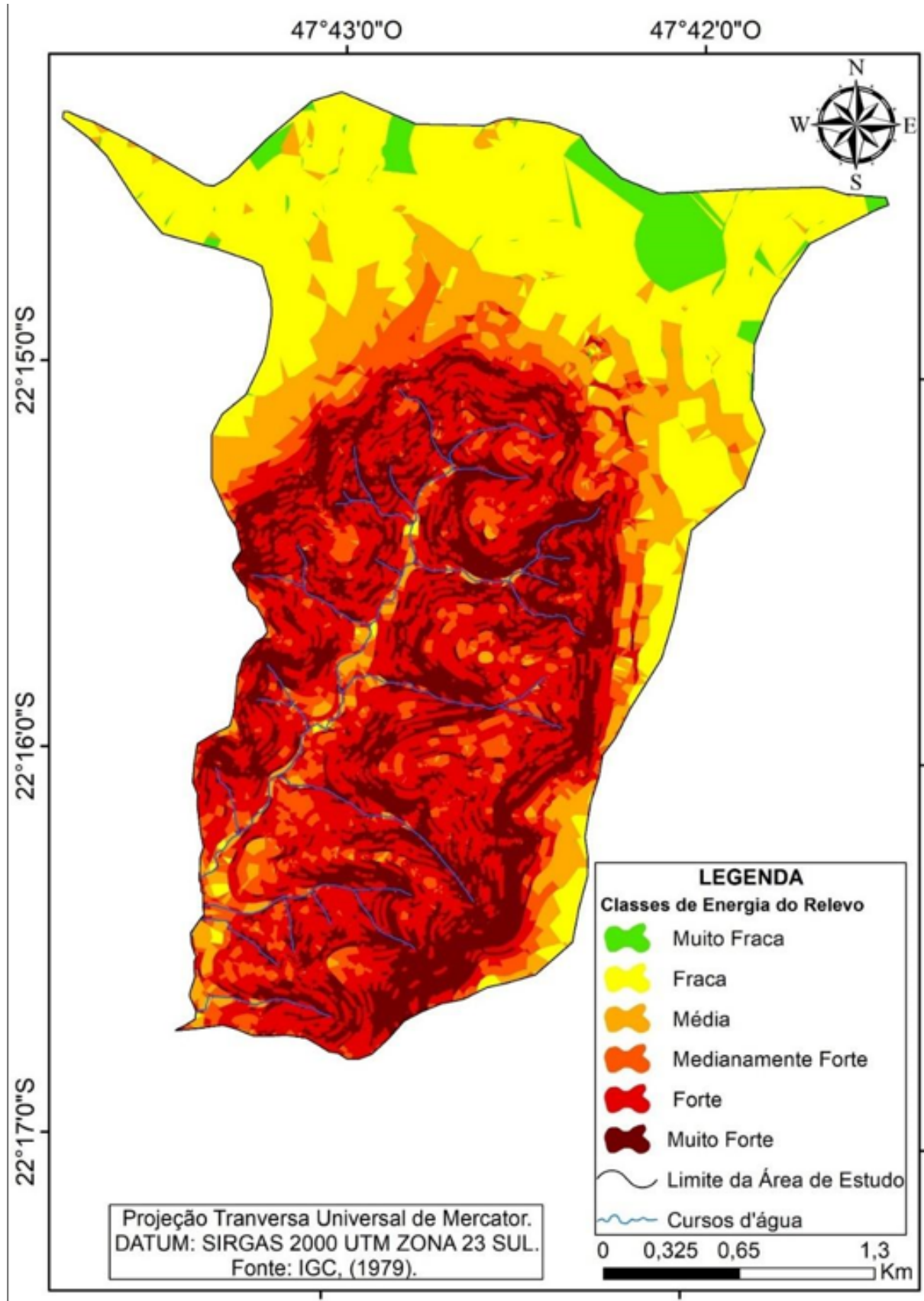
**FONTE:** Bonzanini e Lupinacci, 2025.

As menores declividades da bacia estão majoritariamente concentradas no reverso do relevo cuestasiforme e no fundo de vale do rio principal da bacia. Para a área de reverso, observa-se extenso setor com declividade muito suave, variando entre 0 e 10%.

Quanto a energia do relevo, esta destaca o setor de front cuestasiforme em toda a sua extensão demarcado pelas classes forte e muito forte de energia (Figura 4).



**FIGURA 4:** Energia do relevo



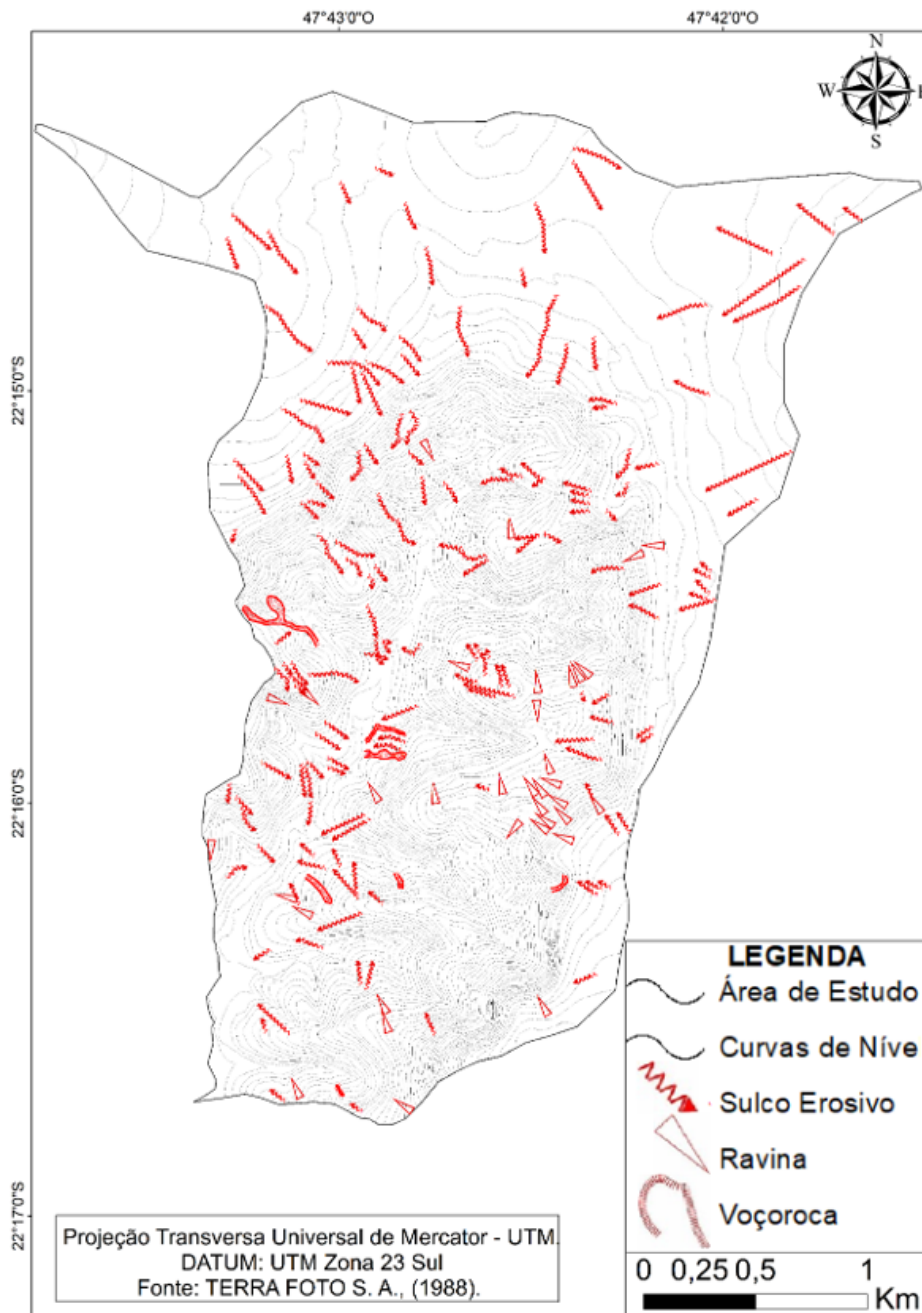
**FONTE:** Bonzanini e Lupinacci, 2025.



Ocorre o predomínio de classes mais amenas nos setores de fundos de vale, que é justificado pela menor declividade, e pouca influência das dissecações do relevo. Já para as áreas de reverso do relevo cuestiforme, predominam as classes de menor intensidade de energia do relevo. Com isso, as classes de energia do relevo que mais predominam na bacia são as de energia fraca (26%), forte (31%) e muito forte (19,2%).

Já sobre as feições erosivas lineares (Figuras 5, 6 e 7), constatou-se uma diminuição de ravinas e de voçoroca, com um crescimento de sulcos erosivos entre os cenários de 1988 e de 2022.

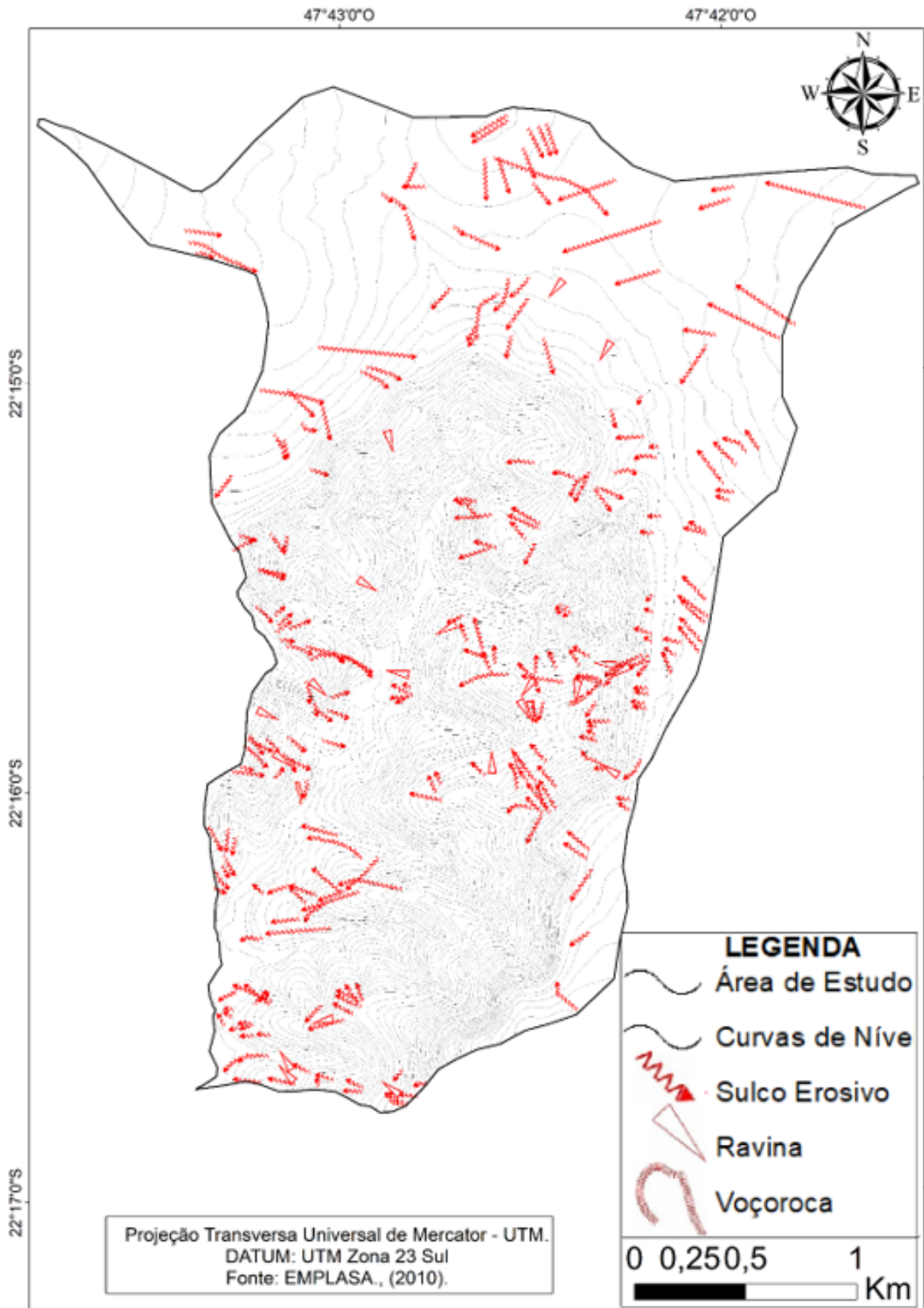
**FIGURA 5:** Mapeamento de feições erosivas lineares do cenário de 1988



**FONTE:** Bonzanini e Lupinacci, 2025.



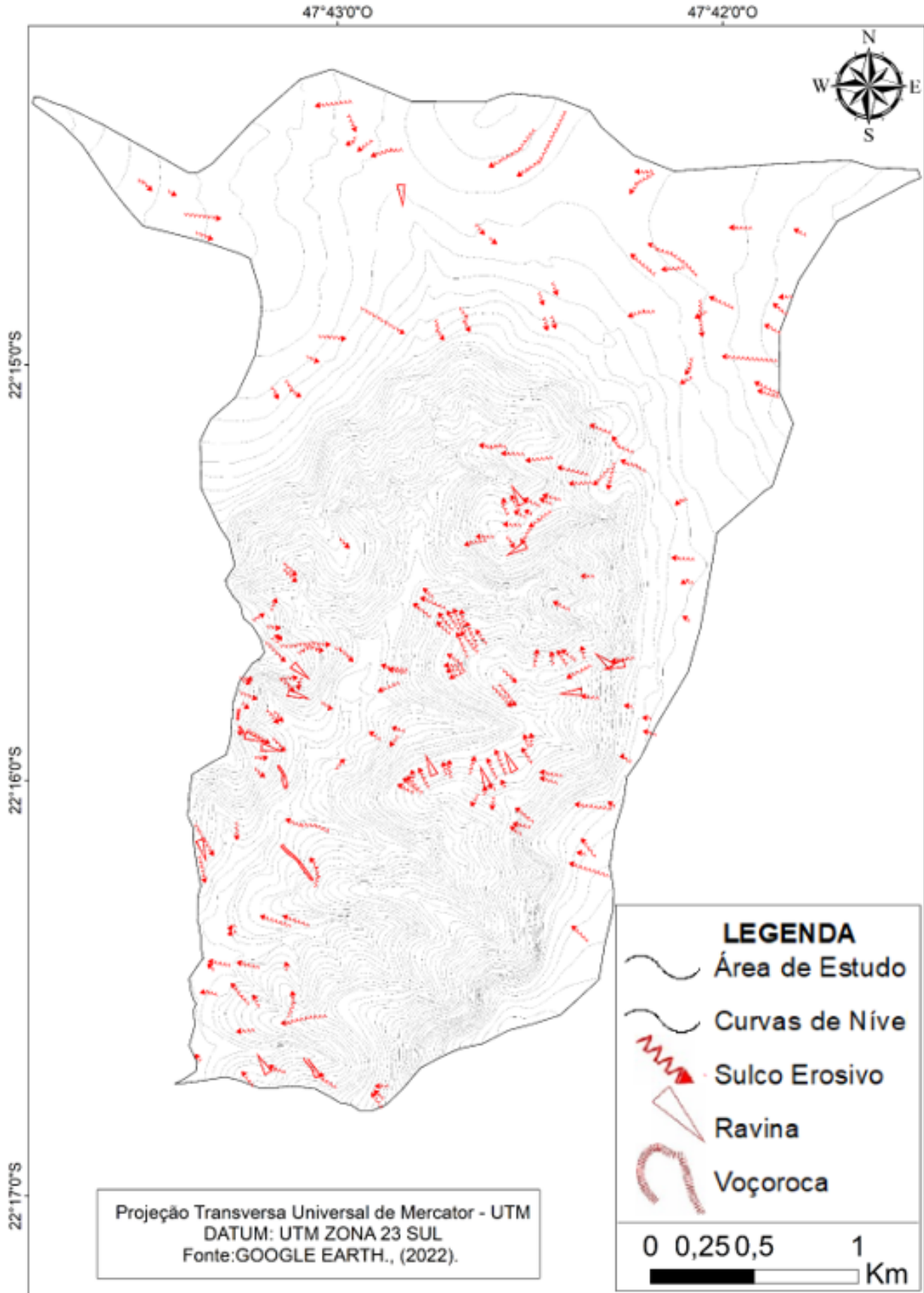
**FIGURA 6:** Mapeamento de feições erosivas lineares do cenário de 2010.



**FONTE:** Bonzanini e Lupinacci, 2025.



**FIGURA 7:** Mapeamento de feições erosivas lineares do cenário de 2022.



**FONTE:** Bonzanini e Lupinacci, 2025.



Foram mapeados em 1988, 157 sulcos erosivos, 43 ravinas e 26.193m<sup>2</sup> de área de voçorocamento. Já para o cenário de 2010, foram mapeados 248 sulcos, 24 ravinas e 2.431m<sup>2</sup> com voçorocas, enquanto para 2022 foram mapeados 195 sulcos, 19 ravinas e 6.752m<sup>2</sup> de voçorocas.

Com relação a distribuição das feições erosivas, a Tabela 1 destaca a concentração destas nas classes de 10 a 15% e de 15 a 30% de declividade, nos três cenários mapeados.

**TABELA 1:** Proporção de feições erosivas por classes de declividade.

O valor 1 identifica a classe de maior ocorrência de feição erosiva.

CLASSES DE DECLIVIDADE	ÁREA OCUPADA PELA CLASSE DE DECLIVIDADE	SULCO	RAVINA	VOÇOROCA
Até 2%	3,3%	0,6	0,04	0,003
2 – 5%	26,7%	0,5	0	0
5 – 10%	13%	0,71	0,1	0,03
10 – 15%	8,8%	1	0,84	1
15 – 30%	28,7%	0,92	1	0,78
30 – 47%	15,3%	0,47	0,43	0,37
Maior ou igual a 47%	3,9%	0,69	0,56	0,38

**FONTE:** Bonzanini e Lupinacci, 2025.

A classe 10 -15% de declividade ganha notoriedade, apesar de ocupar ao longo da bacia apenas 8,8% do total da área, destacando-se pela concentração de sulcos e de voçorocas. No entanto, quanto a concentração de ravinas, a classe 15-30% é a que mais concentra esse tipo de feição na relação de proporção. A classe de 15-30% destaca-se ainda por ser a segunda classe que mais concentra sulcos e voçorocas. Os setores de maior declive não concentram tantas feições visto que os solos são delgados. Contudo, conforme constatado por Bonzanini, Lupinacci e Stefanuto (2022), os terrenos a jusante destas vertentes íngremes são fortemente atingidos por processos lineares, o que pode se dever a relações de vizinhança que dinamizam o escoamento de água de superfície.

Quanto a relação entre as feições erosivas lineares e a energia do relevo (Tabela 2), a concentração das feições ocorre nas classes medianamente forte e forte.



**TABELA 2:** Feições erosivas e as classes de energia nos três cenários mapeados, em índice de 0 a 1 para estabelecer a proporcionalidade de área.

CLASSES DE ENERGIA DO RELEVO	ÁREA OCUPADA PELA CLASSE DE ENERGIA DO RELEVO	SULCO	RAVINA	VOÇOROCA
Muito Fraca	3,1%	0,48	0	0,001
Fraca	28%	0,53	0,0001	0
Média	12%	0,66	0,08	0,03
Medianamente Forte	8,4%	1	0,75	1
Forte	31%	0,94	1	0,71
Muito Forte	19,2%	0,55	0,47	0,36

**FONTE:** Bonzanini e Lupinacci, 2025.

Aponta-se que a classe de energia medianamente forte (Tabela 2), possui os maiores índices de sulcos erosivos e voçorocas, possuindo o segundo maior no índice das ravinas, colocando esta classe como a de maior problemática frente aos processos erosivos lineares. A classe forte merece destaque por apresentar o maior índice de ravinas, e o segundo maior índice dos sulcos erosivos e das voçorocas.

Desta forma, é notória a presença de uma relação de vizinhança em área com a presença de relevo cuestiforme, constatada pela análise da energia do relevo junto da ocorrência das feições erosivas lineares. As áreas de energia muito forte, englobando principalmente o front cuestiforme, influenciam os setores em que se encontram as classes forte e medianamente forte, normalmente a jusante e que recebem escoamento vindo dos terrenos mais declivosos. A baixa ocorrência de feições erosivas lineares na classe muito forte pode ser explicada pela grande declividade do front, que exhibe em quase toda a sua totalidade as rochas encontradas na região. Quando ocorre a formação de solos, ainda dominados pela intensidade da declividade, em sua maioria são identificados como Neossolos Litólicos (Bonzanini, 2024).

Assim, pode-se compreender que a região do front cuestiforme assume um papel de dissipador de energia, ao não possuir solos profundos, que não permitem o crescimento da vegetação, acelerando a energia do relevo em áreas vizinhas, com a presença de solos mais profundos, evidenciado pela maior concentração de feições erosivas lineares em áreas adjacentes, de média vertente, em direção aos fundos de vale.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da ocorrência de feições erosivas em determinadas condições morfométricas do relevo na área de estudo permitiu identificar características



naturais dos terrenos mais suscetíveis a erosão linear acelerada. Ficou evidenciada a interferência da presença do relevo cuestiforme na ocorrência das feições erosivas, seja para a declividade ou para a energia do relevo.

Os dados de declividade apontaram que as feições erosivas estão concentradas em média vertente, abrangendo as classes 10-15% e 15-30%. Não obstante, a energia do relevo, que aglutina a informação morfométrica de três cartas em apenas uma (declividade, dissecação vertical e horizontal), destacou o papel do front cuestiforme como uma área dissipadora de energia, desencadeando uma relação de vizinhança, onde as feições erosivas se desenvolvem abaixo do *front*, em direção aos fundos de vale, justamente nas áreas de média declividade, que contemplam as classes de energia medianamente forte e forte.

Ao destacar os terrenos mais suscetíveis a ocorrência de processos erosivos, por meio da identificação das classes de morfometria mais atingidas por estes, o presente trabalho ainda auxilia no planejamento ambiental, ao apontar setores de média declividade (com potencial de uso antrópico), como problemáticos frente a ocorrência de feições erosivas, em especial para processos de voçorocamento.

## *Agradecimentos:*

**O**s autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, pelo financiamento da bolsa de mestrado que tornou possível a realização desta pesquisa. Os autores agradecem a FAPESP pelo financiamento atual da bolsa de doutorado do aluno Higor Lourenzoni Bonzanini, através do processo nº2024/07876-3, que tornou possível a participação neste congresso.



## REFERÊNCIAS

- BONZANINI, H. L.; LUPINACCI, C. M.; STEFANUTO, E. B. A erosão linear e sua relação com a morfometria do relevo na alta bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 4, p. 1947-1964, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.4.p1947-1964>.
- BONZANINI, H. L. **O uso adequado das terras em área de relevo cuestasiforme**: a alta bacia do Rio Cabeça (SP). 2024. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2024.
- CHUMA, G. B.; MONDO, J. M.; NDEKO, A. B.; MUGUMAARHAHAMA, Y.; BAGULA, E. M.; BLAISE, M.; VALÉRIE, M.; JACQUES, K.; KARUME, K.; MUSHAGALUSA, G. N. Forest cover affects gully expansion at the tropical watershed scale: case study of Luzinzi in Eastern DR Congo. **Trees, Forests and People**, v. 4, p. 100083, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100083>.
- CUNHA, C. M. L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.
- CLIMATE-DATA. **Clima Itirapina**. 2023. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/itirapina-34775/>. Acesso em: 12 mar. 2023.
- DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 2, 1970.
- DE BIASI, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 45-60, 1992.
- DESCROIX, L.; BARRIOS, J. L. G.; VIRAMONTES, D.; POULENARD, J.; ANAYA, E.; ESTEVES, M.; ESTRADA, J. Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: their respective roles and the scale effect. **Catena**, v. 72, p. 325-339, 2008.
- EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO – EMPLASA. **Ortofotos do Estado de São Paulo 2010/2011**. São Paulo: EMPLASA, 2010/2011. Escala: 1:25.000.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Status of the World's Soil Resources**. Roma: FAO, 2015.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2021 – Systems at breaking point**. Roma: FAO, 2021.
- GASHAW, T.; WORQLUL, W. A.; DILE, Y. T.; ADDISU, S.; BANTIDER, A.; ZELEKE, G. Evaluating potential impacts of land management practices on soil erosion in the Gilgel Abay watershed, upper Blue Nile basin. **Heliyon**, v. 6, n. 8, e04691, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>.
- GOMES, W. M.; MIGUEL, A. E. S.; PINTO, A. L. Análise da dissecação horizontal e vertical da bacia hidrográfica do córrego Moeda, Três Lagoas/MS. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 3, p. 152-165, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17271/1980082712320161320>.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192 p.
- INTERNATIONAL SOIL REFERENCE AND INFORMATION CENTRE – ISRIC. **Bi-annual report 1991/1992**. Wageningen, 1992.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Malha municipal**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 10 set. 2022.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – IGC. **Mapeamento sistemático do estado de São Paulo**. São Paulo: IGC, 1979. Escala 1:10.000.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981.
- KERTZMAN, F. F.; OLIVEIRA, A. M. S.; SALOMÃO, F. X.; GOUVEIA, M. I. F. Mapa da erosão do estado de São Paulo. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. esp., p. 31-36, 1995.
- MACHADO, A. C. P.; CUNHA, C. M. Alterações na morfodinâmica decorrentes da atuação antrópica - Uma análise do setor noroeste de Itanhaém (SP). **Revista GeoNorte**, v. 2, p. 80-90, 2012.



- MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do Córrego Lafon** – Araçatuba – SP. 1993. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo: estudo geográfico sob forma de atlas**. São Paulo: USP, 1973.
- PERINOTTO, J. A.; LINO, I. C. Mapa geológico da Bacia do Rio Corumbataí. In: GARCIA, G. J.; ANTONELLO, S. L.; MAGALHÃES, M. G. M. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**. Rio Claro: Centro de Análise e Planejamento Ambiental, IGCE, UNESP, 2010.
- PINTON, L. G. **Evolução dos processos morfogenéticos em relevo cuestasiforme: a bacia do Córrego do Cavalheiro – Analândia (SP)**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2016.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 10, p. 41-58, 1996. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1996.0010.0004>.
- ROSSI, M. **Mapa pedológico do estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. Escala: 1:100.000.
- SPIRIDONOV, A. I. **Principios de la metodologia de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. Havana: Universidad de La Habana, v. 3, 1981. 650 p.
- STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M.; CARVALHO, F.; FRANCOS, M.; ÚBEDA, X. An evaluation of erosion in cuesta relief: São Paulo State, Brazil. **Geomorphology**, v. 398, p. 108048, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108048>.
- TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson et Cie, 1965.
- VERSTAPPEN, F. A. S.; ZUIDAM, R. A. **ITC system of geomorphological survey**. Enschede: International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences, 1975.
- ZHAO, J.; WANG, Z.; DONG, Y.; YANG, Z.; GOVERS, G. How soil erosion and runoff are related to land use, topography and annual precipitation: insights from a meta-analysis of erosion plots in China. **Science of the Total Environment**, v. 802, p. 149665, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149665>.
- ZACHARIAS, A. A.; FREITAS, M. I. C.; SANCHEZ, M. C. O uso da cartografia digital na elaboração de cartas morfométricas do relevo: uma proposta metodológica. **Geografia**, v. 30, p. 37-57, 2005.
- ZANATTA, F. A. S.; FERREIRA, M. V. **Roteiro dos procedimentos para elaboração da Carta de Energia do Relevo** – Software ArcGis 10.2. Rio Claro: Laboratório de Geomorfologia –IGCE, Universidade Estadual Paulista, 2015. 23p.
- ZANATTA, F. A. S. **Limitação física em área rural degradada: busca metodológica para definir o uso adequado das terras**. 2018. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2018.



# PAISAGENS ENCOURAÇADAS NA BACIA SEDIMENTAR BAURU: DINÂMICA GEOMORFOLÓGICA DE UM MORRO TESTEMUNHO EM BANDEIRANTES, MATO GROSSO DO SUL

Viviane Capoane<sup>1</sup>

Patricia Colombo Mescolotti<sup>2</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Níveis concrecionários, Grupo Cauá indiviso, Erosão acelerada, Assoreamento.

## RESUMO

A Bacia Sedimentar Bauru (BSB) é uma área de acumulação intracratônica, formada durante o Cretáceo na porção meridional da Plataforma Sul-Americana. Em termos litoestratigráficos a BSB possui um pacote sedimentar da ordem de 480 metros de espessura que compõe duas unidades cronocorrelatas: os Grupos Caiuá e Bauru. Sobrepostos a esse material, em algumas áreas, ocorrem depósitos rudáceos e couraças ferruginosas de espessura variável. As couraças ferruginosas são produto de intenso processo de intemperismo químico, em um contexto climático tropical úmido. Nesse ambiente, a decomposição de minerais instáveis no substrato sedimentar resultou na lixiviação de elementos solúveis, como sílica e bases, e no enriquecimento residual de óxidos de ferro e alumínio. Essas couraças são altamente resistentes à erosão e, portanto, desempenham um papel essencial na formação de geformas. Diante desse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar a evolução do modelado de relevo em um morro testemunho localizado na borda ocidental da BSB, no município de Bandeirantes/MS, no contexto do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraguai. A partir dessa análise, buscou-se compreender a relação entre os processos erosivos, a dinâmica do intemperismo e o papel das couraças ferruginosas na manutenção das feições geomorfológicas da região. A análise foi feita com base em um levantamento planialtimétrico utilizando drone (DJI Mavic 3E) e trabalhos de campo. O ortomosaico é composto de 672 fotos e o Modelo Digital de Superfície (MDS), gerado no *software* Pix4D, possui resolução espacial de 0,04 cm. A análise do ortomosaico e do MDS revelou a influência marcante dos ferricretes na morfologia do morro testemunho. A camada superficial endurecida atua como uma couraça protetora, reduzindo a dissecação e controlando os processos erosivos. No topo do morro, onde a couraça se mantém contínua, a erosão é limitada, resultando na preservação de formas elevadas. Em contrapartida, nos setores onde há descontinuidade ou fragmentação dessa couraça, observa-se uma intensa erosão da superfície, favorecendo o surgimento de ravinas e voçorocas. O contraste entre as áreas protegidas pelas couraças e as regiões afetadas pela erosão regressiva evidencia a fragilidade do substrato arenítico subjacente, demonstrando que essa relação entre resistência e vulnerabilidade é um fator determinante na formação e evolução de

<sup>1</sup> Professora do PPGEIO na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS, [capoane@gmail.com](mailto:capoane@gmail.com)

<sup>2</sup> Professora do PGRN na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UMS, [patricia.mescolotti@ufms.br](mailto:patricia.mescolotti@ufms.br)



geoformas como os morros testemunhos. A degradação do arenito exposto intensifica a produção de sedimentos, que são transportados para os cursos d'água, influenciando diretamente a dinâmica geomorfológica da bacia sedimentar ativa do Pantanal.

## INTRODUÇÃO

A conceituação de formações lateríticas é historicamente controversa, com origens no século XIX, quando Buchanan descreveu materiais superficiais enriquecidos em ferro no sul da Índia. Desde então, o termo “laterita” passou por diversas reformulações, tendo sido aplicado a uma ampla gama de materiais com composições, processos formadores e graus de endurecimento distintos. Tal diversidade levou à proposição de termos mais específicos, como ferricrete, para designar crostas cimentadas por ferro, mais apropriadas para estudos geomorfológicos (Augustin; Lopes; Silva, 2013).

As formações endurecidas ricas em ferro, conhecidas como ferricretes ou couraças ferruginosas, são produtos típicos do intemperismo químico intenso em regiões tropicais e subtropicais. Em razão da diversidade de gênese, composição e forma de ocorrência, o termo tradicionalmente utilizado — *laterita* — tornou-se objeto de intensos debates conceituais. Por isso, autores como Bourman e Ollier (2002) recomendam o uso mais específico de ferricrete para designar as crostas cimentadas e endurecidas por ferro, distinguindo-as de outras formações lateríticas não endurecidas.

Essas crostas podem se formar *in situ*, por acúmulo residual de Fe e Al em perfis de alteração de rochas submetidas ao intemperismo tropical e subtropical, conforme o Modelo do *Residuum* (McFarlane, 1976), ou por acumulação absoluta, com aporte externo de material ferruginoso via escoamento superficial, ascensão capilar ou movimentação coluvial e fluvial, como propõe o Modelo de Acumulação Absoluta (Goudie, 1973; McFarlane, 1976). Em ambos os casos, há perda seletiva de elementos móveis, como sílica e cátions metálicos ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$ ), e concentração de minerais menos móveis, como hematita, goethita, gibbsita, caulinita, além de minerais acessórios como anatásio, rutilo e turmalina (Melfi; Trescases; Oliveira, 1979; Costa, 1991). As feições morfológicas resultantes são variadas e incluem estruturas vesiculares, concrecionárias, pisolíticas, vermiculares ou maciças, refletindo as condições ambientais e os processos pedogenéticos responsáveis por sua formação (Bigarella; Becker; Passos, 1996).

Na Bacia Sedimentar Bauru (BSB), essas couraças ferruginosas ocorrem sobre arenitos cretáceos, particularmente em superfícies geomorfológicas elevadas e estabilizadas, onde atuam como elementos estruturantes do relevo. Sua resistência à erosão promove a preservação de formas residuais, como chapadas e morros testemunhos. Conforme Santos (1998) e Prado *et al.* (2014), a ocorrência de blocos ou



cascalheiras ferruginosas nesses contextos geomorfológicos está associada a ciclos paleoclimáticos e à atuação de processos de latossolização e ferruginização ao longo do tempo geológico.

Além de funcionarem como registros da história morfoclimática, os ferricretes influenciam a dinâmica atual do relevo, controlando a infiltração, o escoamento superficial e a erosão diferencial. Em ambientes com substrato arenítico menos resistente, essas diferenças podem levar à inversão do relevo, com elevação relativa das áreas endurecidas (Penteado, 1983; Fumiya, 2017).

Dessa forma, compreender a gênese, a morfologia e a distribuição dos ferricretes é fundamental para interpretar a evolução do relevo tropical, além de subsidiar estratégias de conservação de geoformas e superfícies com elevado valor ambiental e científico. Este trabalho, portanto, tem como objetivo analisar a dinâmica geomorfológica de um morro testemunho situado no município de Bandeirantes, Mato Grosso do Sul, na transição entre as bacias sedimentares do Paraná e Bauru. O foco está na atuação das couraças ferruginosas na proteção e modelagem do relevo, na interação com o substrato arenítico e com os agentes exógenos, buscando contribuir para a reconstituição da paisagem e a compreensão de sua história evolutiva.

## **METODOLOGIA**

### **Área de Estudo**

A Bacia Sedimentar Bauru (Figura 1A) compõe um sistema retroarco de antepaís, desenvolvido durante os estágios iniciais da evolução andina, na província back-bulge desse sistema (Menegazzo de Melo, 2017). A sucessão sedimentar da BSB reflete mudanças de ambientes continental eólico, lacustre, fluvial e leque aluvial, o que é corroborado pela assembleia fóssilífera e os traços fósseis (Menegazzo de Melo, 2017).

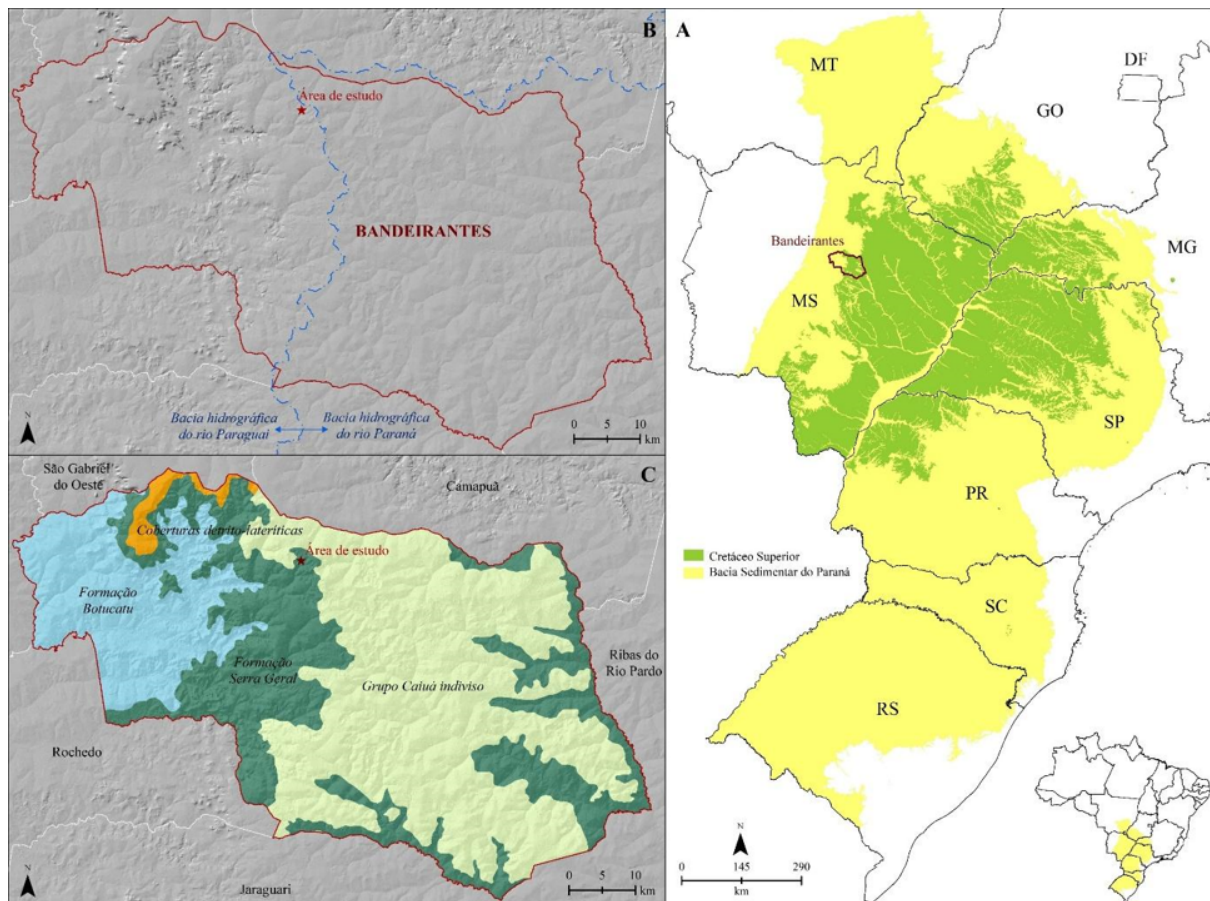
Fernandes (1992) e Fernandes e Coimbra (1994) propuseram a divisão da sucessão sedimentar da BSB em dois grupos principais: Caiuá e Bauru. O Grupo Caiuá é composto pelas formações Rio Paraná, Goio-Erê e Santo Anastácio, enquanto o Grupo Bauru abrange as formações Uberaba, Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente, Marília e as rochas extrusivas alcalinas denominadas Analcimitos Taiúva. Segundo o modelo de Fernandes e Coimbra (1994), as três formações do Grupo Caiuá são contemporâneas entre si. No estado de Mato Grosso do Sul, devido à escala de mapeamento (1:1.000.000), o Grupo Caiuá é representado de forma indivisa, com destaque apenas para a Formação Santo Anastácio.

No mapeamento realizado por Lacerda Filho *et al.* (2006), a área de estudo está inserida no contexto de rochas magmáticas cretáceas da Formação Serra Geral (Figura



1C). Contudo, as observações de campo indicaram que o topo do morro é constituído por ferricretes, enquanto o material subjacente corresponde aos arenitos cretáceos do Grupo Caiuá indiviso.

**FIGURA 1:** A) Delimitação da Bacia Sedimentar do Paraná e dos afloramentos do Cretáceo Superior; B) Relevo sombreado; C) Unidades geológicas do município de Bandeirantes/MS



**FONTES:** MDS SRTM 30 USGS, 2020; IBGE, 2021; PIN MS, 2025.

No contexto geomorfológico, a área se encontra no planalto dissecado da borda ocidental da bacia sedimentar do Paraná (IBGE, 2021). No contexto hidrográfico, o morro localiza-se na bacia do córrego Pulador, afluente do córrego Congonhas, que deságua no córrego Barreiro. Este, por sua vez, é tributário do rio Aquidauana, o qual alimenta o rio Miranda, afluente do rio Paraguai.

O clima da região é o monçônico (Am), que, segundo Alvares et al. (2014) é o tipo climático mais representativo do Brasil. No estado de MS, o clima Am foi mapeado em uma grande área do baixo Pantanal, onde a precipitação anual varia entre 1.300 e 1.600 mm, e na região central do estado, onde a precipitação é ligeiramente maior, variando de 1.600 a 1.900 mm por ano. Caracteriza-se por verões quentes e úmidos, com altos índices pluviométricos e uma estação seca pouco acentuada (Alvares et al., 2014).



## **Levantamento planialtimétrico e trabalhos de campo**

A análise da dinâmica geomorfológica do morro testemunho, situado na borda ocidental da BSB, no município de Bandeirantes/MS, foi realizada por meio de uma abordagem integrada. Para isso, foram conduzidos trabalhos de campo, aerolevantamentos com drone e posterior processamento digital de imagens, o que permitiu uma melhor compreensão das feições morfológicas e dos processos atuantes na área.

Inicialmente, realizou-se o reconhecimento e mapeamento preliminar da área de estudo com o apoio de imagens de satélite e radar (SRTM 30), visando a delimitação do morro testemunho e a identificação de feições relevantes à dinâmica erosiva e à presença de couraças ferruginosas. Em seguida, foram efetuadas duas campanhas de campo (2024 e 2025), com o objetivo de descrever os depósitos sedimentares e verificar *in loco* as condições morfopedológicas, os tipos de cobertura superficial e o grau de conservação dos ferricretes.

Posteriormente, foi realizado levantamento planialtimétrico de alta resolução com o uso de drone (DJI Mavic 3E). Ao todo, foram capturadas 672 fotografias aéreas com 70% de sobreposição, garantindo a cobertura integral da área do morro. As imagens foram processadas no *software* Pix4Dmapper, resultando na geração de um ortomosaico georreferenciado e de um Modelo Digital de Superfície (MDS) com resolução espacial de 0,04264 cm.

A interpretação do MDS e do ortomosaico foi conduzida com o apoio de técnicas de análise morfométrica e inspeção visual, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foram considerados critérios como altitude, declividade, exposição solar e padrões de dissecação do relevo. A partir dessa análise, foram mapeadas áreas com presença contínua ou fragmentada de couraças ferruginosas, bem como zonas de erosão ativa, incluindo ravinas e voçorocas.

Por fim, os dados obtidos foram analisados de forma integrada com os conhecimentos geológicos e geomorfológicos regionais, visando estabelecer relações entre o controle litológico (arenitos do grupo Caiuá indiviso), a resistência diferencial promovida pelos ferricretes e os processos erosivos atuais. Essa abordagem possibilitou interpretar a evolução da forma do relevo e avaliar a contribuição do morro testemunho na dinâmica sedimentar da bacia hidrográfica do rio Paraguai.

## **RESULTADOS**

### **Depósito sedimentar e a couraça ferruginosa**

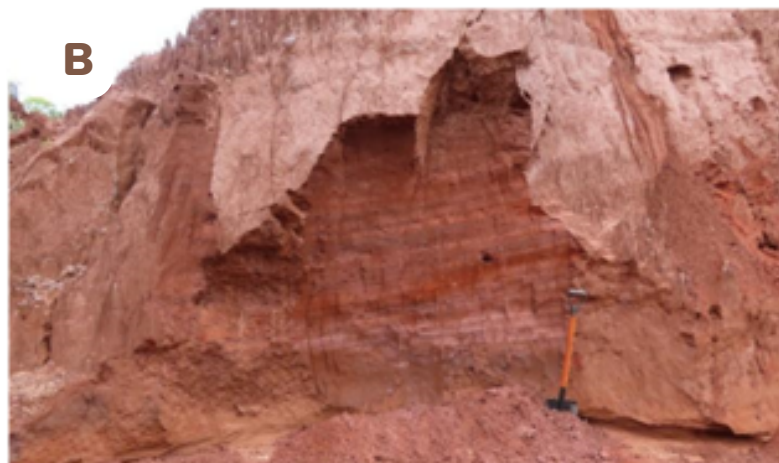
A couraça ferruginosa acompanha o relevo relictado do morro testemunho, variando de cotas de 660 m a 725 m. Suas maiores espessuras ocorrem no topo do morro, refletindo sua evolução. Nas vertentes do morro o depósito ferruginoso ocorre predominantemente



com textura pisolítica (Figura 2A), provavelmente devido a destruição da couraça e sua nova organização.

A rocha sedimentar subjacente à couraça ferruginosa, pertencente ao Grupo Caiuá indiviso, é composta predominantemente por arenitos avermelhados e friáveis (Figura 2B). Os arenitos alternam em sets métricos de arenitos finos a médios, bimodais, com boa seleção e maturidade, com sets de arenitos mais finos, com pouca matriz muito fina. Esses arenitos apresentam normalmente estratificação cruzada tabular de grande porte (métrica) e alto ângulo ( $>20^\circ$ ). Mais para o topo do depósito, ocorrem sets de 1 a 2 metros de arenito muito fino e com matriz lamosa, intercalados a arenitos médios com pouca matriz. O depósito encontra-se com cores variando de vermelho, amarelo e roxo (Figura 2B), mostrando vários estados de oxidação. Essa cimentação por óxidos, provavelmente devido a degradação da couraça ferruginosa do topo, é pervasiva e, muitas vezes, oblitera a estrutura sedimentar, principalmente em direção ao topo da seção.

**FIGURA 2: A)** Ferricretes pisolíticos; **B)** Arenito arroxado com estratificação cruzada planar do Grupo Caiuá indiviso.



**FOTOS:** Capoane, V.; Data: 01/04/2025.



As características sedimentares observadas — como a boa seleção granulométrica, a friabilidade e a presença de estratificações cruzadas — reforçam a origem eólica dos arenitos do Grupo Caiuá. A couraça ferruginosa que se encontra acima dessas formações configura-se como um marcador importante da história de intemperismo e pedogênese da região, com maior espessura e preservação nos topos do morro testemunho. A textura pisolítica encontrada em alguns trechos das vertentes sugere processos de transformação da couraça, com possível retrabalhamento. A interação entre esses materiais indica um sistema morfossedimentar sensível, cuja evolução será aprofundada na seção seguinte, a partir da análise morfológica detalhada da área.

### **Evolução do relevo**

Os produtos gerados a partir do aerolevanteamento com drone, aliados às observações de campo e à análise em ambiente SIG, permitiram caracterizar com precisão a morfologia do morro testemunho e os processos erosivos associados. A Figura 3 apresenta três representações complementares da área estudada, destacando a intensa dissecação das vertentes e a presença de voçorocas em estágio avançado de desenvolvimento.

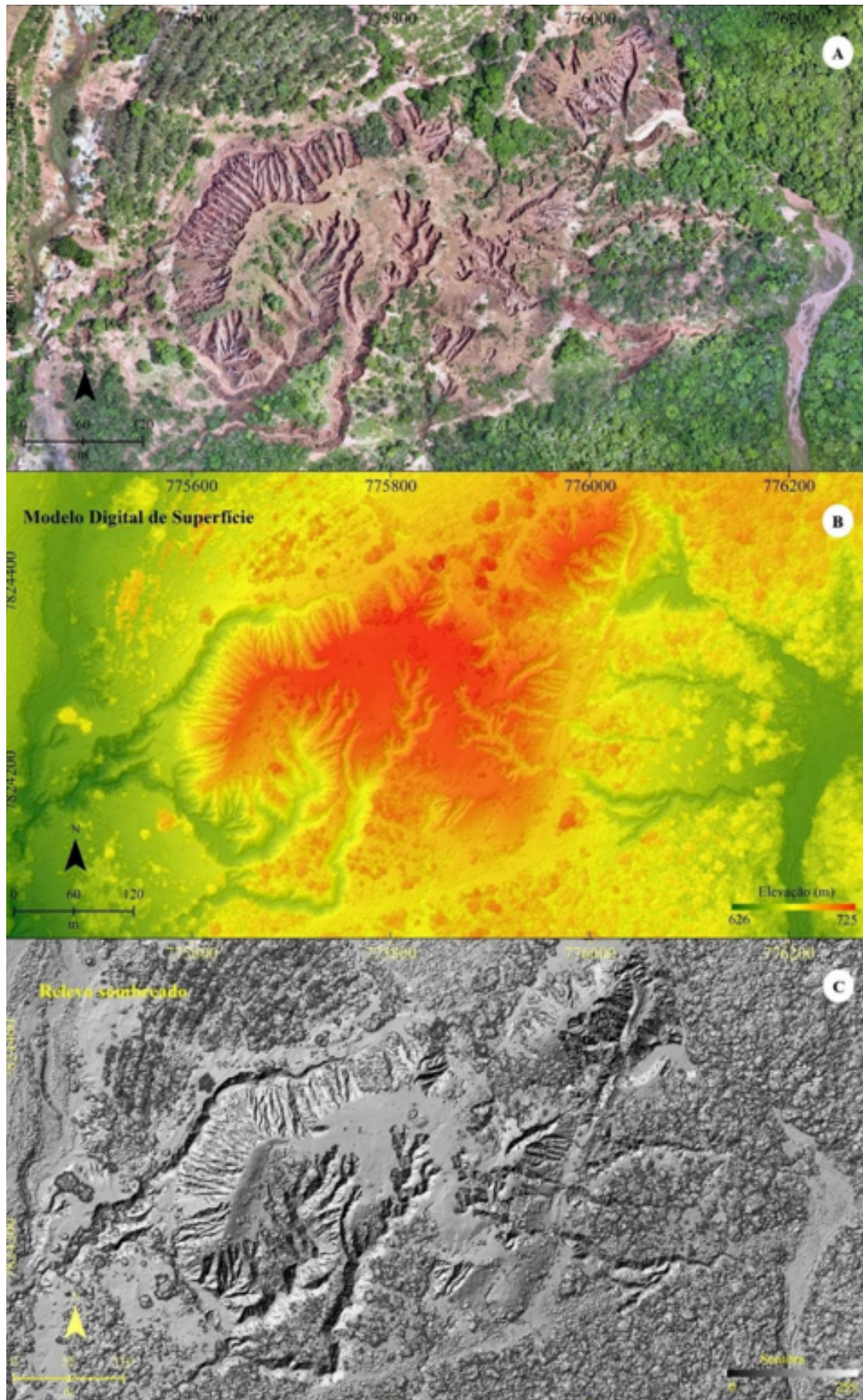
Na ortofoto (Figura 3A), observa-se a ausência de cobertura vegetal em diversos trechos e a exposição de solos de coloração avermelhada, indicando escoamento concentrado e forte erosão regressiva. Essa degradação está relacionada à fragmentação ou ausência da couraça ferruginosa nas encostas, expondo o substrato arenítico do Grupo Caiuá, menos resistente à ação dos agentes intempéricos.

O MDS (Figura 3B) revela um gradiente altimétrico que varia de 626 e 725 metros, sendo possível identificar divisores de drenagem e canais entalhados que convergem para as áreas de menor cota. Essa estrutura altimétrica reflete a resistência diferencial do terreno, com os níveis mais elevados correspondendo a remanescentes de ferricrete, que atua como superfície rígida e resistente à erosão. Já as porções inferiores, onde essa cobertura foi removida ou retrabalhada, apresentam feições erosivas mais intensas.

A imagem de relevo sombreado (Figura 3C) complementa a interpretação ao permitir a leitura tridimensional das formas do terreno, ressaltando a complexidade da rede de drenagem incipiente formada pelas voçorocas. As cabeceiras dessas feições localizam-se principalmente nas bordas das couraças remanescentes, evidenciando o papel da resistência diferencial na compartimentação do relevo e na dinâmica de degradação da paisagem.



