



Mapeamento Geomorfológico Básico e Aplicado

Organização:

- Rosangela Garrido Machado Botelho





Mapeamento Geomorfológico Básico e Aplicado

Organização:

- Rosângela Garrido Machado Botelho
-

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.**

Mapeamento Geomorfológico: Básico e Aplicado-Vol.IX [recurso eletrônico]. / Rosângela Garrido Machado Botelho (org.). – Mossoró, RN: Edições UERN, 2026.

168 p.

ISBN: 978-85-7621-585-1 (E-book).

Coleção: Geomorfologia do Brasil.

1. Mapeamento Geomorfológico. 2. Processos geomorfológicos. 3. Geomorfologia - Brasil. I. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. II. Título.h

UERN/BC

CDD 551.4

Bibliotecário: Aline Karoline da Silva Araújo CRB 15/ 783

Sumário:



	APRESENTAÇÃO.....	06
1.	FORMAS RESIDUAIS E OS NÍVEIS DE APLAINAMENTO NA REGIÃO DE BURITIZEIRO (MG): ÊNFASE À MORFOMETRIA DO RELEVO Antonio das Graças José dos Santos Júnior; Alan Silveira.	08
2.	GEOMORFOLOGIA DA REGIÃO CENTRO-SUL DO ESTADO DO CEARÁ João Bandeira da Silva.	25
3.	ANÁLISE AUTOMATIZADA DO RELEVO DA REPÚBLICA DO HAITI COM SUPORTE DE SIG Luis Eduardo de Souza Robaina; Miralda Myrtho Calixte; Romario Trentin.	42
4.	MUDANÇAS CLIMÁTICAS E CARTOGRAFIA DAS MORFOGÊNESES DO RELEVO: SUBSÍDIOS AO ORDENAMENTO TERRITORIAL NO PERÍMETRO URBANO DE PELOTAS/RS Moisés Ortemar Rehbein; Isaac Tailque Papini de Brito; Nina Simone Vilaverde Moura; Adriano Luis Heck Simon.	58
5.	MAPEAMENTO MORFOMÉTRICO AUTOMATIZADO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO: CENTRO DO RIO GRANDE DO SUL Wílson Oliveira da Silva; Luis Eduardo de Souza Robaina; Anderson Augusto Volpato Scoti; Romario Trentin.	74
6.	MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA FALÉSIA DE BARRA DE TABATINGA, NÍSIA FLORESTA - RN Daniel Carlos Alves Santos; Rodrigo de Freitas Amorim; Heleriany de Medeiros Madeiros; Silvio Braz de Sousa; Thiago França Simonetti.	91

7. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS USINAS DE ENERGIA EÓLICA E SOLAR NOS COMPARTIMENTOS DE RELEVO DO NORDESTE BRASILEIRO **107**

Thiago França Simonetti;
Daniel Carlos Alves Santos;
Silvio Braz de Sousa;
Rodrigo de Freitas Amorim.

8. REVISÃO GEOMORFOLÓGICA DA DELIMITAÇÃO DA PLANÍCIE LAGUNAR MARGINAL DO CANAL SÃO GONÇALO – RS **121**

Lucas Pires Ferreira;
Vinícius Bartz Schwanz;
Adriano Luís Heck Simon;
Vanda Carneiro de Claudino-Sales.

9. INTERPRETAÇÃO E MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO GONÇALO, COM SUPORTE DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO **136**

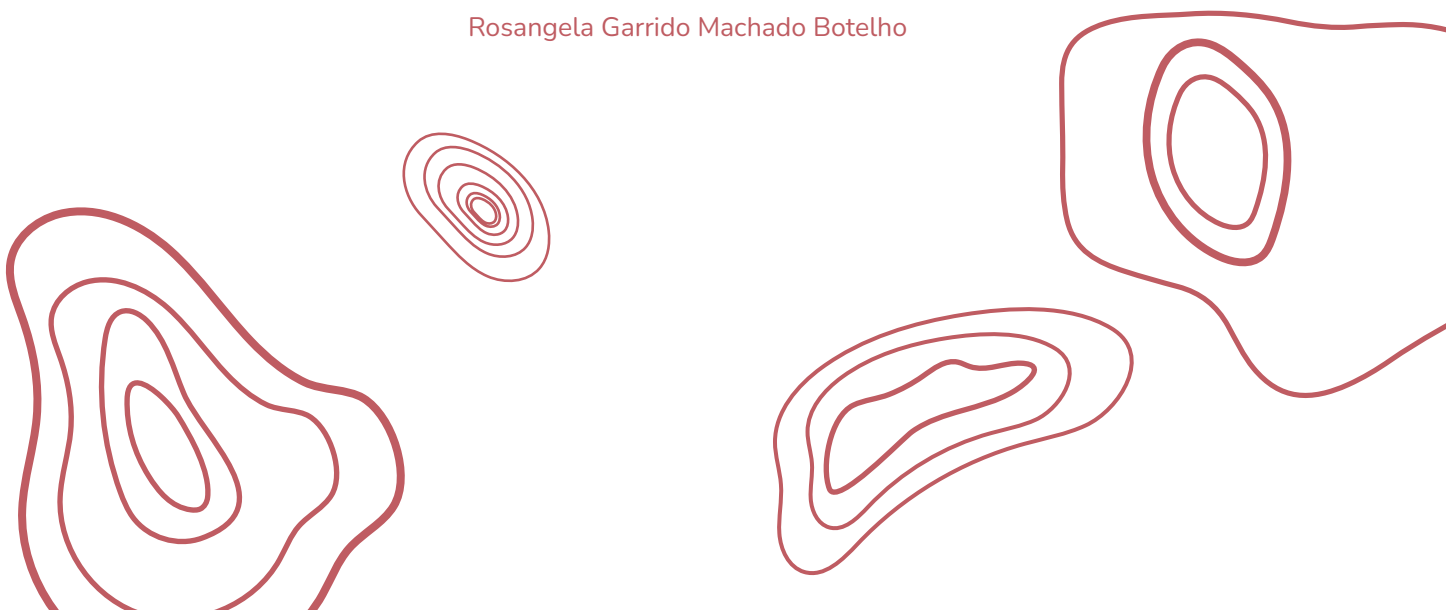
Paulo Emanuel Alves Lopes;
Gislania de Meneses Silva;
Lara Lima Lourenço;
Maria Lúcia Brito da Cruz.

10. CONTEXTO GEOMORFOLOGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA RIACHO TALHADA - SERTÃO DE ALAGOAS **155**

Vinicius Valdir dos Santos;
Wagner Valdir dos Santos.

Mapeamento Geomorfológico Básico e Aplicado

Rosangela Garrido Machado Botelho





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 Vertentes

organizado por Grace Bungenstab Alves (UFBA)



3. Geomorfologia Fluvial e Lacustre

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



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



FORMAS RESIDUAIS E OS NÍVEIS DE APLAINAMENTO NA REGIÃO DE BURITIZEIRO (MG): ÊNFASE À MORFOMETRIA DO RELEVO

Antonio das Graças José dos Santos Júnior¹
Alan Silveira²

PALAVRAS-CHAVE: Chapadão dos Gerais; Mapas Morfométricos; Superfície Sul-Americana.

RESUMO

Formas residuais posicionadas em níveis aplainados e escalonados são observadas no Chapadão dos Gerais, mais precisamente na região de Buritizeiro–MG. Trabalhos de referência geomorfológica em escalas de menor detalhe identificaram regionalmente esses grandes compartimentos, sendo reconhecidos no Chapadão dos Gerais os nivelamentos das superfícies de aplainamento Sul-Americana, Sul-Americana I e Sul-Americana II. Porém, em função da escala, não detalharam os relevos residuais. A cartografia geomorfológica apresenta variáveis de representação e procedimentos de mapeamento que possibilitam o registro de seu objeto em distintas escalas, com destaque para a morfometria do relevo. Com isso, este trabalho teve o objetivo de identificar as formas residuais localizadas em diferentes níveis aplainados em um quadrante delimitado na região de Buritizeiro, a partir da elaboração de mapas morfométricos e trabalhos de campo. Para isso, organizaram-se os mapas de Hipsometria, Declividade, Índice de Posição Topográfica (IPT) e Índice de Rugosidade do Terreno (IRT), na escala 1:100.000 e com o uso do software QGIS, versão 3.36.2. Primeiramente, foram extraídas as curvas de nível com equidistância de 40 metros, por meio de Modelo Digital de Elevação (MDE), criado a partir de imagem STRM/USGS de 30 m. As principais drenagens foram adquiridas a partir do banco de dados da IEDE/FGV. O quadrante delimitado possui área de 6.199,46 km², com variação topográfica de 467 a 909 metros de altitude. Com base na revisão bibliográfica sobre superfícies geomorfológicas para a região de Buritizeiro, definiram-se cinco classes hipsométricas, em intervalos de 100 metros (≤ 500 a ≥ 800 m). O mapa de Declividade foi gerado a partir do comando *Raster-Análise-Declividade*, compondo seis classes que variam de ≤ 2 a $\geq 45\%$. Os mapeamentos de IPT e IRT foram confeccionados a partir dos plugins do SAGA 9.3.1, respectivamente, pelas ferramentas *Topographic Position Index* e *Terrain Ruggedness Index*. O primeiro reconheceu as classes: vales com incisão fluvial, baixas vertentes dissecadas, altas e médias vertentes suavemente convexas a planas, topos e altas vertentes planas a suavemente convexas, rebordos escarpados e topos aguçados; enquanto o segundo apresentou as classes: nivelado, quase nivelado, moderadamente rugoso, rugoso e muito rugoso. A partir dos mapeamentos morfométricos organizados,

¹ Doutorando do Curso de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – PPGGEO/UFU, antonio.santos.junior@ufu.br

² Professor do Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva e do PPGGEO da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, alan.silveira@ufu.br



reconheceram-se na área pesquisada três níveis de aplainamento: o Chapadão dos Gerais (Sul-Americana), o Planalto Areado/Intermediário (Sul-Americana I) e a Depressão Sanfranciscana (Sul-Americana II). Ao longo dos Planaltos Intermediários e da Depressão Sanfranciscana foram delimitados os relevos residuais, localizados em frente aos *fronts* escarpados do Chapadão dos Gerais e do Planalto Intermediário (Areado), em cotas altimétricas condizentes com as superfícies de cimeira (≥ 800 m) e intermediária (entre 600 e 800 m). Seus rebordos erosivos ficaram bem-marcados em polígonos com classes dominantes de 30 a 45% ou superiores a 45% de declividade; áreas muito rugosas no IRT e rebordos escarpados e topos aguçados no IPT. Assim, os mapeamentos morfométricos proporcionaram resultados satisfatórios para a delimitação das feições residuais presentes nos nivelamentos aplainados na escala proposta para o trabalho.

INTRODUÇÃO

Bases do pensamento geomorfológico, as teorias de Davis (1899), King (1956) e Büdel (1957) são exemplos de indagações da comunidade científica sobre essas formas. O relevo do Brasil, especialmente o da região central, tem sido palco de trabalhos clássicos sobre a temática e desperta, ainda hoje, interesses e desafios investigativos, sobretudo quando envolvem as coberturas superficiais e o detalhamento escalar de mapeamentos.

Exponentes pesquisas desenvolveram-se em escalas regionais no território nacional, abrigando grandes extensões de terra, o que propiciou relevantes entendimentos sobre a evolução do relevo brasileiro. Trabalhos referenciados por Silva (2009), como os de De Martone (1943), King (1956), Ab'Sáber (1962), Bigarella, Mousinho e Silva (1965), Almeida (1964), Braun (1971), entre outros, trouxeram contribuições indispensáveis. Revisões acerca das superfícies de aplainamento brasileiras também podem ser observadas nos trabalhos de Valadão (1998, 2009), Peulvast e Claudino-Sales (2002), Salgado (2007), Silva (2009) e Ross (2011).

Nas últimas décadas Valadão (1998, 2009) analisou a megageomorfolgia do Brasil Oriental, que envolve áreas sedimentares e cristalinas dos estados de Minas Gerais e Bahia. O autor destaca o excelente estado de conservação das superfícies de aplainamento em grande parte da área e o papel das rochas sedimentares sub-horizontalizadas da Bacia Sanfranciscana no recuo paralelo das encostas, formando escarpas que delimitam as superfícies aplainadas (Valadão, 2009). Cherem et al. (2012) reconhecem que o relevo do Sudeste do Brasil é marcado por uma sequência de superfícies escalonadas, com interflúvios contendo escarpas denudacionais e de falhas, além de cadeias montanhosas. A região é drenada por quatro grandes bacias hidrográficas, entre elas a do Rio São Francisco (Cherem et al., 2016).



Marques Neto (2014) destaca que, no campo da Geomorfologia, ainda persiste o debate em torno da terminologia empregada para descrever as superfícies erosivas e estruturais, sendo estas geralmente unificadas sob o conceito mais amplo de superfícies geomorfológicas. Segundo o autor, essas superfícies podem ter se formado ao longo de extensos períodos geológicos, ou em intervalos de tempo relativamente curtos, podendo apresentar caráter erosivo, acumulativo ou mesmo uma combinação de ambos. Além disso, podem se desenvolver sobre diferentes tipos litológicos ou sobre uma única litologia (Marques Neto, 2014).

É importante diferenciá-las das chamadas superfícies de aplainamento, as quais correspondem a áreas com estruturas geológicas distintas que foram niveladas sobre uma superfície discordante em relação à estrutura original. Quanto à morfologia, são formas de relevo perceptíveis na superfície terrestre, e podem ser entendidas como extensas superfícies topográficas com baixo gradiente de declividade e relativamente planas (Mantovani; Bueno, 2022).

Também são identificadas como superfícies de erosão, que cortam estruturas diversas, mostrando formas fracamente onduladas, podendo também exibir aspectos levemente ondulados, mamelonados e mesmo nivelados (Guerra; Guerra, 2010). Essas superfícies situam-se acima do nível de base regional e são modeladas por processos erosivos (denudacionais) que podem estar ou não associados a processos de acumulação (agradacionais) (Marques Neto, 2014).

Diante da complexidade e evolução das teorias clássicas, surgiram termos importantes para a caracterização de extensas superfícies, sendo os mais recorrentes reunidos por Vargas, Firmino e Sordi. (2022) (Quadro 1).

A área de interesse da pesquisa compreende as chapadas e depressões da Bacia Sedimentar Sanfranciscana na região norte de Minas Gerais, classificadas por Rodrigues, Augustin e Nazar (2023) como Planalto Conservado do São Francisco, Planalto do São Francisco e Depressão do São Francisco. Mais precisamente, a área delimitada para estudo abrange um quadrante situado na região de Buritizeiro, com 6.199,46 km² (Figura 1). Abriga majoritariamente terras dos interflúvios entre os rios do Sono (que drena para o Paracatu) e do São Francisco, além de pequeno trecho do interflúvio entre o São Francisco e rio das Velhas, e desse com o rio Jeiquitaí (Figura 1).

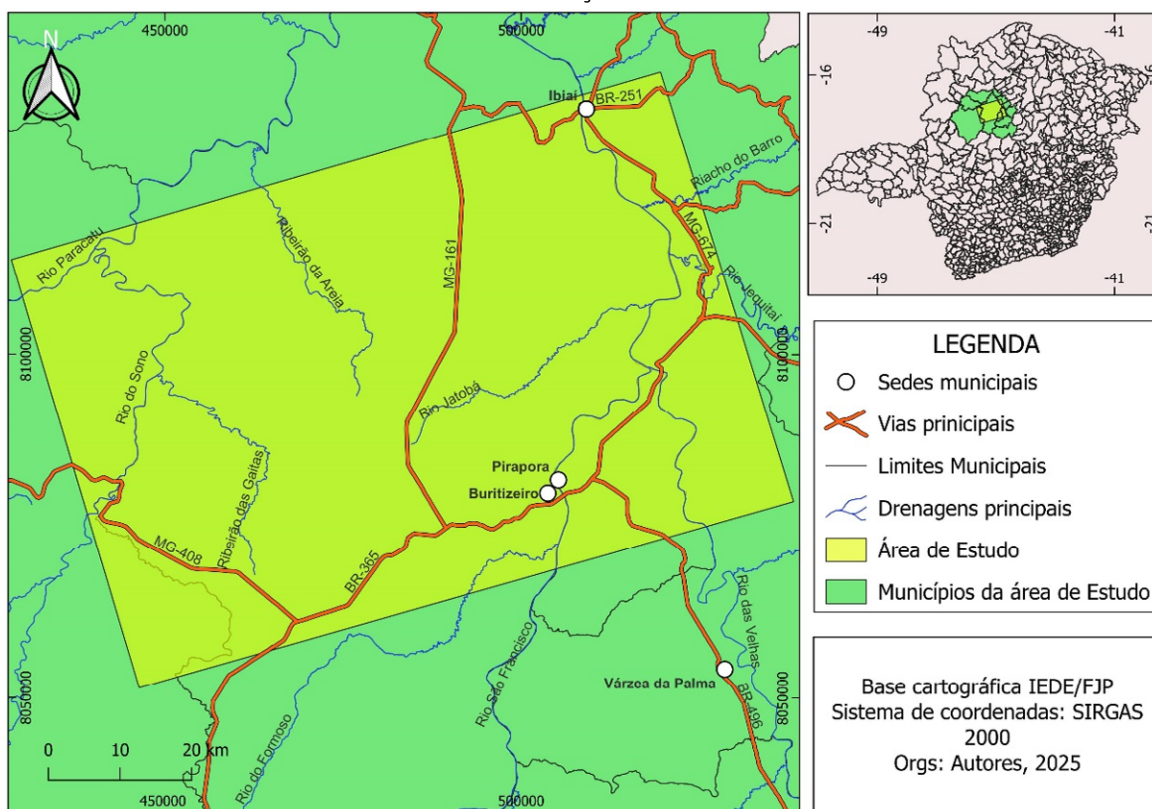


QUADRO 1: Termos frequentemente utilizados para designar superfícies na ciência geomorfológica e suas características-chave.

SUPERFÍCIE	CARACTERÍSTICAS E GÊNESE
Peneplano	Rebaixamento generalizado em escala regional após rápido soerguimento seguindo os pressupostos davisianos.
Pediaplano	Relevo gerado pelo recuo paralelo da vertente (backwearing) em equilíbrio com o nível de base local.
Etchplano	Superfície elaborada a partir de processos de etchplanação, alteração em profundidade e remoção do material superficial.
Superfície de Erosão	Superfície formada por processos de erosão fluvial, eólica e glacial.
Superfície de Denudação	Superfície modelada por processos erosivos em que os materiais foram previamente alterados por processos intempéricos facilitando a ação dos agentes erosivos.
Superfície de Aplanamento e/ou Aplainamento	Formada por qualquer processo que gere uma superfície mais ou menos plana controlada por um nível de base (sem definição genética clara).
Superfície Estrutural	Superfície gerada em decorrência da resistência dos materiais à alteração e erosão, podendo ter influência tectônica em seu processo evolutivo.
Paleosuperfície	Superfícies herdadas, geradas em contextos geotectônicos e climáticos diferentes dos atuais.

FONTE: Vargas et al. (2022).

FIGURA 1 - Localização da área de estudo



FONTE: própria (2025).



A área é caracterizada pela presença do Grupo Bambuí (Proterozoico), sobreposto pelos Grupos Areado, Mata da Corda e Urucuia (Cretáceo), bem como por coberturas lateríticas neogênicas e pelos depósitos aluviais do Quaternário. Seu contexto geomorfológico e variação altimétrica são marcados pela influência do rio São Francisco e seus tributários, com amplas superfícies suavemente planas a onduladas, diferenciadas pelas macrounidades da Superfície do São Francisco e pelos Planaltos e Chapadas (Costa, 2021).

Silva (2016) propôs um mapeamento de superfícies aplainadas para o norte de Minas Gerais, fazendo uso do município de Buritizeiro como uma das áreas amostrais de campo, identificando as superfícies de cimeira (S1), intermediárias (S2) e as depressões interioranas (S3), como heranças e testemunhos de paisagens retrabalhadas, sobretudo no Cenozoico. Em trabalho de campo realizado por Santos Júnior (2023), verificou-se que a área é caracterizada pela presença das superfícies S2 e S3 na Bacia do Ribeirão das Lajes, enquanto a S1 ocorre no Chapadão dos Gerais.

Santos Júnior e Silveira (2022) propuseram uma compartimentação geomorfológica para a bacia do Ribeirão das Lajes, localizada no interior do quadrante da Figura 1. Foram reconhecidas formas residuais posicionadas no interior do Planalto Tabular (Planalto Areado), bem como em frente ao seu *front* escarpado, ou seja, no compartimento de Colinas (Depressão Sanfranciscana). Esses resultados despertaram o interesse em compreender o contexto genético dessas formas residuais na evolução do relevo regional. Mais precisamente, o entendimento do papel dos relevos residuais posicionados no Planalto Tabular e nas Colinas da Depressão Sanfranciscana.

A literatura geomorfológica brasileira reconhece a existência dessas formas residuais inseridas em níveis aplainados e escalonados na região de Buritizeiro, sendo estudados de maneira coerente em escala regional. Com isso, acompanha-se o entendimento da literatura de que os relevos residuais posicionados no Planalto Areado estão associados ao recuo do Chapadão dos Gerais, que corresponde a uma superfície de aplainamento mais antiga. Além disso, os relevos residuais localizados na Depressão Sanfranciscana estão vinculados ao recuo do *front* escarpado do Planalto Areado, que corresponderia a um nivelamento geomorfológico formado posteriormente ao do Chapadão dos Gerais.

Diante da complexidade do tema, este trabalho objetivou identificar as formas residuais presentes em nivelamentos aplainados e escalonados no quadrante delimitado para a região de Buritizeiro, a partir da elaboração de mapas morfométricos e trabalhos de campo. Parte-se do pressuposto de que a ampliação escalar proposta



para a investigação contribuirá com o maior detalhamento sobre os limites dos grandes compartimentos geomorfológicos (distintos níveis aplainados) junto aos seus *fronts* escarpados, bem como o posicionamento dos relevos residuais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos cartográficos da pesquisa vinculam-se à aplicação de técnicas quantitativas derivadas de Modelos Digitais de Elevação (MDE), utilizando dados de altitude provenientes da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (USGS, 2015), com resolução espacial de 30 metros. O processamento se deu nos software QGIS 3.36.2 e complemento do SAGA GIS 9.3.1, que são ferramentas amplamente utilizadas em estudos geomorfológicos (Wilson; Gallant, 2000; Florenzano, 2002).

A base cartográfica foi organizada a partir da extração de curvas de nível com equidistância de 40 metros e rede de drenagem adquirida a partir do banco de dados da IEDE/FGV. Foram organizados os mapas morfométricos de Hipsometria, Declividade, Índice de Posição Topográfica (IPT) e Índice de Rugosidade do Terreno (IRT), na escala 1:100.000.

A hipsometria foi empregada para identificar e categorizar as faixas altimétricas predominantes na área de estudo, com classes definidas conforme estudos geomorfológicos realizados em Buritizeiro e região (Viana, 2006; Melo, 2008; Augustin, Melo e Aranha, 2009; Oliveira, 2018). Saadi (1998) aponta a importância dessa técnica, ao permitir a análise da distribuição das elevações e a inferência sobre os níveis de aplainamento e processos de dissecação do relevo. As classes altimétricas foram definidas com base em intervalos de 100 metros (≤ 500 a ≥ 800 m), possibilitando a visualização das superfícies elevadas e das depressões relativas, servindo como subsídio à interpretação evolutiva do relevo.

O mapa de declividade gerado expressa a inclinação do terreno em porcentagem (%), categorizado conforme intervalos sugeridos por Silva e Lupinacci (2021), fundamentados em De Biasi (1970, 1992), Lei 6.766 (Brasil, 1979) e Lei 12.651 (Brasil, 2012). Foi organizado a partir da ferramenta “Análise de Declividade”, encontrada no menu *Raster*.

O Índice de Posição Topográfica (*Topographic Position Index* – TPI/IPT) foi calculado a partir da diferença entre a elevação de um ponto e a média de elevações em seu entorno imediato (Silveira; Silveira, 2017). Valores positivos indicam cristas ou topos de morros, enquanto valores negativos indicam vales ou depressões (Weiss, 2001). As classes do IPT foram definidas como: vales com incisão fluvial, baixas vertentes dissecadas, altas e médias vertentes suavemente convexas a planas, topos e altas vertentes planas a suavemente convexas, rebordos escarpados e topos aguçados.



A utilização do IPT é eficaz na identificação de unidades morfoesculturais e feições residuais, como morros testemunhos e *inselbergs*, permitindo a discriminação morfológica com base na posição relativa do relevo (Weiss, 2001). Silveira e Silveira (2017) apontam a potencialidade do uso do IPT na cartografia geomorfológica, em conjunto com outras variáveis morfométricas, sendo possível mensurar dimensões morfométricas, morfográficas, morfogenéticas, morfodinâmicas e morfocronológicas.

O Índice de Rugosidade do Terreno (*Terrain Ruggedness Index* – TRI/IRT) foi aplicado com o objetivo de quantificar a variabilidade altimétrica da superfície. O IRT mede a variação de elevação entre um pixel e seus vizinhos, sendo eficiente para indicar o grau de dissecação do terreno (Riley, De Gloria e Elliot, 1999). Áreas com valores altos de IRT indicam maior irregularidade topográfica, associada a processos erosivos intensos ou a estruturas geológicas resistentes à erosão (Riley et al., 1999). Os índices calculados resultaram nas classes: nivelado, quase nivelado, moderadamente rugoso, rugoso e muito rugoso.

A análise integrada desses mapeamentos permitiu a observação dos diferentes níveis aplainados e escalonados da área pesquisada, bem como o posicionamento dos relevos residuais presentes nesses nivelamentos, como apresentado a seguir. Esses níveis e formas residuais também foram observados em campo.

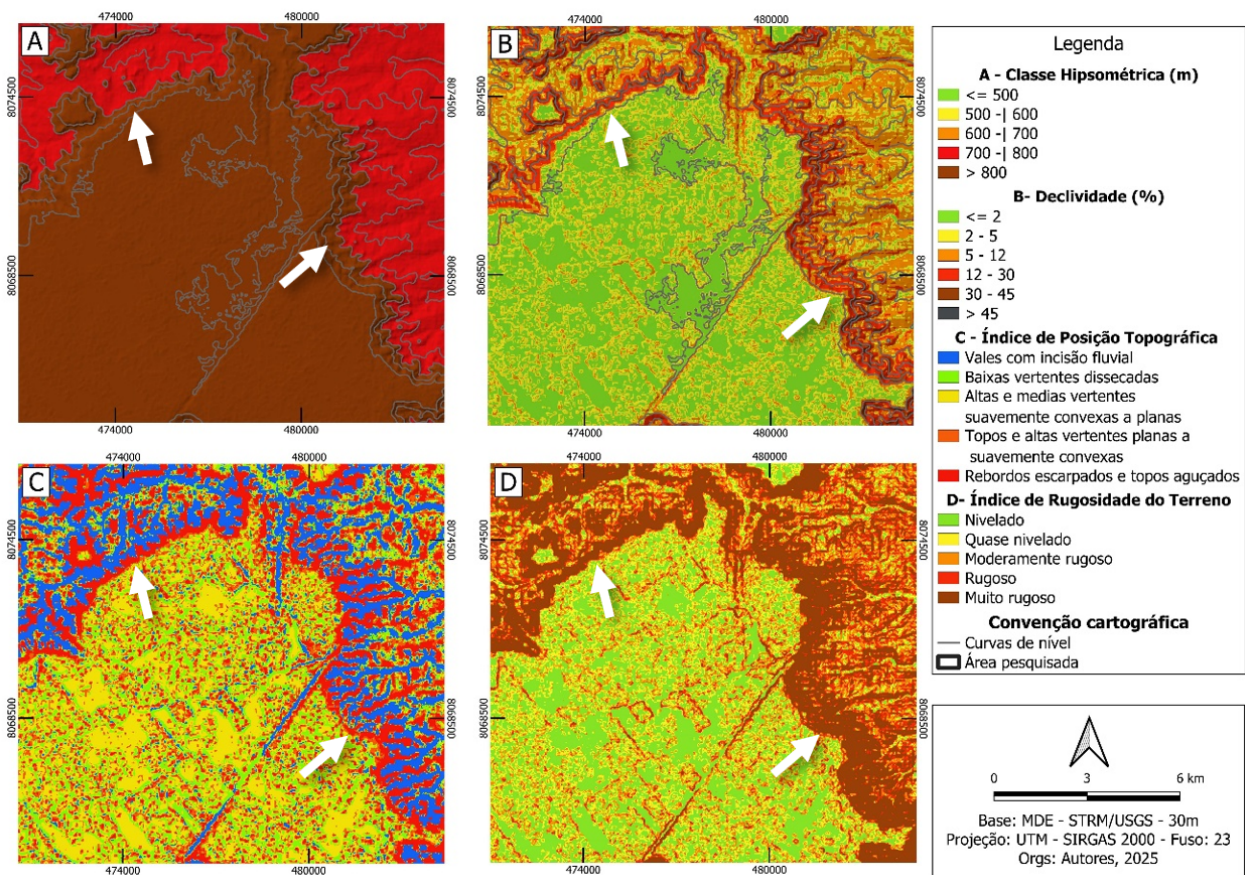
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na área investigada, identificam-se três níveis aplainados, delimitados por escarpamentos, o que resulta no escalonamento dos seguintes compartimentos: Planalto de Cimeira (Chapadão dos Gerais), Planalto Intermediário (Planalto Areado) e Depressão Sanfranciscana, tendo como nível de base regional o rio São Francisco.