**FIGURA 3:** Orthomosaico, Modelo Digital de Superfície e relevo sombreado da área estudada.





Nas encostas, onde a couraça foi removida total ou parcialmente, observam-se ravinas, sulcos e voçorocas que aprofundam progressivamente os canais de drenagem (Figura 4). O retrabalhamento do material arenítico, associado à ação concentrada da água, favorece o transporte de sedimentos para áreas adjacentes e cursos d'água, com potencial impacto na dinâmica fluvial da bacia sedimentar ativa do Pantanal.

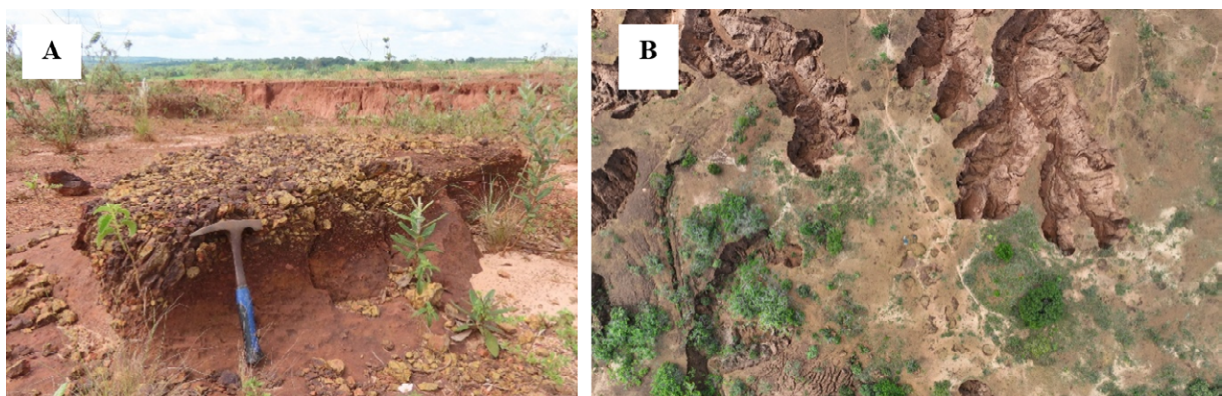
**FIGURA 4:** Erosão regressiva no morro estudado



**FOTO:** Capoane, V.; Data: 01/04/2025.

O contraste entre os setores estabilizados e as áreas degradadas (Figura 5) reforça o papel dos ferricretes como elementos chave na estabilidade topográfica. A presença ou ausência dessas couraças regula os padrões erosivos e condiciona a morfogênese das formas residuais. Assim, os morros testemunhos configuram importantes geoindicadores da evolução das paisagens tropicais e da vulnerabilidade de geoformas submetidas à intensa dissecação, reforçando a necessidade de estratégias voltadas à sua conservação.

**FIGURA 5:** A) Fragmentação da couraça no topo do morro; B) Erosão remontante.



**FOTO:** Capoane, V.; Data: 01/04/2025.

## DISCUSSÃO GERAL

A análise integrada dos dados sedimentológicos, morfométricos e morfológicos do morro testemunho revela a importância das couraças ferruginosas como elementos estruturantes e estabilizadores das formas de relevo em contextos tropicais,



especialmente sobre substratos areníticos pouco resistentes. Os resultados obtidos confirmam a atuação dos ferricretes como superfícies resistentes à dissecação, conforme já apontado por autores como Penteado (1983) e Bourman e Ollier (2002), que destacam sua capacidade de controlar a dissecação superficial e preservar remanescentes de superfícies paleogeográficas.

A associação entre a couraça ferruginosa e os arenitos do Grupo Caiuá configura um sistema morfossedimentar sensível, cujo equilíbrio depende da integridade da couraça superficial. Tal relação já foi explorada por Fumiya et al. (2016) e Fumiya (2017), ao explicarem como os processos de lateritização e ferruginização atuam na cimentação superficial de perfis arenosos, aumentando temporariamente a resistência à erosão. No entanto, quando essa camada é degradada, seja por processos naturais de intemperismo físico-químico ou por ações antrópicas, o substrato friável torna-se altamente suscetível à erosão regressiva e à formação de feições como ravinhas e voçorocas, conforme observado por Bigarella, Becker e Passos (1996) em relevo tropical dissecado.

A análise morfométrica com base no MDS demonstrou claramente a compartimentação do relevo por resistência diferencial, um conceito central em geomorfologia estrutural (Tricart, 1974). A preservação das cotas mais elevadas, recobertas por ferricretes, contrasta com as áreas rebaixadas e intensamente dissecadas das encostas, onde a couraça foi removida. Esse padrão é coerente com o modelo de inversão do relevo por endurecimento diferencial, descrito por Santos (1998) e Prado et al. (2014) em superfícies residuais da bacia sedimentar do Paraná.

Além dos aspectos geomorfológicos, os resultados apontam para implicações ambientais mais amplas. A produção de sedimentos nas áreas degradadas e seu potencial transporte para bacias hidrográficas adjacentes e, posteriormente, para a bacia sedimentar do Pantanal, amplia a escala de impacto dos processos erosivos locais. Essa conexão entre degradação de geoformas residuais e dinâmica fluvial regional reforça observações feitas por Goudie (1973) sobre a vulnerabilidade das regiões tropicais à intensificação da erosão em função da fragilidade dos substratos e da perda de coberturas protetoras.

Por fim, é importante destacar o papel dessas formas residuais como geoindicadores da história morfoclimática e pedogenética das paisagens tropicais, conforme defendem Thomas (1994) e Augustin, Lopes e Silva (2013). A presença de couraças ferruginosas bem desenvolvidas, associadas a depósitos eólicos, como os arenitos do Grupo Caiuá, sugere fases pretéritas de maior estabilidade climática, seguidas por ciclos de dissecação e retrabalhamento. Dessa forma, a conservação



de morros testemunhos e suas coberturas ferruginosas não apenas contribui para a estabilidade geomorfológica atual, mas também preserva registros significativos da evolução ambiental ao longo do tempo geológico.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou a importância das couças ferruginosas na proteção e modelagem do relevo do morro testemunho analisado, evidenciando sua atuação como superfícies resistentes à dissecação frente aos processos de degradação que afetam as áreas de substrato arenítico exposto. A análise integrada de dados morfométricos, aerolevantamento com drone e observações de campo permitiu identificar a forte influência da resistência diferencial na compartimentação do relevo, na estabilidade topográfica e na dinâmica erosiva da área. As porções superiores, preservadas pela couça, apresentam maior estabilidade e baixa dissecação, enquanto as encostas, marcadas pela fragmentação ou ausência da couça, são dominadas por processos erosivos intensos, com formação de ravinas e voçorocas.

Além de contribuir para a compreensão da evolução morfológica do relevo tropical na transição entre as bacias sedimentares do Paraná e Bauru, os resultados deste trabalho ressaltam a importância dos ferricretes como elementos-chave para a conservação de geoformas com elevado valor científico e ambiental. A constatação de que os sedimentos gerados pelas encostas degradadas estão sendo transportados até a bacia sedimentar do Pantanal amplia a relevância do estudo, ao evidenciar a conexão entre processos locais de erosão e impactos regionais na dinâmica fluvial e sedimentar. Assim, reforça-se a necessidade de ações voltadas à preservação dessas superfícies resistentes, como forma de mitigar a degradação ambiental e de valorizar a geodiversidade e a história evolutiva das paisagens tropicais.

## *Agradecimentos:*

**A**o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro, processo n. 405231/2023-7.



## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; LOPES, M. R. S.; SILVA, S. M. Lateritas: um conceito ainda em construção. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 3, jul.-set., p. 241-257, 2013.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, D. R.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1996.
- BOURMAN, R. P.; OLLIER, C. D. A critique of the Shellmann definition and classification of laterite. **Catena**, v. 47, n. 2, p. 117-131, 2002.
- COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p.146-160, 1991.
- FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácica suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os Grupos Bauru e Caiuá**. 1992. 129 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 164-176, 1994.
- FUMIYA, M. H. **Gênese dos ferricretes e sua relação com transformações da paisagem no noroeste do Paraná**. 2017. 164 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Curitiba, 2017.
- FUMIYA, M. H.; SANTOS, L. J. C.; MANGUEIRA, C. G.; COUTO, E. V. Emprego do índice de concentração da rugosidade na identificação de feições morfológicas associada a materiais ferruginosos no noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 3, p. 465-480, 2016.
- GOUDIE, A. **Duricrust in tropical and subtropical landscapes**. Oxford: Clarendon Press, 1973.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapeamento de recursos naturais do Brasil**: Escala 1:250.000 – Documentação técnica. Rio de Janeiro, IBGE – Diretoria de Geociências, 2021
- LACERDA FILHO, J. V.; ABREU FILHO, W.; VALENTE, C. R.; OLIVEIRA, C. C.; ALBUQUERQUE, M. C. **Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso do Sul** - Escala 1:1.000.000. CPRM; Secretaria de Estado de Indústria, Comércio, Minas e Energia do Estado de Mato Grosso, 2006.
- McFARLANE, M. J. **Laterite and landscape**. London: Academic Press, 1976.
- MELFI, A. J.; TRESCASES, J. J.; OLIVEIRA, S. M. B. de. Les "laterites" nickélifères du Brésil. In: International Seminar on Lateritisation Processes, Tpvandrum – Índia. **Anais ...** New Delhi, 1979. P. 1-62. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/718e0461-98b8-46e8-acf0-ff19e94d0df3/3066850.pdf>
- MENEGAZZO DE MELO, M. C. Sedimentação da bacia Bauru: cenário tectônico, idade dos depósitos e ambientes paleodeposicionais. **Revista Técnica da UP**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 4, p. 90-109, jan. 2017.
- PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.
- PIN MS. Portal de informações e Geoposicionamento de MS. **Limites políticos**. Disponível em: <https://www.pinms.ms.gov.br/portal/home/>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- PRADO, R. J.; CABRAL, I. L. L.; SILVA, A. P. M.; SOLORZANO, P. E. M.; ALBUQUERQUE, A. P. A. Caracterização de material laterítico do planalto e chapada dos Guimarães–MT por EDX, XRD e espectroscopia Mössbauer. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 4, p. 1-19, 2014.
- SANTOS, G. J. D. **Contribuição ao estudo dos solos lateríticos granulares como camada de pavimento**. 1998. 342 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.
- THOMAS, M. F. **Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- TRICART, J. **Structural geomorphology**. London; New York: Longman, 1974.
- USGS. United States Geological Survey. **Digital Elevation**, SRTM, 1 Arc-Second Global. 2020. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em 20 jan. 2020.



# VARIÁVEIS GEOMORFOMÉTRICAS DA BACIA COLÔNIA ANTÔNIO ALEIXO (MANAUS-AM): IMPLICAÇÕES PARA SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA

Armando Brito da Frota Filho <sup>1</sup>

Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira <sup>2</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Morfometria de bacias, parâmetros de drenagem, erosão, voçoroca.

## RESUMO

Este trabalho buscou identificar a suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo (Zona Leste de Manaus-AM), por meio da análise de variáveis geomorfométricas, contemplando parâmetros morfométricos e geomorfológicos associados à dinâmica dos processos erosivos, com destaque para os produtos resultantes, como as voçorocas. Os procedimentos metodológicos utilizados para a obtenção do objetivo geral incluem a delimitação da bacia em ambiente de SIG, elaboração de Modelo Digital de Elevação e mapa de declividade, além do levantamento de informações como área, perímetro, número total de canais, comprimento do canal principal, altura média e amplitude altimétrica da bacia, como base para aplicação de fórmulas/procedimentos já consolidados para o cálculo das características de Densidade de Drenagem (Dd), Densidade Hidrográfica (Dh), Extensão do Percurso Superficial (Eps), Índice de Sinuosidade (Isin), Coeficiente de Manutenção (Cman), L de Hack, Relação do Relevo (Rh), Gradiente do Canal Principal (G), Índice de Rugosidade (Ir), Coeficiente de Massividade (Cmas), Coeficiente Orográfico (Co), Relação de Enlongamento (Re), Índice de Circularidade (Ic) e Índice de Compacidade (Ik). Assim, a bacia foi caracterizada como sendo de 5ª ordem, ocupando uma área de 24,93 km<sup>2</sup>. O canal principal e o eixo da bacia possuem orientação NW-SE, devido ao controle estrutural neotectônico, característica que explica o baixo índice de Sinuosidade do canal principal (1,04). Outros parâmetros complementares, como o Cmas (0,76) e o Ir (593,64 m), indicam que a bacia apresenta terras mais elevadas, as quais dificultam a infiltração e facilitam o escoamento superficial, enquanto o Ir sugere que a bacia possui um relevo ondulado, com declividade média entre 9 e 20%, o que foi corroborado pelos dados advindos do mapa clinográfico, no qual a declividade mais expressiva está no intervalo de 8 a 20%, correspondente a 39,67% da área da bacia. Essa porção é classificada como tendo susceptibilidade erosiva “moderada a forte”, seguida pelo intervalo entre 20 e 45%, que corresponde a 35,22% da área da bacia, com susceptibilidade “muito forte”. Assim, 74,89% da bacia é caracterizada por encostas com significativa susceptibilidade erosiva. Em face dos dados apresentados, conclui-se que a bacia apresenta características geomorfológicas com suscetibilidade natural à erosão, fato corroborado pela presença de 22 voçorocas. Dentre os impactos na

<sup>1</sup> Professor de Geografia da SEMED-Manaus e professor colaborador do PPG-Geociências da UFAM, Doutor pelo PPG- Geografia da UFRJ, email: [armandofrota.filho@gmail.com](mailto:armandofrota.filho@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Titular, membro do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas –UFAM. email: [fabiovieira@ufam.edu.br](mailto:fabiovieira@ufam.edu.br)



geomorfologia local advindos dessas incisões, destacam-se os assoreamentos de diversos canais de primeira e segunda ordem, os quais impactam diretamente na dinâmica hidro-sedimentológica da bacia. No caso da bacia Colônia Antônio Aleixo, esses parâmetros evidenciam uma forte susceptibilidade erosiva devido à presença de encostas íngremes, o que foi corroborado pelos produtos de SIG, como mapas altimétricos e clinográficos. De forma geral, a caracterização de uma bacia hidrográfica por meio desses parâmetros morfométricos pode auxiliar na identificação de áreas susceptíveis à erosão, orientar o processo de gestão territorial das bacias e a conservação do solo e da água.

## INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas configuram-se como unidades territoriais de referência não apenas para o planejamento ambiental e a gestão de recursos hídricos. Do ponto de vista morfogenético, trata-se de recortes naturais da paisagem delimitados por interflúvios, que organizam os fluxos hídricos superficiais e subterrâneos a partir de condicionantes geológicos, topográficos e climáticos (Christofolletti, 1980; Guerra e Guerra, 2010). Conforme destaca Carvalho (2009), além de constituírem uma das principais unidades geomorfológicas, as bacias são domínios analíticos fundamentais para se compreender a espacialização das dinâmicas naturais e antrópicas

Na perspectiva da análise morfométrica, a bacia hidrográfica é compreendida como sistema hidrogeomorfológico suscetível a transformações decorrentes tanto de processos naturais quanto de pressões antrópicas. A avaliação quantitativa de atributos como forma da bacia hidrográfica, declividade, densidade de drenagem, amplitude altimétrica, entre outros, possibilita inferir padrões de organização espacial e funcional da bacia, além de oferecer parâmetros objetivos para diagnósticos ambientais (Silva et al., 2003). Em áreas urbanas, esses indicadores assumem especial relevância frente à crescente artificialização das superfícies, que altera significativamente os fluxos hidrológicos e geomorfológicos. Nesse contexto, observa-se uma ruptura nas relações socioespaciais com os rios urbanos, os quais deixam de cumprir funções ecológicas e simbólicas e passam a ser ressignificados como passivos urbanos (Fraxe, 2000; Sternberg, 2000).

As bacias hidrográficas são recortes naturais da paisagem, delimitados por interflúvios, que organizam os fluxos hídricos a partir de condicionantes geológicos, topográficos e climáticos (Christofolletti, 1980; Guerra e Guerra, 2010). Além de sua importância para a gestão ambiental e dos recursos hídricos, as bacias constituem unidades fundamentais para a compreensão da espacialização das dinâmicas naturais e antrópicas (Carvalho, 2009). Na perspectiva morfométrica, as bacias configuram-se como sistemas hidrogeomorfológicos sujeitos a transformações que decorrem tanto de processos naturais quanto da ação humana. A análise de atributos como declividade,



densidade de drenagem, forma da bacia hidrográfica e amplitude altimétrica permite diagnosticar padrões de funcionamento e níveis de vulnerabilidade ambiental (Silva, Schulz, Camargo, 2003).

Em áreas urbanas, a análise morfométrica adquire ainda mais relevância, pois a crescente artificialização das superfícies altera significativamente os fluxos hidrológicos e geomorfológicos. Nesse processo, observa-se uma ruptura das relações socioespaciais com os rios, que deixam de cumprir funções ecológicas e simbólicas para se tornarem vistos como obstáculos à expansão urbana (Fraxe, 2000; Sternberg, 2000). Manaus, inserida em um contexto hidrográfico denso, exemplifica bem esse fenômeno. Descrita por Ab'Saber (1953) como uma cidade entre igarapés, a capital amazonense vem assistindo, ao longo das últimas décadas, à descaracterização progressiva de sua malha hídrica, tanto nas áreas centrais quanto nas periferias. A urbanização acelerada, sem planejamento territorial compatível com as especificidades do relevo e da rede de drenagem, vem comprometendo de forma expressiva a dinâmica hidroambiental local.

Na Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, situada na zona leste da cidade, os impactos da urbanização são evidentes. Entre 2001 e 2018, houve uma perda de 4,59 km<sup>2</sup> de vegetação, enquanto a área urbanizada passou de 25,24% para mais de 40% do território da bacia (Frota Filho, 2021). A ocupação de Áreas de Preservação Permanente, a canalização de cursos d'água e a supressão das matas ciliares comprometeram diretamente a integridade ecológica dos canais, resultando em aumento do escoamento superficial, perda de capacidade de infiltração e surgimento de feições erosivas. Embora tenha havido, em certos momentos, alguma recuperação da vegetação, essa regeneração ocorreu, em sua maioria, com espécies secundárias e de pequeno porte, o que reduz sua eficácia na proteção do solo frente aos impactos hidrológicos.

Outro aspecto que agrava esse cenário é a descaracterização da rede hidrográfica da bacia, especialmente na porção montante, onde muitos igarapés se encontram hoje encobertos, canalizados ou assoreados. A forma como o relevo vem sendo ocupado não respeita as condicionantes naturais, o que torna o território ainda mais vulnerável à degradação. Nesse sentido, a análise geomorfométrica da bacia torna-se essencial não apenas como instrumento técnico, mas como ferramenta crítica para compreender os conflitos entre o crescimento urbano e a fragilidade do meio físico. Revela-se, assim, um território em disputa, marcado por desigualdades espaciais e pela ausência de políticas públicas eficazes de planejamento e recuperação ambiental. Entender essa dinâmica é essencial para propor estratégias de gestão que considerem a complexidade da paisagem urbana amazônica e suas múltiplas vulnerabilidades.



Neste contexto, este trabalho tem como propósito identificar a suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo (Zona Leste de Manaus-AM), por meio da análise de variáveis geomorfométricas, contemplando parâmetros morfométricos e geomorfológicos (descritos na metodologia) associados à dinâmica dos processos erosivos, com destaque para os produtos resultantes, como as voçorocas, com ênfase na compartimentação do relevo e na identificação dos diferentes níveis de vulnerabilidade natural da paisagem frente aos impactos decorrentes da urbanização.

## METODOLOGIA

Foi utilizada a delimitação das bacias hidrográficas realizada por Vieira (2008), em que foi delimitado polígono em ambiente de SIG da Bacia Colônia Antônio Aleixo, em que foram extraídos dados de área, perímetro, média da largura e extensão do canal principal. Foi realizado um MDE (Modelo Digital de Elevação) para a obtenção da altimetria da bacia, o qual serviu de base para a elaboração de um mapa com as declividades (em porcentagem) que ocorrem na bacia.

Além disso, foram traçados os perfis topográficos transversais em três pontos da bacia (montante, meio e jusante) e o perfil longitudinal do rio principal por meio de SIG. Quanto ao comprimento das bacias, Christofolletti (1980) afirma que há várias formas de calcular o comprimento de uma bacia, e isto acarreta uma diversidade de dados a serem obtidos. Dentre as maneiras propostas pelo autor foi escolhida a distância medida em linha reta que acompanha paralelamente o rio principal. A largura foi medida em três pontos da bacia (montante, meio e jusante). Para o perímetro, o polígono foi delimitado por meio dos divisores de água da bacia, pois trata-se de uma linha ao longo do divisor de águas (Christofolletti, 1980; Teodoro *et al.*, 2007).

A partir desses dados foram calculados os demais parâmetros como: Densidade de Drenagem (Dd), Densidade Hidrográfica (Dh), Extensão do Percurso Superficial (Eps), Índice de Sinuosidade Isin, Coeficiente de Manutenção (Cman), L de Hack; Relação do Relevo (Rh), Gradiente dos Canal Principal (G), Índice de Rugosidade (Ir), Coeficiente de Massividade (Cmas); Coeficiente Orográfico (Co); Relação de Enlongamento (Re), Índice de Circularidade (Ic) e Índice de Compacidade (Ik), cujos cálculos e interpretações seguem abaixo (Quadro 1).



**QUADRO 1:** Síntese dos parâmetros e cálculos usados para caracterizar a bacia Colônia Antônio Aleixo

PARÂMETROS	CÁLCULO	REFERÊNCIA	PARÂMETROS	CÁLCULO	REFERÊNCIA
Área (A)	$A = L \cdot B$	-	L de Hack	$L = 1,5 \cdot A^{0,6}$	Cardoso et al., (2012)
Perímetro (P)	P	-	Varição	$(L - L \text{ Hack}) / L$	
Comprimento do eixo da bacia (L)	L	-	Amplitude Altimétrica ( $\Delta a$ )	$\Delta a = H - h$	-
Largura (B)	B	-	Relação do Relevo (Rh)	$Rh = \Delta a / L$	Schumm (1956)
Número de canais da bacia	N	-	Gradiente dos Canal Principal (G)	$G = [(H - h) / L] \times 100$	Soares e Souza (2012)
Comprimento do canal principal	Lb	-			
Densidade de Drenagem (Dd)	$Dd = Lt / A$	Christofoletti (1980)	Índice de Rugosidade (Ir)	$Ir = H \times Dd$	Christofoletti (1980)
Densidade Hidrográfica (Dh)	$Dh = N / A$	Christofoletti (1980)	Coefficiente de Massividade (Cmas)	$Cm = Am / A$	Christofoletti (1980)
Extensão do Percurso Superficial (Eps)	$Eps = 1 / 2Dd$	Christofoletti (1980)	Coefficiente Orográfico (Co)	$Co = Am \times Cm$	Christofoletti (1980)
Índice de Sinuosidade Isin	$Isin = L / Lt$	Soares e Souza (2012)	Relação de Enlongamento (Re)	$Re = 1,128 \cdot A^{0,5} \cdot L^{-1}$	Christofoletti (1980)
Coefficiente de manutenção (Cman)	$Cman = 1 / Dd \times 1000$	Christofoletti (1980)	Índice de Circularidade (Ic)	$Ic = 12,57 \cdot A \cdot P^{-2}$	Christofoletti (1980)
			Índice de Compacidade (Ik)	$Ik = 0,2821 \cdot P \cdot A^{-0,5}$	Christofoletti (1980)

**ORG.:** Armando Brito da Frota Filho, 2025.

A classificação da vulnerabilidade natural baseou-se em dois procedimentos complementares. O primeiro consistiu na aplicação do Índice de Rugosidade (Ir), associado às formas de relevo, conforme a proposta de Sousa e Rodrigues (2012). O segundo utilizou o mapa de declividade da bacia hidrográfica do Educandos, no qual as classes de declividade foram relacionadas às categorias de relevo e aos níveis de suscetibilidade erosiva, seguindo a classificação de Ramalho Filho e Beek (1995) apud



Sousa e Rodrigues (2012). Os resultados foram expressos em valores absolutos (km<sup>2</sup>) e relativos (%), o que possibilitou avaliar a distribuição espacial da vulnerabilidade na área de estudo.

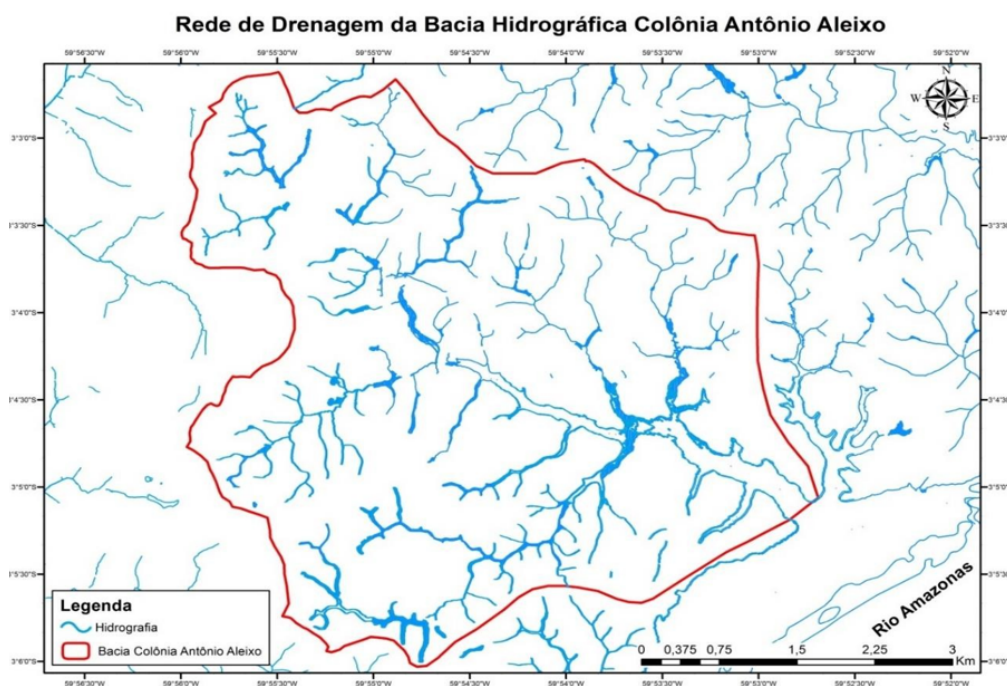
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de bacias hidrográficas, por meio de Padrão de Drenagem, Parâmetros de morfométricos e de drenagem, Características morfológicas, e outros cálculos como a Lei de Hack e as Comparações com o Círculo possibilitam a identificação de particularidades e de processos formadores dessa unidade do relevo.

O canal principal e eixo da bacia possuem orientação NW-SE, sentidos predominantes dos cursos fluviais e vales na região, devido ao controle estrutural neotectônico. Na Bacia Colônia Antônio Aleixo, o rio principal da bacia é de 5<sup>o</sup> ordem, classificado a partir do modelo de Strahler (1957).

A bacia apresenta Padrão de Drenagem Dentrítico e, conforme Christofolletti (1980), é um padrão também conhecido como Arborescente, pois assemelha-se à configuração de uma árvore, onde o rio principal é o tronco em que seus tributários são seus ramos e os tributários de menor categoria são os ramos das folhas. Neste tipo de padrão de drenagem, as junções dos canais fazem ângulos agudos com graduações variadas, sem chegar a ângulos retos (Figura 1).

**FIGURA 1:** Rede de Drenagem da bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo



**FONTE:** Unidade Transversa de Mercator, Zona 21S, Datum WGS-84. Elaboração: Mônica Cortêz Pinto.  
**ORG.:** Armando Brito da Frota Filho, 2015



Entretanto, muitos cursos da bacia apresentam ângulos retos, resultado de controle estrutural, e no tocante a isto Suguio e Bigarella (1990) apontam que quando há a presença de ângulos retos no padrão dentrítico é caracterizado como uma variação do padrão, sendo denominado de Retangular-dentrítico.

O Quadro 2 apresenta a síntese dos parâmetros e características, nesse sentido a abordagem e análise deles segue a apresentação das Características Morfológicas, Parâmetros de Drenagem, Lei de Hack, Características Geomorfológicas e Relação com o Círculo.

**QUADRO 2:** Síntese dos parâmetros de morfométricos, Drenagem e Características morfológicas da bacia do Colônia Antônio Aleixo

	Parâmetros	Valor		Parâmetros	Valor
<b>Característica Morfológicas</b>	Área (A)	24,93 Km <sup>2</sup>	<b>Lei de Hack</b>	L de Hack	10,33Km
	Perímetro (P)	22,97 Km		Variação	-38,39%
	Comprimento do eixo da bacia (L)	7,455Km	<b>Características Geomorfológicas</b>	Amplitude Altimétrica ( $\Delta a$ )	75 m
	Largura (B)	4,366 Km		Relação do Relevo (Rh)	0,0100
<b>Parâmetros de Drenagem</b>	Comprimento do canal principal	12,600 Km	<b>Características Geomorfológicas</b>	Gradiente dos Canal Principal (G)	0,9672%
	Densidade de Drenagem (Dd)	6,12 Km/ Km <sup>2</sup>		Índice de Rugosidade (Ir)	593,64m
	Densidade Hidrográfica (Dh)	5,14 Km/ Km <sup>2</sup>		Coefficiente de Massividade (Cmas)	2,290
	Extensão do Percurso Superficial (Eps)	0,026 Km		Coefficiente Orográfico (Co)	130,586m
	Índice de Sinuosidade Isin	1,04	<b>Relação com o Círculo</b>	Relação de Enlongamento (Re)	0,755
	Coefficiente de manutenção (Cman)	163,398 m/Km <sup>2</sup>		Índice de Circularidade (Ic)	0,593
				Índice de Compacidade (Ik)	1,297



## **Características Morfológicas**

A bacia dos **Colônia Antônio Aleixo** tem área de 24,93 km<sup>2</sup> pode ser classificada segundo Porto et al. (1997), como sendo de tamanho “médio”, fato confirmado por características morfométricas como Perímetro (22,97 Km), Comprimento do eixo da bacia (7,455 Km) e a Largura média (4,366 Km).

## **Parâmetros de Drenagem**

A densidade de drenagem (Dd) da bacia, calculada em 6,12 Km/Km<sup>2</sup> que a classifica como tendo baixa densidade de drenagem, apesar de possuir uma forte dissecação de acordo com a proposta de Christofolletti (1969). Nessa classificação, valores abaixo de 7,5 km/km<sup>2</sup> refletem redes de drenagem pouco desenvolvidas, enquanto valores superiores indicam maior ramificação. No caso da bacia analisada, essa densidade reduzida pode estar relacionada a fatores como a natureza dos solos, a cobertura vegetal ainda preservada em alguns trechos ou intervenções humanas que tenham alterado o fluxo natural da água. O que revela como a topografia responde ao escoamento superficial, servindo como ponto de partida para entender os processos morfodinâmicos.

Esse dado é pertinente, pois apesar de o valor indicar uma drenagem pouco densa, a área revela uma forte dissecação do relevo, o que por sua vez sugere que a rede de drenagem é influenciada por outros fatores, como o uso e ocupação do solo e as intervenções de origem antrópica.

A densidade hidrográfica (Dh) é um parâmetro morfométrico que expressa a relação entre o número de cursos d'água e a área da bacia hidrográfica, refletindo o grau de dissecação do relevo e a organização da rede de drenagem. De modo geral, valores inferiores a 3 km/km<sup>2</sup> indicam baixa densidade, entre 3 e 7 km/km<sup>2</sup> são considerados médios, entre 7 e 15 km/km<sup>2</sup>, altos, e acima de 15 km/km<sup>2</sup>, muito altos. Conforme Macuzzo *et al.* (2012), uma bacia bem drenada apresenta ao menos um canal por quilômetro quadrado. Em Manaus, segundo Vieira (2008), os valores de Dh variam entre 1,32 e 11,45 km/km<sup>2</sup>, evidenciando uma diversidade nos padrões de drenagem entre as bacias urbanas da cidade.

No entanto, ao se considerar que essa bacia concentra o maior número de incisões erosivas de Manaus e que as voçorocas podem ser interpretadas como canais de ordem zero ou de primeira ordem, observa-se um aumento da capacidade de formação de novos cursos d'água. Isso revela que quanto maior a densidade de canais erosivos, maior é a vulnerabilidade da bacia a processos de degradação, especialmente em áreas urbanizadas



com ocupação desordenada. A análise integrada entre Dh, uso do solo e presença de feições erosivas é, portanto, essencial para a compreensão da dinâmica ambiental e para a formulação de estratégias de prevenção e manejo da erosão urbana.

O resultado do cálculo revela que a Extensão do Percurso Superficial (Eps) é de aproximadamente de 26 metros (0,026km), um valor alto para a bacia. Sousa e Rodrigues (2012) apresentam uma forma de classificação do Eps que pode ser dividida em quatro categorias: baixa, para valores acima de 1 km; mediana entre 1 e 0,248 km; entre 0,24 e 0,142 km como alta, e abaixo de 0,142 km enquanto muito alta. Essa Eps caracterizada espaçamento estreito entre os cursos d'água indica o escoamento rápido das águas pluviais para os canais que integram a bacia.

O índice de Sinuosidade ( $I_{sin} = 1,04$ ) indica que os rios da bacia apresentam uma tendência transicional mais voltada para o padrão retilíneo, pois segundo classificação de Lana (2001<sup>3</sup>, *apud* Landim Neto *et al.*, 2014) a sinuosidade pode ser classificada em: próximos a 1,0 enquanto retilíneos; entre 1 e 2, como transicionais e superior a 2, tortuosos. O curso principal da Bacia, tais canais são considerados com pequena capacidade de acúmulo de sedimentos (JESUS, 2004; SOARES e SOUZA, 2012).

No que concerne a este último aspecto, Vieira (2008) e Barbosa (2013) mostram a Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo com número elevado de feições erosivas e seus sedimentos são carregados para os canais, o que aumenta sua carga de sedimentos e, conseqüentemente, tem a capacidade de alterar a forma e tipo de canais de transicionais-retilíneos para tortuosos.

Esse parâmetro mostra a área mínima e necessária para que um metro do canal de drenagem seja mantido. O  $C_{man}$  da Bacia Colônia Antônio Aleixo foi de 163,398 m<sup>2</sup>/Km, logo na bacia temos para cada quilômetro quadrado 1,639 metros de canal de drenagem, característica de relevo ondulado a muito ondulado e com densidade de drenagem baixa.

## **L de Hack**

Cardoso *et al.* (2012) afirmam que a Lei de Hack é um bom estimador para bacias hidrográficas de tamanho inferior a 25 km<sup>2</sup>, pois apresenta alta correlação entre o valor calculado e o real comprimento do canal. No entanto, a variação entre esses dois parâmetros cresce progressivamente com o tamanho da bacia, pois segundo os autores, em uma bacia com 66 km<sup>2</sup> a variância entre os valores é de 18%.

---

**3** LANA, C. E; ALVES, J. M. de P; CASTRO, P.T.A. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Tanque, MG-BRASIL. REM. Ouro Preto – MG, 2001



Enquanto na Bacia Colônia Antônio Aleixo, o comprimento encontrado pela Lei de Hack foi de 10,33 km, foi um valor de variação negativa de 38,39%. Esse valor, conforme Cardoso *et al.* (2012), representa um erro que ocorre devido ao processo de alongamento da bacia, pois tende a se alongar à medida que aumenta de tamanho, mesmo que no momento a bacia tenha um formato circular. Logo, o canal principal também cresce e isso ocorre pelo fato de o sistema fluvial apresentar tendência a uma configuração na qual a rede de drenagem tenha seu consumo de energia minimizado (BORSATO, 2005).

## Características Geomorfológicas

Bacia Colônia Antônio Aleixo apresenta valores muito baixos ( $R_h=0,01005$ ), enquanto os valores deste parâmetro variaram de 0,008 a 0,267 para bacias de quarta e quinta ordem. Borsato (2005) converteu os valores de Schumm (1956) para unidades métricas, na qual a variação de perda de sedimento anual é cerca de  $47,6 \text{ m}^3/\text{km}^2$  para uma Relação de Relevo de 0,1, e para valores de 0,6 apresenta relação de até  $1429,4 \text{ m}^3/\text{km}^2$ . Logo com um  $R_h$  igual a 0,01005 pode-se concluir que a perda de sedimentos BH Colônia Antônio Aleixo está em torno de  $47,6 \text{ m}^3/\text{km}^2$ . Mesmo que geomorfologicamente associa-se ao fato de que a bacia apresenta água de cores negras, associado a rios de baixa velocidade (SIOLI, 1984). Todavia, devido à alta taxa de feições erosivas do tipo voçoroca na Bacia a carga de sedimento é maior, ocasionando processo de assoreamento de canais como exposto por Barbosa (2013).

O índice de Rugosidade ( $I_r$ ) é a relação entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem (SOUSA e RODRIGUES, 2012). No que tange a BH Colônia Antônio Aleixo foi encontrado um valor de 593,64 m, e conforme o Quadro 3 pode se afirmar que a bacia de maneira geral apresenta um relevo ondulado com declividade média entre 9 e 20%.

**QUADRO 3:** Classificação do índice de rugosidade e sua relação com a forma de relevo

CLASSE	VALOR	FORMA DE RELEVO
FRACA	0 - 150	Plano com declividade média até a 3%
MÉDIA	151 - 550	Suave ondulado com declividade média entre 3 e 8%
FORTE	551 - 950	Ondulado, com declividade média entre 9 e 20%
MUITO FORTE	> 950	Forte ondulado a montanhoso a escarpado com declividade média superior

**FONTE:** Sousa e Rodrigues, 2012.

A partir desses dados, é possível interpretar, conforme a classificação proposta por Ramalho Filho e Beek (1995)<sup>4</sup> apud Sousa e Rodrigues (2012), que declividades entre

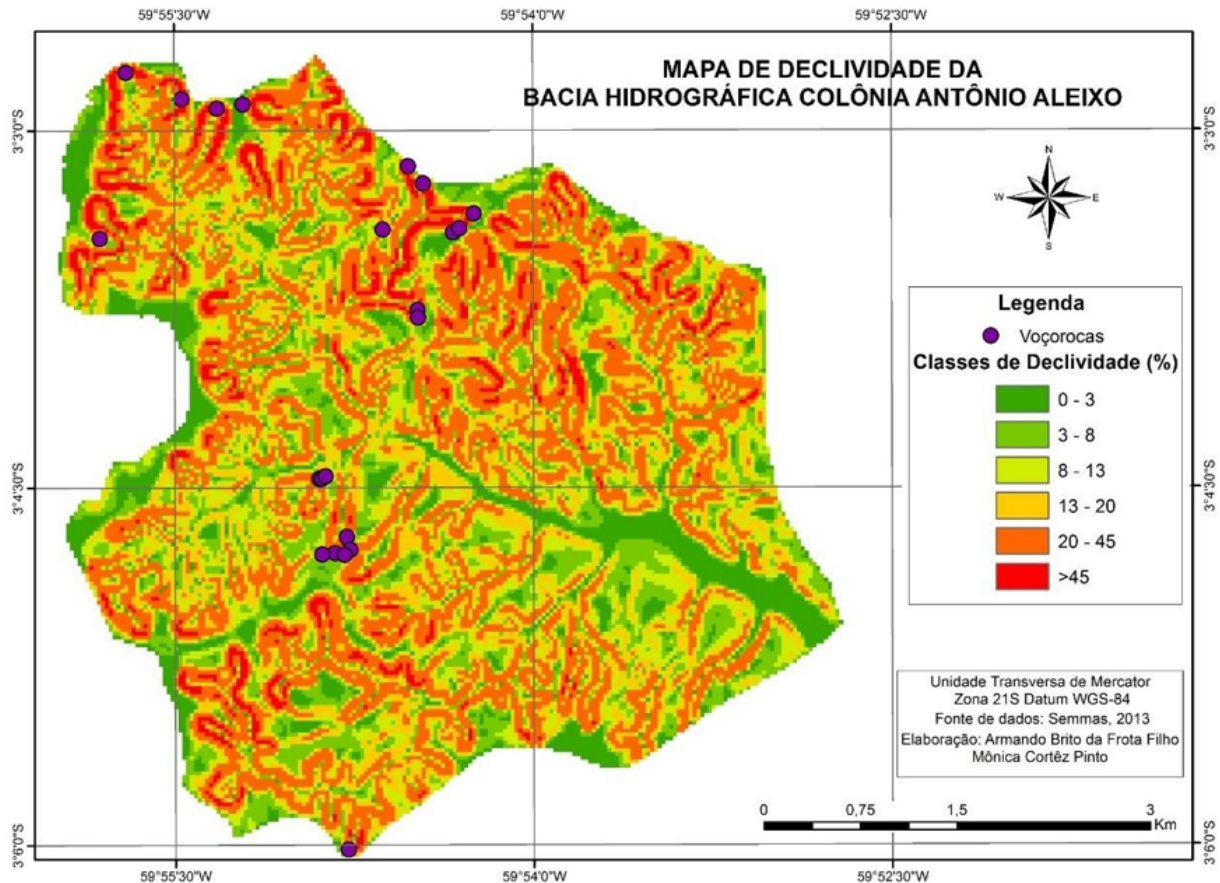
<sup>4</sup> RAMALHO FILO, A; BEEK, K.J. Sistema de avaliação e aptidão agrícola das terras. 3ª Edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS 1995



0% e 8% correspondem à classe suave ondulado, com suscetibilidade inexistente ou pouco susceptível. Declividades de 9% a 20% enquadram-se na classe ondulado, com suscetibilidade moderada a forte. O intervalo entre 21% e 45% é classificado como forte ondulado, com suscetibilidade muito forte, enquanto valores superiores a 45% pertencem à classe montanhoso a escarpado, com suscetibilidade severa. Assim, observa-se que a bacia apresenta uma variação de suscetibilidade aos processos erosivos que vai de inexistente a muito forte, com predominância das classes menos susceptíveis.

E conforme Figura 2, há preponderância de declividades mais elevadas, reafirmadas pelo apresentado através de cálculos. As declividades que mais se sobressaem variam entre 8 e 20%, correspondente a 39,67% da área da bacia, classificando-a nessa porção como relevo “ondulado”, com suscetibilidade erosiva “Moderada a Forte” (Tabela 1). Na parte superior da BH CAA, assim como na margem esquerda ocorrem declividades mais elevadas que variam de 20 a mais de 45%, e apresenta relevo classificado como “forte ondulado” o que, por sua vez, corresponde a uma área de suscetibilidade “Muito Forte” que vem justificar o elevado número de incisões erosivas. A maior parte da bacia apresenta declividade que é considerada “Moderada a Forte” com 39,67% a “Muito Forte” com 35,22%, que caracteriza a bacia de forma geral como muito susceptível aos processos erosivos.

**FIGURA 2:** Mapa de Declividade e localização das voçorocas da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM.



**ELABORAÇÃO:** Armando Brito da Frota Filho, 2025.



**TABELA 1:** Classes de declividade e seus valores em área (km<sup>2</sup>) e porcentagem (%) na BH Colônia Antônio Aleixo.

Declividade (%)	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)	Categoria de relevo	Suscetibilidade Erosiva
0-3	1,63	6,54	Suave ondulado	Não suscetível a pouco suscetível
3-8	4,12	16,54		
8-13	4,34	17,42	Ondulado	Moderada a Forte
13-20	5,55	22,25		
20-45	8,78	35,22	Forte Ondulado	Muito Forte
>45	0,51	2,03	Montanhoso a escarpado	Severa
<b>TOTAL</b>	<b>24,93</b>	<b>100</b>	-	-

**ADAPTADO DE:** Ramalho Filho e Beek (1995) *apud* Sousa e Rodrigues (2012).

**ORG.:** Frota Filho e Vieira, 2025.

As porções mais susceptíveis localizam-se, sobretudo, nas bordas da bacia, com destaque para o terço superior, onde as declividades variam entre 20% e 45%, refletindo maior restrição ao uso do solo e à ocupação urbanisticamente desordenada.

Conforme Borsato (2005), valores que variam até 1,0 definem o valor da integral hipsométrica. Bacias que apresentam valores inferiores a 0,5 correspondem a bacias com distribuição de terras baixas; as de valores superiores correspondem a bacias com maior distribuição de terras altas.

Os resultados encontrados na BH CAA para o Cmas foi de 0,76, o que corresponde a uma bacia com terras mais elevadas, as quais dificultam a infiltração e facilitam o escoamento superficial. O Coeficiente Orográfico (43,32m) é relativamente alto devido valores de altitude média e do Coeficiente de Massividade.

Os dados de Cmas e Co são semelhantes com os encontrados por Scheidegger<sup>5</sup> (1987) *apud* Borsato (2005), logo, infere-se que é uma bacia geologicamente madura, devido a sua distribuição equilibrada de altitudes, a qual pode ser considerada uma bacia de média atividade de processos de degradação e formação.

Bras (1990)<sup>6</sup> *apud* Borsato (2005) explicita que bacias que apresentam resultados semelhantes a estes estão em equilíbrio, onde a erosão provoca redução no relevo de forma homogênea. No entanto, deve se considerar que a BHCAA possui intervenção antrópica, que colabora para o desenvolvimento e aceleração do processo erosivo.

<sup>5</sup> SCHEIDEGGER, A. E. Systematic geomorphology. Vienna: Springer-Verlag, 1987.

<sup>6</sup> BRAS, R. L. *Hydrology: an introduction to hydrologic science*. Reading: Addison-Wesley, 1990.



Este parâmetro indica o grau de inclinação do canal principal da bacia. A BH Colônia Antônio Aleixo, tem sua nascente a altitude de 100 e sua foz a altitude de 25 m, e apresenta um gradiente de 0,9672%, que indica um decaimento não tão suave, que tende a ser levemente abrupto e com declividade média, o que confirma a análise do Índice de Rugosidade. Como apontam Sousa e Rodrigues (2012) esse parâmetro analisado isoladamente, permite verificar a capacidade erosiva do rio principal. Em estudos dos referidos autores encontrou-se um índice de 0,53% considerado baixo, comparado com valor encontrado de 0,9672% na BH Colônia Antônio Aleixo. Pode-se considerar que este é um índice mais elevado e o potencial erosivo do rio principal é maior.

### **Comparações com o círculo**

De acordo com Schumm (1956) a Relação de Enlongamento revela a razão entre o diâmetro do círculo com a área da bacia, que pode variar de 0 a 1. Quanto mais aproximado a 1 (um), mais semelhante ao formato de um círculo. A Bacia Colônia Antônio Aleixo apresenta valor de 0,755 caracterizado como relativamente mais próximo ao formato de um círculo.

O Coeficiente de Compacidade mostra a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de área igual. Quanto mais irregular o formato da bacia, maior será o índice, variando de 1 ao infinito, sendo 1 o círculo perfeito. A Bacia Colônia Antônio Aleixo apresenta valor de 1,297, o que a caracteriza como mais próxima ao círculo.

Como pode ser observada pela Relação de Enlongamento e Coeficiente de Compacidade, a Bacia Colônia Antônio Aleixo apresenta uma forma que tende ao formato de um círculo. Além disso, há relação entre o formato da bacia com o Tempo de Concentração da água, desde a precipitação a sua saída pelo exutório, pois quanto mais circular, menor será esse tempo. Propiciando tendência de cheias no canal principal.

Schumm (1956) aponta que há certa relação entre a forma da bacia e a densidade de drenagem, pois quanto mais próxima ao círculo, mais rápido é o crescimento na densidade de drenagem, o que aumenta a rede drenagem.

Índice de Circularidade ( $I_c$ ) é a relação entre a área da bacia e de um círculo de mesmo perímetro e tem como finalidade mostrar se uma bacia tem tendência maior ao escoamento ou a enchentes. A Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo apresentou o valor do  $I_c$  de 0,593, que segundo Schumm (1956) indica uma bacia circular favorável aos processos de inundação. Valores inferiores a 0,51 caracterizam bacias alongadas, com menor risco de enchentes. O valor de 0,51 aponta escoamento moderado e baixa probabilidade de inundações rápidas. Já valores acima de 0,51 indicam bacias mais circulares, favorecendo a ocorrência de inundações.



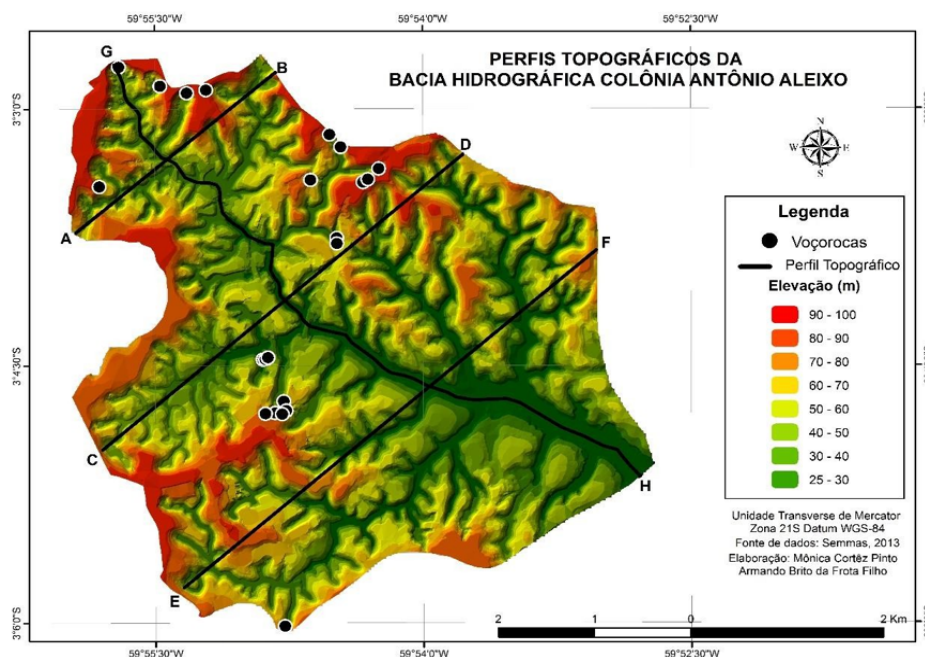
Com base nos dados de Relação de Enlongamento (Re), Coeficiente de Compacidade (Ik) e Índice de Circularidade (Ic), que representam as características geomorfológicas da bacia com base em comparações com o círculo em parâmetros morfométricos indicam bacias circulares favorecendo os processos de inundação. Um deles diz respeito ao barramento hidráulico sofrido pela foz da bacia devido as cotas fluviais do sistema fluvial rio Negro-rio Amazonas, que em épocas de cheias geram enchentes na foz da bacia, um evento completamente natural.

### **Caracterização Topográfica da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo**

A análise da hipsometria da bacia do Colônia Antônio Aleixo associada aos seus perfis Longitudinal e Transversal auxiliam no estudo da forma e espacialização da área da bacia. Para isso, a equidistância escolhida foi de 10 metros, gerando 9 classes (Tabela 2). Isso ocorre devido à pouca variação altimétrica apresentada na bacia. O ponto mais elevado está a 99 metros e o de menor altitude a 21 metros, o que resulta em uma amplitude altimétrica de 78 metros, que tem como cota média 52,1 metros.

A bacia teve como classe hipsométrica mais representativa o intervalo de 40 a 50 metros, o que corresponde a 20,71% da área da bacia. Em seguida, o intervalo de 40 a 50m com 24,18% da bacia. O intervalo com menor área foi de 90 a 100m, com 1,59 % localizada na região próxima às nascentes e as bordas da bacia a montante. A figura 5 mostra a localização dos perfis topográficos (transversais) traçados na bacia. O perfil topográfico (longitudinal) é traçado no ponto mais elevado próximo da nascente à foz do rio principal.