O Chapadão dos Gerais (Fig. 2) apresenta as maiores altitudes da área pesquisada, com cotas altimétricas superiores a 800 metros (Fig. 2A), caracterizando-se como a superfície mais antiga do setor analisado. A declividade (Fig. 2B) varia de ≤ 2 a 5% nos topos, predominando a classe de 30 a 45% nas bordas erosivas. O IPT (Fig. 2C) evidencia o topo suavemente convexo a plano, circundado por rebordos erosivos e vales com incisão fluvial. Quanto o IRT desse compartimento, a classe predominante no topo é de “nivelado” a “quase nivelado”, enquanto nas bordas predominam a classificação de “rugoso” a “muito rugoso” (Fig. 2D).



FIGURA 2 - Parâmetros morfométricos do compartimento Chapadão dos Gerais.



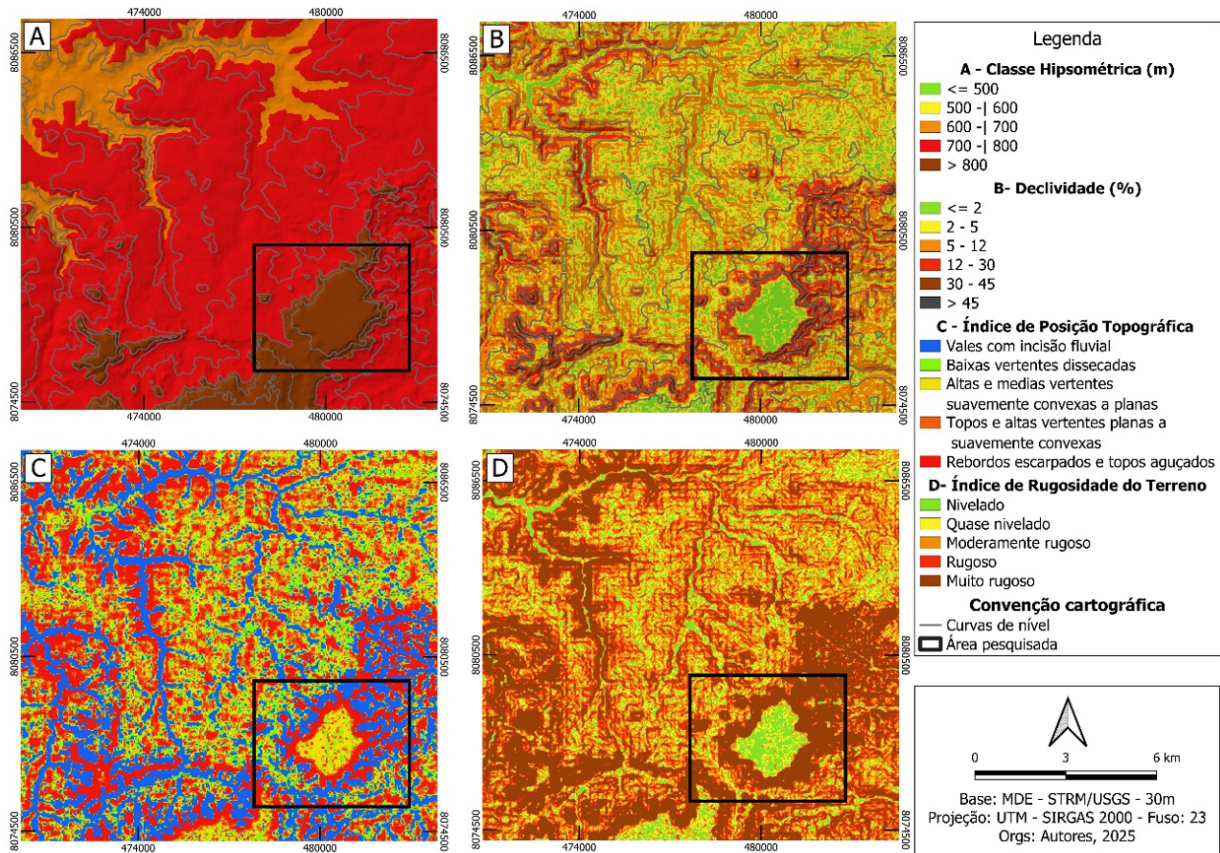
FONTE: própria (2025).

Silveira e Silveira (2017) apontam que os níveis escalonares são bordados por escarpas erosivas, representando a erosão diferencial entre duas superfícies, com a presença de processos agradacionais (planícies e terraços) e denudacionais (colinas e topos tabulares). Dessa maneira, observou-se que a transição entre o Chapadão dos Gerais (Superfície de Cimeira) e o Planalto Intermediário (Areado) é marcada por uma escarpa erosiva bem definida, conforme observado nos quadrantes da Figura 2, indicados pelas setas brancas. As declividades são superiores a 30% (Fig. 2B), enquanto o IPT evidencia o rebordo escarpado (Fig. 2C) e o IRT indica terreno muito rugoso (Fig. 2D). A partir desses parâmetros, verifica-se o forte potencial erosivo desses setores, com recuo do *front*.

Em frente ao *front* desse escarpamento, verifica-se a existência de relevos residuais que conservam semelhanças com o Chapadão do Gerais, como observado nos retângulos da Figura 3. As cotas altimétricas dessa forma residual destacada condizem com a superfície de cimeira (≥ 800 metros, Fig. 3A), bem como com a baixa declividade ($\leq 2\%$) no topo e íngreme ($> 12\%$) nas bordas (Fig. 3B). Referente ao IPT, os topos são planos a suavemente convexas, ladeados por rebordo escarpado com incisões fluviais (Fig. 3C). O IRT dessa feição residual é predominantemente nivelado no topo e rugoso a muito rugoso nas bordas.



FIGURA 3 - Detalhamento de relevo residual localizado em frente ao *front* escarpado do Chapadão dos Gerais.



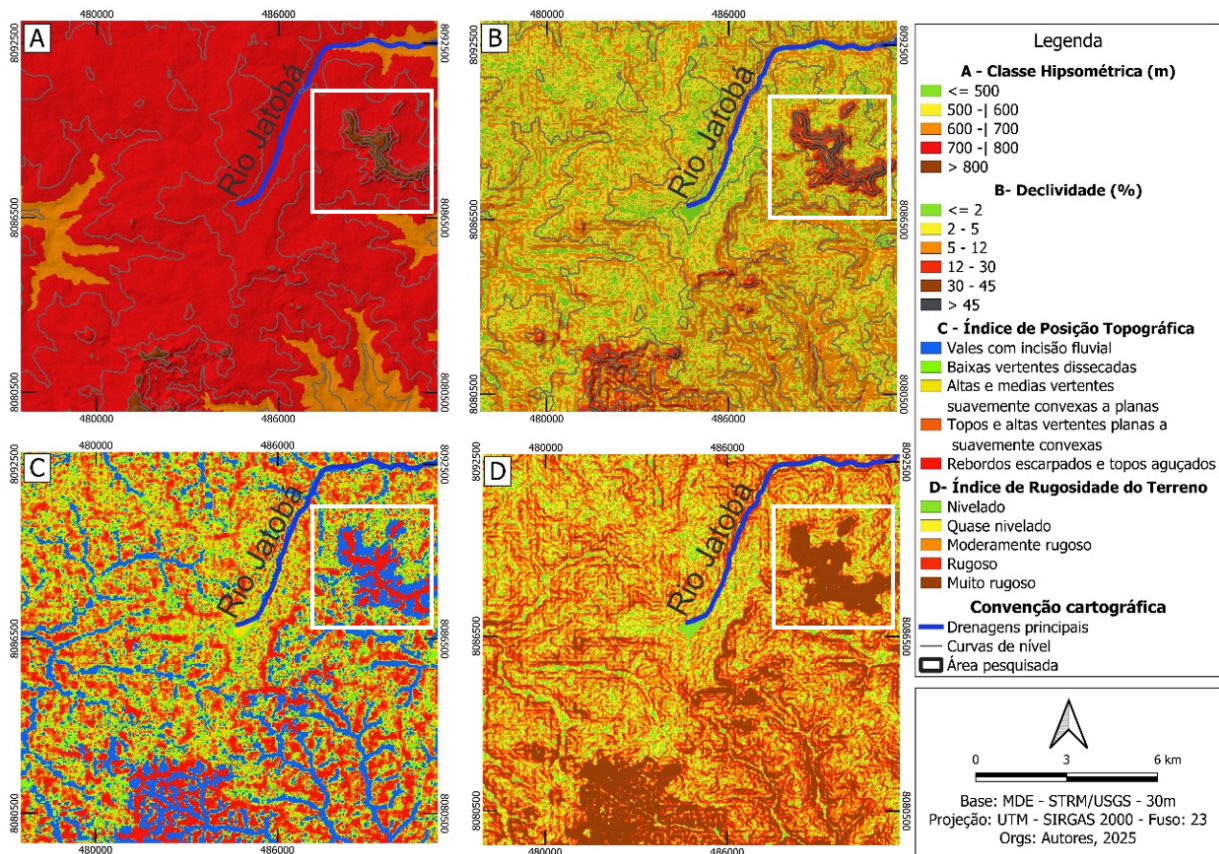
FONTE: própria (2025).

A partir da base desse escarpamento (Chapadão dos Gerais), identifica-se o nível aplainado intermediário que corresponde ao Planalto Areado (Figura 4), apresentando cotas altimétricas (Figura 4A) de 700 a 800 metros e de 600 a 700 metros em seu rebordo erosivo. A declividade (Figura 4B) corresponde ao domínio da classe ≤ 2 a 5% no topo e 5 a 30% ao longo dos canais fluviais.

O Planalto Areado apresentou maior variabilidade nos parâmetros de IPT (Figura 4C) e IRT (Figura 4D). Verificou-se a presença de incisões fluviais em toda a sua extensão, com baixas vertentes dissecadas, bem como altas e médias vertentes suavemente convexas a planas. Os topos apresentaram-se planos a suavemente convexas. Essa unidade é bem demarcada por rebordos erosivos em sua transição com a Depressão Sanfranciscana e com o Chapadão dos Gerais.



FIGURA 4 - Parâmetros morfométricos do compartimento Intermediário - Planalto Areado.



FONTE: própria (2025).

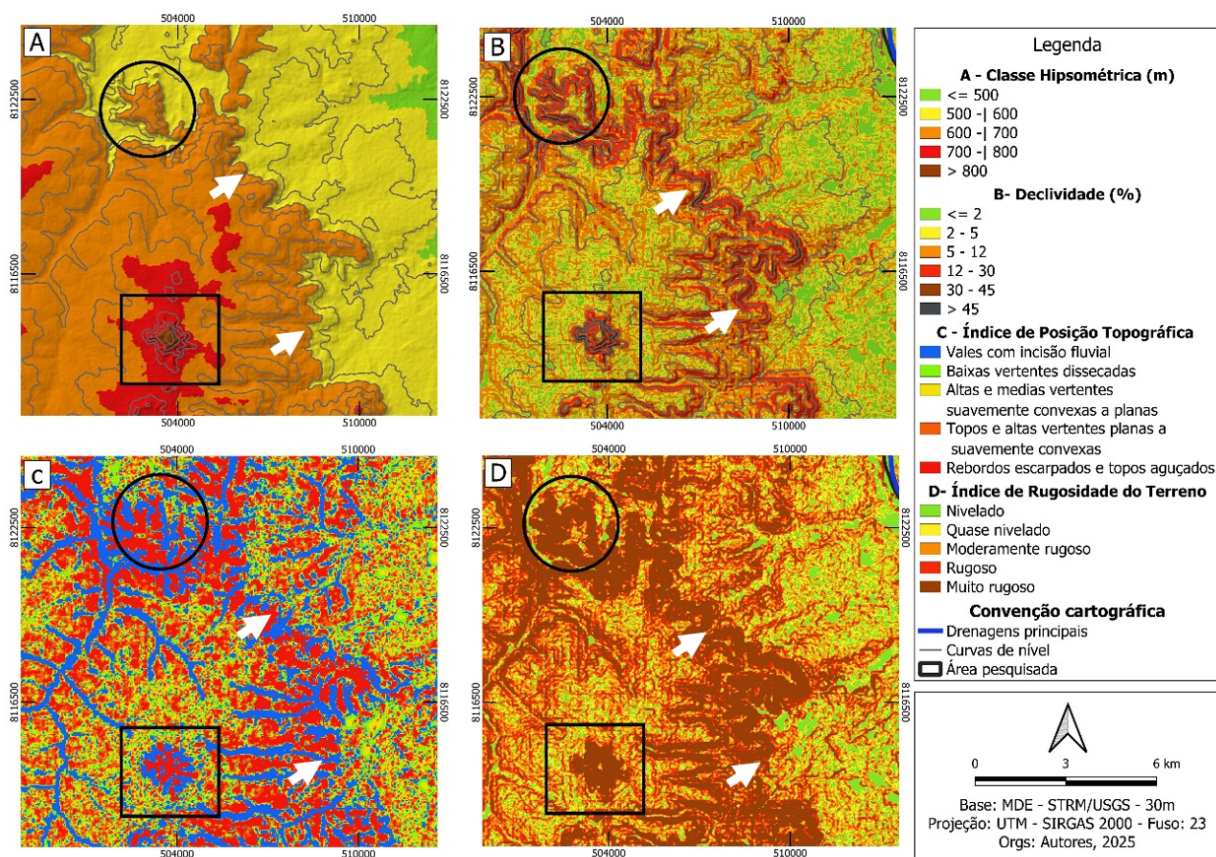
O nível Intermediário (Planalto Areado) apresenta parâmetros de IRT nos topos e médias vertentes com classes de “nivelado” a “quase nivelado”, ao passo que nos fundos de vale apresenta-se “moderadamente rugoso” a “rugoso”. As áreas de rebordos escarpados e de terrenos com altimetrias superiores a 800 metros apresentam classes de “rugoso” a “muito rugoso”.

Observa-se que as formas com cotas acima de 800 metros (Figura 5A) no Planalto Areado se constituem em relevos residuais, como destacado na Figura 4, a partir de retângulos brancos, representando a “Serra” do Jatobá. Esta forma residual se apresenta com declividades acentuadas (Figura 5B), de 30 a 45% e $\geq 45\%$. O mesmo é observado na transição entre o Planalto Areado e a Depressão Sanfranciscana, com presença de formas residuais em frente ao rebordo erosivo (Figura 5). Essa transição é marcada por um escarpamento, como indicado pelas setas brancas na Figura 5.

As formas residuais que estão no Planalto Areado, em geral, apresentam IPT com vales com incisões fluviais, o que denota processos erosivos bastante atuantes sobre os mesmos (Figura 5C). O IRT corrobora essa afirmativa, visto que essas feições são classificadas como “rugoso” a “muito rugoso” (Figura 5D).



FIGURA 5 - Formas residuais no Planalto Areado e em frente ao seu *front* escarpado, na Depressão Sanfranciscana.



FONTE: própria (2025).

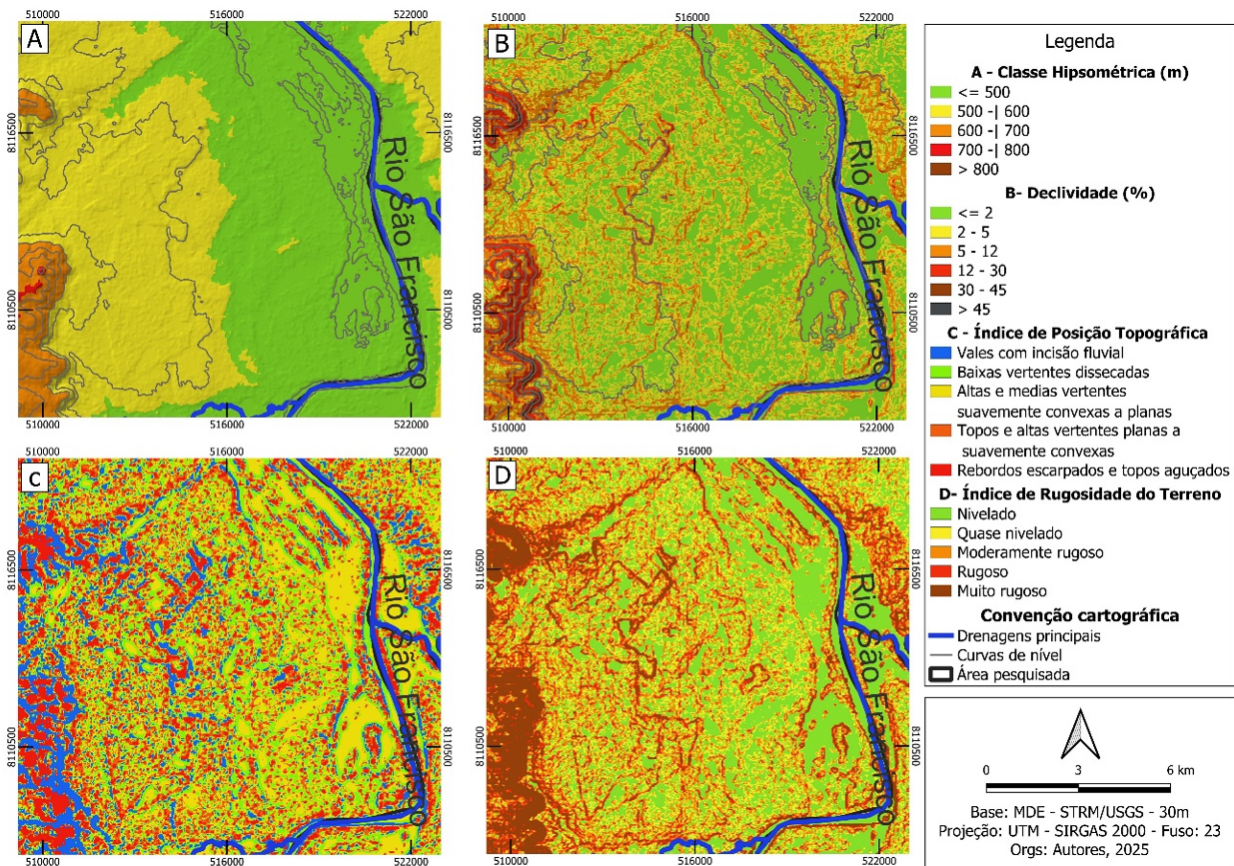
A transição entre o Planalto Areado e a Depressão Sanfranciscana é marcada por uma escarpa bem definida, conforme indicado pelas setas brancas na Figura 5, de forma semelhante ao que ocorre na borda do Chapadão dos Gerais com o Planalto Areado. Esse escarpamento revela a presença de formas residuais destacadas em frente ao *front* escarpado, implantadas sobre as colinas da Depressão, evidenciadas pelos círculos pretos da Figura 5.

Essas formas residuais situadas em altitudes entre 600 e 700 metros, constituem remanescentes topográficos que contrastam com a morfologia suavizada da Depressão circundante. A análise do IPT revela que, nessas feições residuais, predominam classes associadas a rebordos escarpados e topos aguçados, intercalados por incisões fluviais marcantes (Figura 5C). No tocante ao IRT, as laterais dessas formas são bastante rugosas, enquanto os topos apresentam rugosidade moderada (Figura 5D).

No que se refere à declividade, as encostas apresentam valores elevados, variando entre 30 e $\geq 45\%$, caracterizando-se como encostas íngremes. Já os topos dessas formas residuais mostram declividades moderadas, entre 12 e 30% (Figura 5B), reforçando sua distinção morfológica em relação aos parâmetros morfométricos da Depressão Sanfranciscana (Figura 6).



FIGURA 6 - Parâmetros morfométricos do compartimento da Depressão Sanfranciscana.



FONTE: própria (2025).

A Depressão Sanfranciscana corresponde ao terceiro nível aplainado do escalonamento do quadrante investigado (Figura. 1), caracterizada por altitudes que variam entre ≤ 500 metros a 600 metros (Figura 6A), com declividades reduzidas, predominantemente entre ≤ 2 a 5% (Figura 6B). No IPT predominam as classes associadas a altas e médias vertentes suavemente convexas a planas (Figura 6C). Já o IRT indica domínios das classes "nivelado" a "quase nivelado" (Figura 6D), evidenciando a baixa rugosidade do relevo.

Nesse compartimento geomorfológico são encontradas formas típicas como colinas, terraços fluviais e planícies, conforme descrito por Santos Júnior e Silveira (2022). A observação em campo (Figura 7) confirma a compartimentação escalonada da paisagem geomorfológica em três compartimentos principais, juntamente a seus relevos residuais associados. A correspondência entre as formas observadas *in loco* e os parâmetros morfométricos obtidos por meio do mapeamento digital (hypsometria, declividade, IPT e IRT) reforça a validade dos critérios adotados na delimitação dessas superfícies e de suas formas residuais.



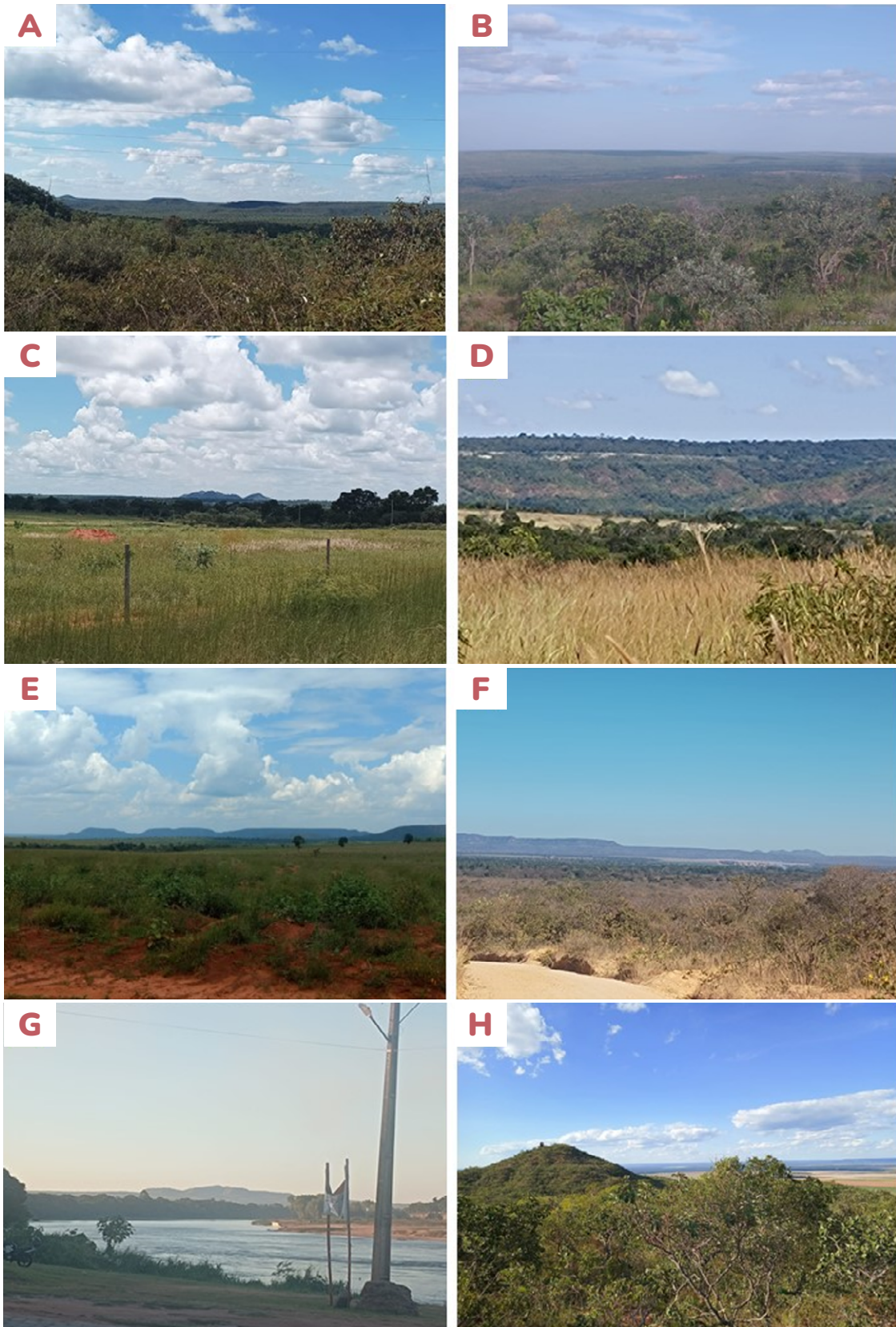
Destacam-se, em especial, as amplas áreas com formas suavemente convexas a planas, que ocorrem predominantemente nos topos e nas altas vertentes do Chapadão dos Gerais (Figura 7A), no Planalto do Areado (Figura 7C) e também sobre as colinas suavizadas da Depressão Sanfranciscana (Figura 7F). Esses padrões morfológicos, característicos de níveis aplainados preservados, corroboram a interpretação de que essas unidades resultam de diferentes estágios erosivos da evolução da paisagem, vinculadas também ao controle estrutural.

Além disso, são nítidas as rupturas topográficas que demarcam as transições entre esses compartimentos, expressas por rebordos escarpados bem definidos. Esses limites ocorrem entre o Chapadão dos Gerais e o Planalto Areado, bem como entre este patamar intermediário e a Depressão Sanfranciscana, como ilustrado, respectivamente, nas Figuras 7B e 7D. Tais discontinuidades evidenciam processos de recuo de escarpas e denotam a atuação da dissecação junto ao controle litoestrutural ao longo do tempo geológico.

As formas residuais também são expressivas e se destacam ao longo de todos os compartimentos analisados, evidenciando-se como remanescentes da paisagem geomorfológica, que resistiram à dissecação diferencial. Essas formas estão presentes em todo o mosaico representado na Figura 7, com destaque especial nas Figuras 7E e 7H. A primeira refere-se à “Serra” do Jatobá, uma elevação residual isolada inserida nos domínios do Planalto Areado; enquanto a segunda representa um residual localizado sobre as colinas da Depressão Sanfranciscana, situado nas proximidades do geossítio da Pedra do Itacolomi.



FIGURA 7 - A: Chapadão dos Gerais; B: Rebordo escarpado dos Gerais; C: Planalto Areado; D: Rebordo escarpado do Planalto Areado; E: Forma Residual sobre o Areado, “Serra” do Jatobá; F: Depressão Sanfranciscana, colinas; G: Depressão Sanfranciscana, planície; H: Formas residuais sobre as colinas da Depressão Sanfranciscana.



FOTOS: Santos Júnior (2025).



Essas formas, pela sua topografia elevada e morfologia distinta, reforçam a interpretação de que o relevo atual é resultado de processos de rebaixamento diferencial, onde unidades residuais preservam altitudes e estruturas mais resistentes à erosão, compondo importantes marcos da história geomorfológica regional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada dos compartimentos geomorfológicos da área investigada — Chapadão dos Gerais, Planalto do Areado e Depressão Sanfranciscana — permitiu a identificação de níveis aplainados e escalonados na paisagem, fortemente condicionados pelo recuo de escarpamentos erosivos e diferenciações altimétricas. Essa organização em níveis sucessivos foi confirmada por meio da aplicação de parâmetros morfométricos derivados de Modelos Digitais de Elevação (MDE), como hipsometria, declividade, Índice de Posição Topográfica (IPT) e Índice de Rugosidade do Terreno (IRT), os quais se mostraram eficazes na delimitação dos nivelamentos aplainados e na distinção de suas formas residuais.