**FIGURA 5:** Modelo Digital de Elevação com localização dos Perfis Topográficos da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus – AM., 2019.

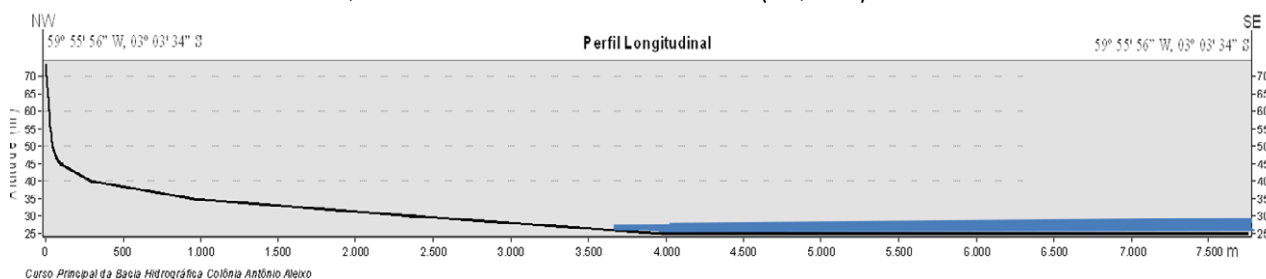


**FONTE:** SEMMAS, 2013. **ELABORAÇÃO:** Armando Brito da Frota Filho.



A figura 6 apresenta o desnível altimétrico do terreno, com 43 metros de diferença entre a nascente, localizada a 57 metros de altitude, e a foz, a 12 metros. O curso d'água, com 12,56 km de extensão da nascente à foz, apresenta orientação noroeste-sudeste (NW-SE).

**FIGURA 6:** Perfil Longitudinal do rio principal da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM; em azul área de alcance da cheia (29,31m) de 2013.



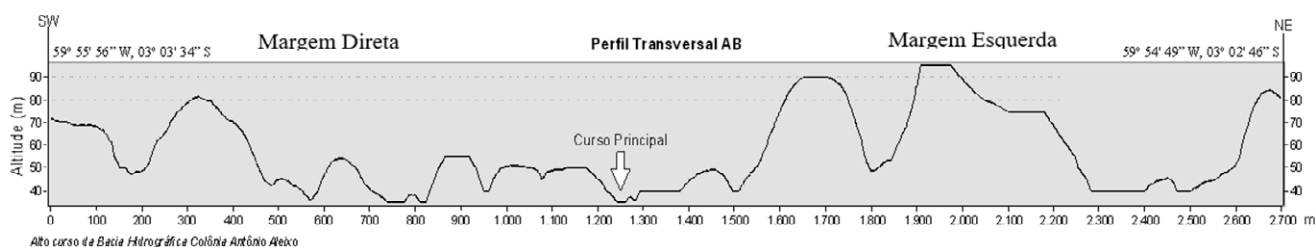
**FONTE:** SEMMAS, 2013. **ORG:** Armando Brito da Frota Filho, 2019.

Em azul, destaca-se o trecho de cheia do canal principal da bacia Colônia Antônio Aleixo, levando em consideração a maior cheia registada do rio Amazonas, que ocorreu em 2012, tendo alcançado 29,78m. A dispersão hidráulica é maior na área do curso superior da BH CAA que diminui gradativamente no curso médio e baixo e favorece vazão lenta na jusante em função da baixa altimetria neste trecho e ao barramento hidráulico causado pelo rio Amazonas.

Quanto aos perfis topográficos transversais, foram realizados 03 para a bacia dos Colônia Antônio Aleixo: um no curso superior da bacia denominado de A-B; um no curso médio denominado de C-D e outro no curso inferior da bacia denominado E-F.

A figura 7 apresenta o perfil topográfico transversal A-B, o qual apresenta 2,698 Km de extensão. O ponto A encontra-se em uma elevação aproximada de 72m, enquanto o ponto B encontra-se a 82m, sendo o desnível topográfico entre esses pontos de 10 metros. Ainda se nota que a margem direita apresenta um nível maior de dissecação quando comparada à margem esquerda. No Perfil Transversal A-B, percebe-se que além da margem esquerda possuir as maiores altitudes e as maiores declividades, no perfil são representadas pelos vales no formato de “V”, em especial próximo ao canal principal da bacia.

**FIGURA 7:** Perfil Transversal A-B, localizado no curso superior da Bacia Hidrográfica do Colônia Antônio Aleixo.



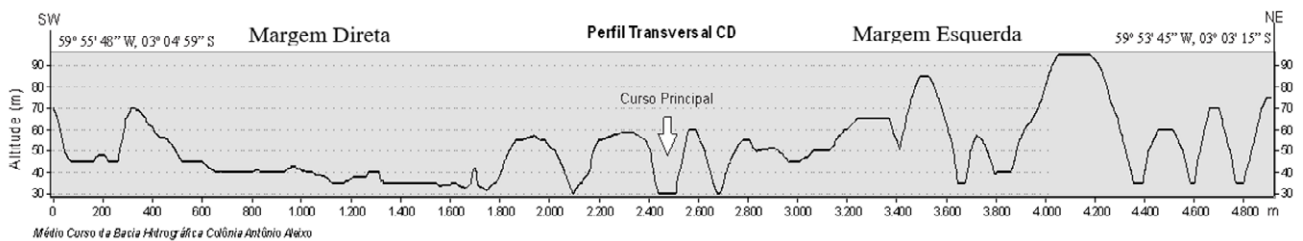
**FONTE:** SEMMAS, 2013. Org: Armando Brito da Frota Filho, 2019.



No perfil topográfico transversal C-D, tendo 4,909 Km. O ponto C encontra-se a uma altitude aproximada de 70m enquanto o ponto D está a 75m, há desnível topográfico aproximadamente de 5 metros entre esses pontos. Entretanto, há a presença de platôs mais elevados na margem esquerda que ultrapassam 90m de atitude, enquanto na margem direita os pontos mais altos são de 70m.

No perfil Transversal C-D, a margem direita apresenta um nível de dissecação elevado, sendo caracterizada pelas baixas altitudes, vales em formato de “U” característicos de regiões de baixas declividades, enquanto a margem esquerda apresenta altitudes elevadas e vales em formato “V” que podem ser caracterizados como vales encaixados.

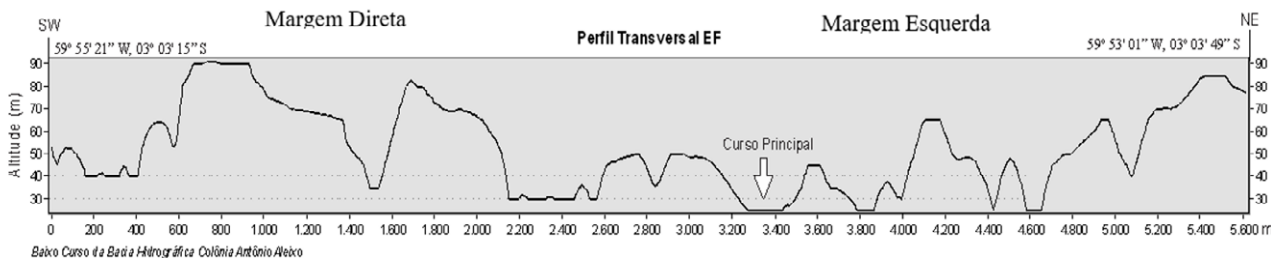
**FIGURA 8:** Perfil Transversal C-D, localizado no curso médio da Bacia Hidrográfica do Colônia Antônio Aleixo.



**FONTE:** SEMMAS, 2013. **ORG:** Armando Brito da Frota Filho, 2019.

O perfil transversal E-F (Figura 9) traçado no curso inferior BH CAA tem 5,615 km de comprimento. O ponto E encontra-se em uma altura cerca de 53 m e o ponto F está a 78m, apresentando um desnível topográfico de 25 metros entre eles. Neste ponto (baixo curso) da bacia, o nível de dissecação do relevo é baixo em ambas as margens, e apresenta grande quantidade de vales com formato em “V”, que resultam das elevadas declividades.

**FIGURA 9:** Perfil Transversal E-F, localizado no curso inferior da Bacia Hidrográfica do Colônia Antônio Aleixo.



**FONTE:** SEMMAS, 2013. **ORG:** Armando Brito da Frota Filho, 2019.

Ao se ponderar as seções da bacia, perfis longitudinal e transversais e suas características geomorfológicas e topográficas é notável que a bacia apresenta um relevo muito dissecado, com altimetrias baixas, ainda se comparadas com bacias circun-adjacentes, e as declividades são igualmente baixas, característica de relevo plano a suave ondulado. Nesse sentido todavia, a não apresenta susceptibilidade a processos



erosivos de forma geral, todavia sofre com o processo de ocupação humana que alterou significativamente o curso do canal principal e de tributários, além do aumento da carga sedimentar, tornando a bacia ainda mais vulnerável a processos de cheia.

Como apontados pelos padrões de forma da bacia (Relação de Enlongamento, Índice de Circularidade e Índice de Compacidade), esta tem um forma mais alongada, o que devido as próprias características morfológicas tende a um processo maior de escoamento, ou seja, poucos ou nenhum caso de enchentes, contudo, esses parâmetros apesar de muito importantes e darem um panorama da bacia individualmente, não podem ser analisados fora do contexto geomorfológico maior, ou seja, sem considerar onde a bacia deságua, nesse caso no rio Negro, que em período de cheia extremas, causa o barramento hidráulico, como visto no perfil longitudinal do canal principal.

Assim, ainda que os parâmetros internos da bacia indiquem um comportamento geomorfológico com baixa propensão a inundações, a dinâmica local e regional altera profundamente essa condição. A cheia de 2013 é emblemática nesse sentido, tendo gerado o represamento de aproximadamente seis quilômetros do canal principal, com repercussões diretas sobre a ocupação urbana e a segurança ambiental local.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base nos dados de morfométricos, morfológicos e de drenagem a bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo reúne condições naturais que a tornam uma área extremamente sensível aos processos erosivos, e que conforme ocorrem alterações antrópicas, desenvolvem-se os gatilhos para o processo erosivo. Embora alguns indicadores, como a densidade de drenagem e o gradiente do canal principal, sugiram uma rede hidrográfica de desenvolvimento médio, e parâmetros morfológicos que indiquem equilíbrio, essa leitura muda quando se observa a distribuição das declividades, e posteriormente o uso e ocupação do solo da bacia. Mais de 70% da área da bacia possui declividades acentuadas, muitas delas em suas bordas e no terço médio da encosta, onde a urbanização tem avançado de maneira alarmante.

A vulnerabilidade geomorfológica natural da bacia é bastante elevada, em especial nas áreas com maior declividade sendo o principal fator de fragilidade, determinando os setores mais propensos à erosão. As características geomorfológicas da bacia, com destaque para as declividades entre 9% e 45% e a presença de vales encaixados, reforçam a tendência à instabilidade e tendências a processos erosivos. Essas morfologias de vertentes, somadas ao formato da bacia, que se aproxima de um círculo (Coeficiente de Compacidade com valor de 1,297), favorecem um escoamento superficial mais rápido e intenso. Isso agrava ainda mais a propensão de erosão e inundações, especialmente



quando há o barramento hidráulico na foz da bacia provocado pelas cheias do rio Amazonas. Nessas condições, o tempo de resposta da bacia a eventos de chuva torna-se curto, comprometendo a segurança ambiental das áreas urbanas próximas.

A caracterização e análise dos parâmetros geomorfométricos permite compreender a vulnerabilidade natural das bacias hidrográficas a processos erosivos, por exemplo, além de oferecer subsídios importantes ao planejamento territorial, à definição de áreas destinadas ou não à ocupação e à gestão dos recursos hídricos. Diante desse cenário, é urgente pensar em medidas que articulem o conhecimento geomorfológico com práticas de ordenamento territorial. Manter e salvaguardar as áreas de preservação permanente (APPs) com vegetação, controlar a ocupação em zonas de encosta e investir em ações de contenção e drenagem são passos fundamentais para evitar o agravamento do quadro. Para alcançar resultados consistentes, é fundamental adotar uma visão integrada e holística, que considere os aspectos hidrogeomorfológicos em conjunto com o funcionamento da rede de drenagem e com as mudanças hidrológicas decorrentes da urbanização, responsáveis por alterar a dinâmica fluvial e da hidrologia de encostas em áreas urbanas. Associada a mapas de uso e cobertura da terra, essa abordagem amplia o potencial de diagnóstico, permitindo identificar áreas de risco e propor estratégias de mitigação diante das pressões impostas pelo crescimento urbano.

Mais do que aplicar técnicas, é preciso reconhecer que essa bacia reflete uma dinâmica entre natureza e sociedade, e que as decisões tomadas hoje vão impactar diretamente na forma como esse território responderá aos eventos extremos.

## *Agradecimentos:*

**A** CAPES e FAPEAM pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. A cidade de Manaus (primeiros estudos). **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 15, p. 18-45, 1953.
- BARBOSA, A. J. **Voçorocas e a produção de sedimentos na bacia da Colônia Antonio Aleixo em Manaus (AM)**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Amazonas, Instituto de Ciências Humanas e Letras, Departamento de Geografia, Manaus, 2013.
- BORSATO, F. H. **Caracterização física das bacias de drenagem do município de Maringá e os postos de combustíveis como potenciais poluidores**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2005.
- CARDOSO, A. T.; GIGLIO, J. N.; KOBAYAMA, M.; GRISON, F. Morfometria de bacias embutidas na gestão de bacias hidrográficas – Rio Negrinho, SC. In: Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, 7., 2012, Criciúma. **Anais [...]**. Criciúma: ASBEA, 2012. v. 1, p. 1-10.



- CARVALHO, S. M. A. contribuição dos estudos em bacias hidrográficas para a abordagem ambiental na geografia. In: MENDONÇA, F.; LÖWEN-SAHR, C. L.; SILVA, M. (Orgs.). **Espaço e tempo: complexidade e desafio do pensar e do fazer geográfico**. Curitiba: Ademadam, 2009. v. 1, p. 201-218. 740 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Campinas, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 149 p.
- FROTA FILHO, A. B. da. **Ações modificadoras e seus impactos no ambiente fluvial do Igarapé do Educandos**, Manaus (AM). 2021. 110 f. Monografia (Especialização) – Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE), Rio de Janeiro, RJ, 2021.
- FROTA FILHO, A. B. **Alterações antropogênicas na geomorfologia e suas influências na aceleração dos processos erosivos**, bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM. 2021. 258 f. Tese (Doutorado em Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências (IGEO), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.
- FRAXE, T. J. P. **Homens anfíbios: etnografia de um campesinato das águas**. 1. ed. São Paulo: Annablume, 2000. 192 p.
- GUERRA, A. J. T.; GUERRA, A. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 652 p.
- JESUS, M. R. G. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do rio Cambuí no perímetro urbano de Campo Largo – PR**. 2004. 116 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2004.
- LANDIM NETO, F. O.; GORAYEB, A.; PEREIRA FILHO, N. S. Análise das condições hidroclimáticas, hidrogeológicas e morfométricas da bacia hidrográfica do rio Guaribas, Ceará, Brasil: subsídios para a gestão ambiental local. *Boletim Campineiro de Geografia*, Campinas, v. 4, n. 2, p. 285-304, 2014.
- MARCUZZO, F. F. N.; OLIVEIRA, N. de L.; CARDOSO, M. R. D.; TSCHIEDEL, A. F. Detalhamento hidromorfológico da bacia do rio Paraíba. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 11., 2012, João Pessoa. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2012. v. 1. p. 1-20.
- PORTO, R. L.; et al. Drenagem urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. cap. 21, p. 805-847. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v. 4).
- SCHUMM, S. A. The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.
- SIOLI, H. **The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses, and river types**. In: SIOLI, H. (Ed.). *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht/Boston/Lancaster: Dr. W. Junk Publishers, 1984. v. 56, p. 127-165.
- SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. 1. ed. São Carlos: RIMA, 2003. 138 p.
- SOARES, M. R. G. J.; SOUZA, J. M. S. Análise morfométrica da bacia do rio Pequeno em São José dos Pinhais - PR. *Geografia (Londrina)*, v. 21, p. 19-36, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2012v21n1p019>.
- SOUSA, F. A.; RODRIGUES, S. C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. *Mercator*, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 141-151, jun. 2012.
- STERNBERG, H. R. **A água e o homem na várzea do Careio**. 2. ed. Belém: Fundação Museu Goeldi, 2000. 330 p. v. 2.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*, n. 38, p. 913-920, 1957.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. 2. ed. Florianópolis: Ed. UFSC, 1990. 183 p.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007. DOI: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2007.v11i1.236>.
- VIEIRA, A. F. G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais**. 2008. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.



# GEOMORFOLOGIA DA PAISAGEM NO SEMIÁRIDO NORDESTINO, MACIÇO DA SERRA NEGRA (SE): CORRELAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS SUPERFICIAIS E DEPÓSITOS ALUVIAIS E COLUVIAIS

Iasmin Teles Carvalho<sup>1</sup>  
Daniel Rodrigues de Lira<sup>2</sup>  
Paulo Vitor Souza dos Santos<sup>3</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Semiárido brasileiro, Evolução da paisagem, Depósitos coluviais e aluviais.

## RESUMO

A paisagem terrestre passa por transformações contínuas ao longo do tempo geológico, resultado de processos climáticos, estruturais e da dinâmica interna da Terra. No Nordeste brasileiro, essas mudanças deixaram registros no relevo, permitindo interpretações sobre a evolução morfotectônica e paleoclimática. Este estudo teve como objetivo correlacionar os processos superficiais do relevo com a formação de depósitos aluviais e coluviais no Maciço da Serra Negra, em Sergipe. Para isso, foi realizada análise morfoestrutural a partir de dados ASTER GDEM e cartas topográficas, identificando áreas-tipo e avaliando a influência tectônica no modelado. A identificação de lineamentos e formas retilíneas do relevo e da drenagem subsidiou a caracterização geomorfológica em escala de semidetalhe. Complementarmente, aplicou-se análise morfométrica baseada em densidade de drenagem e fotolineamentos, buscando compreender o grau de dissecação e os controles estruturais. Os resultados apontaram sete feições geomorfológicas distintas, agrupadas em dois modelos: dissecação (cimeiras, encostas sem colúvio, inselbergs, pedimentos detríticos e rochosos) e acumulação (encostas com colúvio e planícies aluviais). A compartimentação morfoestrutural da área corresponde aos cinturões neoproterozoicos, marcados por dobramentos, intrusões e metamorfismo, que atualmente se expressam como a maior unidade de relevo. A Depressão Sertaneja se destaca como domínio morfoescultural, composta por superfícies aplainadas e elevações residuais. A rede de drenagem, com padrão dendrítico, exerce papel essencial no transporte de sedimentos e na dissecação. Conclui-se que o relevo da Serra Negra resulta da interação entre estruturas geológicas pretéritas e dinâmica atual, sendo os depósitos coluviais e aluviais registros diretos desse processo.

<sup>1</sup> Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFPE, [iasmin.teles@ufpe.br](mailto:iasmin.teles@ufpe.br)

<sup>2</sup> Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Federal – UFPE, [daniel.rlira@ufpe.br](mailto:daniel.rlira@ufpe.br)

<sup>3</sup> Graduado pelo Curso de Geografia da Universidade Federal – UFS, [paulovitor194@gmail.com](mailto:paulovitor194@gmail.com)



## INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo geológico, as paisagens terrestres passaram por transformações contínuas resultantes da interação entre processos endógenos e exógenos, como eventos climáticos, astronômicos e tectônicos. No Nordeste brasileiro, essas transformações deixaram registros significativos de evolução morfotectônica e paleoclimática, configurando o relevo como um verdadeiro arquivo natural da história da Terra (Maia; Bezerra; Sales, 2010). Em especial, o semiárido brasileiro, predominantemente composto por embasamento geológico antigo com formações que remontam a cerca de 3 bilhões de anos, apresentando uma trajetória geológica marcada por quatro principais estágios evolutivos: as orogêneses e o rifteamento do Paleoproterozoico; a Orogenia Brasileira no Neoproterozoico, com expressivo magmatismo intrusivo; a estabilização e formação da plataforma pós-Siluriana; e, por fim, a abertura do Oceano Atlântico (Corrêa et al., 2019).

Nesse contexto, a análise das feições geomorfológicas e dos processos que as modelam torna-se essencial para compreender não apenas a configuração atual da paisagem, mas também os eventos pretéritos que a originaram (Lima et al., 2014). Os métodos sedimentológicos, nesse sentido, emergem como ferramentas fundamentais na reconstituição da evolução do relevo, contribuindo para o entendimento das dinâmicas atuantes ao longo do tempo (Castro, 1979).

Diante disso, este estudo tem como objetivo estabelecer uma correlação entre os processos superficiais e a formação dos depósitos aluviais e coluviais no Maciço da Serra Negra, no estado de Sergipe, visando ampliar o conhecimento sobre a dinâmica geomorfológica regional em ambientes semiáridos de embasamento cristalino.

Para alcançar esse objetivo, foi adotada uma abordagem metodológica integrada, com base na análise morfoestrutural e no uso de dados do ASTER GDEM e de cartas topográficas, a fim de identificar áreas-tipo e avaliar a influência tectônica na modelagem do relevo. A identificação de feições retilíneas do relevo e da drenagem foi realizada segundo a metodologia de Liu (1984), complementada pela caracterização e mapeamento morfoestrutural e geomorfológico em escala de semidetalhe (1:25.000), conforme os critérios de Demek (1972), utilizando o software ArcGIS 10.1. Adicionalmente, aplicou-se uma análise morfométrica, com base na densidade de drenagem e nos fotolineamentos, para avaliar o grau de dissecação do relevo e os controles estruturais, conforme as abordagens de Christofolletti (1981) e Hiruma (2000).

Este trabalho, portanto, contribui para o aprofundamento do conhecimento sobre a evolução geomorfológica do Maciço da Serra Negra, oferecendo subsídios relevantes para estudos voltados ao planejamento ambiental e à prevenção de riscos geomorfológicos.



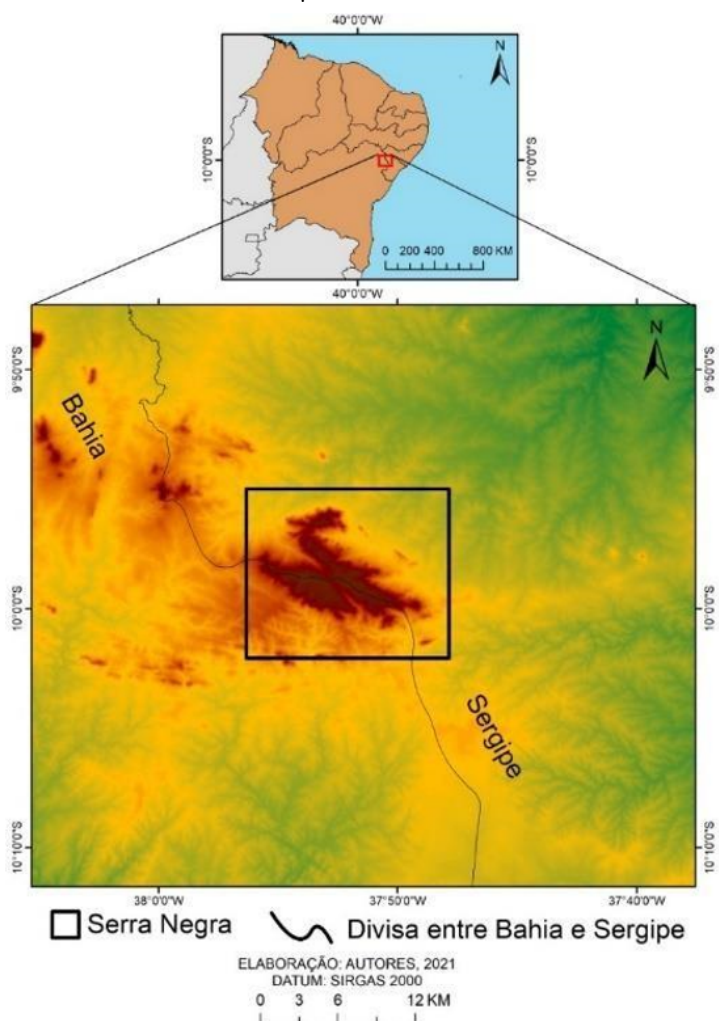
A integração entre técnicas de sensoriamento remoto, análise morfoestrutural e morfométrica mostrou-se eficaz para investigações em contextos semiáridos sobre embasamentos cristalinos antigos.

## METODOLOGIA

### Área de Estudo

A área de estudo localiza-se no Nordeste do Brasil, extremo oeste do Estado de Sergipe, situada entre os Estados da Bahia, no município de Pedro Alexandre e Sergipe, no município de Poço Redondo, tendo como ponto central as coordenadas  $37^{\circ}52'32.079''\text{W}$  e  $9^{\circ}58'33,41''\text{S}$  (Figura 1). Nos poucos pontos elevados acima dos 500 metros, a Serra Negra, se destaca por ser o mais elevado do estado, alcançando mais de 720 metros de altitude, tratando-se de um importante divisor de águas para o Estado de Sergipe, encontrando as principais nascentes do estado, tendo as bacias hidrográficas do São Francisco ao Norte e do Vaza-Barris ao Sul.

**FIGURA 1:** Mapa da Área de Estudo





## **Análise Morfoestrutural, Mapeamento Geomorfológico e Análises Morfométricas**

Afim de identificar as áreas-tipo, ou seja, os modelados de acumulação e denudação, além do estabelecimento da influência da tectônica sobre os modelados, primeiramente será realizado a análise morfoestrutural baseado em dados de radar ASTER GDEM, com resolução de 30 metros e cartas topográficas na escala de 1:25.000 da área estudada elaboradas pela SUDENE, observando a metodologia proposta por Liu (1984) para identificação de formas retilíneas do relevo e da drenagem, para posterior caracterização e mapeamento morfoestrutural e geomorfológico em escala de semidetalhe como proposto por Demek (1972) através de software de geoprocessamento ArcGis 10.1.