Destaca-se a identificação dessas formas residuais associadas às três unidades geomorfológicas. Essas formas, expressas por elevações isoladas representam fragmentos preservados de antigas superfícies, como remanescentes morfológicos que resistiram ao rebaixamento diferencial da paisagem. As formas residuais localizadas sobre o Planalto do Areado, como a Serra do Jatobá, e aquelas situadas sobre as colinas da Depressão Sanfranciscana, próximas ao geossítio da Pedra do Itacolomi, revelam importantes marcos da evolução do relevo regional.

A combinação dos parâmetros morfométricos possibilitou a identificação dos patamares altimétricos e das formas residuais por caracterização quantitativa, distinguindo morfologias como topos planos e suavemente convexos de bordas escarpadas e íngremes, com diferentes graus de rugosidade. Essa diferenciação de compartimentos e formas residuais reforça a interpretação de que a paisagem atual é resultado de intensos processos de dissecação e erosão diferencial, que atuaram seletivamente sobre as distintas litologias e estruturas regionais.

Desse modo, os procedimentos cartográficos adotados neste estudo demonstram a relevância da análise morfométrica como suporte técnico à interpretação dos compartimentos e das formas residuais que compõem o mosaico geomorfológico do quadrante estudado.



REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Compartimentação topográfica e domínios de sedimentação Pós-Cretácios do Brasil**. 80f. Tese (Concurso para a cadeira de Geografia Física) - Depto. Geografia, Universidade Federal do Paraná. 1962.
- ALMEIDA, F. F. M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo. n. 41, p. 169- 263. 1964.
- AUGUSTIN, C. H. R. R; MELO, D. R. de; ARANHA, P. R. A. Aspectos geomorfológicos de Veredas: um ecossistema no bioma Cerrado, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**: v. 10, nº 1, p.103-114, 2009.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. M.; SILVA, J. X. Processes and Environments of the Brazilian Quaternary. In: **INQUA Congress**, 10, 1965, Rio de Janeiro. Caderno Especial. Rio de Janeiro: UFRJ, 1965, 156p.
- BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. 19 dez. 1979. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 25 maio 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm.
- BRAUN, O. P.G. Contribuição a Geomorfologia do Brasil Central. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro. v. 32, n. 3, p. 3-40. 1970.
- BÜDEL, J. Die "Doppelten Einebnungsflächen" in den Fenchten Tropen. **Zeits. Fur Geomorph.**, 1 (2), p. 201-228, 1957.
- CHEREM, L.F.S.; VARAJÃO, C.A.C.; BRAUCHER, R.; BORLÉS, D.; SALGADO, A.L.A.; VALADÃO, R.C. Long-term evolution of denudational escarpments in southeastern Brazil. **Geomorphology**, 173-174, 18–127, 2012.
- DAVIS, W. M. The Geographical Cycle. **Geographical Journal**, 14 p. 481-504, 1899.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0004>.
- DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**. São Paulo: n. 21, p. 8-13, 1970.
- DE MARTONNE, E. Problemas morfológicos do Brasil Tropical Atlântico. **Revista Brasileira de Geografia**, São Paulo. v. 5, n. 4, p. 532-550, 1943.
- FLORENZANO. T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Texto, 2002. 97 p.
- GUERRA, A.T; GUERRA, A.J.T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8ª Ed. Rio de janeiro: Bertrand Brasil, 2010, 652p.
- KING, L. C. A. A geomorfologia do Brasil oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 18, n/ 2, p. 3-121, 1956.
- MANTOVANI, J. R.; BUENO, G. T. Uma proposta metodológica para o mapeamento de superfícies de aplanamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 23(2), 1456–1480, 2022.
- MARQUES NETO, R. As Superfícies Geomorfológicas e a Evolução do Relevo Brasileiro: transcurso das ideias e correspondências no sul de Minas Gerais, sudeste do Brasil. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 32, 267–295, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5380/raega.v32i0.33726>.
- MELO, D.R. **Evolução das Veredas sob Impactos Ambientais nos Geossistemas Planaltos de Buritizeiro/MG**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2008.
- OLIVEIRA, M.D.N. **Susceptibilidade potencial à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão da Areia – Buritizeiro, MG** [manuscrito]: uma análise geográfica com ênfase na geomorfologia. Dissertação (Mestrado em Geografia). Unimontes, PPGeo, 2018.
- PEULVAST, J.P.; CLAUDINO-SALES, V. C. Aplainamento e geodinâmica: revisitando um problema clássico em geomorfologia. **Mercator**, 1, n.1, 114-150, 2002.
- RILEY, S. J.; DE GLORIA, S. D.; ELLIOT, R. A Terrain Ruggedness Index That Quantifies Topographic Heterogeneity. **Intermountain Journal of Sciences**, v. 5, n. 1-4, p. 23-27, 1999.



- RODRIGUES, S. C.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; NAZAR, T. I. S. M. Mapeamento Geomorfológico do Estado de Minas Gerais: uma proposta com base na morfologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [s. l.], v. 24, n. 1, 31 mar. 2023. DOI: 10.20502/rbg.v24i1.2233. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2233>. Acesso em: 1 abr. 2025.
- ROSS, J. L. S. O Relevo Brasileiro, as Superfícies de Aplanamento e os Níveis Morfológicos. **Revista Do Departamento De Geografia**, 5, 7-24, 2011.
- SAADI, A. Modelos Morfogenéticos e Tectônica Global: Reflexões Conciliatórias. **Geonomos**, Belo Horizonte, 1 dez. 1998. DOI: 10.18285/geonomos.v6i2.170.
- SALGADO, A. A. R. Superfícies de aplainamento: antigos paradigmas revistos pela ótica dos novos conhecimentos geomorfológicos. **Revista Geografias**, 3(1), 64–78, 2007. DOI: <https://doi.org/10.35699/2237-549X.13218>.
- SANTOS JÚNIOR, A. das G. J. dos, SILVEIRA, A. Compartimentação geomorfológica da Bacia do Ribeirão das Lajes – Buritizeiro (MG). **Revista Geografias**, 18(2), 86–107, 2022. <https://doi.org/10.35699/2237-549X.2022.45267>.
- SANTOS JÚNIOR, A. G. J. **Ações antropogênicas e implicações geomorfológicas na bacia do Ribeirão das Lajes (Buritizeiro-MG)**: Enfoque na dinâmica de veredas. 2023. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Geografia, Uberlândia, 2023. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2023.1687>.
- SILVA, T.M. Superfícies Geomorfológicas do Brasil Sudeste Brasileiro: revisão teórico-conceitual. **Geo UERJ**, Ano 11, v.3, n.20, 1-22, 2009.
- SILVA, M. L. Mapeamento de superfícies aplainadas no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 02, p. 526-545, 2016.
- SILVA, M. M.; LUPINACCI, C. M. Análise de variáveis morfométricas da Alta Bacia do Ribeirão da Boa Vista- Corumbataí (SP): subsídios ao planejamento ambiental de paisagem rural em escala de detalhe. **Geografia**, Rio Claro - SP: v.46, n.1, 2021. ISSN: 19838700. DOI: <https://doi.org/10.5016/geografia.v46i1.15451>.
- SILVEIRA, C. T. da; SILVEIRA, R. M. P. Índice de Posição Topográfica (IPT) para classificação geomorfométrica das formas de relevo no Estado do Paraná – Brasil. **Revista Ra'e Ga**, v. 41, p. 98-130, 2017.
- USGS. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global (30 m). Sioux Falls: United States Geological Survey, 2015. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- VALADÃO, R. C. **Evolução de longo-termo do relevo do Brasil Oriental**: desnudação, superfície de aplanamento e movimentos crustais. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar). Salvador, Universidade Federal da Bahia, 1998.
- VALADÃO, R. C. Geodinâmica de superfícies de aplanamento, desnudação continental e tectônica ativa como condicionantes da megageomorfologia do Brasil oriental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, 2009. p. 77-90.
- VARGAS, K. B.; FIRMINO, I. G.; SORDI, M. V. de. Superfícies geomorfológicas e modelos clássicos de evolução do relevo. In: Carvalho Júnior, O. A. de *et al.* (org.). **Revisões de literatura da geomorfologia brasileira**. Brasília: Calíandra, 793-812, 2022. Disponível em: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/view/376/593/6659>. Acesso em: 25 mar. 2025.
- VIANA, V. M. F. C. **Estudo geológico ambiental das veredas do Rio do Formoso no município de Buritizeiro, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, 2006.
- WEISS, A. Topographic position and landforms analysis. **ESRI User Conference**, San Diego, California, 2001. Disponível em: http://www.jennessbnt.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf.
- WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (org.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: Wiley, 2000. 479 p.



GEOMORFOLOGIA DA REGIÃO CENTRO-SUL DO ESTADO DO CEARÁ

João Bandeira da Silva ¹ |

PALAVRAS-CHAVE: Relevo; Mapeamento Geomorfológico; Caracterização Geomorfológica.

RESUMO

A paisagem geomorfológica do estado do Ceará compreende formas de relevo que aconteceram com eventos endógenos e exógenos durante as aglutinações e separações de quatro supercontinentes Columbia, Rodínia, Panótia e Pangea; a Orogenia Brasileira (665 - 550 Ma) e Fissão do Gondwana (100 ma). Como a Geomorfologia se importa em explicar as formas de relevo, usa-se o mapeamento geomorfológico para representar. Na região Centro-Sul do Ceará há poucas pesquisas sobre as formas de relevo. O trabalho se assegura no mapeamento das feições geomorfológicas da mesma. A pesquisa tem caráter exploratório, para caracterização do problema, classificação e definição. Foi possível mapear na região de estudo as morfologias: Depressões Alúvio-Coluvionares, Baixo Platô, Baixo Platô Dissecado, Platô, Rampas de Colúvio e Tabuleiro na porção da Bacia Sedimentar Iguatu; a Superfície Sertaneja, com as formas de Alinhamento de Cristas, Cristas, Superfície Dobrada e Superfície Conservada; e os Planaltos Residuais, com a morfologia dos Maciços Residuais Cristalinos. Este trabalho teve como objetivo caracterizar e mapear as formas de relevo da região Centro-Sul do estado do Ceará.

¹ Mestrando do PROPGEIO da Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA,
joao.bandeira.silva05@gmail.com



INTRODUÇÃO

A Geomorfologia é uma ciência e subárea da Geografia Física que têm como objeto de estudo as formas de relevo na superfície terrestre. Conforme Christofolletti (1980), as formas representam a expressão espacial de uma superfície com distintas configurações na paisagem.

A paisagem geomorfológica do estado do Ceará compreende formas de relevo que decorrem de eventos endógenos e exógenos durante as aglutinações e separações de quatro supercontinentes - Columbia, Rodínia, Panótia e Pangea; a Orogenia Brasileira (665 - 550 Ma) e Fissão do Gondwana (100 ma) (Matos, 1992; Brito Neves; Campos Neto; Fuck, 1999; Claudino-Sales, 2016).

Os relevos atuais foram decorridos de eventos naturais do período Pleistocênico. A compartimentação topográfica comporta formas desenvolvidas em terrenos do embasamento cristalino, em áreas de capeamentos sedimentares e com uma dinâmica de influências da estrutura geológica, fatores paleoclimáticos e eustáticos, e a morfogênese atual (Souza; Lima; Paiva, 1979).

Os Domínios Morfoestruturais das Bacias Sedimentares Paleomesozoicas, segundo Souza (1988), representam as bacias sedimentares abertas por *rifts* durante o Paleozoico e Mesozoico, em cujas unidades há platôs sedimentares em formas de chapadas, cuevas e *glint*, como também a abertura de *rifts* no período do Cenozóico, nas bacias sedimentares interioranas do estado (Brasil, 1981; Souza, 1988; Brito Neves; Campos Neto; Fuck, 1999; Peulvast *et al.*, 2008; Claudino-Sales, 2016).

Já o Domínio dos Escudos e Maciços Antigos incluem como formas os maciços cristalinos, superfícies de aplainamento, *inselbergs* e cristas que fazem parte da plataforma continental. E os Depósitos Sedimentares Cenozóicos, estão distribuídos na fachada atlântica, representam as formas de relevo da margem continental do Ceará, como os tabuleiros costeiros, planícies fluviolacustres, na faixa continental entre a superfície sertaneja e os maciços residuais, que são as planícies fluviais, terraços fluviais, áreas de colúvio e entre outras formas de agradação (Souza; Lima; Paiva, 1979; Souza, 1988; Dantas *et al.*, 2014; Claudino-Sales, 2016).

A Geomorfologia tem o interesse de explicar essas formas e construir o conhecimento geomorfológico associando-se à importância do relevo como suporte à humanidade (Simon; Lupinacci, 2019).

Assim, uma das formas de representar o relevo é a partir do mapeamento geomorfológico que é a base das pesquisas, tanto de cunho ambiental e planejamento territorial quanto de representação sintética do relevo. Diante desses pressupostos,

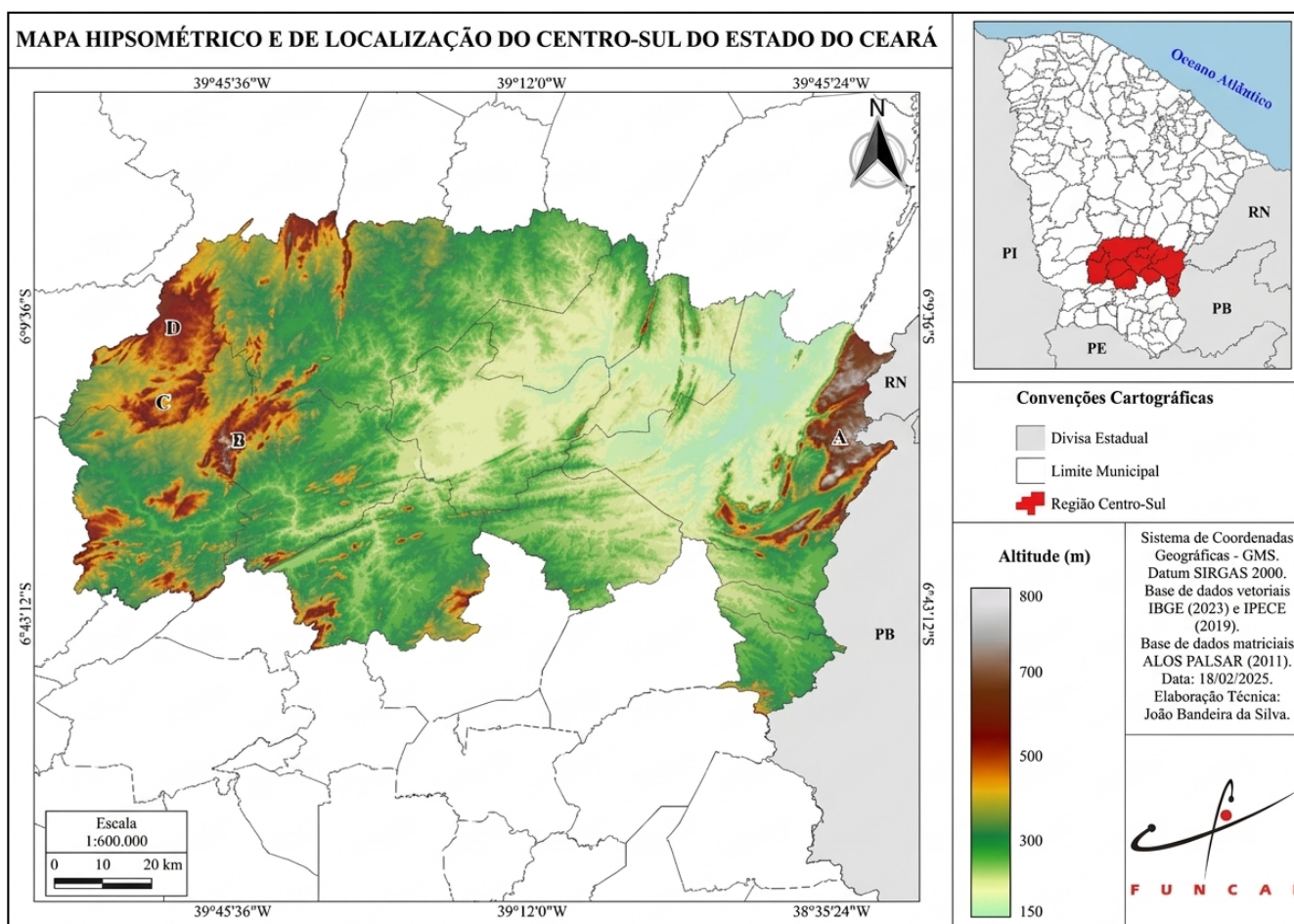


o presente trabalho tem como objetivo caracterizar e mapear as formas de relevo da região Centro-Sul do estado do Ceará, para a qual há pouca pesquisa sobre as formas de relevo constituintes.

ÁREA DE ESTUDO

A região Centro-Sul do estado do Ceará (Mapa 1), encontra-se há aproximadamente 353 km da capital cearense, Fortaleza. Comporta 13 municípios: Acopiara, Baixio, Cariús, Catarina, Cedro, Icó, Iguatu, Ipaumirim, Jucás, Orós, Quixelô, Saboeiro e Umari.

MAPA 1 – Localização da área de estudo: Maciço Serra do Pereiro (A), Maciço Serra do Mota (B); Maciço Serra da Tomásia (C); Maciço Serra Catarina (D).



FONTE: Organizado pelo autor com os dados geospaciais dos limites municipais do estado do Ceará e da região de planejamento Centro-Sul Cearense do IPECE (2019), Divisa Estadual do Brasil do IBGE (2023) e imagem de radar do ALOS PALSAR (2011) com 10 metros de resolução espacial.

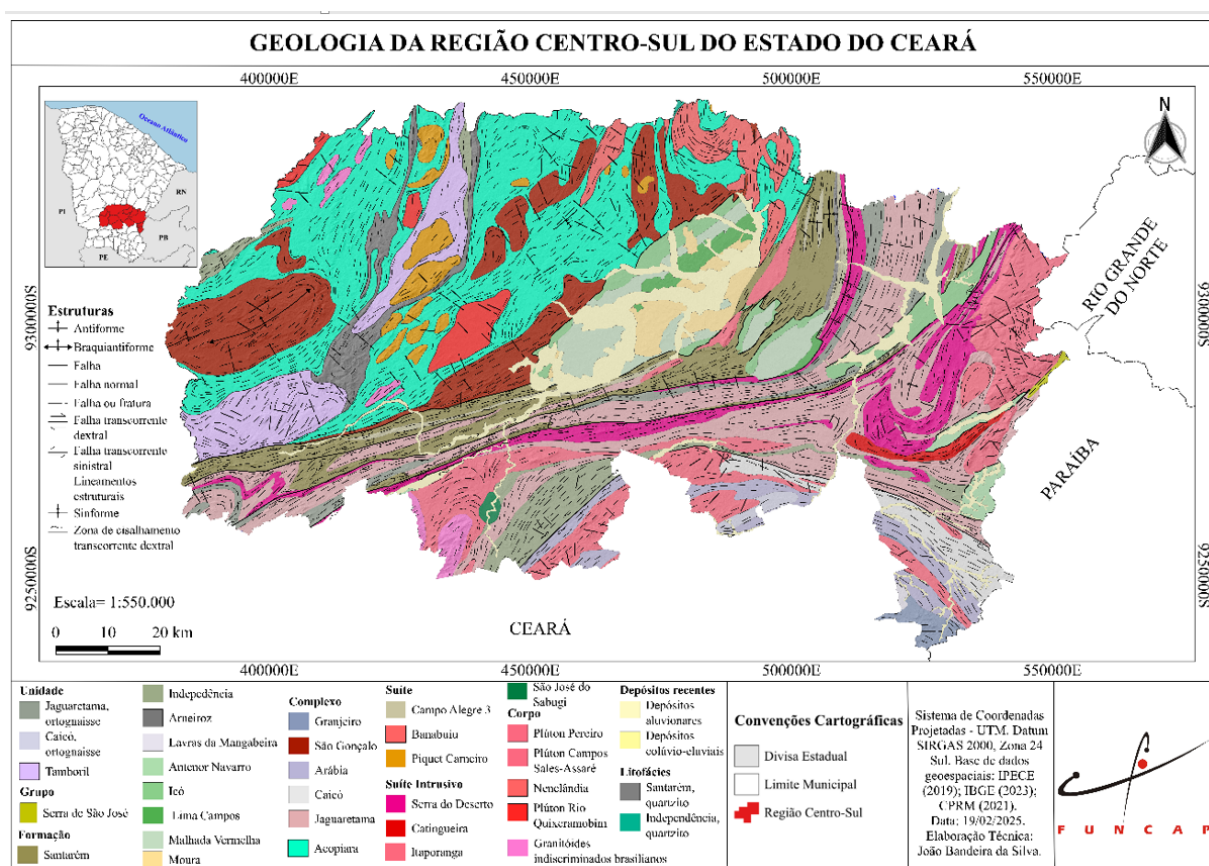
ELABORADO no programa de SIG QGIS® Desktop 3.34.13.

Apresenta uma amplitude altimétrica de cerca de 650 metros de altitude e compreende uma área de aproximadamente 11.581,50 km² (IPECE, 2015). As maiores altitudes, aproximadas, são dos maciços: Serra do Pereiro, com 800 metros (A); Serra do Mota, com 750 metros (B); Serra da Tomásia, com 500 metros (C); e a Serra Catarina, com 570 metros (D).



Está condicionada pelas litologias (Mapa 2) do Grupo Serra de São José (PP4sj); as Formações Santarém (PP4os), Independência (NP2ci), Arneiroz (NP2caz), Lavras da Mangabeira (NP3lm), Antenor Navarro (K1an), Icó (K1ic), Lima Campos (K1lc), Malhada Vermelha (K1mv) e Moura (N2m); os Complexos Granjeiro (A24g), São Gonçalo (PP2gn), Arábia (PP1ara), Caicó (PP2cai), Jaguaretama (PP2j) e Acopiara (PP2aco); os Suítes Campo Alegre 3 (PP4oca), Banabuiú (NP3γ1b) e Piquet Carneiro (NP3γ3pq); os Suítes Intrusivos Serra do Deserto (PP4ys), Catingueira (NP3λ2ct), Itaporanga (NP3γ2it) e São José do Sabugi (NP3δ2s); os Corpos Plúton Pereiro (NP3γ2it3), Plúton Campos Sales-Assaré (NP3γ2it19), Nenelândia (NP3γ1bn), Plúton Rio Quixeramobim (NP3γ2it68) e os Granitoides Indiscriminados Brasileiros (NP3γi); e os Depósitos Recentes como os Depósitos Aluvionares (Q2a) e os Depósitos Colúvio-eluviais (N2Q1c).

MAPA 2 – Geologia da Região Centro-Sul Cearense.



FONTE: Organizado pelo autor com os dados geoespaciais dos limites municipais do estado do Ceará e da região de planejamento Centro-Sul Cearense do IPECE (2019), a Divisa Estadual do Brasil do IBGE (2023) e a Geologia do estado do Ceará (CPRM, 2021). **ELABORADO** no programa de SIG QGIS® Desktop 3.34.13.

O Grupo Serra de São José constitui uma sequência de litologias de biotita xistos com intercalações de rochas metavulcânicas ácidas e básicas, além de níveis/camadas de



quartzitos, metaconglomerados, rochas calcissilicáticas, mármore e anfibólio gnaisses do Paleoproterozóico. A Formação Santarém, da mesma Era do Grupo Serra de São José, compõe filitos e xistos miloníticos, seguidos de metagrauvas, com níveis de quartzitos, rochas calcissilicáticas, mármore e anfibolitos (Pinéo; Palheta, 2021).

A Formação Independência formada por xistos aluminosos e paragnaisses, por vezes migmatítico, com camadas de quartzitos, rochas calcissilicáticas, mármore, anfibolitos e rochas metavulcânicas félsica. A Formação Arneiroz é constituída por quartzitos, xistos e mármore. A Formação Lavras da Mangabeira é composta por metaconglomerados, quartzitos, xistos diversos e filitos. Todas essas formações são da Era do Neoproterozóico. A Formação Antenor Navarro, da Era Mesozóica, corresponde à unidade basal do Grupo Rio do Peixe. A sequência do grupo inicia com sedimentos imaturos, seixos mal selecionados e angulosos, e na porção superior arenitos grosseiros a conglomeráticos arcossianos, com estratificações cruzadas e plano-paralelas, que gradam para arenitos de granulação fina (Pinéo; Palheta, 2021).

Do Grupo Iguatu, a região Centro-Sul, divide-se em quatro formações litológicas, denominadas de Icó, Malhada Vermelha, Lima Campos (Era Mesozóica) e Moura (Era Cenozóica).

A Formação Icó é constituída por brechas, conglomerados polimíticos e arenitos imaturos arcossianos, de granulação variando de fina a níveis grosseiros e conglomeráticos. A Formação Malhada Vermelha é composta por ritmitos de siltitos, folhelhos e arenitos finos, de cores vermelha e verde, com intercalações de margas e calcários. A Formação Lima Campos é formada por arenitos arcossianos de granulação fina a grossa, ritmitos de arenitos, siltitos e folhelhos, além de margas. E a Formação Moura, que recobre o grupo Iguatu, é composta por sedimentos clásticos inconsolidados que ocorrem nas proximidades da cidade Iguatu com camadas de areias, siltes e argilas, com níveis conglomeráticos intercalados (Pinéo; Palheta, 2021; Lima; Moura-Fé; Pinheiro, 2019).

De acordo com Aguiar e Sousa (2014), essas formações dispõem de recursos hídricos subterrâneos, com os aquíferos Lima Campos, Moura e Malhada Vermelha. Os autores mencionam também o aquífero Icó, porém este tem uma especialidade em ocorrer nas bacias sedimentares de Iguatu, Lima Campos, Lavras da Mangabeira e Bastiões.

O Complexo Granjeiro, da Era Paleoarqueana, é formado por ortognaisses bandados de cor cinza, de composição tonalítica e granodiorítica e com lentes de rochas metamáficas e metaultramáficas (Pinéo; Palheta, 2021). Os outros complexos litoestatigráficos são da Era Paleoproterozóica.

Como o Complexo Arábia que compõe rochas ortoderivadas de ortognaisses e gnaisses migmatíticos de composições granodioríticas, tonalíticas, monzograníticas



e, localmente, trondhjemíticas, com lentes de anfíbolitos. O Complexo Acopiara compõe migmatitos paraderivados, paragnaisses, xistos aluminosos, xistos grafitosos, quartzitos, mármore, rochas calcissilicáticas, anfíbolitos e ortognaisses cinza, assim como o Complexo São Gonçalo, composto por ortognaisses tonalíticos e ortognaisses migmatíticos. O Complexo Caicó é constituído por ortognaisses de composição monzogranítica a granodiorítica, migmatitos ortoderivados e paraderivados, além de paragnaisses com lentes de anfíbolitos e de mármore (Pinéo; Palheta, 2021).

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa tem caráter exploratório, para caracterização do problema, classificação e definição. Para realização, primeiramente, foi elaborada uma pesquisa bibliográfica e cartográfica das formas de relevo.

No segundo momento, para a execução do mapeamento geomorfológico, construiu-se a base a partir do recorte regional da malha digital do Instituto de Pesquisas e Estatísticas do Ceará (IPECE), em escala de 1:50.000. A malha vetorial dos elementos ambientais pelo Banco de Dados e Informações Ambientais (BDIA), limite municipal pelo IPECE e a divisa estadual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) encontram-se no Quadro 1.

QUADRO 1 – Dados Geoespaciais.

BASES CARTOGRÁFICAS	FONTE	LOCAIS DE ACESSO
Divisa Estadual (1:250.000)	IBGE (2023)	https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads
Limites municipais (1:50.000)	IPECE (2023)	http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php
Regiões de Planejamento (1:50.000)	IPECE (2019)	http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php
Geomorfologia Simbolizada (1:250.000)	BDIA (2021)	https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia
Geomorfologia do estado do Ceará (1:250.000)	BDIA (2021)	https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia
Geologia do estado do Ceará (1:500.000)	CPRM (2021)	https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/20418
Imagem de radar do satélite Advanced Land Observing Satellite (ALOS)	ALOS PALSAR (2010)	https://search.asf.alaska.edu/#/



FONTE: própria (2025).

A confecção do mapa geomorfológico iniciou-se com a aquisição dos dados altimétricos, sendo para isso utilizadas as imagens de radar do satélite *Advanced Land Observing* (ALOS) do sensor *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR), com 12 metros de resolução espacial.

Em ambiente SIG (QGIS® *Desktop* 3.34.13), as imagens foram adquiridas inicialmente no Datum WGS 1984, foram reprojctadas para o Datum SIRGAS 2000 (Sistema de Coordenadas Projetadas) para a Zona 24 Sul.

Para identificação dos diferentes compartimentos, levou-se em consideração a base teórica de Souza (1988), para as unidades morfoestruturais, Brasil (1981), Dantas et al. (2014) e Claudino-Sales (2016) para definição dos domínios geomorfológicos e os relevos no estado do Ceará, juntamente com as cartas topográficas do exército, a carta SB-24-Y-B-IGUATU de 1:250.000 e a carta SB-24-Z-A-I-ORÓS de 1:100.000, adquiridas no website < <https://bdgex.eb.mil.br/bdgexapp/mobile/> >.

O método de hierarquização dos diferentes táxons do relevo seguiu a proposta de Ross (1992), que são:

1º) Unidades Morfoestruturais: definidas por um táxon maior pelas suas características estruturais e por um determinado padrão de grandes formas de relevo.

2º) Unidades Morfoesculturais: definidas por um táxon menor, sendo oriundas da ação climática ao longo do tempo geológico no seio da morfoestrutura.

3º) Unidades Morfológicas ou Padrões de Formas Semelhantes: conjuntos de formas menores do relevo, que apresentam distinções de aparência entre si, em função da rugosidade topográfica ou índice de dissecação do relevo.

Para mapear as unidades de padrões de formas usou-se o método proposto de Dantas, Lacerda e Maia (2023), que levam em consideração a amplitude altimétrica, a declividade em graus e/ou em porcentagem e as escalas de trabalho 1:100.000, 1:25.000 e 1:10.000 para determinar as unidades geomorfológicas. Na Tabela 1 encontram-se os critérios que foram adaptados a partir da amplitude altimétrica e da declividade das feições de relevo na área de estudo.



TABELA 1 – Critérios para identificação das Unidades de Padrões de Forma.

RELEVO	AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (M)	DECLIVIDADE (%)
Depressões alúvio-colvionares	2 a 5	0-9
Baixo Platô	0 a 20	3-9
Baixo Platô Dissecado	20 a 50	3-9
Platô	0 a 20	0-5
Rampas de Colúvio	Variável	9-18
Tabuleiro	20 a 50	0-5
Alinhamento de Crista	100 a 300	36-100
Crista	100 a 300	20-30
Domínio Serrano	> 300	20-30
Superfície Dobrada	10 a 30	0-9
Superfície Conservada	0 a 10	0-9
Maciço Residual	> 300	36-100

FONTE: Adaptado de Dantas, Lacerda e Maia (2023).

As feições que tiveram critérios semelhantes foram incorporadas e diferenciadas com auxílio das imagens de radar e fotografias do campo para identificá-las, além de cartas topográficas dos municípios limítrofes da região Centro-Sul.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

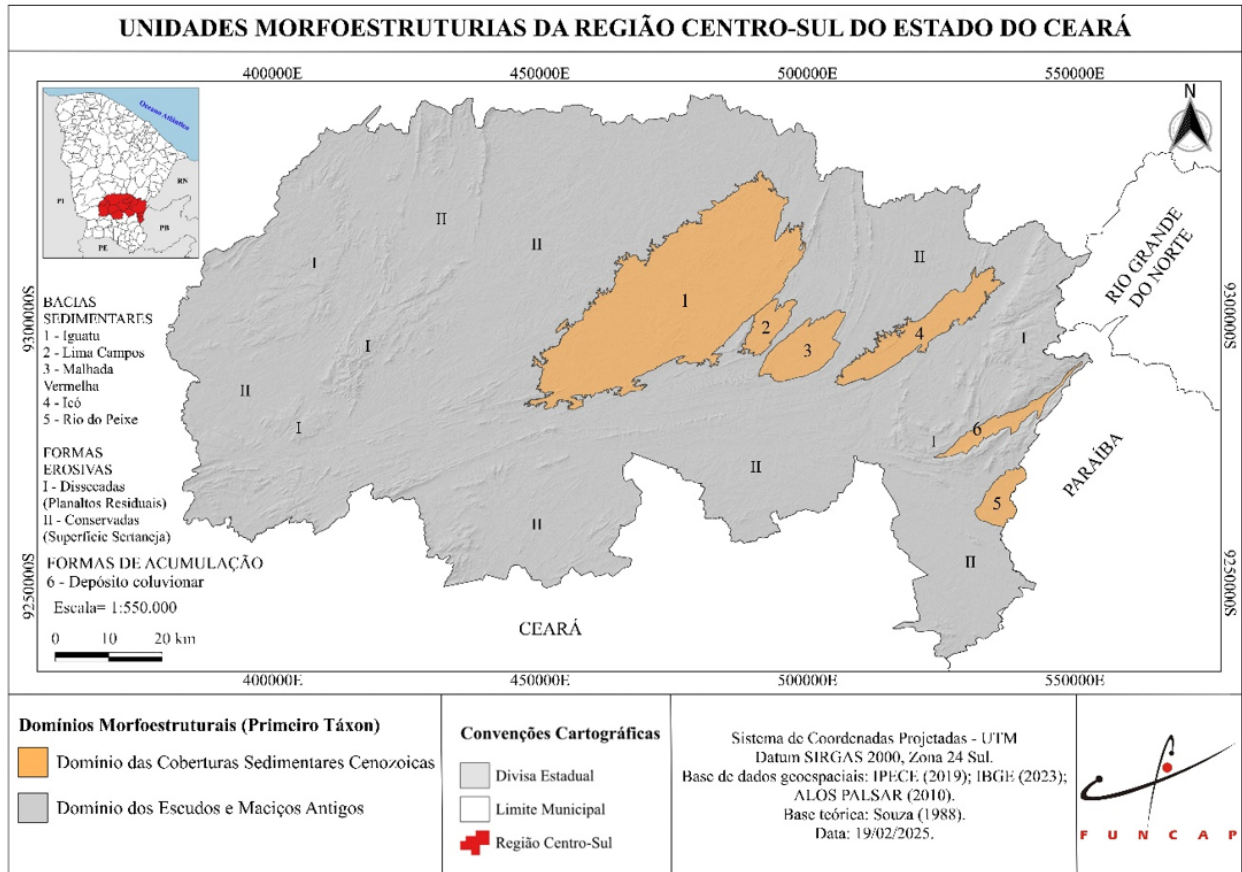
A região Centro-Sul abriga duas unidades morfoestruturais, o Domínio das Coberturas Sedimentares Cenozóicas (Souza, 1988; Matos, 1992; Dantas *et al.*, 2014; Claudino-Sales, 2016; Albuquerque; Xavier; Suertegaray, 2024; Brito *et al.*, 2025) e os Domínios dos Escudos e Maciços Antigos (Souza, 1988) (Mapa 3).

No Domínio das Coberturas Sedimentares Cenozóicas apresentam-se as bacias sedimentares Iguatu, Lima Campos, Malhada Vermelha, Icó e Rio do Peixe. De acordo com Brito Neves *et al.* (1999) e Peulvast *et al.* (2008), essas bacias sedimentares tiveram sua evolução e gênese diretamente relacionadas com o processo de abertura do Oceano Atlântico Equatorial. Esse processo acarretou a formação de um sistema de falhamentos



transcorrentes e instalação de *grabens* em pequenos *rifts* abortados, inseridos numa extensa zona de fraqueza da crosta terrestre de direção SW-NE, denominada de Faixa Cariri-Potiguar.

MAPA 3 – Primeiro Taxon da região Centro-Sul.



FONTE: Organizado pelo autor com os dados geoespaciais dos limites municipais do estado do Ceará e da região de planejamento Centro-Sul Cearense do IPECE (2019), a Divisa Estadual do Brasil do IBGE (2023) e a imagem de radar do ALOS PALSAR (2010), com 12 metros de resolução espacial.

ELABORADO no programa de SIG QGIS® Desktop 3.34.13.

As bacias sedimentares de Iguatu e Icó estão posicionadas em cotas entre 150 a 300 metros, pois a erosão diferencial de agentes como, por exemplo, os rios que as circundam e o clima semiárido moldam as suas morfologias. São morfologicamente caracterizadas por constituírem baixadas planas e/ou suavemente onduladas, em meio a um expressivo relevo dos Planaltos Residuais Cristalinos, como na região de Iguatu, onde as elevadas cristas quartzíticas dominam sobre o modelado colinoso das rochas pré-cambrianas (BRASIL, 1981).

Estão embasadas por arenitos siltitos, folhelhos e margas de idade Cretácica das formações Icó, Lima Campos, Malhada Vermelha e Antenor Navarro e em parte cobertas por sedimentos inconsolidados de composição areno-conglomerática de idade



Neógena da Formação Moura (Dantas *et al.*, 2014). Pela morfologia e gênese destas formas encontram-se como Estruturas Concordantes Horizontais, o que será discutido no tópico das unidades morfoesculturais.

O Domínio dos Depósitos Sedimentares Cenozóicos são as formas de acumulação de sedimentos, no caso da área, de sedimentos coluviais, que, ao longo da base de relevos escarpados, vão constituir depósitos de tálus (Souza, 1988). É possível notar as áreas de superfície de acumulação sobre o Maciço Residual Serra do Pereiro, o qual será discutido adiante.

A outra unidade morfoestrutural são os Domínios dos Escudos e Maciços Antigos, que foram retrabalhados pela erosão por meio dos climas antigos e outros agentes. As formas erosivas são as dissecadas, com Planaltos Residuais Cristalinos, e as formas conservadas, neste caso, as superfícies de aplainação, a Superfície Sertaneja (Souza, 1988; Claudino-Sales, 2016).

Os Domínios dos Escudos e Maciços Antigos na região Centro-Sul, a morfologia dessa unidade morfoestrutural e a litoestratigrafia pertencem ao domínio geológico Rio Grande do Norte. Conforme Claudino-Sales (2016, p. 32), são “[...] relativos à Orogênese Brasileira, contando ainda com complexos metamórficos, onde gnaisses e quartzitos aparecem como volumes rochosos resistentes. [...]”.

De acordo com Cavalcanti e Cavalcante (2014), compreende o nordeste-sul-sudeste do estado do Ceará, onde predomina o subdomínio Jaguaribeano, e também a extensão oeste do rio Piranhas-Seridó, onde ocorre associação arqueano-paleoproterozoica de rochas pertencentes ao Complexo Granjeiro.

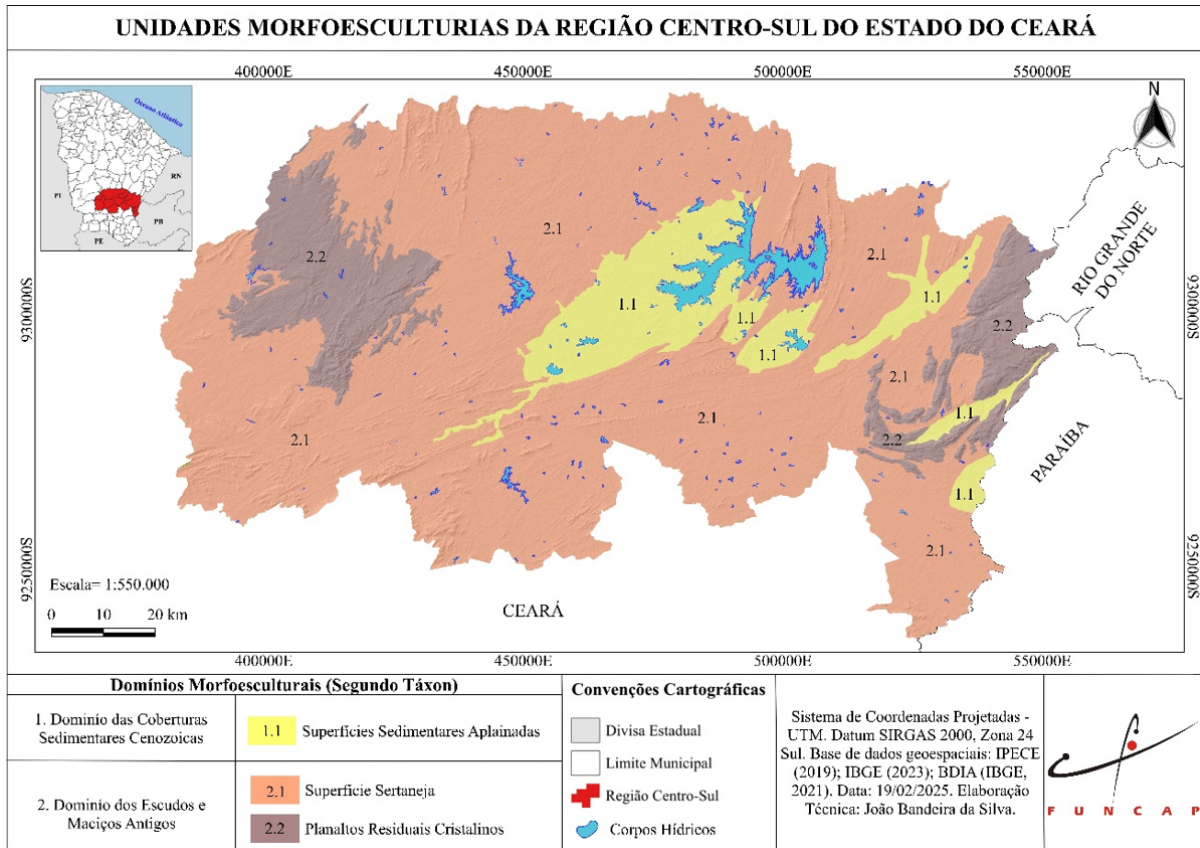
Além disso, é formado também por sequências vulcano-sedimentares anorogênicas, representadas pelo Sistema Orós-Jaguaribe e pelo Complexo Jaguaretama (Paleoproterozóico). Foram remodelados em granitóides de idade tardiproterozóica e cambriana, relativos à Orogênese Brasileira (Claudino-Sales, 2016).

Formado por duas sequências metassedimentares do Neoproterozóico (Complexo Acopiara e Formação Lavras da Mangabeira) e por corpos alongados de leucogranitos que resultaram da fusão das rochas metassedimentares (Cavalcanti; Cavalcante, 2014; Pineó; Palheta, 2021). Nesse domínio há as morfologias dos Cinturões Móveis Neoproterozóicos e os Crátons Neoproterozóicos (Matos, 1992; Brito Neves; Campos Neto; Fuck, 1999), que serão discutidos nas Unidades Morfoestruturais da região.

As Unidades Morfoesculturais da região Centro-Sul (Mapa 4) são dominadas pelas Superfícies Sedimentares Aplainadas (Domínio das Coberturas Sedimentares Cenozóicas), a Superfície Sertaneja, e os Planaltos Residuais Cristalinos (Domínio dos Escudos e Maciços Antigos).



MAPA 4 – Segundo Taxon da região Centro-Sul.



FONTE: Organizado pelo autor com os dados geoespaciais dos limites municipais do estado do Ceará e da região de planejamento Centro-Sul Cearense do IPECE (2019), a Divisa Estadual do Brasil do IBGE (2023), Geomorfologia do estado do Ceará (BDIA, 2021) e a imagem de radar do ALOS PALSAR (2010), com 12 metros de resolução espacial. **ELABORADO** no programa de SIG QGIS® Desktop 3.34.13.

As unidades das Superfícies Sedimentares Aplainadas remontam à compreensão das formas das bacias sedimentares do Iguatu, Malhada Vermelha, Lima Campos, Icó e Rio do Peixe na região, já mencionadas. Essas bacias interioranas estão implantadas sobre o embasamento pré-cambriano (Dantas *et al.*, 2014), sobre a Superfície Sertaneja e entre os Planaltos Residuais Cristalinos.

Outras formas dessa unidade se encontram no patamar rebaixado do Maciço Serra do Pereiro, que compreendem feições planas e suave-onduladas, que se desenvolveram sobre os pacotes sedimentares de bacias tectônicas cretáceas, citadas anteriormente. O processo de entulhamento das bacias por sedimentos continentais resultou em feições de relevo plano e seus níveis altimétricos são inferiores às unidades geomorfológicas adjacentes (Albuquerque; Xavier; Suertegaray, 2024).

A Superfície Sertaneja e os Planaltos Residuais tiveram sua evolução no Neoproterozóico, de acordo com Brito Neves, Campos Neto e Fuck (1999), sendo gerados por arcos vulcânicos e magmáticos de colisão subsequente que se tornaram os cinturões móveis Brasileiro/Pan-Africano.



Claudino-Sales (2016) ressalta que a superfície sertaneja na região mais a sudeste do estado remonta ao que a autora denomina de Superfície Jaguaribe, como uma testemunha da rapidez com que os processos de pediplanação podem ocorrer. Foi modelada entre o período de rifteamento intracontinental por volta 120 Ma (Matos, 1992; Claudino-Sales, 2016).

A Superfície Sertaneja na região Centro-Sul é drenada pelo médio e alto curso da Bacia Hidrográfica do rio Jaguaribe, abrangendo os rios Salgado, Cariús, Trussu, dos Bastiões e os riachos de São Miguel, da Conceição e Jucá, além de outras pequenas drenagens.

Conforme Dantas *et al.* (2014), o substrato geológico corresponde aos domínios geológicos: Complexos Gnáissico-Migmatíticos e Granulíticos (DCGMGL), Complexos Granitoides Deformados e Intensamente Deformados (DCGR2 e DCGR3), Domínio das Sequências Vulcanossedimentares tipo *Greenstone Belt* (DGB) e Domínios das Coberturas Sedimentares e Vulcanossedimentares Eopaleozoicas e Proterozóicas Diferentemente Dobradas e Metamorfizadas (DSVE e DSVP2).

Os Planaltos Residuais Cristalinos estão dispersos sobre a superfície sertaneja apresentando-se como compartimentos isolados e que contribuem para a diversificação fisiológica da paisagem do semiárido cearense (Souza, 1988).

São constituídos por rochas do embasamento cristalino com litologias metamórficas, apresentam-se com dissecações em feições convexo-aguçadas (Souza; Lima; Paiva, 1979; Souza, 1988). Foram modelados em granitóides de idade tardiproterozóica e do Cambriano, relativos à Orogênese Brasileira, contando ainda com complexos metamórficos, nos quais gnaisses e quartzitos aparecem como volumes rochosos resistentes (Claudino-Sales, 2016).

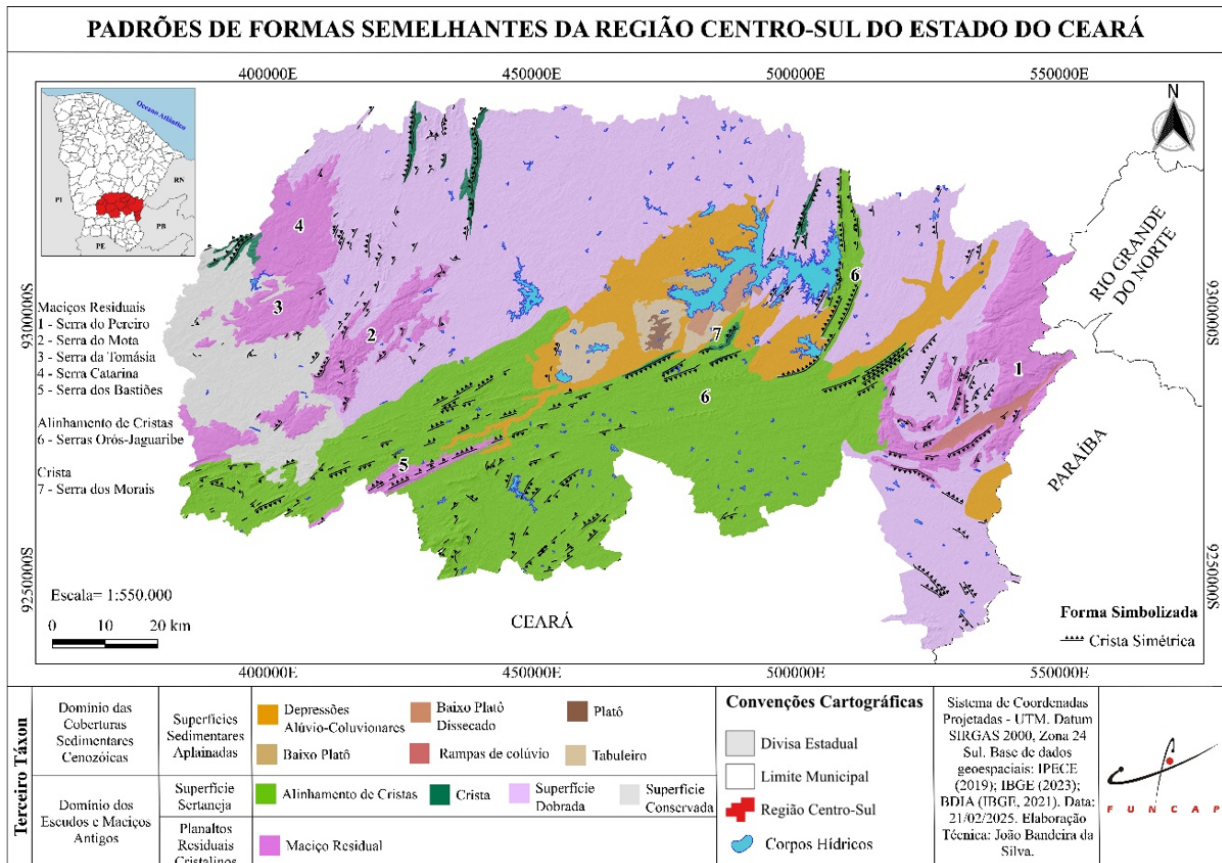
Dantas *et al.* (2014, p. 57) afirmam que

O substrato geológico deste conjunto de terrenos é bastante diversificado, mas apresenta um nítido domínio do embasamento de idade arqueano-paleoproterozoica, representado por rochas do Complexo Cruzeta (ortognaisses, metagranitos e migmatitos das unidades Pedra Branca e Mombaça, e rochas metamáficas e metaultramáficas da Unidade Troia). Este embasamento está intrudido, por sua vez, por granitos da suíte intrusiva Cedro. Mais ao sul afloram quartzitos, paragnaisses, xistos e migmatitos dos complexos Ceará (Unidade arneiroz) e acopiara, cortados por granitos, granodioritos e dioritos neoproterozoicos da suíte intrusiva Itaporanga.

Dentro dessas unidades morfoesculturais há padrões de formas semelhantes com relevos em escala de análise única e com comportamento morfológico diferentes. Dessa maneira, a seguir serão apresentados os padrões de formas semelhantes (Terceiro Táxon) da região Centro-Sul do Ceará no Mapa 5.



MAPA 5 – Terceiro Taxon da região Centro-Sul.



FONTE: Organizado pelo autor com os dados geospaciais dos limites municipais do estado do Ceará e da região de planejamento Centro-Sul Cearense do IPECE (2019), a Divisa Estadual do Brasil do IBGE (2023), Geomorfologia e Geomorfologia Simbolizada do estado do Ceará (BDIA, 2021) e a imagem de radar do ALOS PALSAR (2010), com 12 metros de resolução espacial. **ELABORADO** no programa de SIG QGIS® Desktop 3.34.13.

As morfologias mapeadas e conhecidas nessa região são os Maciços Residuais da Serra do Pereiro (1), Serra do Mota (2), Serra da Tomásia (3), Serras Catarina (4) e Serra dos Bastiões (5). O Alinhamento de Cristas são da Serra Orós-Jaguaribe (6) e a Crista da Serra dos Morais (7).

No Domínio das Coberturas Sedimentares encontra-se a unidade morfoescultural das Superfícies Sedimentares Aplainadas e nestas as unidades morfológicas: Depressões Alúvio-Coluvionares, Baixo Platô, Baixo Platô Dissecado, Platô, Rampas de colúvio e Tabuleiro na porção da bacia sedimentar Iguatu.

As Depressões Alúvio-Coluvionares correspondem aos depósitos de detritos e sedimentos clásticos que foram carregados e depositados nas Depressões Sedimentares pelos rios, já citados, e pelas drenagens que fazem parte da Bacia Hidrográfica do médio e alto curso do rio Jaguaribe.



Apresentam também morfologias diferentes, como no caso da Bacia Sedimentar do Iguatu, com áreas de Baixo Platô no sentido SW-NE da bacia sedimentar, Platô no centro da bacia Iguatu pela formação Moura e os Baixos Platôs Dissecados próximos a planície do açude Orós.

Já o Domínio dos Maciços dos Escudos e Maciços Antigos tem como unidades morfoesculturais a Superfície Sertaneja, com as morfologias de Alinhamento de Cristas, Cristas, Domínio Serrano, Superfície Dobrada e Superfície Conservada; e os Planaltos Residuais, com a morfologia dos Maciços Residuais Cristalinos.

As formas da Superfície Sertaneja foram retrabalhadas, como foi citado, pelas aberturas de *rifts* que evoluíram até a astenosfera (Bacias Sedimentares), de idade do Cretáceo, pela erosão diferencial, pela drenagem e os climas pretéritos sobre o embasamento cristalino.

O Alinhamento de Cristas na região Centro-Sul corresponde ao processo de origem do Sistema Orós-Jaguaribe (Parente; Henriarthaud, 1995), um cinturão sigmoidal, que na região Centro-Sul tem uma virgação de Icó marcada por uma inflexão do Sistema que passa de ENE-WS W, a oeste, para NNE-SSW. Nesta unidade encontram-se as cristas denominadas Serras Orós-Jaguaribe (6). São formas onde o topo é determinado por uma linha de pontos mais altos a partir da qual vão divergir em duas vertentes declivosas.

É a mesma descrição para as Cristas, porém essas estão dispersas sobre a Superfície Sertaneja Dobrada. As cristas que se encontram sobre a Superfície Dobrada são de caráter Simétrico, pois, além de serem isoladas, há vertentes de declividade forte e equivalentes que se interceptam, formando uma linha contínua.

Já a Superfície Sertaneja Conservada não sofreu dobras e perda da sua morfologia original, são formas de aplainamento que foram rebaixadas pela erosão diferencial e a declividade nessa área é entre 3-20% (plano a ondulado). O Alinhamento de Cristas é constituído por topos côncavos, vales e vertentes com média declividade, entre 20-30%. São áreas com altitude de 300 metros, aproximadamente, e estão entre a Superfície Conservada e a bacia sedimentar do Rio do Peixe.

Os Maciços Residuais Cristalinos que predominam nessa região, são: a Serra do Pereiro (1), Serra do Mota (2), Serra da Tomásia (3), Serra Catarina (4), Serra dos Bastiões e alguns outros menores.

Sobre esses Maciços: a Serra da Mota compreende rochas do complexo Acopiara; a Serra da Tomásia e a Serra Catarina compõe rochas dos complexos São Gonçalo e Acopiara; a Serra dos Bastiões compreende rochas do complexo Jaguaretama, com litofácies Santarém de quartzito; e, conforme Souza (1988), a Serra dos Bastiões confere extensos alinhamentos de hog-backs intercalados por vales profundos.



Já o maciço residual de maior expressão, a Serra do Pereiro, situa-se no Domínio Jaguaribeano e limita-se a oeste pela Zona de Cisalhamento do Jaguaribe, a leste pela Zona de Cisalhamento Portalegre e a sul pela Zona de Cisalhamento Farias Brito (Albuquerque; Xavier; Suertegaray, 2024).