A partir dos resultados obtidos na densidade de drenagem e fotolineamentos será procedida a análise morfométrica do relevo, evidenciando o grau de dissecação topográfico na paisagem, esculpidas pela atuação fluvial ou expressando a quantidade disponível de canais para o escoamento e o controle exercido pelas estruturas geológicas, reativadas ou sobre impostas, a compartimentação hidrográfica (Christofoletti, 1981). Hiruma (2000) demonstrou ainda que os métodos de análise morfométrica podem ser aplicados a todos os elementos lineares da paisagem geomorfológica, e que os cruzamentos de mais de uma categoria de parâmetros podem elucidar mais claramente os controles exercidos de uma categoria sobre a outra (Ex: densidade de drenagem X densidade de fotolineamentos).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na área de estudo foram identificadas sete feições geomorfológicas (Figura 2), sendo elas divididas em modelos de dissecação e acumulação. Os modelos de dissecação observados foram: Cimeira em Crista a 650 metros - Pgi, Encosta sem colúvio a 440 metros- DE, Inselbergs a 410 metros, Pedimentos detríticos a 350 metros- Pp, Pedimento rochoso a 230 metros- Pp. Enquanto os modelos de acumulação são: Encosta com colúvio a 440 metros- DE e Plainos aluviais.

O domínio morfoestrutural da região é os Cinturões Móveis Neoproterozóicos, caracterizados pelos extensos metamorfismos, granitóides e dobramentos de rochas de idades Neoproterozóicas. Estes Cinturões, são a maior unidade de relevo atual, sendo classificada como o primeiro táxon na classificação do IBGE, e tem seu modelado elaborado pelos climas pretéritos e presente. Para as áreas além do maciço, o Domínio atuante é o Marancó e os compartimentos geológicos atingem a faixa de dobramento sergipana, e possuem litologias variadas como xistos, filitos, metarritmitos, quartzitos, formações ferríferas, metarenitos, metassiltitos e anfíbolitos. Já o domínio morfoescultural é o da Depressão Sertaneja, sendo esta correspondente a uma vasta

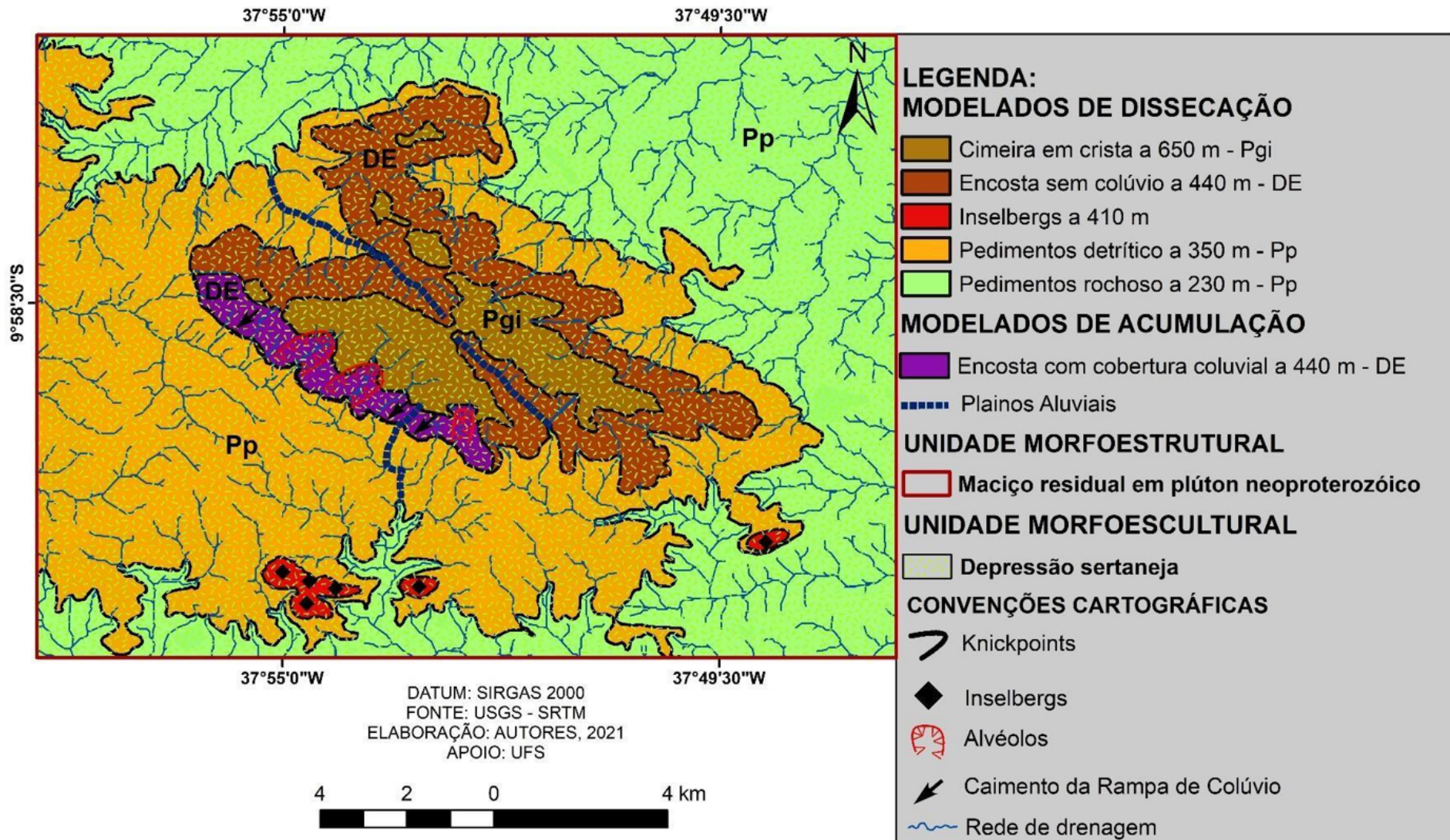


parcela da região do Nordeste. É definida como uma extensa área plana com elevações que se sobressaem na paisagem, que no território em questão é a existência dos inselbergs, majoritariamente plano devido aos processos de dissecação e pedimentação, com a ocorrência de pedimentos, colinas, com rios intermitentes e efêmeros com canais rochosos à arenosos, cujo a dinâmica fluvial é regida pelos inputs de energia do clima semiárido que ocorre na área.

No que tange a altimetria do Maciço da Serra Negra e regiões circunvizinhas (Figura 3), os pontos mais baixos são os pedimentos ao Norte, já os pontos mais elevados são as áreas de cimeira com altitudes superior aos 700 metros. A declividade (Figura 4), se apresenta elevada ao Sul devido a existência de Inselbergs, e ao norte as declividades muito elevadas são justificadas em decorrência das encostas sem colúvios. No que se refere a rede de drenagem (Figura 5), o padrão no maciço é do tipo dendrítica, habitual de áreas com embasamento cristalino, onde a drenagem é responsável por realizar transporte de sedimentos e é atuante em dissecar as formas de relevo.

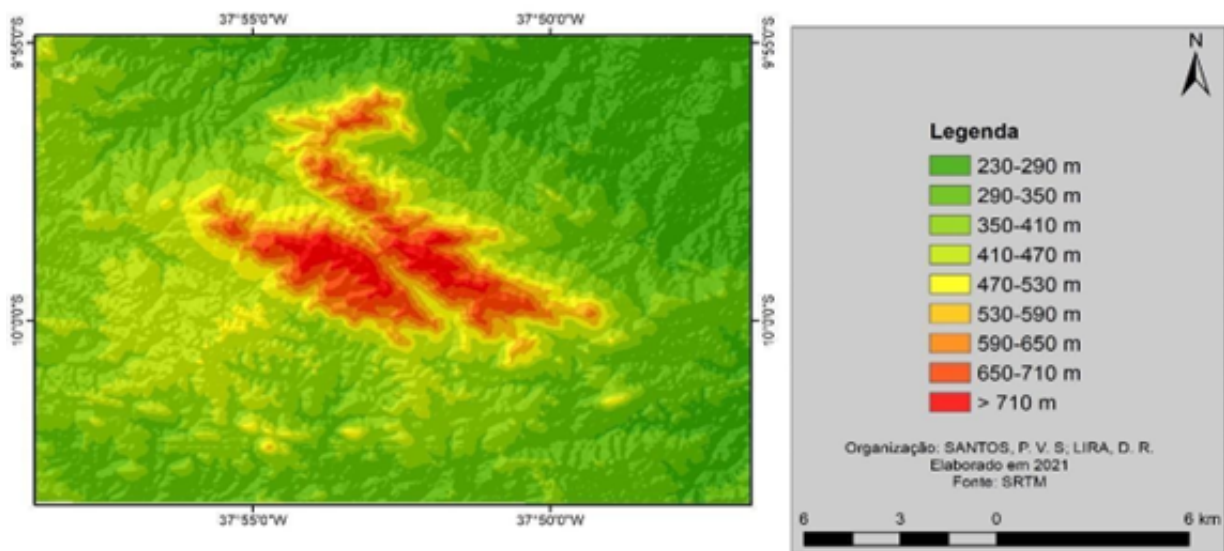


FIGURA 2: Mapa Geomorfológico do Maciço Serra Negra/SE

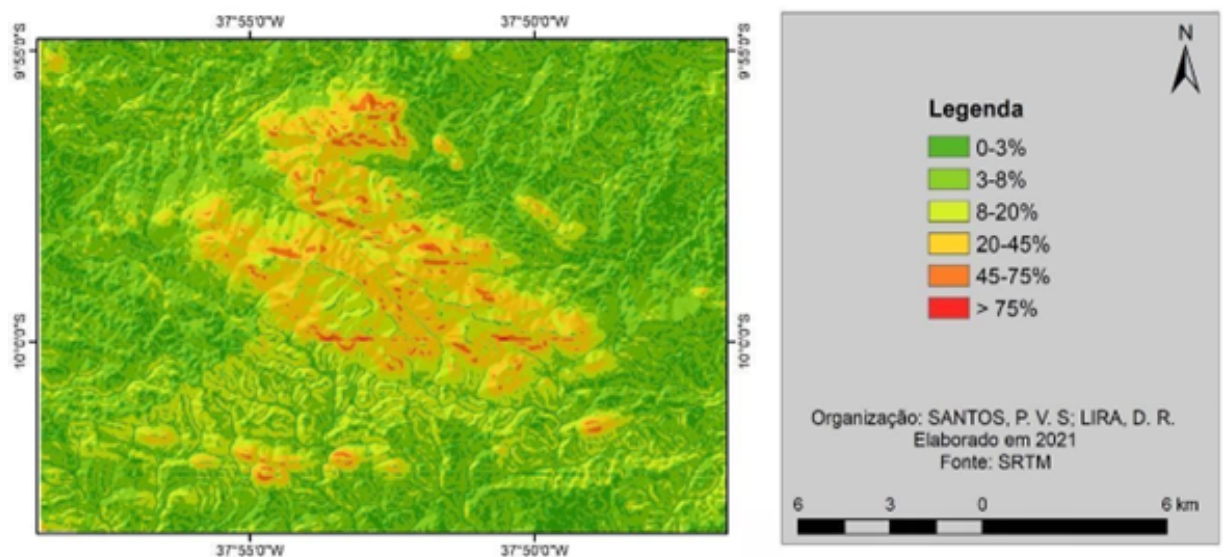




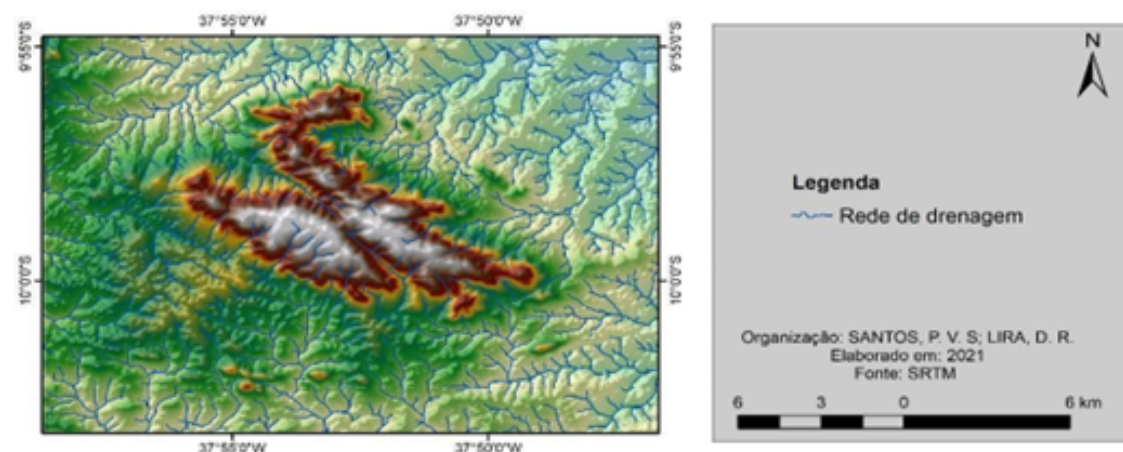
**FIGURA 3:** Altimetria do Maciço Serra Negra e regiões circunvizinhas



**FIGURA 4:** Mapa de declividade do Maciço Serra Negra e regiões circunvizinhas



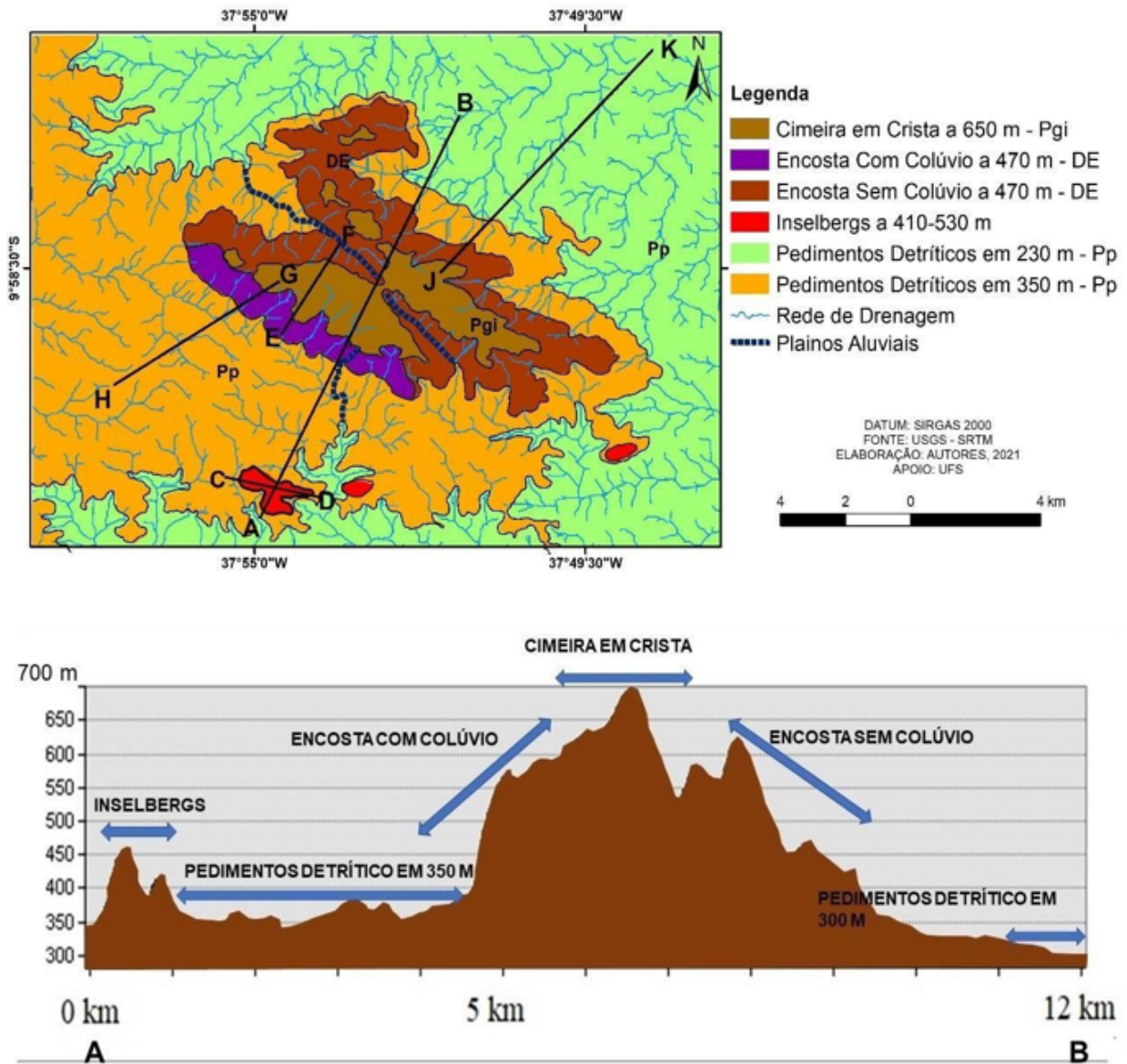
**FIGURA 5:** Rede de drenagem do Maciço Serra Negra e regiões circunvizinhas





Para a melhor visualização das unidades realizou-se transectos para as diferentes unidades, buscando evidenciar as morfologias de cada unidade mapeada, além das transições entre as formas. No transecto do perfil A-B (Figura 6), é possível identificar e diferenciar todas as unidades.

**FIGURA 6:** Transectos nos modelados do Maciço Serra Negra e regiões circunvizinhas



### **Cimeira em Crista a 650 metros – Pgi**

A cimeira em crista representa a unidade mais elevada do Maciço, iniciando aos 650 metros e ultrapassando os 700 metros de altitude. Na região os sistemas de rede de drenagem não atuam de forma ativa nos processos erosivos. Apresenta uma vegetação nativa, com um porte mais elevado que a encontrada nas demais unidades,



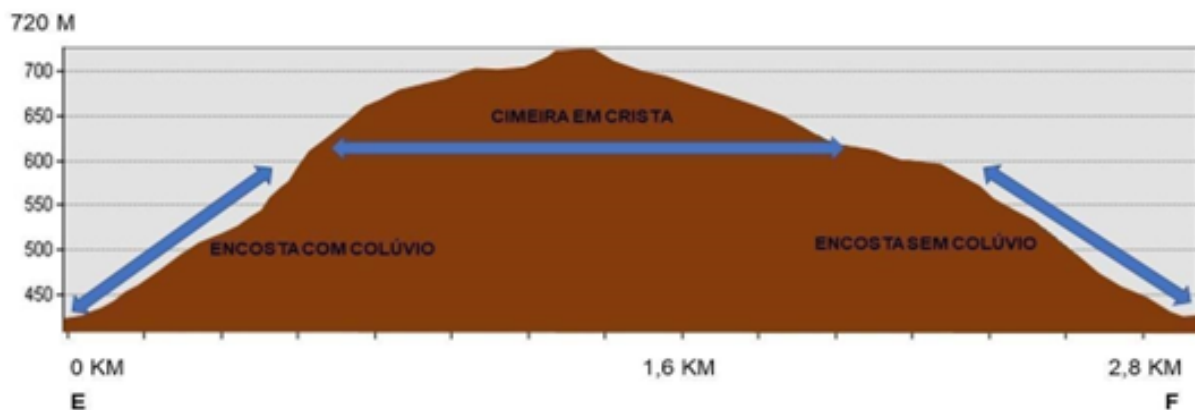
em decorrência das maiores precipitações e das temperaturas mais amenas. O modelado de dissecação, se apresenta mais resguardado com topos aguçados, elevada declividade e morfologia convexa (Figura 7 e 8).

**FIGURA 7:** Modelado Cimeira em Crista a 650 metros- Pgi



**FOTO:** Autores. Pedro Alexandre, Bahia.

**FIGURA 8:** Transecto E-F da unidade de cimeira em crista



### **Encosta Sem Colúvio a 470 metros – DE**

Na face Norte do maciço, encontra-se essa unidade de encosta sem colúvio com altitude entre 470-650 metros. É um modelado de dissecação, atuando na transição entre a unidade de cimeira e os pedimentos detríticos é uma encosta íngreme, com elevada declividade, com características denudacionais (Figura 9 e 10). A área apresenta afloramentos granitóides da faixa de dobramentos sergipana e a principal característica



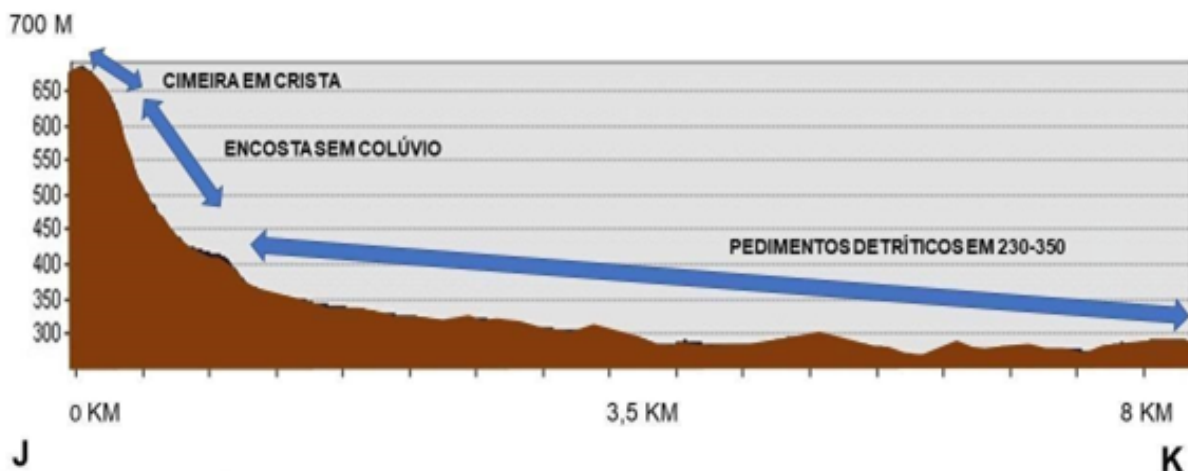
da unidade é ausência de colúvio e também leques aluviais, a vegetação é estepe. Não é de conhecimento qual evento teria removido, ou não gerado um manto de sedimentos nesse modelado.

**FIGURA 9:** Encosta sem cobertura coluvial a 470 metros- DE



**FONTE:** Autores, Poço Redondo, Sergipe.

**FIGURA 10:** Transecto J-K da unidade de encosta sem colúvio

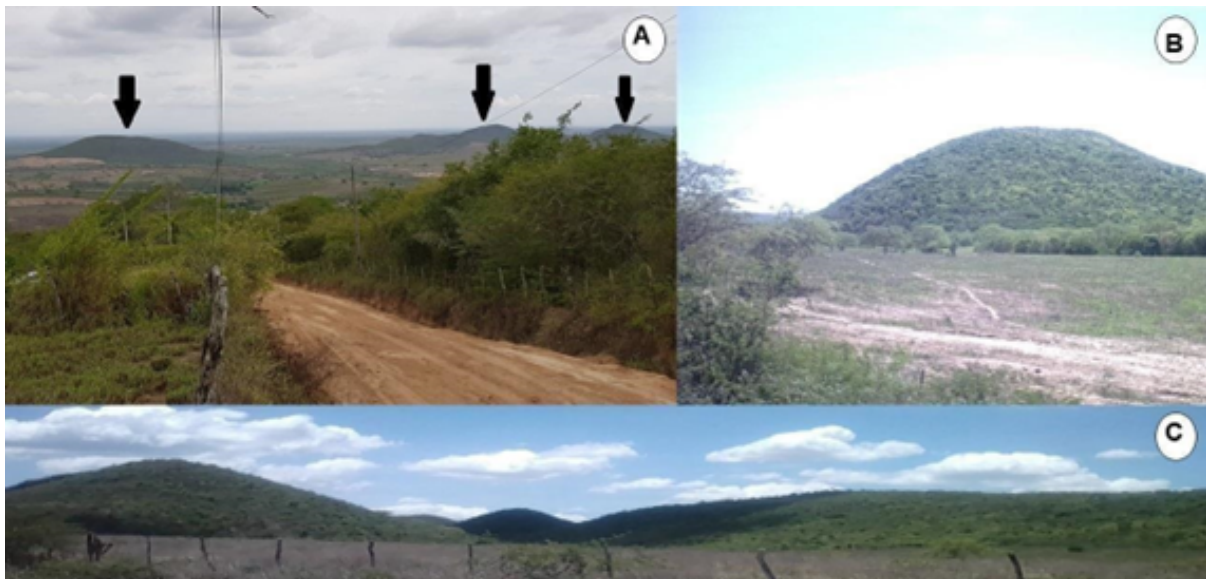


### ***Inselbergs a 410 metros***

Ao Sul do Maciço da Serra Negra estão presentes os inselbergs, mais um modelo de dissecação, composto por rochas provenientes do Complexo Marancó, com presença de xistos, filitos e quartzitos, todas são rochas metamórficas com elevado grau de resistência (Figura 11 e 12). Apresentam encostas íngremes, com declividade média, e altitudes que variam de 410 a 530 metros de altitude, e em função disso a vegetação é caracterizada como conservada.

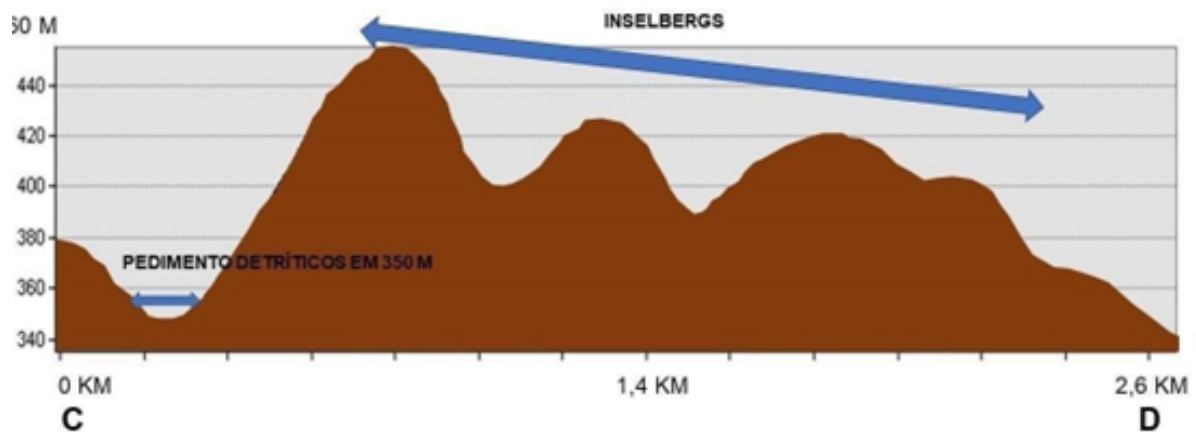


**FIGURA 11:** Inselbergs a 410 metros



**FONTE:** Autores. Pedro Alexandre, Bahia.

**FIGURA 12:** Transecto C-D da unidade de inselbergs



### ***Pedimentos rochosos em 230 m- Pp***

Mais um modelo de dissecação, com altitudes que variam de 230 até 350 metros, apresentando baixa declividade, apenas um suave decaimento. Os pedimentos são feições que ocorrem em áreas adjacentes ao maciço cristalino, sendo encontrado em grande parcela da depressão sertaneja no nordeste brasileiro (Figura 13 e 14).

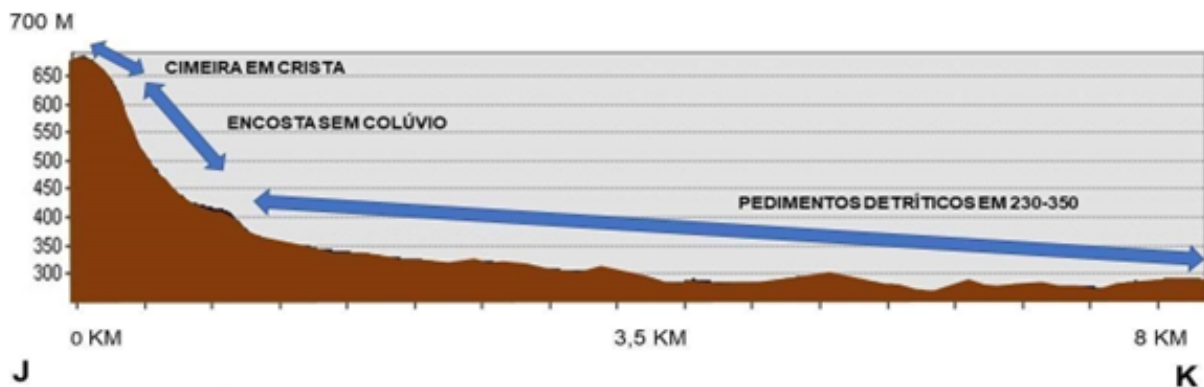


**FIGURA 13:** Pedimentos rochoso em 230 m



**FONTE:** Autores, Poço Redondo, Sergipe.

**FIGURA 14:** Transecto J-K da unidade de pedimentos rochoso



### ***Pedimentos Detríticos em 350 metros – Pp***

Um modelo de dissecação, com cotas altimétricas mais elevadas que a citada anteriormente. Com incisões fluviais presentes, mais rasas que as demais. E ausência de vegetação (Figura 15 e 16).

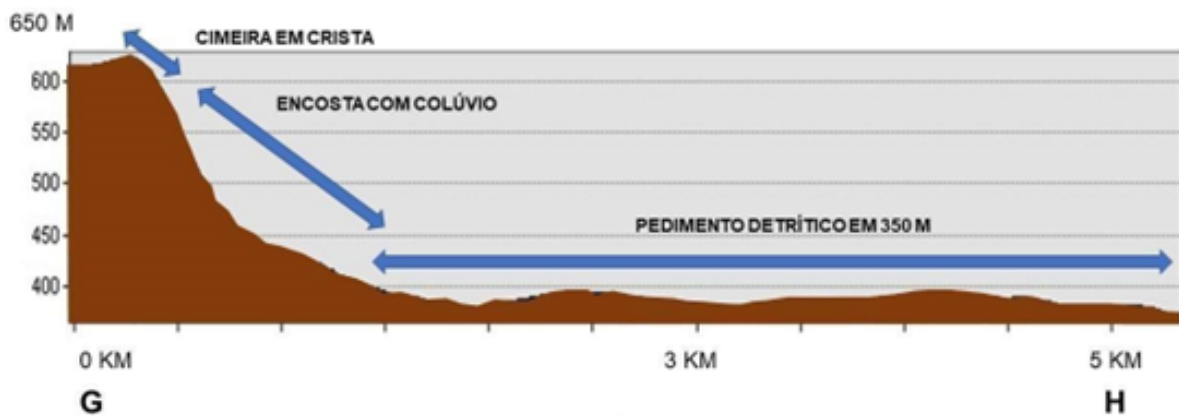
**FIGURA 15:** Pedimentos Detríticos em 350 metros



**FONTE:** Autores, Poço Redondo, Sergipe.



**FIGURA 16:** Transecto G-H da unidade de Pedimentos Detríticos



### **Encosta Com Colúvio a 450 metros – DE**

A encosta com colúvio também pode ser denominada de encosta de agradação, é um modelo de acumulação. É composta por uma cobertura coluvial delgada em seus alvéolos e também uma declividade elevada (Figuras 17 e 18). Os colúvios surgem em decorrência de eventos extremos de precipitação, gerando movimentos de massa encosta abaixo. Em ambientes semiáridos os fluxos de detritos ocorrem devido a entrada elevada de input de energia, sendo esta suficiente para movimentar até clastos.

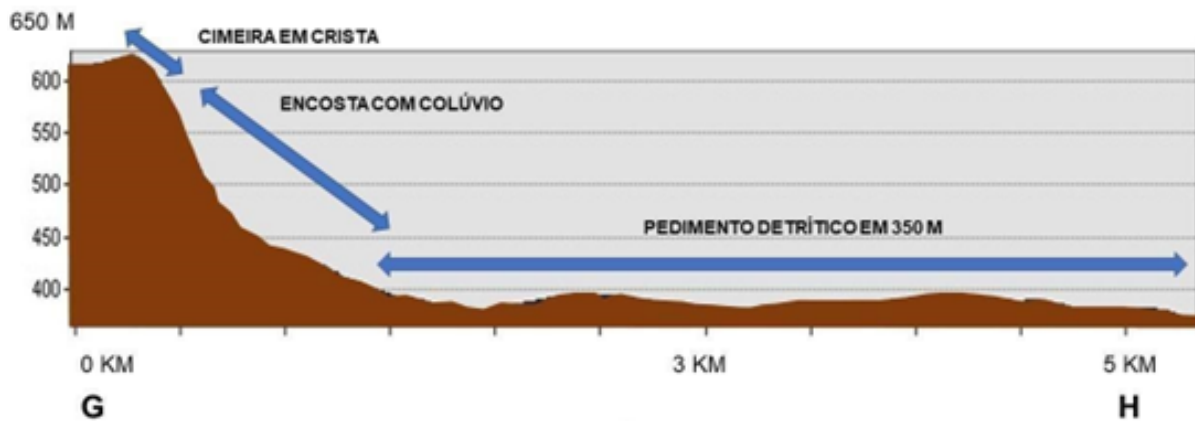
**FIGURA 17:** Encosta Com Colúvio a 450 metros



**FONTE:** Autores, Poço Redondo, Sergipe.



**FIGURA 18:** Transecto G-H da unidade de Encosta Com Colúvio



### **Plainos Aluviais**

Trata-se de um modelo de acumulação, fortemente influenciada por diferentes processos deposicionais, resultantes da atuação de diversos ambientes. Essa condição está relacionada ao fato de apresentar as menores altitudes e declividades da área estudada (Figura 19). Devido às características do clima semiárido, essas áreas estão particularmente suscetíveis a intensas alterações na paisagem. Além disso, os sedimentos provenientes das encostas contribuem para o entrancheiramento do canal fluvial.

**FIGURA 19:** Plano aluvial



**FONTE:** Autores, Poço Redondo, Sergipe.



A correlação entre os processos superficiais e os depósitos colúviais e aluviais torna-se evidente quando se observa o contexto geomorfológico e morfoescultural do Maciço da Serra Negra. A configuração atual da paisagem nessa unidade resulta da atuação conjunta de processos superficiais, como intemperismo, erosão, transporte e deposição, intensificados pelas condições climáticas semiáridas e pela herança estrutural do embasamento cristalino. As formas de relevo associadas aos modelos de acumulação, como as encostas com colúvio e os plainos aluviais, são produtos diretos da interação entre a gravidade, o escoamento superficial concentrado, a dinâmica hídrica intermitente e as características litológicas locais.

Nas encostas com colúvio, localizadas em altitudes próximas a 450 metros, predominam os processos gravitacionais e de enxurrada, desencadeados por eventos pluviométricos intensos e esporádicos. Esses processos mobilizam fragmentos angulosos e promovem a formação de mantos colúviais delgados nos alvéolos das vertentes, resultando em depósitos não estratificados e de granulometria variada. Tais áreas refletem momentos de instabilidade geomorfológica, em que a combinação entre declividade acentuada e baixa cobertura vegetal atua como fator predisponente à movimentação de detritos. Já os plainos aluviais, situados nas porções mais deprimidas do relevo, representam ambientes de acumulação fluvial intermitente, onde o retrabalhamento dos colúvios transporta e deposita sedimentos mais finos e medianos, especialmente nos fundos de vale. A variabilidade da vazão nos canais resulta em alternância entre processos erosivos e deposicionais, evidenciando a ação recorrente do sistema fluvial na redistribuição dos materiais oriundos das encostas. Assim, estabelece-se uma relação direta entre as vertentes e as planícies, compondo um sistema morfodinâmico interligado.

A distribuição espacial dessas feições deposicionais está fortemente condicionada por estruturas tectônicas pré-existentes, particularmente falhas orientadas no sentido NE- SW, identificadas por meio de análise de fotolineamentos. Essas estruturas influenciam tanto a compartimentação do relevo quanto os caminhos preferenciais do escoamento superficial. No contexto da Depressão Sertaneja, onde predominam planícies suavemente onduladas e pedimentos, observa-se a função dessas superfícies como receptoras e transportadoras de material. As unidades mais elevadas do relevo, como cimeiras e inselbergs, constituem as principais fontes sedimentares, fornecendo detritos gerados pela dissecação das rochas cristalinas. Por sua vez, os pedimentos, especialmente os detriticos funcionam como superfícies de transição, canalizando sedimentos colúvionados e aluvionados para compartimentos de menor energia, onde tendem a se acumular.

Portanto, os depósitos colúviais e aluviais observados no Maciço da Serra Negra constituem a materialização dos processos morfodinâmicos em curso, sendo intensamente



modulados pelas condições litológicas e estruturais. Essa dinâmica reforça a importância de compreender a relação entre forma e processo, especialmente em ambientes de relevo cristalino sob domínio semiárido, onde os eventos pluviométricos, mesmo esporádicos, exercem papel-chave na modelagem da superfície e na gênese das feições deposicionais. Tal entendimento é fundamental para interpretar o funcionamento dos sistemas ambientais atuais e sua evolução ao longo do tempo, como também discutido por Corrêa *et al.* (2019) no contexto do Cinturão Sergipano.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo possibilitou compreender o relevo do Maciço da Serra Negra como resultado de uma interação complexa entre processos morfodinâmicos atuais e controles estruturais herdados, evidenciada principalmente pelos depósitos coluviais e aluviais, que se configuram como produtos diretos dessa dinâmica. Por meio de análise em escala de semidetalhe, foram identificadas e mapeadas sete unidades geomorfológicas, das quais cinco correspondem a formas de dissecação (cimeira em crista, encosta sem colúvio, inselbergs, pedimentos rochosos e pedimentos detríticos) e duas a formas de acumulação (encosta com colúvio e plainos aluviais).

Essa compartimentação geomorfológica, em consonância com estudos anteriores (Lima *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2019), confirma a prevalência de processos morfogenéticos típicos de ambientes tropicais semiáridos. A abordagem metodológica adotada integra a análise morfoestrutural, morfométrica e técnicas de geoprocessamento, mostrou-se eficaz para interpretar a evolução da paisagem, identificar áreas de instabilidade geomorfológica e compreender os controles estruturais sobre a dinâmica superficial em contextos de embasamento cristalino.

A análise integrada das feições deposicionais e dos processos superficiais permitiu evidenciar a forte interdependência entre morfodinâmica atual, herança tectônica e condições climáticas semiáridas. A configuração da paisagem, marcada por formas de dissecação e acumulação, revela que os depósitos coluviais e aluviais são expressões diretas dessa interação, funcionando como indicadores da dinâmica erosivo/deposicional e da compartimentação do relevo. A atuação conjunta de estruturas pré-existentes, eventos pluviométricos intensos e características litológicas locais resulta em um sistema morfodinâmico interconectado, no qual vertentes, pedimentos e fundos de vale cumprem papéis complementares no transporte e na deposição de sedimentos.

Além de preencher uma lacuna cartográfica significativa no contexto nordestino, esta pesquisa oferece uma base sólida para investigações futuras, incluindo a aplicação de datações absolutas e análises paleoambientais, com vistas ao refinamento da



cronologia evolutiva da paisagem. A metodologia empregada revela, ainda, seu potencial de replicabilidade em outras áreas com características geomorfológicas semelhantes, contribuindo de forma relevante para o avanço do conhecimento sobre os processos que moldam o relevo em regiões tropicais sob regime climático semiárido.

## REFERÊNCIAS

- CASTRO, C. C. Depósitos correlativos e sua abordagem geomorfológica para a Região Nordeste. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, v. 19, 1979.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. v. 1, 313 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. A variabilidade espacial e temporal da densidade de drenagem. **Notícias Geomorfológicas**, v. 21, n. 42, p. 3-22, 1981.
- CORRÊA, A. C. B.; et al. Megamorfologia e morfoestrutura do Planalto de Borborema. **Revista do Instituto Geológico**, v. 31, n. 1-2, p. 35-52, 2010.
- CORRÊA, A. C. B.; et al. The semi-arid domain of the Northeast of Brazil. In: SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; PAISANI, J. C. (Org.). **The physical geography of Brazil**. Cham: Springer, 2019. p. 119-150.
- DEMEK, J. (Ed.). **Manual of detailed geomorphological mapping. Comm. Geomorph. Surv. Mapping**. IGU, Praga, 1972. 368 p.
- HIRUMA, S. T. Métodos morfométricos aplicados ao estudo da morfotectônica, Planalto de Campos do Jordão, SP. In: **VIII Simpósio de Quantificação em Geociências**, UNESP/IGCE, mar. 2000. p. 107-110.
- LIMA, F. G.; LIMA, G. G.; CORRÊA, A. C. B.; MARÇAL, M. S. Mapeamento geomorfológico em escala de semi-detalhe e a flexibilização dos manuais de mapeamento: breves considerações a partir de um estudo de caso – setor subúmido Planalto Sedimentar do Araripe/CE/Brasil. **Ensaio de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 1-18, 2014.
- LIU, C. C. **Análise estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao estado do Rio de Janeiro**. 1984. 183 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.
- MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R.; SALES, V. C. Geomorfologia do Nordeste: concepções clássicas e atuais acerca das superfícies de aplainamento nordestinas. **Revista de Geografia**, Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. esp. VIII SINAGEO, v. 27, p. 6-19, 2010.
- SANTOS, J. P. A.; SILVA, A. F.; SILVA, C. V.; SANTOS, W. V.; LIMA, F. J. Caracterização geomorfológica do maciço de Água Branca e seu entorno: uma primeira aproximação. **Revista de Geografia do Nordeste**, v. 5, p. 144-156, 2019.



# ANÁLISE MULTIVARIADA DE FEIÇÃO EROSIVA DO TIPO VOÇOROCA NO CONTEXTO URBANO E RURAL NOS ESTADOS DO MARANHÃO E PIAUÍ

Gilberlene Serra Lisboa<sup>1</sup>

Wellynne Carla de Sousa Barbosa<sup>2</sup>

José Fernando Rodrigues Bezerra<sup>3</sup>

Antonio José Teixeira Guerra<sup>4</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** Erosão, Geotecnologia, Voçoroca.

## RESUMO

As voçorocas são uma forma intensa de erosão que causa significativos danos ambientais. Este estudo investiga a evolução dessas formações nos contextos urbano e rural em duas áreas dos estados do Maranhão e Piauí, analisando a relação entre a erosão, as características físicas do solo e o uso da terra. Para isso, foram realizadas visitas de campo para coletar dados, tais como amostras de solo em diferentes profundidades, permitindo avaliar fatores como densidade e porosidade. Em Miguel Alves-PI, a voçoroca começou na década de 1990, e sua progressão foi observada entre 2007 e 2017, ligada ao aumento da população e à compactação do solo. Já na voçoroca de Itapera-MA, a remoção de vegetação expôs o solo, intensificando a erosão, embora a vegetação comece a retornar. Os dados mostram material argiloso no horizonte A e arenoso no horizonte B em Miguel Alves, com diferentes densidades e porosidade que influenciam na circulação hídrica local.

---

<sup>1</sup> Doutoranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ, [gilberlene\\_serra@yahoo.com.br](mailto:gilberlene_serra@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, [wcarla1@outlook.com](mailto:wcarla1@outlook.com)

<sup>3</sup> Professor do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão- UEMA, [jfernangeo@gmail.com](mailto:jfernangeo@gmail.com)

<sup>4</sup> Professor do Programa de Pós graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, [antonioguerre@gmail.com](mailto:antonioguerre@gmail.com)



## INTRODUÇÃO

A degradação dos solos por erosão é um problema ambiental recorrente em diferentes regiões do Brasil, especialmente no Nordeste, onde aspectos naturais e antrópicos contribuem para a intensificação do processo. Dentre os diversos tipos de erosão, as voçorocas representam uma das formas mais severas, caracterizadas por profundas cicatrizes no relevo e intensa remoção de solo, com graves implicações ambientais, sociais e econômicas (Barbosa et al., 2024; Lisboa *et al.*, 2024; Soares et al., 2024).

Nos estados do Maranhão e Piauí, observam-se diversas ocorrências de voçorocas tanto em áreas urbanas, como nas periferias de São Luís (MA) e Teresina (PI), quanto em áreas rurais, como em zonas agrícolas dos cerrados e áreas de transição com a Caatinga. Compreender os fatores que condicionam e intensificam tais processos é essencial para o planejamento territorial e formulação de políticas públicas eficazes.

A erosão tem acontecido de forma acelerada de maneira que a natureza tem cada vez menos condições de se recompor com a retirada da cobertura vegetal, principal agente de proteção do solo, intensificando os processos erosivos (Guerra, 2005; Mohammed *et al.*, 2020; Spalevic *et al.*, 2020).

O uso inadequado dos recursos naturais disponíveis ao homem, com destaque ao uso e cobertura do solo, tem ocasionado desequilíbrio ao meio ambiente. Esses processos apesar de ocorrerem de forma natural no espaço geográfico, podem ser intensificados pela ação do homem podendo se apresentar em diferentes escalas, causando desequilíbrios que podem ser irreversíveis nos sistemas ambientais (De Melo *et al.* 2020; Córdula *et al.* 2018).

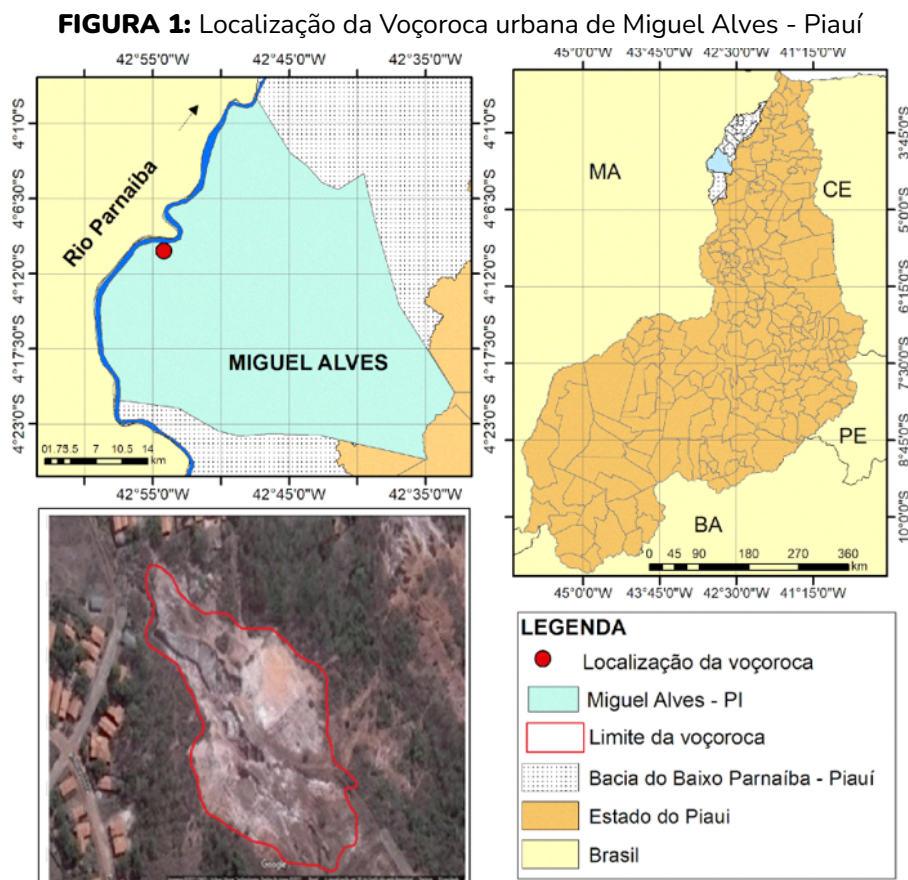
Das diferentes feições erosivas existentes, a voçoroca se constitui como a mais severa feição, sobretudo por ser de grande porte, pode ser destrutiva ao solo, trazer maiores prejuízos, além de ter uma recuperação lenta, com altos custos e de difícil controle, necessitando de monitoramento até sua completa estabilização (Loureiro *et al.*, 2020; Morgan, 2005). É nesse contexto que o presente estudo objetiva analisar a evolução espaço-temporal das voçorocas inseridas no contexto urbana e rural nos estados do Maranhão e Piauí, correlacionando a dinâmica erosiva com as propriedades físicas do solo e o uso e ocupação.



## MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização da área de estudo envolveu visitas de campo para levantamento de dados, registros fotográficos e coleta de amostras de solo. O método de amostragem consistiu na coleta de amostras em diferentes profundidades para análise laboratorial da densidade do solo, densidade de partículas e porosidade, permitindo avaliar a relação entre as condições físicas do solo e a evolução das voçorocas.

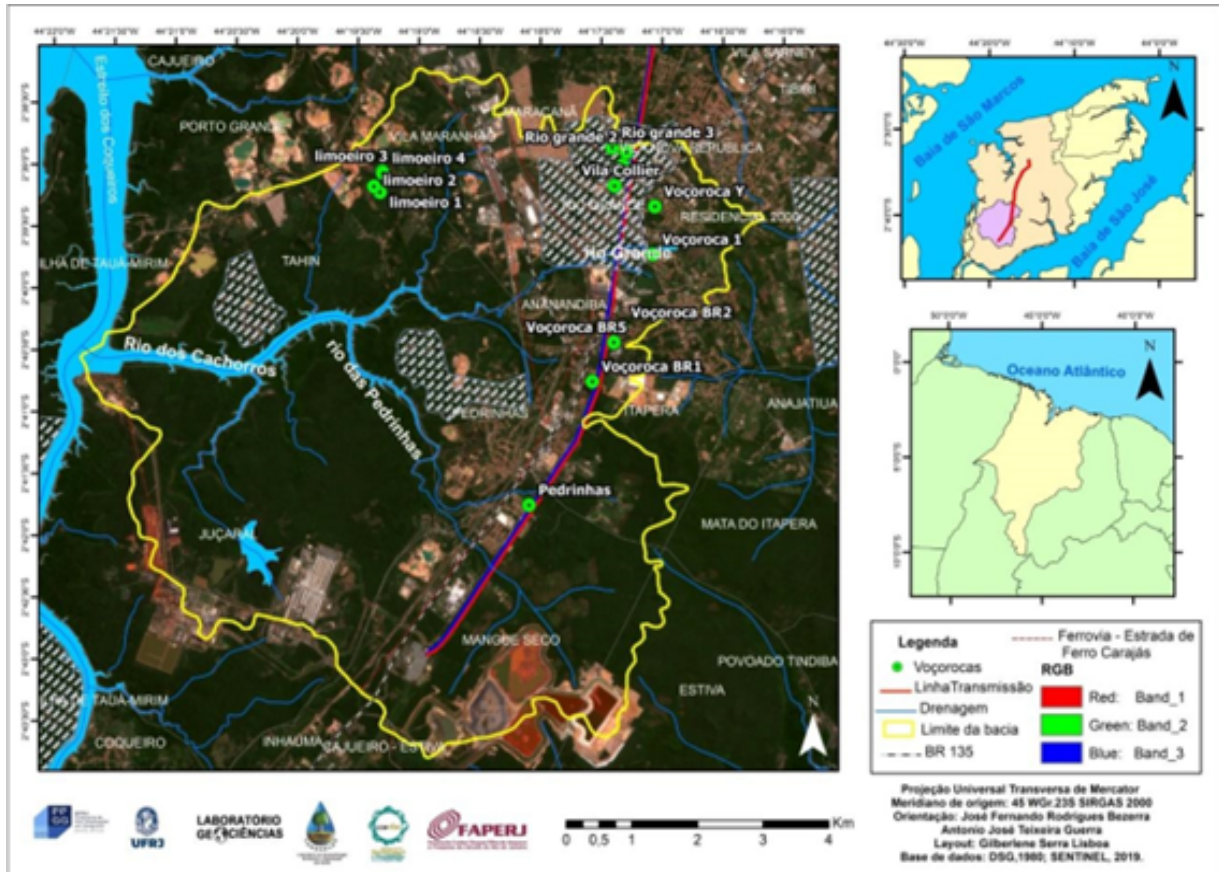
Uma das áreas de estudo está situada na zona urbana do município de Miguel Alves, no estado do Piauí, Brasil. O município fica a  $04^{\circ}09'56''$  de latitude sul e  $42^{\circ}53'43''$  de longitude oeste, localizado na microrregião do Baixo Parnaíba Piauiense, com uma área total de 1.393 km<sup>2</sup> (CEPRO, 2001). A identificação desse tipo de incisão no solo nesta localidade de fácil acesso estimulou o interesse do estudo, no intuito de compreender as possíveis consequências da ocorrência desta voçoroca e estudar a sua evolução no espaço e no tempo. É uma área de clima tropical subúmido, com duração do período seco de seis meses e temperaturas médias entre 22°C e 37°C e precipitação pluviométrica média anual de 1.668,4 mm (Andrade Júnior *et al.*, 2004). Sua vegetação é composta por floresta decidual secundária mista, caatinga/cerrado e cerrado florestal. Figura 1, localização da área de estudo.