Segundo o estudo de Brito *et al.* (2025), é um planalto residual dissecado, em que predominam litologias do tipo monzogranitos, granodioritos e granitos porfiríticos. Há setores elevados do maciço com superfícies de aplainamento marcadas por suítes gabroides no cume do Pereiro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A região Centro-Sul do estado do Ceará é configurada pelas morfologias: Depressões Alúvio-Coluvionares, Baixo Platô, Baixo Platô Dissecado, Platô, Rampas de Colúvio e Tabuleiro na porção da bacia sedimentar Iguatu; a Superfície Sedimentar Aplainada compreende as formas de rampas de colúvio sobre o Maciço Residual Serra do Pereiro; a Superfície Sertaneja, com as formas de Alinhamento de Cristas, Cristas, Superfície Dobrada e Superfície Conservada; e os Planaltos Residuais com a morfologia dos Maciços Residuais Cristalinos.

Desse modo, configura-se uma região de uma diversidade de formas ainda pouco exploradas. Há estudos no maciço cristalino Serra do Pereiro e nas bacias sedimentares interioranas, como as de Iguatu, Malhada Vermelha, Lima Campos e Rio do Peixe, porém ainda é necessário explorar as outras formas que foram abordadas e mapeadas nesse trabalho.

As dificuldades no mapeamento residiram na adaptação do método proposto com as formas de relevo da região Centro-Sul. Conclui-se a importância do mapeamento do relevo para a fisiologia de um aspecto da paisagem e que o trabalho contribui como base para outras pesquisas na área ou no estado do Ceará.

Agradecimentos:

O presente trabalho só pode ser elaborado e construído a partir do financiamento de bolsa de estudos. Por isso, os agradecimentos à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela bolsa.



REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, D. S.; XAVIER, R. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. Compartimentação Geomorfológica do Maciço do Pereiro e o entorno, Nordeste Setentrional do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 25, n. 3, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v25i3.2566>. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2566>. Acesso em: 1 mar. 2025.
- ADVANCED LAND OBSERVING SATELLITE – ALOS. Imagem de radar. Alasca: **ALOS PALSAR**, 2010. Resolução espacial de 12 metros. [Matricial]. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- AGUIAR, R. B.; SOUSA, R. R. Recursos Hídricos Subterrâneos. In: BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2014.
- BANCO DE DADOS E INFORMAÇÕES AMBIENTAIS – BDIA. Geomorfologia Simbolizada. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: **BDIA**, 2021. [Shapefile]. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- BANCO DE DADOS E INFORMAÇÕES AMBIENTAIS – BDIA. Geomorfologia do Estado do Ceará. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: **BDIA**, 2021. [Shapefile]. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981.
- BRITO, E. R.; BASTOS, F. de H.; CLAUDINO-SALES, V. C.; CORDEIRO, A. M. N.; SIAME, L. Geomorphology of Pereiro Massif, Northeast Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 26, n. 1, 2025. DOI: 10.20502/rbg.v26i1.2583. Disponível em: <https://www.rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2583>. Acesso em: 1 mar. 2025.
- BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M. C.; FUCK, R. A. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. **Episódios**, v. 22, n. 3, 1999. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/bc361862-24b1-45a1-90ae-45b0fefe3f01/1054118.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2025.
- CAVALCANTI, J. A. D.; CAVALCANTE, J. C. Evolução Geológica. In: BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2014.
- CLAUDINO-SALES, V. **Megageomorfologia do Estado do Ceará**: História da Paisagem Geomorfológica. Novas Edições Acadêmicas, 2016.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2ª ed., 1980.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Geologia do Estado do Ceará. Escala 1:500.000. Rio de Janeiro: **CPRM**, 2021. [Shapefile]. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/20418>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B.; TEIXEIRA, W. G. Origem das Paisagens. In: BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. (Orgs.). **Geodiversidade do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2014.
- DANTAS, M. E.; LACERDA, A.; MAIA, M. A. M. **Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial**: elaboração de cartas de padrão de relevo multiescala. Brasília: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, v. 7, 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Divisa Estadual do Brasil. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro: **IBGE**, 2023 [Shapefile]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15759-brasil.html?=&t=downloads>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. Limites municipais. Escala 1:50.000. Fortaleza: **IPECE**, 2023 [Shapefile]. Disponível em: <http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. Região de planejamento Centro-Sul Cearense. Escala 1:50.000. Fortaleza: **IPECE**, 2019 [Shapefile]. Disponível em: <http://mapas.ipece.ce.gov.br/i3geo/ogc/index.php>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ – IPECE. **Textos para discussão**: As Regiões de Planejamento do estado do Ceará. n. 111, 2015.



LIMA, L. G.; MOURA-FÉ, M. M.; PINHEIRO, M. V. A. Caracterização geológica do município de Iguatu, Ceará. *In: Caracristi, I.; Lima, E. C.; Falcão Sobrinho, J. Perspectivas da Geografia Física do Nordeste Brasileiro: Produção e Desafios.* Sobral: Sertão Cult, 2019.

MATOS, R. M. D. The northeast Brazilian rift system. **Tectonics**, v. 11, n. 4, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1029/91TC03092>. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/91TC03092>. Acesso em: 1 mar. 2025.

PARENTE, C. V.; HENRIARTHAUD, M. O Sistema Orós-Jaguaribe no Ceará, NE do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 4, p. 297-306, 1995. Disponível em: <http://bjg.siteoficial.ws/1995/n.4/6.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2025.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO-SALES, V.; BÉTARD, F.; GUNNELL, Y. Low post-Cenomanian denudation depths across the Brazilian Northeast: Implications for long-term landscape evolution at a transform continental margin. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 62, n. 1-2, p. 39–60, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818107001944>. Acesso em: 26 fev. 2025.

PINÉO, T. R. G.; PALHETA, E. S. M. (Orgs.) **Projeto mapa geológico e de recursos minerais do estado do Ceará.** – Escala: 1:500.000 – Fortaleza: CPRM, 2021.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 6, p. 17–29, 1992. DOI: 10.7154/RDG.1992.0006.0002. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47108>. Acesso em: 18 ago. 2024.

SIMON, A. L. H.; LUPINACCI, C. M. (Orgs.). **A cartografia geomorfológica como instrumento para o planejamento.** Pelotas: UFPel, 2019.

SOUZA, M. J. N. Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do estado do Ceará. **Revista de Geologia**, n. 1, p. 73-91, 1988.

SOUZA, M. J. N.; LIMA, F. A. M.; PAIVA, J. B. Compartimentação topográfica do estado do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, n. 9, p. 77-86, 1979.



ANÁLISE AUTOMATIZADA DO RELEVO DA REPÚBLICA DO HAITI COM SUPORTE DE SIG

Luis Eduardo de Souza Robaina ¹

Miralda Myrtho Calixte ²

Romario Trentin ³

PALAVRAS-CHAVE: Compartimentos; *Landforms*; República do Haiti; Geomorphons.

RESUMO

O presente trabalho possui como objetivo a determinação de compartimentos de *landforms* para o República do Haiti, através do uso dos elementos de geomorphons determinados em classificação topográfica automatizada. Os geomorphons representam uma classificação de elementos de relevo usando ferramentas de visão computacional, com analogia entre a classificação textural da imagem, baseada em um arranjo espacial de tons de cinza, para uma determinada região através da avaliação da elevação. Para a definição dos geomorphons foi utilizada o MDE obtido através dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), processado em ambiente online. Através do agrupamento manual a partir de interpretação de tela em SIG definiu-se cinco compartimentos de *landforms* para a República do Haiti. A partir da análise da distribuição espacial e percentual de ocorrência dos elementos de geomorphons na área de estudo, foi realizada a cartografia da delimitação de compartimentos de relevo, sua distribuição percentual e a ocorrência em cada compartimento. O compartimento A é representado por áreas planas e encostas amplas. O compartimento B, com encostas íngremes e cristas, possui uma topografia típica de áreas vulcânicas, com planaltos alternados com colinas, cristas estreitas e agudas separadas por vales profundos. O compartimento C, com encostas acentuadas e cristas, é caracterizado pela ausência de elementos planos, sendo os picos e cristas mais representativos, e o elemento escavado é o mais importante em relação aos demais compartimentos. Os compartimentos D e E representam apenas 7,4% da área total e constituem elementos do relevo que marcam o topo das cadeias montanhosas. A identificação dos elementos do relevo, denominados geomorphons, se mostrou uma técnica bastante eficiente na delimitação de diferentes compartimentos de *landforms* na República do Haiti, com distintas e peculiares características que correspondem a unidades reconhecidas geomorfologicamente.

1 Professor do Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, lesrobaina@yahoo.com.br

2 Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, miraldamythocalixte@gmail.com

3 Professor do Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, romario.trentin@gmail.com



INTRODUÇÃO

As formas de relevo são definidas pelo arranjo espacial de superfícies homogêneas resultantes da ação de forças tectônicas, que provocam soerguimentos e rebaixamentos, e de agentes da superfície terrestre que atuam em materiais rochosos, decompondo-os e desagregando-os ao longo do tempo. Conforme Muñoz (2009), a parametrização da morfologia do relevo por meio de SIG é o processo de extração de atributos quantitativos da topografia descrevendo as formas da superfície da Terra por meio de equações aplicadas a modelos numéricos de representação altimétrica. Ainda segundo Iwahashi e Pike (2007), são obtidos através de métodos de classificação topográfica por meio de variáveis secundárias, como declividade, perfil e plano de curvatura, que podem ser obtidas de forma automática através de aplicações em SIG. Além disso, outros autores como Silveira et al. (2014), Trentin et al. (2015, 2016), Gomes, Silveira e Silveira (2016), Robaina et al. (2016) e Rademann et al. (2019) utilizaram essas técnicas digitais em diversos trabalhos.

Os métodos de classificação atuais possibilitam a subdivisão das formas em elementos do relevo, que são um conjunto de parcelas de um tipo de relevo com característica homogênea em relação a curvaturas de perfil e de plano, inclinação, orientação e posicionamento na paisagem (Macmillan; Shary, 2009). Em relação a essas características naturais, Schmidt e Hewitt (2004) desenvolveram um procedimento que obtém diferentes elementos tendo como critério a posição da paisagem, dividindo-a em áreas planas e áreas dissecadas a partir da curvatura tangencial, vertical, mínima e máxima. Jasiewicz e Stepiński (2013b) estabeleceram uma classificação de elementos de relevo usando ferramentas de visão computacional. Os autores fazem uma analogia entre a classificação textural da imagem, baseada em um arranjo espacial de tons de cinza para uma determinada região do arranjo espacial de elevação. Eles usaram o conceito de “Padrões Ternários Locais” (LTP) (Liao, 2010) para identificar os elementos do relevo, chamados geomorphons por analogia aos textons (Julesz, 1981). Os textons referem-se às microestruturas básicas de uma imagem e, assim, constituem os elementos básicos da percepção visual (Julesz, 1981) e, da mesma forma, os geomorphons são microestruturas fundamentais do relevo.

A aplicação destas metodologias e métodos de classificação do relevo, são amplamente utilizadas pois permitem uma parametrização clara das variáveis a serem realizadas, bem como, permitem a minimização de subjetividades nas análises. O estudo do relevo, por meio de algoritmos, usando técnicas computacionais, foi aplicada por Robaina, Trentin e Laurent (2016) para o estado do Rio Grande do Sul e Silveira et al. (2018) para o estado do Paraná para definir a distribuição e relação entre elementos do relevo em compartimentos geomorfológicos. Petsch et al. (2020) avaliaram o potencial



da metodologia dos geomorphons para identificar tipos de relevo em ambientes montanhosos glaciais. Atkinson, Clercq e Rozanov (2020) fornecem uma avaliação exploratória abrangente da representação digital do terreno e classificação do relevo usando uma abordagem de mapeamento geomorfométrico automatizado (*Geomorphon - geomorphological phonotypes*), avaliando modelos digitais de superfície diferentes (SUDEM, SRTM, ASTER GDEM2) e diferentes resoluções espaciais (30 metros e 90 metros) para uma bacia hidrográfica de 11.200 hectares em KwaZulu-Natal, na África do Sul. Robaina, Trentin e Borrás (2023) classificaram o relevo do Uruguai considerando a associação e distribuição de elementos de relevo (geomorphons).

Para caracterizar as vertentes do Haiti, buscou-se uma análise quantitativa por meio de parâmetros designados, neste trabalho, por geomorfometria (*geomorphometry*) ou análise digital do relevo (Silveira; Silveira, 2013). Os atributos derivados de MDE são compreendidos, aqui, como atributos topográficos (Moore; Grayson; Ladson, 1991; Moore; Gessler; Peterson, 1993; Wilson e Gallant, 2000; Chagas, 2006; Silveira et al., 2012; Silveira e Silveira, 2013).

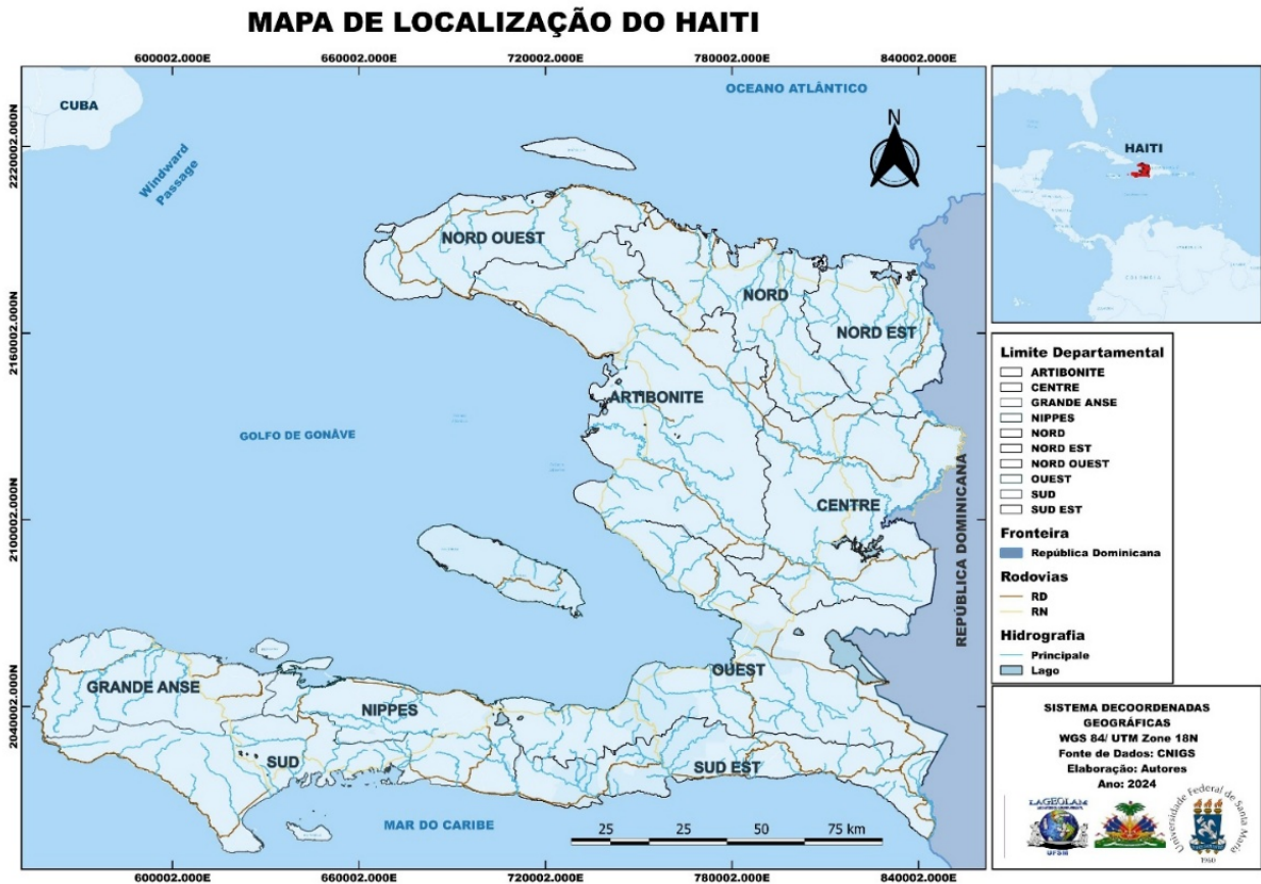
Na literatura podem aparecer sob outras designações, como parâmetros das formas do relevo, variáveis morfométricas (Shary; Sharaya; Mitusov, 2002; Bispo; Valeriano; Kuplich, 2009), atributos do terreno (Pennock, 2003; Cáten et al., 2009), atributos geomorfométricos (Schmidt; Dikau, 1999), atributo do relevo (Ippoliti et al., 2005; Sirtoli et al., 2008).

A área de estudo é a República do Haiti, que possui 27.750 km² de superfície, faz fronteira terrestre com a República Dominicana a leste e ocupa a parte ocidental da ilha de Hispaniola, está localizada no hemisfério norte, especificamente no Caribe, entre o Mar do Caribe e o Oceano Atlântico, entre as latitudes 18°0' e 20°6' Norte e 71°20' e 74°30' Oeste (Geo Haiti, 2010). Tem uma população de 11.905.897 habitantes (IHSI, 2021) e tem uma extensão de aproximadamente 230 km de norte a sul e 290 km de leste a oeste. Rodeada ao norte, pelo Oceano Atlântico, a sul, pelo Mar das Caraíbas e a oeste pela extremidade oriental da Fossa de Bartlett, constituindo o Golfo de Gonâve (Figura 1) (Butterlin, 1960).

Ocorre em uma convergência oblíqua entre as placas tectônicas Norte-Americana e Caribenha, é marcada por dobramentos e falhas ativas desde o Mioceno (Mann et al., 1995). Essa dinâmica tectônica é o principal fator que controla a formação do relevo no Haiti, resultando em diversas feições geomorfológicas como depressões, vales, planícies e relevo montanhoso, incluindo o ponto mais alto da ilha, o Pico da Selle, localizado na península do Sul (PNUD, 2017).



FIGURA 1- Mapa de localização com representação do Haiti e a separação dos departamentos.



FONTE: própria (2024).

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir dos dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizado pelo United States Geological Survey (USGS), com resolução espacial de 3 arc-second (90 metros).

Os elementos do relevo do Haiti foram classificados de forma automatizada a partir desse MDE, utilizando ferramentas de análise espacial do ArcGISPro. Os softwares ArcGIS 10.8.1 e QGIS versão 3.22.11 foram empregados para a manipulação e integração dos dados.

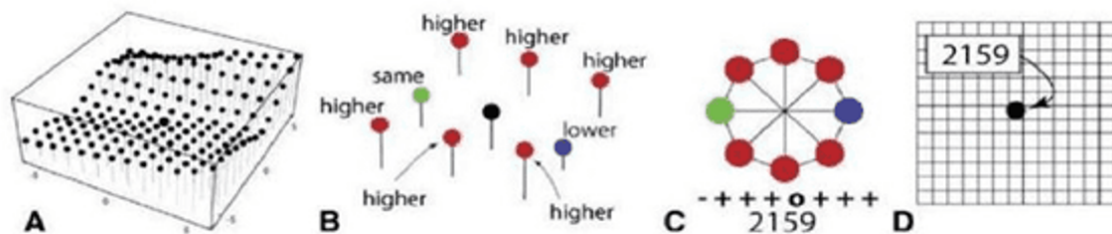
O processo metodológico utilizado para a realização deste trabalho baseia-se na proposta de Jasiewicz e Stepinski (2013), que analisa a similaridade textural do MDE na definição de geomorphons, ao considerar a variação dos níveis de cinza entre uma célula central e células vizinhas, acrescido de um limiar de suavização e um raio de análise, atribuindo valores de 1 para maior, 0 para igual e, -1 para menor, respectivamente.

Von Ahn e Figueiró (2021) ilustram a aplicação da proposta para representação dos elementos do relevo. Descrevendo-se de forma simplificada, em A tem-se a representação do MDE em torno da célula central, em B as oito células vizinhas da célula central, represen-



tadas com cores diferentes para indicar se seus valores de elevação são maiores (vermelho), menores (azul) ou com o mesmo valor (verde) de elevação da célula central e, em C, a representação de três maneiras diferentes para mostrar o padrão estudado (Figura 2).

FIGURA 2 - Representação dos Elementos de Geomorphons.

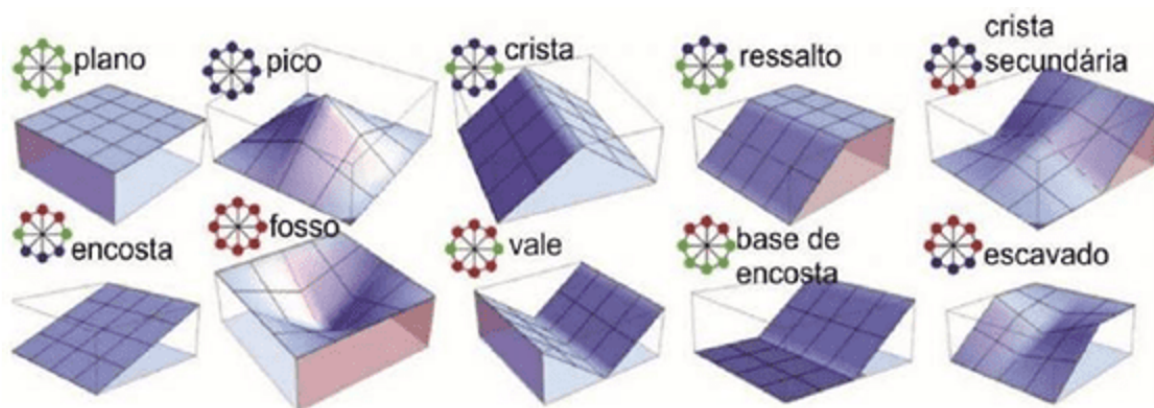


FONTE: Adaptado de Jasiewicz e Stepinski (2013).

Jasiewicz e Stepinski (2013) destacam que além das diferenças altimétricas, para a classificação do relevo torna-se importante a compreensão da distância e o ângulo de direção dos pontos vizinhos em relação à célula central, que são os ângulos Zenith e Nadir. Assim, o ângulo Zenith é um ângulo entre o Zenithe a “line-of-sight”, e o ângulo nadir é um ângulo entre o nadir e uma hipotética “line-of-sight”, que resulta da reflexão do perfil da elevação em relação ao plano horizontal. Ambos são positivos e definidos entre 0° e 180°. Para esse cálculo, perfis são traçados para as oito principais direções a partir da célula central extraída do MDT. A aplicação exige um conjunto de dados raster e dois valores escalares, livres, como parâmetros. Os dois parâmetros livres são lookup “L” (distância em metros ou em unidades células) e threshold (nivelamento em graus). Para os parâmetros livres, aplicou-se valor de “L” igual a 20 píxeis (1.800 metros) e graus “t” igual a 2°.

De acordo com os autores, uma representação gráfica de cada uma das formas de elementos de geomorphons foram identificados e representados por: flat (plano), peak (pico), ridge (crista), shoulder (ressalto), spur (cristã secundária), slope (encosta), hollow (escavado), footslope (base de encosta), valley (vale) e pit (fosso) (Figura 3).

FIGURA 3- Representação Gráfica dos Elementos de Geomorphons.



FONTE: Adaptado de Jasiewicz e Stepinski (2013).



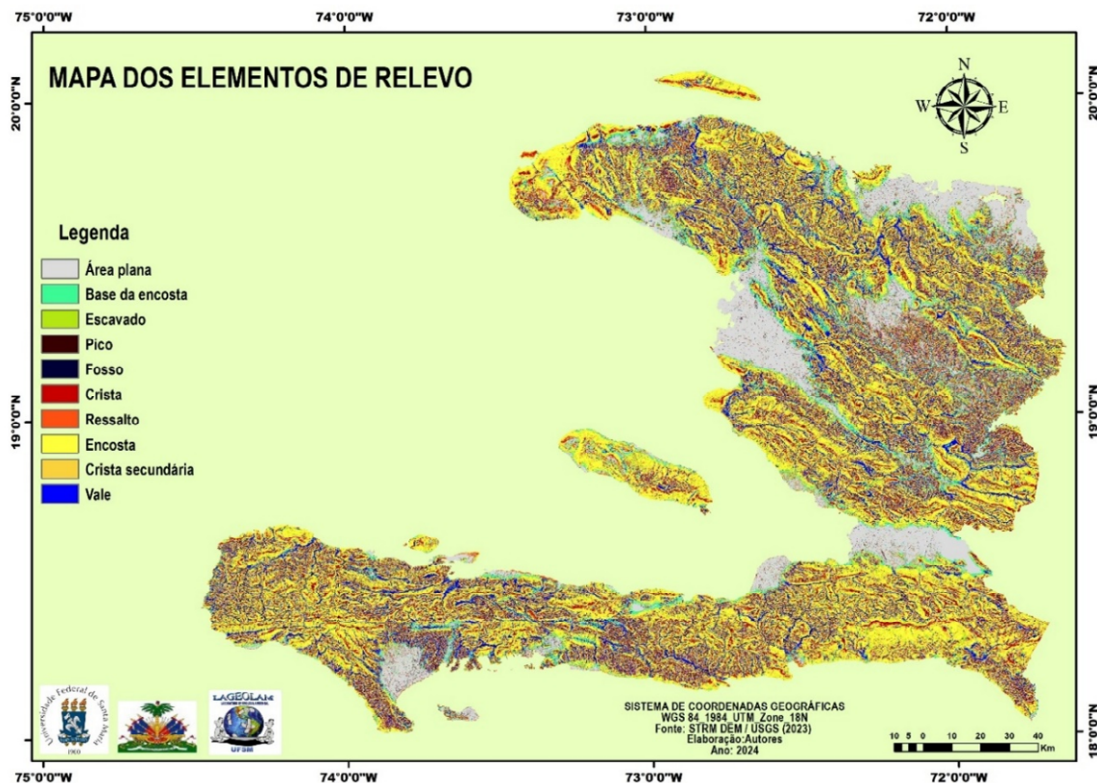
Após a geração dos geomorphons, foram analisados e definidos compartimentos do relevo, que representam agrupamentos predominantes dos geomorphons presentes. No total foram definidos cinco compartimentos que representam o contexto geral do relevo presente no Haiti, que passou a ser descrito e caracterizado no seu contexto geológico/geomorfológico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do relevo do Haiti por meio da classificação dos elementos do relevo em geomorphons confirma a complexidade geomorfológica do país, influenciada por processos tectônicos e climáticos. Esta complexidade se reflete numa grande variedade de formas de relevo, desde as zonas costeiras, com suas planícies até as principais cadeias montanhosas, como a Cordilheira de la Selle, que abriga o ponto mais alto do país, o Pico da Selle. A presença de falhas ativas, particularmente na zona de falha de Enriquillo-Plantain Garden (Calais et al., 2010), e essa atividade tectônica frequente moldam a paisagem, contribuindo para a formação de vales e outras feições geomorfológicas (Butterlin, 1960, Mann et al., 1995 apud Saint Fleur; Klinger; Feuillet, 2020).

A observação da distribuição espacial dos geomorphons (Figura 4) indica que o relevo do país é caracterizado principalmente por dois tipos dominantes de terreno: encostas amplas e vales. As encostas ocupam cerca de 30%, enquanto os vales ocupam cerca de 14% da superfície total do país.

FIGURA 4 - Mapa de Distribuição Espacial dos Elementos do Relevo do Haiti.



FONTE: própria (2024).



Os restantes 56% da área apresentam outros elementos do relevo representados por 13% de elementos do tipo cristas secundárias, 11% elementos cristas, 10% elementos do tipo plano, 10% elementos classificado como escavado, 6% elementos definidos como bases de encostas, 3% de elementos tipo ressalto, 2% por elementos picos (nomeadamente o Pic la Selle, o ponto mais alto do país, com 2.680 m, e o Pic de Macaya, com 2.347 m) e 1% por fosso (Tabela 1).

TABELA 1 - Distribuição dos Geomorphons na Área de Estudo.

Unit	Unidade	Área (km ²)	Área (%)	Representação
Flat	Plano	2.649	10	
Peak	Pico	460	2	
Ridge	Crista	3.097	11	
Shoulder	Ressalto	794	3	
Spur	Crista Secundária	3.494	13	
Slope	Encosta	8.028	30	
Hollow	Escavado	2.819	10	
Footslope	Base de Encosta	1.622	6	
Valley	Vale	3.672	14	
Pit	Fosso	352	1	

FONTE: própria (2024).