ELABORADO POR: Barbosa (2024).



FIGURA 2: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros



FONTE: Elaborado por Lisboa (2024).

Para produção da presente pesquisa, a metodologia aplicada foi composta por duas etapas: para ambas áreas de estudo foram feitas visita de campo com caracterização da área de estudo (localização e levantamento de dados, registros fotográficos e coleta de solos), para então partir para análises de laboratório e confecção de mapas pelo *software* de geoprocessamento *ArcGis* 10.3, foram utilizadas imagens de satélite do *software* Google Earth dos anos de 2007 e 2017, um intervalo de tempo de 10 anos para analisar a evolução destas feições no tempo e no espaço. O cálculo de área foi feito a partir da ferramenta *Calculate Geometry* em (m<sup>2</sup>), logo as voçorocas foram analisadas em diferentes contextos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

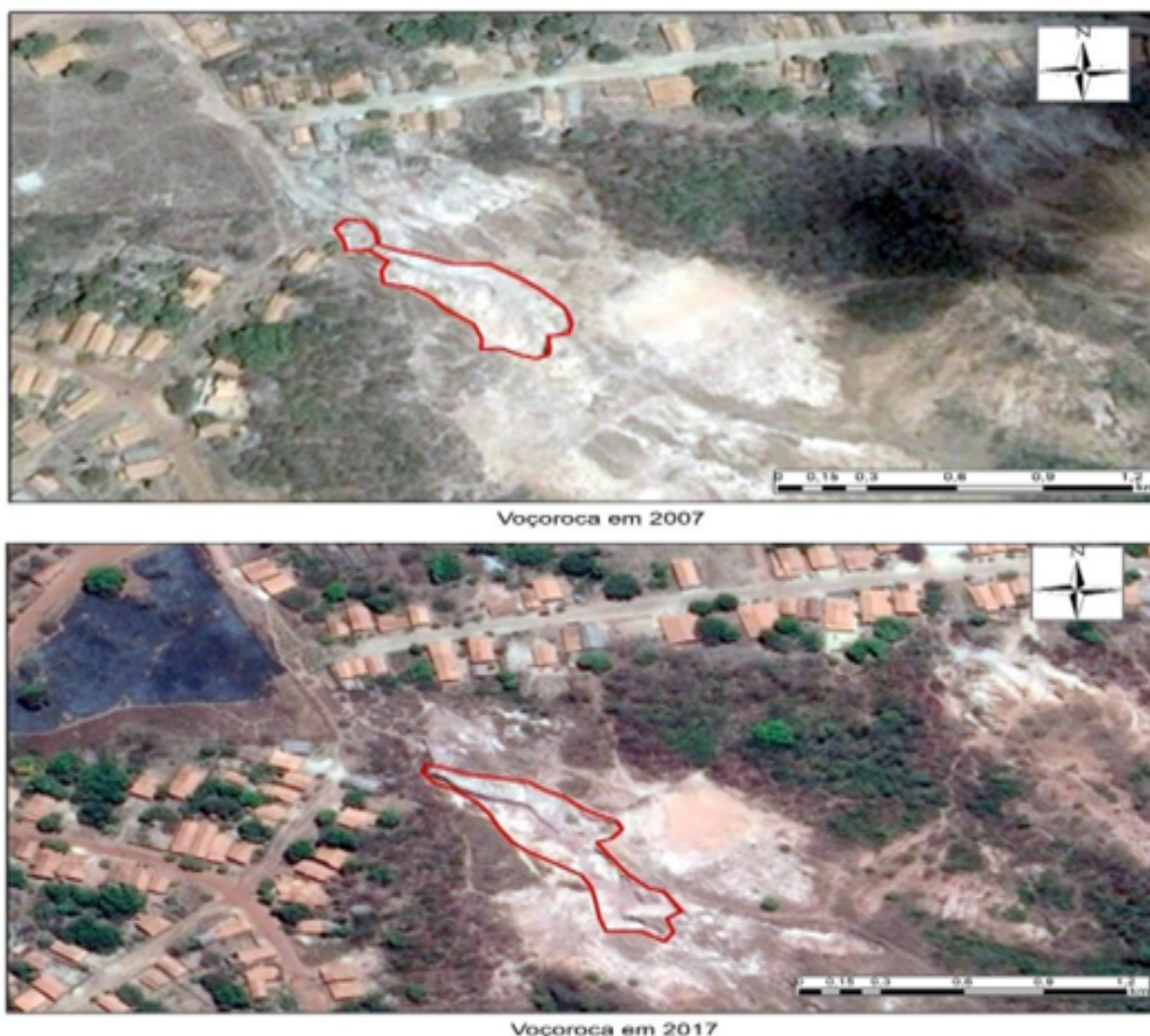
Estima-se que a voçoroca de Miguel Alves tenha iniciado os processos erosivos na década de 1990, com base em informações locais. Entretanto, a presente análise considerou o período de 2007 a 2017 para estimar sua evolução no tempo e no espaço.

A partir da análise comparativa das imagens de satélite de 2007 e de 2017, observou-se que no ano de 2007, esta voçoroca apresentava uma área de aproximadamente 1.985 m<sup>2</sup>, tendo sua dimensão em 2017 aumentada para 2.765 m<sup>2</sup>, indicando que sua área teve rápida expansão pela intensificação da ação erosiva ao longo destes 10 anos.



Assim, o desenvolvimento da erosão na voçoroca estudada, sobretudo na sua cabeceira, se agravou com o passar dos anos com um aumento de cerca de 780 m<sup>2</sup>, ou seja, de 21,85% nesse período. Este significativo aumento da dimensão da voçoroca urbana em um período tão curto certamente se encontra diretamente relacionado ao crescimento da cidade de Miguel Alves à montante, onde a voçoroca se localiza. Se observa um aumento recente do número de residências e marcas de circulação constante um no entorno da voçoroca (Figura 3).

**FIGURA 3:** Painel de imagens mostrando a evolução da voçoroca e urbanização no seu entorno, em Miguel Alves, entre 2007 e 2017. A: Voçoroca em 2007; B: Voçoroca em 2017.



**FONTE:** Imagens Google Earth (2007 e 2017). Organizado por: Barbosa (2021).

Esse aumento no fluxo de pessoas principalmente na área do desmatamento da encosta voltada para a Rua Maria Celeste, também pode estar relacionado ao acesso e instalação de antenas de telecomunicação nas partes mais altas, como mostra a Figura 4.



**FIGURA 4:** Voçoroca em relação às torres de telecomunicação. A: Localização da voçoroca. B: Vista das torres de telecomunicação a partir da voçoroca em estudo.



**FONTE:** Imagem Google Earth (2021); Barbosa (2021).

Dessa forma, o aumento da urbanização poderá gerar outros problemas que podem influenciar no crescimento da voçoroca, como o direcionamento das águas pluviais pelo sistema de drenagem urbano (Guerra et al., 2017; Guerra, 2021).

Na Figura 5 é possível observar a área e a posição da expansão desta voçoroca de Miguel Alves em 2017, em relação ao ano de 2007, um crescimento que corresponde a aproximadamente 21,85%, notadamente nas suas cabeceiras e lado direito, ampliando assim sua extensão e largura.

Foi possível observar também a ausência de práticas conservacionistas do solo e de cobertura vegetal arbórea na margem esquerda da voçoroca, o que se intensificou a partir do seu uso para atividades humanas. Esse fator conjuntamente com o surgimento de águas subsuperficiais intensificaram a erosão lateral.

**FIGURA 5:** Área de expansão da voçoroca



**FONTE:** Imagem Google Earth (2017). Organizado por: Barbosa (2021).



Foi possível observar também a ausência de práticas conservacionistas do solo e de cobertura vegetal arbórea na margem esquerda da voçoroca, o que se intensificou a partir do seu uso para atividades humanas. Esse fator conjuntamente com o surgimento de águas subsuperficiais intensificaram a erosão lateral.

A existência de cobertura vegetal arbórea com regenerações em parte da margem direita da voçoroca (média e baixa encosta) favoreceu para estabilidade do solo, em situação oposta ao ocorrido na margem esquerda, onde é possível observar o solo exposto e mais compactado devido a maior circulação de pessoas que se deslocam para prática de atividades no campo de futebol improvisado.

A voçoroca Itapera fica às margens da BR-135. A área ao redor está bastante degradada, com algumas casas próximas, mas o local ainda possui bastante vegetada. Depois que a população que morava perto foi embora, a vegetação da voçoroca começou a se recuperar. A área é caracterizada por intensas atividades industriais e extração de minerais (laterita e areia), sendo estas atividades as principais causas da degradação ambiental e transformações da paisagem local.

**FIGURA 6:** Surgimento do voçorocamento Itapera em 2007



**FONTE:** Google Earth, 2025.

A Figura 6 mostra o surgimento do voçorocamento Itapera em diferentes anos. Em 2017, podemos ver que há casas ao redor e a área ainda está bastante vegetada. Na Figura 7, também de 2017, a ocupação irregular ainda persiste, com um número maior de residências na região. Já em 2025, as construções não estão mais presentes, pois essas famílias foram realocadas para outro local, deixando o solo exposto. Por fim, na Figura 8 de 2025, a vegetação volta a crescer ao redor do voçorocamento que está sendo estudado.



Com base no sistema do SIGMINE da ANM (2021), os processos minerários Figura 9 existentes na área de estudo extraem areia, minério de cobre, água mineral, cascalho, água potável de mesa, e recursos cujo o dado não está cadastrado. Destaca-se que o uso dos minerais extraídos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros é principalmente para a construção civil, industrial, engarrafamento, além de usos não cadastrados. De acordo com a CPRM (2020), na área de estudo há licenciamento para; areia; areia e argila; laterita e cascalho.

**FIGURA 7:** Voçorocamento Itapera em 2017



**FONTE:** Google Earth, 2025.

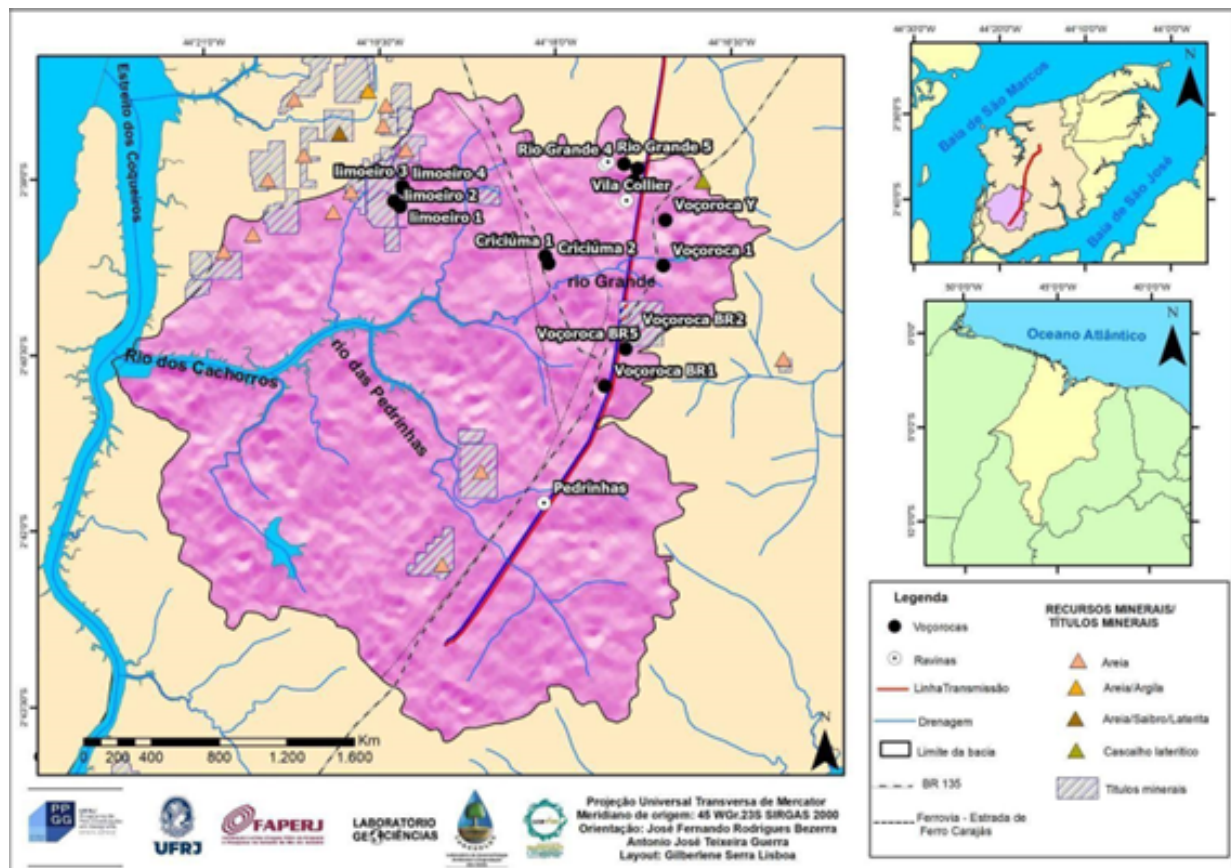
**FIGURA 8:** Voçorocamento Itapera em 2025



**FONTE:** Google Earth, 2025.



FIGURA 9: Mapa dos recursos minerais da bacia do rio dos Cachorros



ELABORADO POR: Lisboa (2024).

Segundo CPRM (2020) a geologia da bacia do rio dos Cachorros é composta por Depósitos de Mangues, Grupo Itapecuru, Pós Barreiras. Ao se considerarem os critérios causais de natureza pedológica, estes aparecem como sendo de fundamental importância para a compreensão das condições dos solos frente aos variados processos e/ou fenômenos erosivos. Neste viés, o conhecimento das características físicas, químicas e ambientais de cada tipo de solo é de suma importância para a análise de uma determinada área (Pereira Neto, 2013). Considerando-se o exposto, na bacia do rio Cachorros, sobressaem os Argissolos Vermelho-Amarelo distrófico, Gleissolos Háptico tb distrófico, Neossolos Quartzarênicos Órtico, solo de Mangue que não foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos solos (CPRM, 2020).

### **Parâmetros físicos dos solos da voçoroca em estudo**

Os resultados de densidade do solo, partículas e porosidade indicam um solo compactado, com baixa infiltração e o com um processo arenoso preocupante. Primeiramente, nos pontos que estão localizados na bacia do rio dos Cachorros, foi encontrada na voçoroca Itaperá uma densidade do solo com variações  $1,70 \text{ g/cm}^3$  a  $1,73 \text{ g/cm}^3$ , os valores identificados indicam solos arenosos, que de acordo com Kiehl (1979),



quanto mais elevada a densidade do solo, maior é a concentração de areia. A densidade de partículas encontrada no voçorocamento Itapera mostram valores que constituem partículas de solos que podem ser facilmente transportadas, pois estão abaixo da média ideal de  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , com valores de  $2,29 \text{ g/cm}^3$  a  $2,59 \text{ g/cm}^3$ .

Com relação à porosidade Lima (2008) e Rangel e Guerra (2014) assumiram que percentuais de porosidade total acima de 45% são de baixa suscetibilidade, entre 35% e 45% são de média suscetibilidade, e menores que 35% representam alta suscetibilidade à erosão. Considerando os valores de porosidade total no solo da voçoroca coletada, os

resultados variaram em média 25,76% a 33, 20%; ou seja apresentam valores menores e com alta suscetibilidade à erosão.

Os parâmetros de densidade do solo, de partícula e porosidade na voçoroca estudada demonstram que o horizonte A (P1), apresenta densidade de  $1,15 \text{ g/cm}^3$ , se caracterizando como um material mais argiloso, e que a densidade de partícula nessa camada e ponto encontra-se com  $2,4 \text{ g/cm}^3$ , o que pode indicar uma alta taxa de infiltração no solo, Porém, a estrutura, porosidade, teor de matéria orgânica e tipo de argila podem condicionar a permeabilidade de forma mais determinante do que a simples textura. Essas taxas influenciaram a porosidade que foi de 53,50%. Segundo Alves e Cabeda (1999), o processo de infiltração de água no solo é um dos fenômenos que melhor reflete as condições físicas internas do solo (Andrade *et al.*, 2009; Reinert *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2021; Guerra; Jorge, 2021; Guerra *et al.*, 2023).

A amostra coletada no horizonte B (P2), indica um material arenoso, com uma densidade de solo de  $1,35 \text{ g/cm}^3$ , densidade de partícula de  $2,6 \text{ g/cm}^3$  e porosidade de 49,17 %, como pode ser observado na Tabela 1.

**TABELA 1:** Dados de porosidade e densidade da voçoroca

Pontos	Densidade do solo ( $\text{g/cm}^3$ )	Densidade de Partículas ( $\text{g/cm}^3$ )	Porosidade (%)
P1	1,15	2,4	53,5
P2	1,35	2,6	49,17

**ELABORADA POR:** Barbosa (2021).

Segundo Lepsch (2002) o solo ideal apresentaria 50% de poros, com 25% ocupados por água e 25% ocupados por ar. Além disso, a área da voçoroca está dentro de uma região urbanizada, com suas margens utilizadas para atividades humanas, aumentando a compactação do solo e reduzindo os valores de porosidade, comprometendo propriedades como infiltração e permeabilidade.



Os dados indicam menor taxa de infiltração em relação ao horizonte A, o que tende a aumentar o escoamento superficial e a aceleração das perdas de solo e de água, alterando o equilíbrio hidrológico natural do sistema. Diversos problemas socioambientais são causados pela existência da erosão, tais como poluição, movimento de massa e assoreamento dos mananciais, o uso e manejo inadequados do solo reduzem também a cobertura vegetal o que influencia diretamente na infiltração da água no solo, ocasionando o escoamento superficial gerando mais erosão (Guerra; Jorge, 2021).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação entre os dois casos demonstra como o uso e ocupação da terra influenciam a dinâmica dos processos erosivos. Enquanto a voçoroca de Miguel Alves é intensificada pela urbanização desordenada e pela compactação do solo devido ao fluxo populacional, a voçoroca de Itapera, resulta da degradação do solo associada à retirada da cobertura vegetal, tornando-se mais vulnerável às intempéries em uma região com baixa densidade populacional.

As voçorocas são formas de erosão bastante intensas que causam sérios impactos ambientais. Este estudo busca entender como essas formações evoluíram tanto em áreas urbanas quanto rurais, nos estados do Maranhão e Piauí. Para isso, foram feitas visitas ao campo, onde coletamos amostras de solo em diferentes profundidades para analisar características como densidade e porosidade. Em Miguel Alves, no Piauí, a voçoroca começou a se formar na década de 1990, e seu avanço foi observado entre 2007 e 2017, principalmente devido ao crescimento da população e ao solo mais compactado. Já em Itapera, no Maranhão, a remoção da vegetação deixou o solo mais exposto, o que aumentou a erosão, embora a vegetação esteja começando a se recuperar. Os dados indicam que no solo de Miguel Alves há material argiloso na camada superior (horizonte A) e arenoso na camada mais profunda (horizonte B), com diferentes níveis de densidade e porosidade que afetam o fluxo de água na região.

Os dados referentes à densidade do solo, das partículas e à porosidade indicam um solo compactado, com baixa infiltração e um processo de formação arenosa preocupante. Inicialmente, nos locais localizados na bacia do rio dos Cachorros, foram encontrados na voçoroca Itapera valores de densidade do solo variando entre  $1,70 \text{ g/cm}^3$  e  $1,73 \text{ g/cm}^3$ , indicando que esses solos são arenosos. Os parâmetros de densidade do solo e da porosidade na voçoroca Miguel Alves, mostram que o horizonte A (P1) tem uma densidade de  $1,15 \text{ g/cm}^3$  e é rico em argila, com densidade de partículas de  $2,4 \text{ g/cm}^3$ . O horizonte B (P2) apresenta uma densidade de solo de  $1,35 \text{ g/cm}^3$  e 49,17% de porosidade.



Análise multivariada revelou padrões distintos de formação e agravamento das voçorocas em áreas urbanas e rurais dos estados do Maranhão e Piauí. Enquanto nas cidades o fator crítico está relacionado à infraestrutura urbana precária, nas zonas rurais a erosão é condicionada principalmente pelas características do solo e práticas agrícolas inadequadas. Com base nos achados, recomenda-se: investimentos em infraestrutura de drenagem urbana e requalificação de áreas de risco; adoção de práticas de manejo e conservação do solo no meio rural; monitoramento contínuo com o uso de geotecnologias; elaboração de políticas públicas integradas e participativas.

## Agradecimentos:

**A** Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), pela concessão da Bolsa de Doutorado.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 753-761, 1999.
- ANDRADE, R. D. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 382-388, 2009.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. **Atlas climatológico do Estado do Piauí**. (Série Documentos, 101). Teresina: EMBRAPA-Meio Norte, 2004.
- BARBOSA, W. C. S. **Análise multivariada e uso do SIG no diagnóstico de áreas de risco de erosão dos solos no Baixo Parnaíba, Piauí-Brasil**. 2024. Tese (Doutorado em Geografia) – PPGG, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024. 162 p.
- CASTRO, H. F. R.; PEREIRA, E. D. Cartografia geológico-geotécnica da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 6, p. 750-759, 2012.
- CEPRO (Centro de Pesquisas Econômicas Sociais do Piauí). **Informações Municipais 2000 – Anuário Estatístico do Piauí**. Teresina: Fundação CEPRO, 2001.
- CÓRDULA, E. B. L.; NASCIMENTO, G. C. C.; LUCENA, R. P. F. Comunidade, meio ambiente e etnociência: saberes locais na conservação dos recursos naturais. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 13, n. 2, p. 85-103, 2018. DOI: <https://doi.org/10.34024/revbea.2018.v13.2551>
- CPRM. BARROS, J. S. (Org.); BANDEIRA, I. C. N. (Org.). **Geodiversidade da ilha do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2020. 149 p. (Levantamento da geodiversidade: nota explicativa). ISBN 978-65-5664-019-8.
- GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 32-37, 2005. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0003>
- 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. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60294-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60294-7)
- GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. Degradação dos solos – abordagens teóricas e estudos de casos, ao longo de 25 anos (1994–2019), no âmbito do Lagesolos. **Humboldt – Revista de Geografia Física e Meio Ambiente**, v. 1, n. 2, 2021. Disponível em: <https://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/humboldt/article/view/57375/36820>.



GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; JORGE, M. C. O. Recuperação de voçorocas no Brasil e no mundo: um estudo de caso da voçoroca do Sacavém, São Luís, MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, número especial, p. 1-20, 2023.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 1. reimpr., 2005.

LIMA, L. D. da M. **Suscetibilidade à erosão dos solos nas sub-bacias do médio e alto cursos da bacia do Rio Macaé / RJ**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. 127 p.

LISBOA, G. S.; SILVA, J. E. B.; GUERRA, A. J. T. Caracterização de atributos do solo em linha de transmissão de energia no município de São Luís-MA. In: LOUZEIRO, A. S.; SANTOS, L. C. A. dos (Org.). **Geografia na pós-graduação: natureza e dinâmica do espaço**. São Luís: Editora da UEMA, 2024. v. 1, p. 121-134.

LOUREIRO, H. A. S.; GUERRA, A. J. T.; ANDRADE, A. G. Contribuição ao estudo de voçorocas a partir do uso experimental de laser scanner terrestre e VANT. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, p. 871-892, 2020.

MELO, L. M. R.; MANRIQUE, H. N.; MACHADO, J. H. R.; SILVA, H. A. Os impactos ambientais em decorrência da interferência negativa humana arraçoada pelo progresso econômico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 74935-74952, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-063>

MOHAMMED, S.; AL-EBRAHEEM, A.; HOLB, I. J.; ALSAFADI, K.; DIKKEH, M.; PHAM, Q. B.; SZABO, S. Soil management effects on soil water erosion and runoff in central Syria – a comparative evaluation of general linear model and random forest regression. **Water**, v. 12, n. 9, p. 2529, 2020.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. 3. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

OLIVEIRA, J. A.; CÁSSARO, F. A.; PIRES, L. F. Estimating soil porosity and pore size distribution changes due to wetting-drying cycles by morphometric image analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 205, 104814, 2021.

PEREIRA NETO, M. C. **Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Seridó (RN/PB – Brasil)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013. 117 f.

RANGEL, L. A.; GUERRA, A. J. T. Degradação de trilhas na Reserva Ecológica da Juatinga em Paraty – Rio de Janeiro. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, p. 752-766, 2014.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1805-1816, 2008.

SOARES, I. G.; OLIVEIRA, R. C.; SANTOS, L. C. A. dos. Aspectos da ambiental ao processo erosivo na bacia hidrográfica do rio Preto-MA. In: XX Simpósio de Geografia Física Aplicada, 2024, João Pessoa – PB. **A geografia física no contexto das mudanças ambientais globais: novos desafios e perspectivas**. Paraíba: Editora da UFPB, 2024. v. 1, p. 1-9.

SPALEVIC, V.; BAROVIC, G.; VUJACIC, D.; CUROVIC, M.; BEHZADFAR, M.; DJUROVIC, N.; BILLI, P. The impact of land use changes on soil erosion in the river basin of Miocki Potok, Montenegro. **Water**, v. 12, n. 11, p. 2973, 2020.