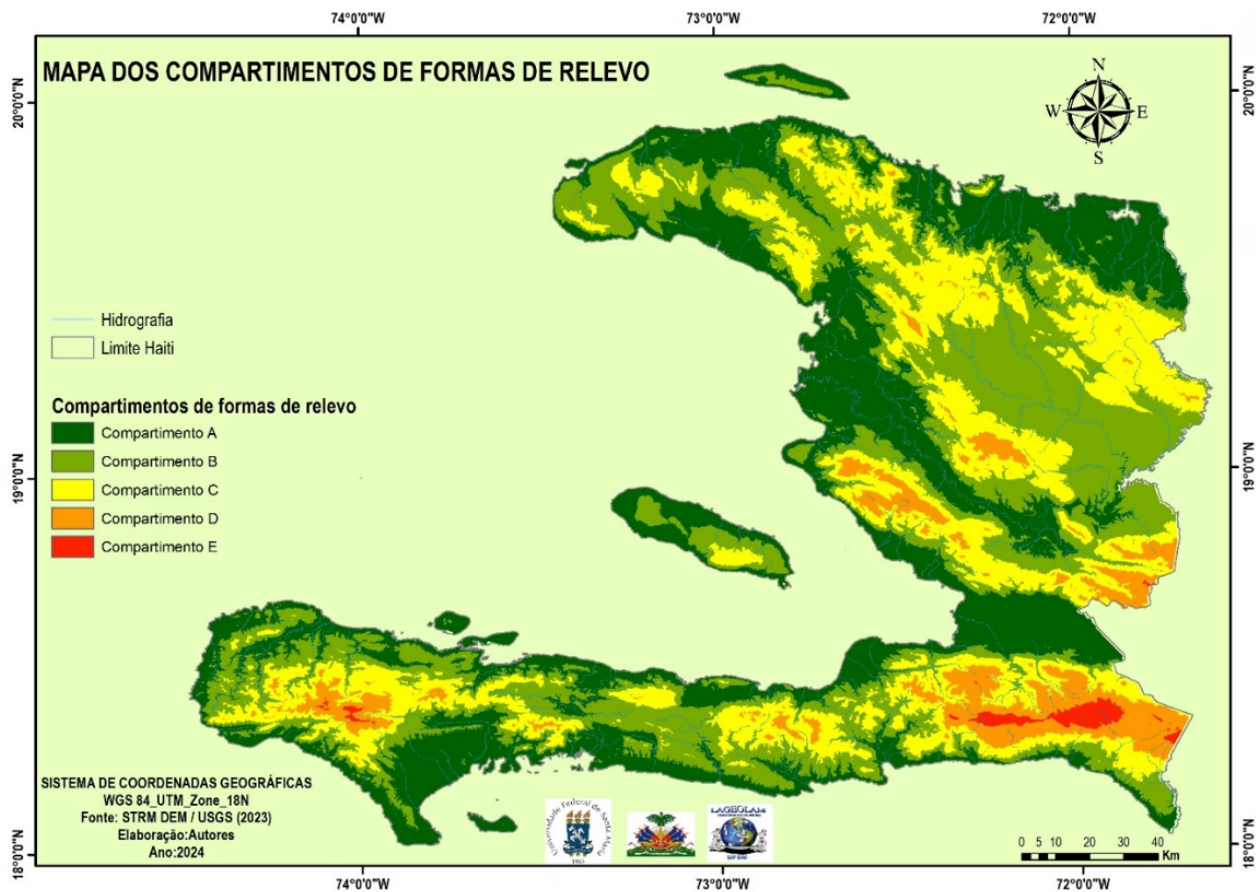
A partir da análise da distribuição espacial e percentual de ocorrência dos elementos de relevo (geomorphons) na área de estudo, foi realizada a cartografia da delimitação de compartimentos de relevo, sua distribuição percentual e a distribuição dos geomorphons em cada compartimento (Figuras 5, 6 e 7).

O compartimento A ocupa 34,26 % da área total do Haiti. O compartimento é caracterizado por vastas extensões de elementos do tipo plano, associados a encostas suaves com uma base e vales mais amplos como a Serra Bossa em relação aos demais compartimentos. A Figura 8 (A) e (B) apresenta uma fotografia da região e uma representação dos geomorphons. Constitui áreas de planícies e vales que correspondem aos sinclinais deslocados pelas falhas da orogenia do Plioceno (Robart, 1984). O relevo plano desse compartimento é o resultado do acúmulo de formações litorâneas e



costeiros, refletindo a rápida elevação da ilha como um todo. Essa elevação foi marcada pelo desenvolvimento de terraços de recifes aluviais no Quaternário (BME, 1993). Esse compartimento, também, contém a depressão Cul-de-Sac (Figura 8C), que é coberta por depósitos detríticos do Neógeno e um pouco de calcário de recife do Quaternário e Planície e Vale de Artidonito de (Figura 8D), dividindo as montanhas Furo de Água ao norte e o Maciço da Selle ao sul. A altitude aumenta constantemente a partir da costa de Porto Príncipe até cerca de 160 m no nível do Lago Azueï, depois diminui na borda leste do Lago Enriquillo, na República Dominicana, atingindo o nível do mar.

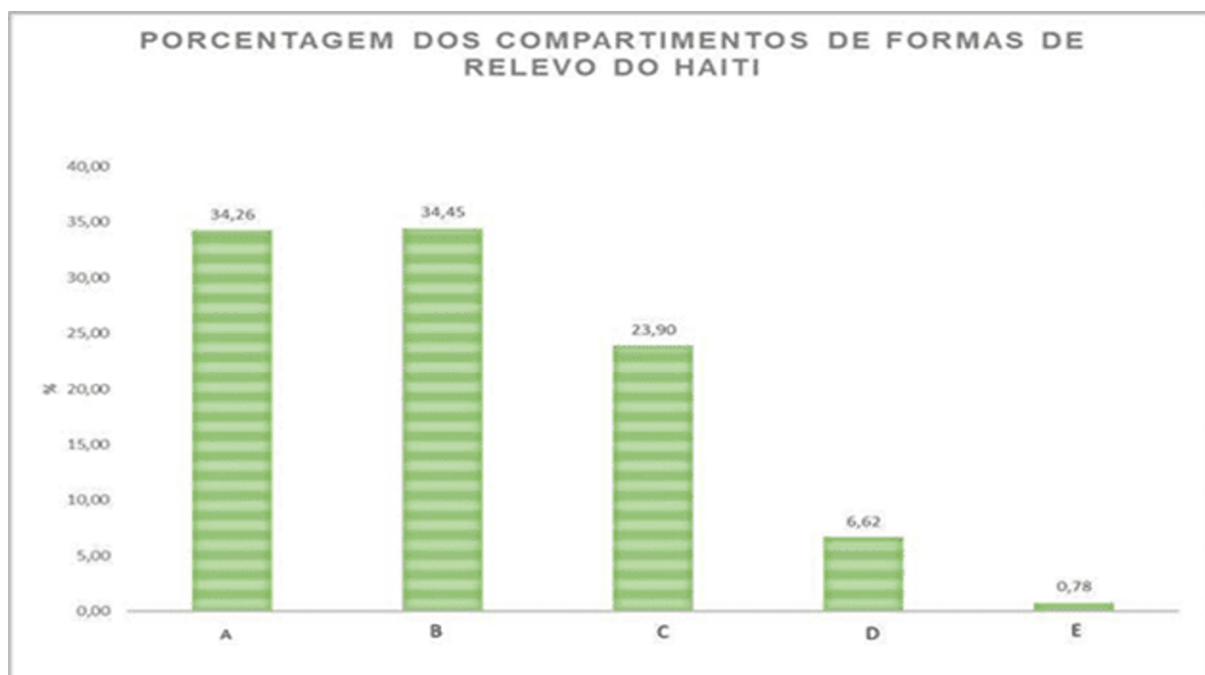
FIGURA 5 - Compartimentos de formas de relevo do Haiti.



FONTE: própria (2024).

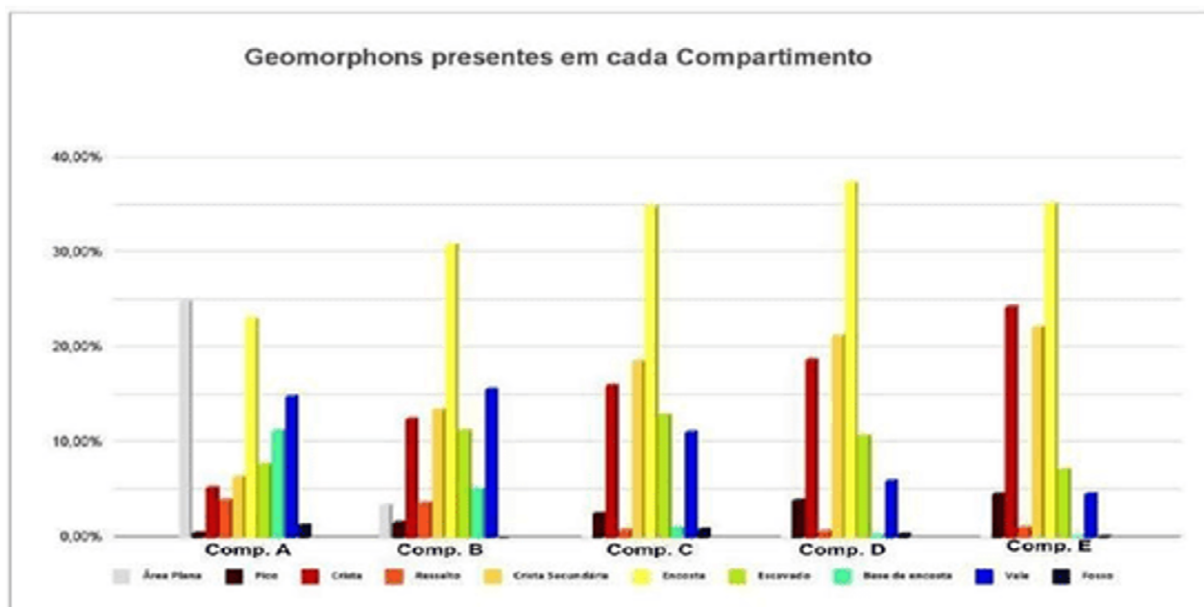


FIGURA 6 - Distribuição percentual dos compartimentos no Haiti.



FONTE: própria (2024).

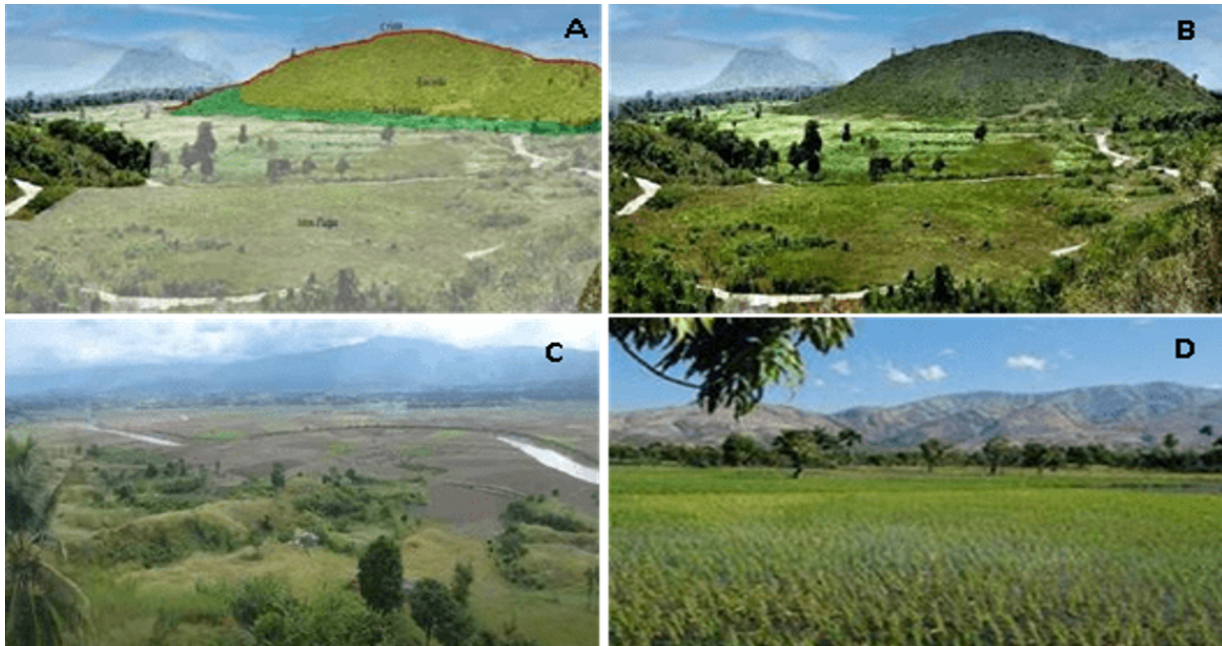
FIGURA 7 - Porcentagem dos Geomorphons presentes em cada Compartimento de formas de relevo do Haiti.



FONTE: própria (2024).



FIGURA 8 - Serra Bossa (A), com indicação dos geomorphons, e (B) fotografia da área da Serra Bossa; (C) Planície Cul-de-Sac; (D) Planície e Vale de Artibonito.



FOTOS: BME (2018) e Patrick Georges (2012). Organização própria (2025).

O compartimento B é caracterizado por encostas curtas moderadas a acentuadas com ressaltos na meia encosta e uma associação de cristas e vales estreitos conforme indicado na bacia hidrográfica de Tiburon (Figura 9). Representa o maior compartimento, ocupando 34,45 % da área total. Esse compartimento caracteriza a região do Planalto Central. Nas partes superiores das encostas, encontra-se a formação Lascahobas, que é composta de calcários coralinos, e nas partes inferiores das encostas, que são menos íngremes, encontramos a formação Thomonde (Butterlin, 1960). Os vales dos rios são cortados pelas formações aluviais do Plioceno e pelos níveis superiores da formação Lascahobas. Nesse compartimento, as áreas vulcânicas têm uma topografia típica, com planaltos alternados com colinas, cristas estreitas e agudas separadas por vales profundos, estreitos e em forma de Y. Há também uma drenagem superficial significativa nessa área, bem como o batólito Terre Neuve, que é uma mina histórica de Mémé com uma composição que varia de diorito a nefelina sienito, e a Formação Abuillott, que é uma fácies terrígenas pelágica do Eoceno Inferior composta de arenito, siltito calcário-argiloso e calcário (Boisson, 2013).



FIGURA 9 - Relevo da Bacia Hidrográfica de Tiburon.



FONTE: Antonio Perera (PNUD, 2021).

O compartimento C, que ocupa 23,90 % do território do Haiti, é caracterizado por não ocorrência do elemento plano, os elementos picos e cristas passam a ser mais representativos e o elemento escavado é o mais importante em relação aos demais compartimentos. Constituem as porções laterais das cadeias de montanha que formam o relevo do Haiti como indicado nessa elevação (Figura 10).

FIGURA 10 - Imagem de elevações que constituem o Compartimento C com os diferentes geomorphons identificados.

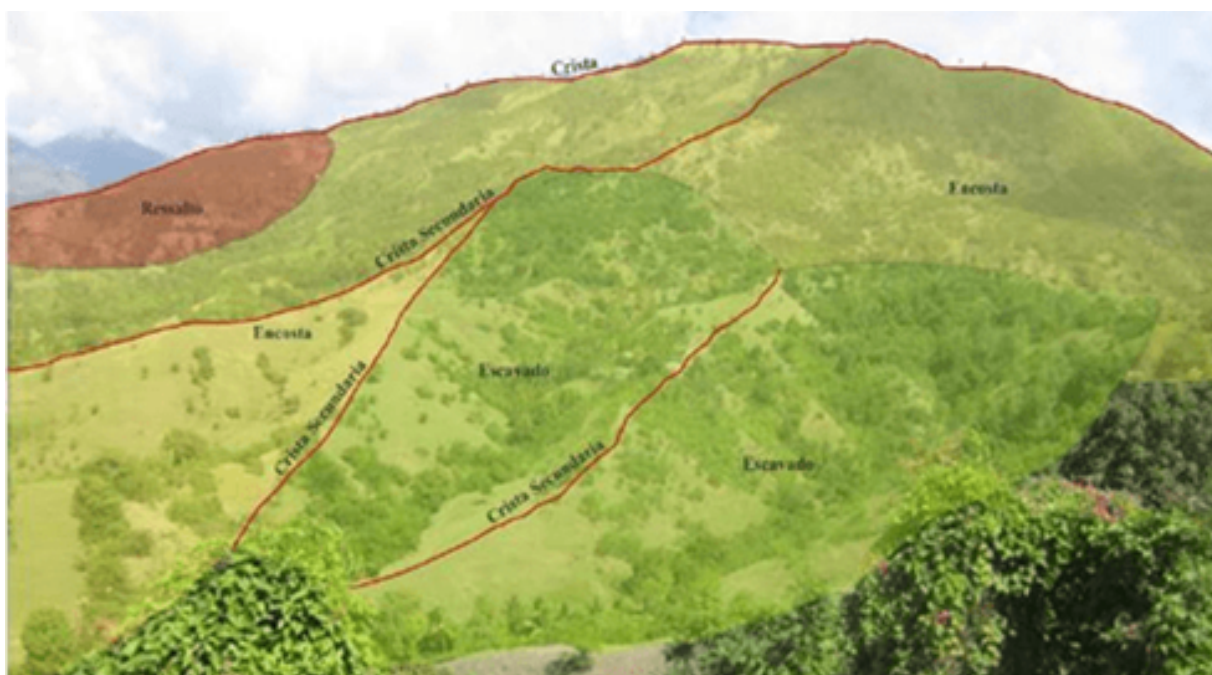


FOTO: Claude Preptit (BME, 2018). Organização própria (2025).



Os compartimentos D e E são constituídos por elementos do relevo que marcam o topo das cadeias montanhosas. O Compartimento D representa 6,62 % da área total, e o compartimento E ocupa área de 0,78% da área total.

O compartimento D, em relação aos compartimentos anteriores, apresenta uma maior representação do elemento encosta. Os elementos crista, crista secundária e picos são muito importantes (Figura 11A). Os vales são estreitos e encaixados, por isso passam a ser menos representativos.

Representam o topo das Cadeias das Montanhas Pretas e de Matheux e a Montanha do Furo de Água. A cadeia Matheux, fortemente desmatada, apresenta topografia cárstica marcada por encostas com dolinas. Os vales dos rios são íngremes, por vezes formando cânions, com infiltração significativa (Butterlin, 1960). Em particular, “l’Herbe Madame Michel” apresenta um relevo pouco acentuado, com exceção dos vales dos rios que formam verdadeiras gargantas.

Segundo Butterlin (1960), a parte NW do maciço, as Montanhas Negras apresentam uma superposição de séries calcárias do Eoceno médio e séries mais antigas de andesitos e dacitos. Este fenómeno cria uma típica inversão de relevo com sinclinais empoleirados correspondentes a calcários (serra Bazile, Chapelet etc.) e vales anticlinais constituídos por rochas ígneas mais antigas, formando savanas baixas.

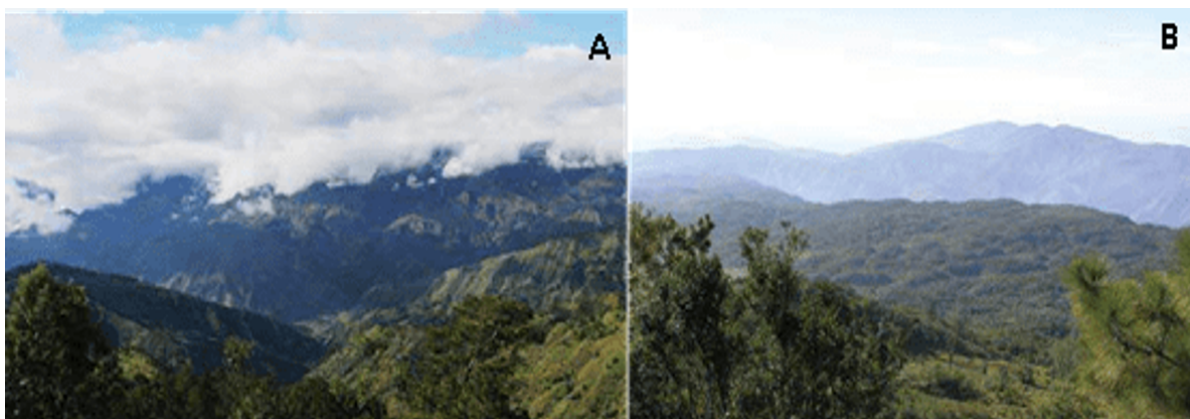
As montanhas de Furo de Água, constituídas principalmente por calcários maciços e cristalinos datados do Eocénico e do Miocénico Inferior, sofreram uma deflorestação significativa, dando origem a uma topografia cárstica característica. Notamos a ausência de drenagem superficial, exceto na parte norte do maciço composto por formações detríticas pouco permeáveis.

O Compartimento E é o compartimento com maior representação dos elementos de crista, crista secundária e picos. Formam as áreas de maior altitude do país. Representam o topo do Maciço Selle e do Maciço Hotte. O maciço de Hotte, separado do maciço de Selle pela depressão Carrefour Fauché-Jacmel, atinge uma altitude de 2.405 m em seu ponto mais alto, Pic Macaya (Woodring; Brown; Burbank, 1924) (Figura 11B). A parte leste do maciço tem picos mais baixos e encostas menos íngremes. A rede hidrográfica do maciço de Hotte é densa, principalmente na parte oeste, com o Grande Anse, o segundo maior rio do país. O Maciço da Selle é a maior cadeia de montanhas do Haiti, atinge uma altitude de 2.680 m em Pic la Selle (Butterlin, 1960). Ele tem uma faixa axial que vai de oeste a leste. Ao sul da cadeia principal, as encostas são suaves até chegarem a uma linha de planaltos, cuja altitude varia entre 1.300 e 1.700 m. A



rede hidrográfica do maciço de Selle é menos extensa do que a de Hotte, com a maioria dos rios tendo sua nascente na zona de basalto. Ambos os maciços são compostos de calcário e basalto.

FIGURA 11 - Relevo de montanha do Maciço da Hotte, departamento de Grand'Anse. Em A, vistas dos cristas e vales encaixados. Em B, encostas com declividades acentuadas.



FONTE: GEO-HAITI (2010).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de geotecnologias associadas à análise ambiental proporciona a incorporação de procedimentos e técnicas que auxiliam a análise do relevo. A abordagem de identificação de compartimentos de relevo a partir dos geomorphons foi eficaz na delimitação de diferenças na geomorfologia da República do Haiti. O método possibilitou destacar características distintas e específicas que correspondem a estruturas geomorfológicas bem definidas.

O agrupamento dos elementos de geomorphons em classes predominantes possibilitou a compartimentação do Haiti em cinco compartimentos de formas de relevo. Os resultados fornecem uma melhor compreensão da diversidade de formas de relevo no Haiti. Estudos de detalhes podem ser desenvolvidos a partir dos diferentes compartimentos, indicando diferentes respostas aos processos geomorfológicos.

Agradecimentos:

Os autores agradecem o Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.



REFERÊNCIAS

- ATKINSON, J.; CLERCQ, W.; ROZANOV, A. Multi-resolution soillandscape characterisation in KwaZulu Natal: Using geomorphons to classify local soilscapes for improved digital geomorphological modelling. **Geoderma Regional**, v. 22, p. 1-17, 2020.
- BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M. Variáveis geomorfométricas locais e sua relação com a vegetação da região do interflúvio Madeira-Purus (AM-RO). **Acta Amazonica**, v. 39, n. 01, p. 81-90, 2009.
- BME, Bureau des Mines et de l'Energie. **Notice explicative de la carte géologique d'Haïti au 1/250 000ème**. 1993. Disponível em: <http://www.bme.gouv.ht>. Acesso em: 17 set. 2024.
- BOISSON, D. **Géologie d'Haïti I : Cadre Régional et Géologie Général**. Note de Cours 2013.
- BUTTERLIN, J. **Géologie générale et régionale de la République d'Haïti**. 1960. Thèse (Doctorat en Géologie) – Université de Paris. Paris, 1960, 234 p. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/books.iheal.5606>.
- CALAIS, E.; FREED, A.; MATTIOLI, G.; AMELUNG, F.; JÓNSSON, S.; JANSMA, P.; HONG, S.-H.; DIXON, T.; PRÉPETIT, C.; MOMPLAISIR, R. 2010. **Transpressional rupture of an unmapped fault during the 2010 Haiti earthquake**. *Nat. Geosci.* 3, 794–799.
- CÁTEN, A.; DALMOLIN, R. S. D.; RUIZ, L. F. C.; SEBEM, E.; PEREIRA, R. S. Pedometria aplicada à predição de classes de solos utilizando de regressões logísticas múltiplas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIV, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, p. 25-30, 2009.
- CHAGAS, C. S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros**. (Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa – UFV, 2006. 223 p.
- GEO-HAÏTI. **État et Perspectives de l'Environnement**, 2010, 200 p.
- GOMES, S. M. A.; SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P. Compartimentação Geomorfológica de Unidades de Relevo das Cartas MI 2726-4 e MI 2820-2 - Estado do Paraná. In: Simpósionacional de Geomorfologia. 11., 2016, Maringá. **Anais...** Maringá: UGB, 2016. p. 5.
- IHSI, Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique. **Des données pour comprendre, des systèmes d'informations pour agir**. République d'Haïti, 2021.
- IPPOLITI, G. A.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C. E.G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R.; SOUZA, E. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacias na região de “Mar de Morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.269-276, 2005.
- IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated Classifications of Topography from DEMs by an Unsupervised Nested Means Algorithm and a Three-part Geometric Signature. **Geomorphology**. vol. 86. p. 409–440, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.012>.
- JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons a Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms. **Geomorphology**, 182. p. 147-156, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>.
- JULESZ, B. Textons, the Elements of Texture Perception, and Their Interactions. **Nature**. vol. 290. p. 91-97, 1981. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/290091a0>.
- LIAO, W. H. Region Description Using Extended Local Ternary Patterns. **Anais...** 20th International Conference on Pattern Recognition, p. 1003-1006, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ICPR.2010.251>.
- MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. Landforms and landform elements in geomorphometry. In: Hengl, T.; Reuter, H.I. (eds), **Geomorphometry-Concepts, Software, Applications**. **Developments in Soil Science**, Amsterdam Elsevier, vol. 33. pag. 227-254, 2009. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)00009-3](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)00009-3).
- MANN, P.; TAYLOR, FW.; EDWARDS, R. L; KU, TL. Formation de microplaques en évolution active par collision oblique et mouvement latéral le long de failles décrochantes: un exemple de la marge de plaque du nord-est des Caraïbes. **Science Direct, Tectonophysique**, 1995, vol. 246. p. 69. Disponível em : [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)00268-E](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)00268-E).



- MOORE, I. D.; GESSLER, G.A.; PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443 - 452, 1993.
- MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A. R. Digital terrain modeling: A review of Hydrological, geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, p. 3-30, 1991.
- MUÑOZ, V. A. **Análise Geomorfométrica de Dados SRTM Aplicada ao Estudo das Relações Solo-Relevo**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (Dissertação Mestrado em Sensoriamento Remoto), 2009. 112p.
- PENNOCK, D. J. Terrain attributes, landform segmentation, and soil redistribution. **Soil and Tillage Research**. 69 (1–2), 15–26, 2003.
- PETSCH, C.; de SOUZA ROBAINA, L. E.; TRENTIN, R.; ROSA, K. K.; FIGUEIREDO, A. R. de; SIMÕES, J. C. O uso de métodos de mapeamento automático de relevo para análise de formas glaciais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, n. 21(2), 2020. Disponível em: DOI: 10.20502/rbg.v21i2.1771.
- PNUD. **Cartographie des aléas inondations, mouvements de terrain et dégradation des sols dans le département du nord-ouest et l'arrondissement de Gros-Morne dans le département de L'Artibonite**. HAITI. RFP/UNDP/HAI/18.267, 2020.
- RADEMANN, L.K.; DUTRA, D.S.; ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R. Análise da rugosidade do relevo utilizando a ferramenta Focal Statistics no município de Canguçu, RS. **Caderno de Geografia** 29, 805-818, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2019v29n58p805-818>.
- ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de geomorphons obtidos em classificação topográfica automatizada. **Revista Brasileira de geomorfologia**. v. 17, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i1>.
- ROBAINA, L. E.; TRENTIN, R.; BORRAS, M. A. Compartimentação do Relevo do Uruguai com Uso de Geomorphons Obtidos em Classificação Automática. **Geografia**. (Londrina) v. 32, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2023v32n1p9>.
- ROBART, G. **Végétation de la République d'Haïti : Région tropicale dégradée en voie d'aménagement**. (Thèse Doctorat en Sciences) - Université Scientifique et Médicale de Grenoble. 1984. 195 p.
- SAINT FLEUR. N.; KLINGER, Y.; FEUILLET, N. Carte détaillée, déplacement, paléosismologie et segmentation de la faille Enriquillo-Plantain Garden en Haïti. **Science Direct, Tectonophysics**, 2020, Tome 778. p.70. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228368>.
- SCHMIDT, J., DIKAU, R. Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models — semantics, methods, future needs. In: Dikau, R., Saurer, H. (Eds.), **GIS for Earth Surface Systems — Analysis and Modelling of the Natural Environment**. Schweizbart'sche Verlagsbuchhandlung, pp. 153–173, 1999.
- SCHMIDT, J.; HEWITT, A. Fuzzy Land Element Classification from DTMs Based on Geometry and Terrain Position. **Geoderma**, vol. 121. p. 243-256, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.10.008>.
- SHARY, P.A., SHARAYA, L.S., MITUSOV, A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. **Geoderma**. 107 (1–2), 1–32, 2002.
- SILVEIRA, C. T. et al. Classificação automatizada de elementos de relevo no estado do Paraná (Brasil) por meio da aplicação da proposta dos geomorphons. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.19, n.1, (Jan-Mar) p.33-57, 2018.
- SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C. Emprego de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de relevo apoiado em atributos topográficos e árvore de decisão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 15(1). (Jan-Mar) p.87-101, 2014.
- SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C.; SIRTOLI, A. E.; SILVA. Pedometria apoiada em atributos topográficos com operações de tabulação cruzada por álgebra de mapas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.2, p.125-137, 2012.



- SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P. Classificação geomorfométrica de unidades morfológicas do relevo no Estado do Paraná obtida de atributos topográficos e árvore de decisão. In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2013, Vitória/ES. **Anais...Vitória/ES: Universidade Federal do Espírito Santo**, 2013.
- SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MONTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. A.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia agraria**, v.9, n.3, p.317-329, 2008.
- TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; SILVEIRA, C. T. Compartimentação geomorfométrica da bacia hidrográfica do rio Itú/RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, p. 219-237, 2015.
- TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Classification of the landform units supported by geomorphometric attributes. **Mercator (Fortaleza. Online)**, v. 15, p. 53-66, 2016.
- VON AHN, M. M; FIGUEIRÓ, A. S. Application of geomorphons in the construction of a geomorphological heritage index of the municipality of Bombinhas-SC-Brasil. **William Morris Davis-Revista de Geomorfologia**, v. 2, n. 2, p. 1-20, 2021.
- WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.
- WOODRING, W. P; BROWN, J.S; BURBANK, W. S. **Géologie de la République d’Haïti**. Dept Travaux Publics., Port-au-Prince, 631 p, 1924.



MUDANÇAS CLIMÁTICAS E CARTOGRAFIA DAS MORFOGÊNESES DO RELEVO: SUBSÍDIOS AO ORDENAMENTO TERRITORIAL NO PERÍMETRO URBANO DE PELOTAS/RS

Este artigo contempla resultados do projeto de pesquisa “Mapeamento Geomorfológico do município de Pelotas (RS/ Brasil).

Moisés Ortemar Rehbein ¹
Isaac Tailque Papini de Brito ²
Nina Simone Vilaverde Moura ³
Adriano Luis Heck Simon ⁴

PALAVRAS-CHAVE: Mapeamento geomorfológico; Ordenamento territorial urbano; Mudanças climáticas; Planícies de inundação; Áreas úmidas.

RESUMO

O estudo evidencia a importância da análise das diferentes morfogêneses de relevo no perímetro urbano de Pelotas — situado no sul do estado do Rio Grande do Sul (RS), às margens da Lagoa dos Patos e do Canal São Gonçalo — como subsídio fundamental para o ordenamento territorial em um contexto de mudanças climáticas. A pesquisa adota como base teórico-metodológica as fundamentações de Ross (1992), priorizando o mapeamento geomorfológico associado à gênese e à cronologia das formas, o quarto táxon do relevo na proposta do autor. Os procedimentos operacionais envolvem a) Revisões bibliográficas; b) Reconhecimentos de campo; e c) Atividades de laboratório, tendo como importante plano de informação cartográfica o Modelo Digital de Terreno (resolução espacial de 5 metros) resultante da interpolação de dados tridimensionais de nuvem de pontos gerada por tecnologia LiDAR, com acurácia vertical de ± 5 a 15 cm. A cidade de Pelotas está inserida em relevos da Bacia Sedimentar de Pelotas e da Planície e Terras Baixas Costeiras do RS, formados a partir do Quaternário e condicionados por ciclos transgressivos e regressivos do mar. O levantamento identificou onze unidades morfológicas, agrupadas em formas pleistocênicas — colinas colúvio-aluvionares, terraços colúvio-aluvionar, lagunar, praias eólicas, flúvio-lagunar e dunas — e formas holocênicas — terraço lagunar e planícies paludiais, fluviais, lagunar e flúvio-lagunar. A formação dos relevos pleistocênicos resulta de **erosão fluvial, lacustre e lagunar**, que se desenvolveu a partir de superfícies de contato entre os diferentes materiais deposicionais,

¹ Prof. Dr. do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Pelotas - UFPel, moises.rehbein@ufpel.edu.br

² Grad. do Curso de Geografia da Universidade Federal de Pelotas - UFPel, isaacpapini@gmail.com

³ Profa. Dra. do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, nina.moura@ufrgs.br

⁴ Prof. Dr. do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Pelotas - UFPel, adrianosimon@gmail.com



atrelada as oscilações do **nível de base** da rede de drenagem costeira. Esse processo originou **descontinuidades clinográficas no relevo**, expressas por **superfícies de taludes e de diferentes patamares altimétricos**. A formação dos relevos holocênicos ocorre, principalmente, em função da oscilação do nível freático, extravasamento periódico dos cursos d'água e processos deposicionais. Essas superfícies de acumulação abrangem os leitos maior e excepcional dos cursos d'água e são conhecidas como planícies de inundação. Nessas morfogêneses de relevo os riscos de ocupação são agravados pela crescente impermeabilização urbana do solo. A expansão urbana sobre essas áreas, quando justificada pela adoção de sistemas de contenção, revela-se inconsistente, tanto diante da intensificação dos eventos extremos de precipitação, quanto em função da iminente elevação do nível de base regional da rede de drenagem. De acordo com as previsões de elevação do nível do mar, por compensação hidrostática, as planícies da área de estudo tendem a se tornar superfícies permanentemente alagadas. Assim, reforça-se a necessidade de reconhecer os ambientes naturais remanescentes sobre essas planícies como unidades prioritárias para a preservação e conservação. Essas formas de relevo foram modeladas espaço-temporalmente ao longo do Quaternário para acomodar as inundações associadas às mudanças climáticas. Por sua vez, os relevos pleistocênicos, representados por colinas e terraços, apresentam características geomorfológicas favoráveis à expansão urbana. Essas unidades de relevo possuem superfícies relativamente planas, de cotas altimétricas mais elevadas, terrenos estáveis e concentram vazios urbanos. O estudo reforça a importância da implementação de políticas públicas de ordenamento territorial que incorporem o relevo como elemento estruturante, promovendo resiliência para a cidade de Pelotas frente aos riscos hidrológicos e geológicos intensificados pelas mudanças climáticas.

INTRODUÇÃO

O Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2019) projeta a elevação do nível médio global do mar nas próximas décadas como consequência das emissões de gases de efeito estufa, alertando para os riscos associados a esse fenômeno. No sul do Brasil, estudos regionais, como o de Marengo et al. (2021), apontam que esse processo tende a ser agravado pelo aumento da frequência de eventos climáticos extremos. No Rio Grande do Sul (RS), destacam-se como áreas vulneráveis aos impactos socioambientais da elevação do mar e aos eventos extremos as superfícies da planície e terras baixas costeiras (Moura, 2022). Nesses relevos, nos ambientes urbanos, a combinação de chuvas intensas com a elevação abrupta dos níveis dos cursos d'água tem provocado colapsos recorrentes nos sistemas de drenagem, afetando amplos contingentes populacionais. É o caso de Pelotas no RS, cidade localizada às margens da Lagoa dos Patos e do Canal São Gonçalo, onde 22.341 domicílios particulares permanentes foram diretamente impactados pelas inundações associadas à emergência climática registrada no estado em maio de 2024 (IBGE, 2024).



Diante desses fatos, torna-se imperativo planejar e implementar medidas eficazes de adaptação e resiliência urbana. Entre essas medidas, destacamos nesse estudo a adoção do relevo como elemento-chave para o ordenamento territorial, sobretudo, por meio da compreensão das suas morfogêneses. Especialmente nas zonas costeiras, as origens e formas do relevo são indicadores de episódios pretéritos de avanço e recuo do mar, elas são registros das mudanças climáticas e ambientais do passado. Compreender a evolução das formas de relevo, sobretudo ao longo do Quaternário, revelam preciosas informações frente aos desafios socioambientais contemporâneos e futuros, subsidiando políticas assertivas de ordenamento territorial.

Além de mapear e analisar, sob a perspectiva da gênese, as diferentes formas de relevo no perímetro urbano de Pelotas (RS), este estudo identifica as morfogêneses naturalmente suscetíveis a alagamentos, inundações e movimentos de massa que, quando ocupadas, configuram áreas de risco hidrológico e geológico. No contexto das mudanças climáticas em curso e de seus impactos regionais, o estudo também questiona a eficácia das medidas de controle e proteção contra inundações adotadas até o momento. Por fim, propõe soluções baseadas nas características geomorfológicas da área, indicando as morfogêneses de relevo mais adequadas e seguras para a expansão urbana.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo adota como pressupostos teórico-metodológicos as definições taxonômicas do relevo para o mapeamento geomorfológico propostas por Ross (1992). A investigação desenvolve-se na perspectiva da inventariação e da cartografia das formas de relevo, com ênfase em suas particularidades morfocronogenéticas, correspondentes ao quarto nível taxonômico da proposta do autor. Complementarmente, os trabalhos de Silva e Rehbein (2018), Moura (2022) e Pizzutti e Rehbein (2024), os quais, pesquisas precursoras deste estudo, orientaram a definição dos Planos de Informações (PIs) elementares (Quadro 1) e dos procedimentos operacionais.

A equipe reprojeteu, quando necessário, todos os PIs para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), fuso UTM 22S. As edições vetoriais foram feitas com o programa QGIS, versão 3.22.9. Os procedimentos operacionais envolveram três principais frentes de atuação: a) Revisões bibliográficas; b) Reconhecimentos de campo; e c) Atividades de laboratório.

As revisões bibliográficas contemplaram leituras sobre a evolução morfoestrutural e morfoescultural do relevo de inserção da área de estudo. Os reconhecimentos de campo foram realizados em etapas prévias e concomitantes às atividades de laboratório, com o objetivo de identificar e validar informações. Essas atividades envolveram análises



táteis e visuais de formações superficiais, morfologias de relevo, usos e coberturas da terra, além de registros fotográficos e aferição de coordenadas e altitudes dos pontos de visada correspondentes aos registros. As incursões ocorreram em diferentes datas entre os anos de 2020 e 2025. As atividades de laboratório, desenvolvidas no Laboratório de Geotecnologias Aplicadas ao Ensino de Geografia da UFPel, consistiram na construção de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) a partir dos PIs listados no Quadro 1. O objetivo foi realizar a edição vetorial das morfologias de relevo associadas as distintas litoestratigrafias, possibilitando a cartografia das diferentes morfocronogêneses do modelado da área estudada.

QUADRO 1: Planos de informações.

PLANO DE INFORMAÇÃO		FONTE
V E T O R	Morfologia do relevo e hidrografia do perímetro urbano de Pelotas (compatível com a escala de 1:25.000).	Pizzutti e Rehbein (2024)
	Macrodrenagem, sistema viário e perímetro urbano (compatível com a escala de 1:25.000).	Pelotas (2018, 2020, 2022); SEMA/RS (2018)
	Litoestratigrafia. Folha: SH.22-Y-D-IV; Pelotas (1:100.000).	CPRM (2019)
R A S T E R	Modelo Digital de Elevação - MDE / SRTM (~30m).	USGS (2018)
	Modelo Digital de Terreno – MDT (05 m). Resultante da interpolação de dados tridimensionais provenientes da nuvem de pontos gerada por tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging). Acurácia vertical: ± 5 a 15 cm.	Xavier (2017)

FONTE: própria (2025).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ARCABOUÇO GEOLÓGICO-GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

A área do perímetro urbano de Pelotas está situada sobre relevos associados ao desenvolvimento da Bacia Sedimentar de Pelotas (unidade morfoestrutural) e das Planícies e Terras Baixas Costeiras (unidade morfoescultural) do estado do RS (Moura, 2022). A Bacia de Pelotas é classificada como uma bacia marginal aberta, formada sobre a borda continental e a crosta oceânica. Estende-se por áreas do sul da margem continental brasileira — abrangendo os estados de Santa Catarina (a partir do Alto de Florianópolis) e do Rio Grande do Sul — e pelo norte da margem continental uruguaia, até o Alto de Polônio. A bacia compreende tanto superfícies emersas quanto, em sua maior parte, superfícies submersas (Corrêa et al., 2019).

A constituição da Bacia Sedimentar de Pelotas está fortemente relacionada ao processo de rifteamento do supercontinente Gondwana e à abertura do Oceano Atlântico Sul, ocorridos no Cretáceo Inferior. Seu embasamento é composto por



diferentes associações petrotectônicas pré-cambrianas, pertencentes ao Escudo Sul-Rio-Grandense e Uruguaio, bem como por sequências sedimentares e vulcânicas das eras Paleozoica e Mesozoica, relacionadas à Bacia do Paraná (Corrêa et al., 2019).

A evolução litoestratigráfica da Bacia de Pelotas é marcada por diferentes estágios, descritos por Bueno et al. (2007) como supersequências: Paleozoica-Mesozoica, Pré-Rifte, Rifte, Pós-Rifte e Drifte (esta última subdividida em sequências plataformal, transgressiva e regressiva). Esses estágios refletem a evolução tectono-sedimentar da bacia, caracterizada por tectônica extensiva, subsidência crustal, formação de grabens e half-grabens, além de intensa sedimentação, predominantemente marinha.

Conforme Corrêa et al. (2019), a Bacia de Pelotas é estruturalmente composta por uma porção profunda, na qual o embasamento se encontra até 10.000 m, e uma porção rasa, onde o embasamento ocorre entre 0 e aproximadamente 2.500 m. De modo geral, os sedimentos depositados na bacia têm como principais áreas-fonte as rochas ígneo-metamórficas do Escudo Sul-Riograndense e Uruguaio, além das rochas vulcano-sedimentares da Bacia do Paraná.

A denudação das unidades morfoestruturais do relevo situadas a oeste da Bacia Marginal de Pelotas deu origem a fácies sedimentares predominantemente clásticas terrígenas, que se acumularam ao longo da zona costeira durante o Cenozoico, como resultado de processos atuantes em diversos ambientes de sedimentação (Corrêa et al., 2019). Esses depósitos contribuíram, especialmente no Quaternário, para a configuração da morfoescultura das Planícies e Terras Baixas Costeiras do estado do Rio Grande do Sul (Moura, 2022).

As Planícies e Terras Baixas Costeiras constituem a porção superficial da Bacia Marginal de Pelotas, além de representarem a mais ampla planície costeira do território brasileiro, alcançando, em alguns setores, mais de 100 km de largura. Essas superfícies desenvolveram-se a partir de um extenso sistema de leques aluviais (que nas fácies proximais englobam o retrabalhamento de depósitos de tálus e cones de dejetção) e do acréscimo lateral de quatro sistemas deposicionais do tipo 'Laguna-Barreira'. A formação das barreiras está relacionada aos máximos transgressivos marinhos ocorridos durante os principais ciclos glácio-eustáticos do Quaternário, os quais condicionaram a formação de ambientes flúvio-lacustres e lagunares, como do canal São Gonçalo, da lagoa Mirim e da laguna dos Patos (Villwock; Tomazelli, 2000).



AS DIFERENTES MORFOGÊNESES DE RELEVO NO PERÍMETRO URBANO DE PELOTAS

O estudo identificou onze unidades morfológicas de relevo na zona urbana de Pelotas, distintas em termos de gênese e cronologia. Essas unidades agrupam-se em dois conjuntos principais: formas pleistocênicas, associadas aos sistemas deposicionais Laguna-Barreira II e III, cujos picos transgressivos marinhos possuem idades absolutas estimadas em aproximadamente 325 ka e 120 ka, respectivamente; e formas holocênicas, vinculadas ao sistema deposicional da Barreira IV, cujo pico transgressivo máximo ocorreu há cerca de 5 ka, atingindo altitudes de aproximadamente 5 m acima do nível do mar atual na região (Villwock; Tomazelli, 2000).

As formas pleistocênicas, associadas ao sistema deposicional Barreira II, compreendem as seguintes unidades morfogenéticas de relevo: colinas colúvio-aluvionares, terraço colúvio-aluvionar, terraço lagunar, terraço praial-eólico e dunas fitoestabilizadas. Já as unidades relacionadas ao sistema Barreira III correspondem ao terraço flúvio-lagunar.

As formas holocênicas, por sua vez, vinculadas ao sistema deposicional da Barreira IV, englobam: terraço lagunar, planície flúvio-lagunar, planícies fluviais, planícies paludiais e planície lagunar.

OS RELEVOS PLEISTOCÊNICOS

Durante o Pleistoceno, os ciclos de transgressão e regressão marinha, associados à reorganização e à variação do nível de base da rede de drenagem, promoveram alterações nos níveis freáticos e nas competências dos cursos e corpos d'água continentais, resultando no retrabalhamento dos sistemas de leques aluviais, incluindo depósitos de tálus e cones de dejeção. Como consequência, a morfologia em leque deixou de ser claramente reconhecível, uma vez que suas fácies passaram a se distribuir em rampas suaves, devido à coalescência, ao retrabalhamento e à erosão dos depósitos (Tomazelli; Villwock, 2000). Esses processos, impulsionados por alternâncias entre períodos de maior aridez e resfriamento climático e períodos de maior umidade e aquecimento, culminaram, na área atualmente correspondente ao perímetro urbano de Pelotas, na formação de vertentes de colinas, dois patamares de terraços e dunas.

As colinas distinguem-se visualmente na paisagem por sutis descontinuidades clinográficas, possivelmente condicionadas pela influência do embasamento de ortognaisses granodioríticos na morfologia das vertentes. No entanto, trata-se de formas de relevo originadas pelo retrabalhamento de rampas formadas por depósitos



colúvio-aluvionares sobre essas litologias, modeladas por processos plúvio-fluviais atuantes ao longo do Quaternário. Por essa razão, foram classificadas como **colinas colúvio-aluvionares**.

Essas **colinas** se localizam na porção oeste do perímetro urbano, apresentando-se como segmentos de baixas vertentes, com perfis suaves convexos e notórios comprimentos de rampa. Suas superfícies possuem inclinações predominantemente inferiores a 3%, podendo atingir valores de até 5%, situando-se, em geral, entre as cotas altimétricas de 25 a 45 metros. As colinas ocupam aproximadamente 5,50 km² ou 3% da área do perímetro urbano (Pizzutti; Rehbein, 2024).

Por sua vez, os **terraços** correspondem a superfícies que indicam **patamares altimétricos remanescentes** de antigos **ambientes deposicionais**, como os **colúvio-aluvionares, lagunares, praias-eólicos e flúvio-lagunares**. A formação dessas unidades de relevo resulta da atuação da **erosão fluvial, lacustre e lagunar**, que se desenvolveu a partir das superfícies de contato entre esses diferentes materiais deposicionais, atrelada as oscilações do **nível de base** da rede de drenagem ao longo do **Quaternário**. Esse processo deu origem a **descontinuidades clinográficas no relevo**, expressas por **superfícies de taludes, formando superfícies intercaladas de diferentes patamares altimétricos**.

As variações no nível de base da drenagem — ora marcadas pela **elevação do nível freático e dos cursos d'água**, ora pelo seu **rebaixamento** — desencadearam diferentes processos erosivos. Nos períodos de elevação, houve a intensificação da **erosão lateral (ou marginal)**, resultando no recuo das superfícies de taludes. Já nas fases de rebaixamento, acompanhadas pelo aumento de **competências hidrodinâmicas**, favoreceu-se a ocorrência de **erosão regressiva (ou vertical)**, com o conseqüente aprofundamento de talvegues e a formação de patamares altimétricos adjacentes. Na área do perímetro urbano, são possíveis de se identificar até dois níveis distintos de terraços.

A influência dos cursos d'água na evolução das superfícies em terraços é evidente ao se analisarem suas características morfológicas e distribuição espacial. Observa-se que as superfícies dos terraços colúvio-aluvionar e lagunar tornam-se progressivamente mais estreitas no sentido jusante dos arroios Moreira-Fragata, Santa Bárbara, Pelotas e do Canal São Gonçalo. Além disso, as variações nos níveis da Lagoa Fragata e da Laguna dos Patos contribuíram para processos de abração e formação de taludes nos terraços colúvio-aluvionar, lagunar e praias-eólico. Já o terraço flúvio-lagunar resulta do aumento da competência fluvial e do aprofundamento do talvegue do arroio Pelotas.

Distribuídos em todas as direções dentro do perímetro urbano, embora com maior predominância na direção norte, os terraços caracterizam-se por superfícies amplas



e predominantemente planas, com declividades geralmente inferiores a 3%. Eles são delimitados por rupturas de aclave em relação às colinas e dunas, e de declive em relação às planícies, formando dois degraus compostos por taludes e patamares em diferentes níveis altimétricos: o nível I, com altitudes predominantes entre 5 e 10 metros, e o nível II, entre 10 e 25 metros. Ao todo, os terraços ocupam 132 km², o que equivale a 65% da área do perímetro urbano (Pizzutti; Rehbein, 2024).

No Terraço Praial Eólico, observa-se a presença de um campo de dunas originado por processos eólicos. Conforme Tomazelli et al. (2007), após eventos de transgressão marinha, a subsequente regressão do nível do mar, aliada a condições climáticas mais áridas e à redução da cobertura vegetal, promoveu a exposição de depósitos arenosos — notadamente os da unidade Barreira II, propiciando seu retrabalhamento pelo vento. Esse processo culminou na mobilização e acumulação de areia, formando sistemas dunares ao longo da planície costeira do RS. Com o retorno de um clima mais úmido e o reestabelecimento da cobertura vegetal, essas dunas passaram por um processo de fitoestabilização, tornando-se estacionárias.

Localizadas na porção leste da área, as dunas ocorrem a partir de rupturas clinográficas em aclives sobre as superfícies de terraços. Essas formas constituem rampas de declividades e altitudes, predominantemente, entre os 3 e 6% e os 15 e 20 m, ocupando uma extensão de 0,58 km² do perímetro urbano (Pizzutti; Rehbein, 2024).

OS RELEVOS HOLOCÊNICOS

No auge da última Transgressão Pós-Glacial, ocorrida há cerca de 5 ka, o nível relativo do mar atingiu entre 4 e 5 m acima do nível atual na região costeira em estudo. Esse nível eustático favoreceu a formação de uma nova barreira transgressiva, a Barreira IV. Como consequência, o ambiente de retrobarreira — delimitado entre essa nova barreira e os depósitos pleistocênicos associados à Barreira III — passou a ser ocupado por extensos sistemas lagunares, restabelecendo-se, assim, o sistema lagunar Patos-Mirim. Posteriormente, a queda do nível relativo do mar que sucedeu o nível máximo holocênico, marcando uma fase regressiva, favoreceu o desenvolvimento de uma barreira progradante (Villwock; Tomazelli, 2000).

Os processos geomorfológicos, alterando-se entre deposição e subsequente erosão, associados a esse último ciclo transgressivo-regressivo, parecem ser a explicação para formação das superfícies em terraços associadas aos depósitos lagunares holocênicos mapeados e descritos pela CPRM (2019). O material siltoso e argiloso sobre parte dos depósitos praias eólicas da Barreira II indica o avanço do corpo lagunar no último



máximo transgressivo. Após um período de sedimentação, na fase regressiva, com rebaixamento do nível relativo do mar e o reposicionamento da superfície lagunar aos níveis atuais, redefinem-se, mais uma vez, as morfogêneses do relevo.

O desenvolvimento de duas feições prográdicas no corpo lagunar — barras e pontais, identificadas toponimicamente como Pontal da Feitoria e da Barra, localizadas, respectivamente, nas confluências da laguna dos Patos com a Lagoa Pequena e com o Canal São Gonçalo — condicionou a formação de uma reentrância na linha de costa lagunar no município de Pelotas, conhecida como Saco do Laranjal. Essa configuração favoreceu o estabelecimento de segmentos de orla diferenciados, submetidos a dinâmicas contrastantes de abração e deposição.

Nos setores dominados por processos de abração, a atuação combinada de correntes de fluxos, ondas de curto período e os progressivos nivelamentos da superfície lagunar — associados à regressão marinha holocênica — promoveu a erosão por solapamento dos depósitos de margem, resultando na formação de novos taludes e que na atualidade podem atingir amplitudes superiores a 4 m em determinados trechos, como no Balneário dos Prazeres. Através da análise de parâmetros morfométricos de perfis praias e da variação da linha de costa entre os anos de 1980 e 1995, Fischer e Calliari (2011) observaram alto índice de mobilidade praias e taxas erosivas de 1,04 m/ano nesse segmento da orla lagunar. Enchentes e inundações lagunares, especialmente quando associadas a eventos hidrometeorológicos extremos, como o ocorrido na emergência climática de 2024 no RS, aceleram a evolução dessas feições. A partir desses taludes, definem-se as superfícies do mais recente terraço lagunar formado na área do perímetro urbano de Pelotas.

Adjacentes aos terraços, os depósitos lagunares holocênicos também são observados nas morfogêneses em planícies. Em muitas delas, em associação à depósitos lacustres (da lagoa do Fragata), aluviais (do baixo curso dos arroios Morreira-Fragata, Santa Bárbara, Pepino e Pelotas) e de turfas (de áreas úmidas). Elementarmente, os terraços evoluem a partir do desenvolvimento das planícies e vice-versa.

As planícies do arroio Santa Bárbara e do arroio Pelotas desenvolveram-se sobre superfícies de contato entre diferentes depósitos sedimentares. A planície do arroio Santa Bárbara evoluiu a partir da intersecção entre formações colúvio-aluvionares e lagunares, enquanto a do arroio Pelotas resultou da associação entre depósitos lagunares e formações praias eólicas. Neste último caso, os depósitos praias eólicos (da Barreira II) também condicionaram a orientação do escoamento de jusante do arroio Pelotas, que passa de leste para sul até a confluência com o Canal São Gonçalo, onde se



institui a sua foz. Em ambas as planícies, a evolução ocorre a partir do estabelecimento de traçados fluviais sinuosos e do deslocamento lateral dos canais, por vezes, com a formação de meandros.

As planícies formam-se a partir da oscilação do nível freático, do extravasamento sazonal ou periódico dos cursos d'água, e da atuação de processos deposicionais de natureza lacustre, aluvial, lagunar e paludial. Essas superfícies de acumulação abrangem os leitos maior e excepcional da rede de drenagem e são conhecidas como planícies de inundação da Lagoa e do arroio Fragata, arroio Santa Bárbara, arroio Pepino, arroio Pelotas, Canal São Gonçalo e da Laguna dos Patos.

Nas planícies associadas ao Canal São Gonçalo e à Laguna dos Patos, respectivamente, desenvolvem-se duas feições geomorfológicas de destacado interesse turístico na região: o Pontal da Barra e a Praia do Laranjal. O Pontal configura-se como uma feição progradante e emergente, que evolui perpendicularmente e de modo concomitante à formação de barras deposicionais alinhadas à margem de sotavento do Canal São Gonçalo, no exultório com a Laguna dos Patos. Essa morfologia resulta da interação entre as variações da maré, os processos hidrodinâmicos característicos de zonas de confluência, a ação dos ventos e a geração de ondas. Esses fatores favorecem, nesse setor, a redução da competência dos fluxos flúvio-lagunares, promovendo, ocasionalmente, sua inversão, a acumulação de sedimentos e a subsequente formação de barras arenosas.

Processos hidrogeomorfológicos análogos e correlacionados contribuem para a formação da Praia do Laranjal. Os estudos de Fischer e Calliari (2011), a partir da obtenção de dados morfodinâmicos e morfológicos da linha de costa, revelaram indícios de acreção, estabilidade e um baixo índice de mobilidade praial. A Praia do Laranjal configura-se como um indicador da evolução da planície lagunar. O desenvolvimento das barras arenosas do Pontal, impulsionado pelas hidrodinâmicas na confluência entre o canal e a laguna, durante a formação das superfícies da planície flúvio-lagunar, condicionou o estabelecimento de uma reentrância na linha de costa lagunar — a qual, por sua vez, intensifica os processos agradacionais nesse setor.

As planícies paludiais, enquanto isso, formam-se a partir da acumulação de sedimentos finos (silto-argilosos) e materiais biogênicos, como depósitos de turfa, em superfícies deprimidas e com drenagem deficiente, caracterizadas pela presença constante ou periódica de água. Essa condição favorece o desenvolvimento de ambientes úmidos, regionalmente conhecidos como banhados. A morfogênese dessas planícies é condicionada pelo nível freático raso, frequentemente aflorante, e pela ocorrência de



inundações sazonais. Estão associadas a processos de colmatação parcial ou total de corpos d'água, como antigas lagoas e meandros abandonados no baixo curso da rede de drenagem.

As planícies são superfícies de contato, através de aclives (rupturas clinográficas), com as demais formas de relevo da área. Caracterizam-se por serem planiformes, com declividades inferiores a 3% e altitudes que não ultrapassam os 10 metros, predominando os valores entre 3 e 6 metros. Estas superfícies se expandem principalmente nas porções sul e leste da área urbana, em associação ao aumento da capacidade flúvio-lagunar. No perímetro urbano de Pelotas, correspondem a 65 km², o que representa 32% da área total (Pizzutti; Rehbein, 2024).

AS DIFERENTES MORFOCRONOGENÊSES DO RELEVO NO ORDENAMENTO TERRITORIAL URBANO DE PELOTAS

A análise das morfocronogêneses do relevo ganha relevância no contexto do ordenamento territorial, sobretudo, frente às mudanças climáticas em curso no estado do RS, especialmente, diante do aumento na frequência de chuvas intensas, das subsequentes cheias nos cursos d'água e pelas previsões de elevação do nível médio do mar na região. Esse último fator contribui para a elevação do nível de base da rede de drenagem continental, cujos impactos tendem a ser mais expressivos nas áreas costeiras, como é o caso da cidade de Pelotas.

Nesse contexto, é fundamental lembrar que as planícies constituem superfícies de acumulação sedimentar, formadas por processos recorrentes de variações no nível freático e transbordamentos dos cursos d'água. São constituídas por solos hidromórficos, caracterizados por drenagem deficiente, o que lhes confere alta suscetibilidade a alagamentos. Além disso, como já dito, as planícies correspondem ao leito maior e excepcional da rede de drenagem. Por sua gênese relativamente recente em termos geológicos, enquanto superfícies holocênicas, essas unidades de relevo também apresentam elevada suscetibilidade a inundações, estando diretamente condicionadas às dinâmicas hidrossedimentares. No caso de Pelotas, trata-se essencialmente de planícies de inundação paludiais, fluviais, lacustre e lagunar.

Ainda que alguns cursos d'água tenham sido retificados em trechos de planícies, é importante destacar que suas dinâmicas naturais, desenvolvidas ao longo de milhares de anos, estiveram vinculadas a sistemas meandrantés. A retificação fluvial, embora possa reduzir alagamentos e inundações em determinados segmentos, não elimina a suscetibilidade natural dessas unidades de relevo a tais processos, pois eles estão intrinsecamente relacionados à sua evolução morfocronogenética.



A utilização de outros sistemas tradicionais de contenção de inundações — como diques de proteção, aterros, canalizações e estações de bombeamento — como justificativa para a expansão urbana sobre superfícies de planícies tem sido amplamente questionada na literatura, a partir de ideias de soluções baseadas na natureza (Colten, 2006; Kabisch et al., 2016; EEA, 2021; IPCC, 2022). No contexto da cidade de Pelotas, essas medidas de engenharia revelam-se particularmente inconsistentes, sobretudo diante dos elevados custos de implantação, operação e manutenção, além dos riscos inerentes à ineficiência desses sistemas. Esses riscos são agravados pela intensificação de eventos extremos de precipitação, sem precedentes históricos em termos de frequência e magnitude, bem como pela iminente elevação do nível de base regional e local da rede de drenagem. De acordo com projeções de elevação do nível do mar e por compensação hidrostática, é esperado que as planícies na área de estudo se tornem superfícies permanentemente alagadas.

Embora tais sistemas tenham sido reconhecidamente importantes na contenção das inundações de alguns canais fluviais durante a emergência climática de 2024 no perímetro urbano de Pelotas, evidenciou-se a fragilidade desses dispositivos frente às chuvas intensas nas bacias hidrográficas que drenam o município e cujos cursos inferiores escoam sobre a área urbana. Em cenários de eventos pluviométricos extremos, a saturação dos canais de macrodrenagem da cidade compromete a eficácia dos diques, uma vez que as inundações nas áreas internas (intradiques) os convertem em barreiras ao escoamento superficial.

O escoamento dos canais de macrodrenagem da cidade também vem sendo impactado pelo progressivo aterro e pela impermeabilização das superfícies das planícies paludiais, decorrentes da supressão dos ambientes úmidos (os banhados) em favor da expansão das áreas construídas. Esses ambientes naturais atuam como reguladores do escoamento superficial e subsuperficial e, por serem zonas de acumulação hídrica, contribuem para a mitigação de alagamentos e inundações. Uma vez aterrados, há uma drástica redução na capacidade de armazenamento de água nessas superfícies, o que reorienta os fluxos e intensifica os picos de vazão na macrodrenagem urbana. Além disso, como não há uniformidade entre as novas cotas de aterro e aquelas estabelecidas anteriormente, as áreas circunvizinhas aos novos aterros, situadas em cotas mais baixas, vêm sendo progressivamente afetadas por inundações potencializadas sempre que a rede de drenagem atinge sua saturação.

Ademais, destacamos o risco geológico associado à ocupação urbana nos segmentos de rupturas clinográficas que individualizam as planícies dos terraços. Nessas áreas, há potencial para o desenvolvimento de processos erosivos lineares



avançados e movimentos de massa. Em alguns casos, como no contato entre a Planície e o Terraço Lagunar Holocênico, essas rupturas configuram taludes íngremes com aproximadamente 4 m de amplitude em depósitos não consolidados, o que agrava a suscetibilidade e o risco desses processos.

Dessa forma, recomenda-se de maneira enfática a adoção de políticas públicas e instrumentos de planejamento territorial que priorizem a conservação e preservação dos ambientes naturais associados às planícies, unidades de mapeamento de Planície lagunar, paludial, fluvial e flúvio-lagunar, assim como, aos taludes de contato, de rupturas clinográficas acentuadas, com as superfícies em terraços. A continuidade da ocupação urbana nesses relevos tende a intensificar os riscos hidrológicos e geológicos já existentes, comprometendo ainda mais a segurança ambiental e urbana.

Assim, recomenda-se que os investimentos em infraestrutura para a expansão urbana sejam direcionados às superfícies de baixas Colinas colúvio-aluvionares e Terraços lagunar, colúvio-aluvionar e flúvio-lagunar. Essas unidades de relevo — que juntas correspondem a 68% da área do perímetro do estudo — apresentam expressivos vazios urbanos. Colinas e terraços caracterizam-se por vertentes suavemente onduladas e superfícies amplamente planas, o que naturalmente dispensa o emprego de técnicas onerosas de engenharia para adaptações morfológicas do terreno. Além disso, essas superfícies estão mais afastadas dos principais cursos d'água e em patamares altimétricos mais elevados, conferindo-lhes segurança frente aos riscos hidrológicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise morfocronogenética do relevo no perímetro urbano de Pelotas evidencia a interação entre os processos climáticos, hidrodinâmicos e geológicos na evolução e conformação atual desse elemento da paisagem. O reconhecimento das diferentes unidades genéticas de relevo — das planícies, dunas, terraços e colinas — além de revelar aspectos do seu passado geológico e agradacional, permite avaliar os limites e potencialidades dessas superfícies para a ocupação urbana.

Nesse estudo ficou evidente que as superfícies holocênicas, como as planícies paludiais, fluviais e lagunares apresentam maior suscetibilidade a alagamentos e inundações. Em razão de suas dinâmicas hidrossedimentares, essas morfogêneses de relevo se constituem no leito maior e excepcional dos cursos d'água. A expansão urbana sobre essas unidades da superfície tem acentuado os riscos hidrológicos, especialmente pelo aterramento de áreas úmidas, pela crescente impermeabilização do solo e pela saturação dos sistemas de macrodrenagem, fatores que se agravam diante da intensificação de eventos climáticos extremos.



Desse modo, reforça-se a necessidade de reconhecer os ambientes naturais remanescentes sobre as planícies como unidades prioritárias para a preservação e conservação. Essas formas de relevo foram modeladas espaço-temporalmente ao longo do Quaternário para acomodar as inundações associadas às mudanças climáticas, em um processo intrinsecamente relacionado às suas morfocronogêneses. Neste contexto, destaca-se a importância das planícies paludiais, sobretudo, por sua função essencial no equilíbrio hidrológico. Essas superfícies atuam como áreas reguladoras das vazões nos cursos d'água durante períodos de estiagem, além de desempenharem um papel estratégico na retenção hídrica e no amortecimento de inundações diante de índices pluviométricos elevados.

A pesquisa também evidencia que as morfogêneses de relevo pleistocênico, representadas por colinas e terraços, apresentam características geomorfológicas favoráveis à expansão urbana. Essas unidades possuem superfícies relativamente planas, terrenos estáveis e baixa suscetibilidade a inundações e alagamentos, por estarem mais distantes dos cursos d'água e situadas em patamares altimétricos elevados, onde o nível freático é mais profundo. Além disso, concentram expressivos vazios urbanos que poderiam ser ocupados prioritariamente, sem a necessidade de onerosas obras de contenção contra inundações. Assim, apontamos como alternativa sustentável a solução baseada na própria natureza geomorfológica da área. Em suma, o estudo reforça a importância de integrar o reconhecimento do relevo no ordenamento urbano de Pelotas, especialmente em contexto de mudanças climáticas, garantindo maior resiliência para cidade frente aos desafios ambientais contemporâneos e futuros.

Nessa perspectiva, as próximas etapas da pesquisa contemplam o mapeamento das áreas edificadas em planícies de inundação e das áreas disponíveis para expansão urbana sobre terraços e colinas. Também será organizado um banco de dados socio-populacionais dos domicílios situados em planícies de inundação, visando à formulação de um índice de vulnerabilidade social vinculado às respectivas morfogêneses de relevo. Com base no inventário taxonômico do modelado proposto por Ross (1992), será elaborado o registro cartográfico das formas associadas aos processos atuais, incluindo morfologias tectogênicas, como aterros, canalizações e diques. O objetivo é aprofundar a compreensão sobre as capacidades e limitações do sistema de controle e proteção contra inundações em Pelotas. Esses estudos constituem subsídios fundamentais para um plano de emergência climática.



REFERÊNCIAS

- BUENO, G. V.; ZACHARIAS, A. A.; OREIRO, S. G.; CUPERTINO, J. A.; FALKENHEIN, F. U. H.; NETO MARTINS, M. A. Bacia de Pelotas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 551–559, 2007. Disponível em: <https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/355>.
- COLTEN, C. E. *An Unnatural Metropolis: Wrestling New Orleans from Nature*. Baton Rouge: Louisiana State University, 2006. 264p.
- CORRÊA, I. C. S.; WESCHENFELDER, J.; CALLIARI, L. J.; TOLDO JR., E. E.; NUNES, J. Carlos; B. R. Plataforma continental do Rio Grande do Sul. In: *Plataforma Continental Brasileira*. Porto Alegre: UFRGS / PPGM, p. 74158, 2019. Disponível em: http://www.pggmbrasil.org/publicações/Plataforma_Continental_do_RS_2019.pdf.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. *Carta geológica de Pelotas – Folha SH.22-Y-D-IV: dados vetoriais (SIG). Escala 1:100.000*. Porto Alegre: CPRM, 2019. Disponível em: <https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb/downloads.html>.
- EEA. European Environment Agency. *Nature-based solutions in Europe: policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021. (EEA Report, n. 1/2021). 159 p. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/nature-based-solutions-in-europe>.
- FISCHER, A.; CALLIARI, L. J. Variações morfodinâmicas das praias do “Saco do Laranjal”, costa noroeste do estuário da Laguna dos Patos, RS. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 38, n. 3, p. 283–296, set./dez. 2011. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/35168>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *População residente, domicílios e estabelecimentos nas áreas afetadas por municípios*. SINGED Lab, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/singedlab/dados-apoio-rs_populacao-residente.php.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report (AR6)*. Cambridge: Cambridge University, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate: Summary for Policymakers*. Geneva: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srocc/>.
- KABISCH, N.; FRANTZESKAKI, N., PAULEIT S.; NAUMANN S.; DAVIS M., ARTMANN, M.; HAASE, D.; KNAPP, S.; KORN, H.; STADLER, J.; ZAUNBERGER, K.; BONN, A. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, v. 21, n. 2, 2016. Disponível em: <https://www.ecologyandsociety.org/vol21/iss2/art39/>.
- MARENGO, J. A.; CAMARINHA, P. I.; ALVES, L. M.; DINIZ, F.; BETTS, R. A. Extreme Rainfall and HydroGeoMeteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0 °C Global Warming Scenarios: an analysis for Brazil. *Frontiers in Climate*, Lausanne, v. 3, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2021.610433/full>.
- MOURA, N. S. V. Mapeamento geomorfológico da planície e terras baixas costeiras do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Espaço Aberto*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 229–246, dez. 2022. DOI: 10.36403/espacoaberto.2022.54584.
- PELOTAS. Prefeitura Municipal e Pelotas. Secretaria de Gestão da Cidade e Mobilidade Urbana. *GeoPelotas: Portal de Informações Geográficas de Pelotas*. Disponível em: <https://geopelotas.pelotas.rs.gov.br/>.
- PIZZUTTI, R. A.; REHBEIN, M. O. Mapeamento das morfologias de relevo do perímetro urbano de Pelotas (RS). In: *XX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente*, 2024, João Pessoa: UFPB. *Anais...* 2024. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/sbfga/2024/TRABALHO_COMPLETO_EV206_MD1_ID134_TB141_08072024143039.pdf.
- ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, n. 6, p. 17–29, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0002>.



SEMA/RS. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do estado do Rio Grande do Sul. **Dados de hidrografia em escala 1:25.000**. Porto Alegre: SEMA/RS. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/si-dados-geoespaciais>.

SILVA, A. R. E.; REHBEIN, M. O. Análise e mapeamento geomorfológico da área de influência da Planície Costeira de Pelotas (Rio Grande do Sul, Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 19, n. 3, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i3.1342>.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; VILLWOCK, J. A.; BARBOZA, E. G.; BACHI, A. F.; DEHNHARDT, A. B.; ROSA, M. L. C. C. Sistemas deposicionais e evolução geológica da Planície Costeira do Rio Grande do Sul: uma síntese. In: Iannuzzi, R.; Frantz, J. C. (orgs.). **50 anos de Geologia: Instituto de Geociências. Contribuições**. Porto Alegre: Editora Comunicação e Identidade/ UFRGS, p. 327–339, 2007.

TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L. F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, p. 375–406, 2000.

USGS. United States Geological Survey. **SRTM - Shuttle Radar Topography Mission**. Sioux Falls: USGS, 2000. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L. F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. p. 375–406.

XAVIER, S. C. **Mapeamento geotécnico aplicado ao planejamento do uso e ocupação do solo da cidade de Pelotas/RS: estudo voltado à expansão urbana**. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/172720>.



MAPEAMENTO MORFOMÉTRICO AUTOMATIZADO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO: CENTRO DO RIO GRANDE DO SUL

Wílson Oliveira da Silva ¹

Luis Eduardo de Souza Robaina ²

Anderson Augusto Volpato Scoti ³

Romario Trentin ⁴

PALAVRAS-CHAVE: Morfometria, Rio Pardo, Bacia, Relevo, Inundação.

RESUMO

O avanço das tecnologias, especialmente dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem permitido análises geomorfológicas mais eficientes e precisas, possibilitando uma compreensão aprofundada do relevo. Essas análises têm papel fundamental no planejamento e ordenamento territorial, contribuindo para a gestão pública, especialmente na administração de bacias hidrográficas. Dentro desse contexto, o presente estudo tem como foco mapear as características morfométricas da bacia hidrográfica do Rio Pardo, localizada na região central do estado, em uma área de transição geomorfológica e que é marcada por registros frequentes de processos hidrológicos. A delimitação da bacia foi feita com base em cartas topográficas na escala 1:50.000. O estudo morfométrico incluiu a análise de vários aspectos da rede de drenagem, como ordem e densidade de drenagem, área e perímetro da bacia, extensão total dos cursos d'água, índice de sinuosidade, amplitude da bacia e gradientes dos canais. Além disso, foram avaliados parâmetros de relevo como hipsometria, declividade e elementos do relevo, com base na metodologia dos *Geomorphons*, conforme proposta por Jasiewicz e Stepinski (2013). Para a elaboração dos mapas e extração de dados, foi utilizado o Modelo Digital de Terreno (MDT) Alos Palsar, com resolução de 12,5 metros. Com o objetivo de aprimorar a compreensão da área de estudo e das dinâmicas hidrológicas, também foram produzidas fotografias oblíquas do relevo com o uso de drone. A bacia do rio Pardo abrange uma área de 2.358,85 km². Deste total, cerca de 24,12% estão situados em altitudes inferiores a 65 metros, próximas à foz da bacia no sul, correspondendo às zonas potencialmente inundáveis. A bacia está localizada em uma região de transição entre o planalto meridional brasileiro e a depressão central, evidenciada por uma amplitude altimétrica de 717 metros. As altitudes mais elevadas, que variam entre 500 e 735 metros, encontram-se ao norte da bacia hidrográfica, onde estão situadas as nascentes dos cursos hídricos. A extensão total da rede de drenagem é de 3.287,44 km. O rio principal, de 5ª ordem, nasce no rebordo do planalto e percorre

¹ Doutorando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, [wison.silva98@hotmail.com](mailto:wilson.silva98@hotmail.com)

² Professor orientador: doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, lesrobaina@yahoo.com.br

³ Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, anderson.scoti@ufsm.br

⁴ Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, romario.trentin@gmail.com



a bacia com elevada energia, contribuindo para os processos de inundação à medida que o escoamento desacelera na depressão central. O gradiente dos canais, de 3,66 m/km, caracteriza um relevo ondulado, com menor velocidade de escoamento no trecho inferior da bacia. A alta sinuosidade do rio principal (valor de 1,92) é influenciada pelas características do relevo. Mais de 50% da bacia é composta por áreas com declividades entre 8% e 45%, classificadas como Suavemente Ondulado e Ondulado. Quanto aos elementos de relevo, as encostas, associadas ao rebordo do planalto, ocupam 31,81% da área. Os elementos planos, vales e fossos, estão representados em áreas mais suscetíveis às inundações, representam 23,99% da bacia. As classes de pico e crista, situadas no topo do planalto, somam 11,98%. Os estudos morfométricos se mostram essenciais para compreender os fluxos de energia e matéria em bacias hidrográficas, sendo ferramentas cruciais para o planejamento territorial e a gestão ambiental eficiente.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas podem ser definidas como unidades territoriais que reúnem diversos cursos d'água, os quais convergem para um único ponto de saída, denominado exutório. Do ponto de vista físico, constituem sistemas naturais onde a precipitação atua como dado de entrada, sendo transformada ao longo da bacia por processos como infiltração, evaporação e transpiração, até resultar no escoamento final (Tucci, 2012).

Diversos autores ressaltam a importância de se compreender as características físicas e hidrológicas das bacias hidrográficas, pois, por meio da análise integrada dessas informações, permite-se identificar os padrões ambientais da área de estudo e entender sua dinâmica (Christofolletti, 1970; Villela; Mattos, 1975). Além disso, a avaliação das bacias é fundamental para o planejamento, o desenvolvimento e a gestão territorial, oferecendo subsídios importantes para a atuação do poder público e a tomada de decisões mais eficientes.

Nesse contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) assumem papel central, por sua capacidade de integrar e analisar um grande volume de dados e variáveis espaciais, de forma rápida e acessível, favorecem uma melhor compreensão da realidade local (Guirra et al., 2016). Para Scheren (2021, p. 59) “as principais formas de utilização de um SIG estão no campo do gerenciamento de serviços, nos estudos científicos, na integração de áreas do conhecimento, na formação e na tomada de decisões”. Para Aronoff (1989) e Cowen (1988), o SIG pode ser compreendido como um conjunto de procedimentos computacionais (ou manuais) voltados ao armazenamento, manipulação e análise de dados georreferenciados, contribuindo de forma significativa para a solução de problemas espaciais.

Uma das ferramentas mais utilizadas para compreender o comportamento hídrico das bacias hidrográficas é a morfometria, que se baseia em fórmulas matemáticas e estatísticas para identificar as características do relevo e da rede hidrográfica. O avanço



dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem contribuído significativamente para o desenvolvimento dessas pesquisas, ao permitir a integração e análise de um grande volume de dados espaciais (Sugiyama; Gomes, 2023; Oliveira et al., 2010). Segundo Iqbal, Sajjad e Bhat (2013, p. 10), a morfometria tem desempenhado um papel fundamental na “compreensão dos processos de relevo, das propriedades físicas do solo e das características erosivas”.

No Brasil, diversos estudos são realizados com enfoque na análise morfométrica, demonstrando sua relevância em diferentes contextos. Um exemplo recente é o trabalho de Pereira et al. (2024), desenvolvido em duas bacias no sudoeste de Goiás, os córregos Grande e Indaiá, onde foram avaliados diversos parâmetros como o coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade e coeficiente de manutenção. Entre os resultados, destaca-se a baixa disponibilidade hídrica superficial para promover processos erosivos e a alta suscetibilidade a inundações, devido ao relevo acentuado e classificação alta em parâmetros morfométricos com o índice de circularidade e fator de forma. Tominaga et al. (2009) destacam que vários fatores influenciam os processos de inundação, sendo uma delas a morfometria que quantifica e compreende as características físicas do relevo e da rede de drenagem que influenciam diretamente o comportamento hidrológico da bacia.

No estado do Rio Grande do Sul, pesquisas como a de Rademann e Trentin (2020), realizada no município de Cacequi com o objetivo de compreender o fluxo de escoamento em voçorocas, e o estudo de Gritti, Boza e Trentin (2023), desenvolvido na bacia do rio da Várzea, no norte do estado, serviram como base importante para o desenvolvimento deste trabalho.

A análise morfométrica representa uma etapa preliminar é fundamental para a compreensão das características físicas de uma bacia hidrográfica. Por meio dela, é possível obter informações quantitativas que subsidiam estudos mais aprofundados sobre os processos hidrológicos e geomorfológicos atuantes na paisagem, como a erosão hídrica, as inundações, os movimentos de massa e as corridas de detritos. Um exemplo de aplicação dessa abordagem é o estudo de Sugiyama e Gomes (2023), desenvolvido no Geoparque Caminho dos Cânions do Sul, localizado na região Sul do Brasil, onde a análise morfométrica foi utilizada como base para entender a dinâmica ambiental da área.

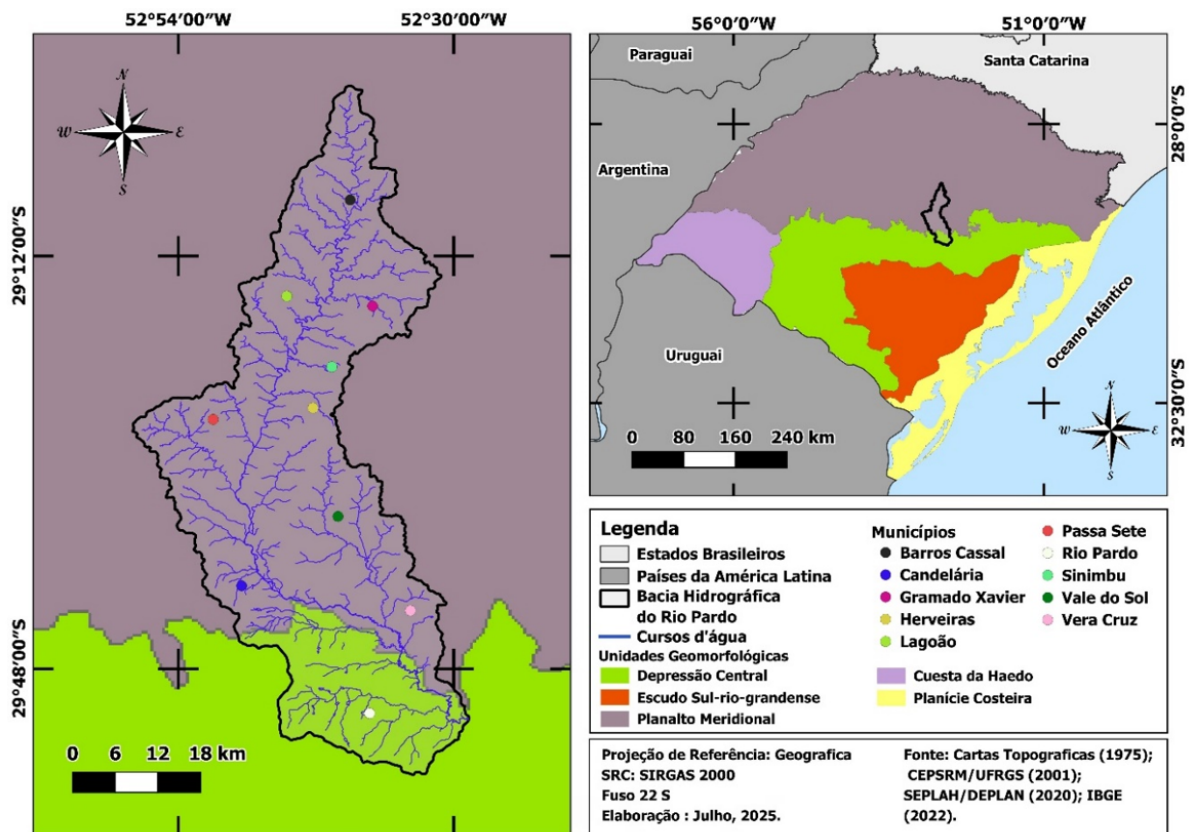
Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo realizar o mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Pardo – BHRP (Figura 1), localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, em uma área de transição morfológica marcada por recorrentes registros de eventos hidrológicos. A bacia hidrográfica banha dez municípios tendo no alto curso Barros Cassal, Gramado Xavier e Lagoão, no médio



curso os municípios de Herveiras, Passa Sete, Sinimbu e Vale do Sol, no baixo curso estão Candelária, Rio Pardo e Vera Cruz. O município de Candelária é a área que mais sofre com processos hidrológicos, pois sua área urbana está localizada na margem do rio principal no baixo curso da bacia.

O estudo foi desenvolvido com base em técnicas de automação cartográfica, visando subsidiar o planejamento e o ordenamento territorial, bem como apoiar a gestão pública na tomada de decisões voltadas à administração sustentável das bacias hidrográficas.

FIGURA 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Pardo.



FONTE: própria (2025).

METODOLOGIA

A delimitação da área de estudo utilizou como base as cartas topográficas na escala de 1:50.000 onde a bacia hidrográfica está localizada, com auxílio das curvas de nível e pontos cotados, as cartas topográficas obtidas no site do exército brasileiro (<https://bdgex.eb.mil.br/>). O recorte espacial contemplou o segmento principal da bacia hidrográfica do rio Pardo, abrangendo a área sujeita a processos recorrentes de inundação, conforme a pesquisa realizada por Silva (2025). A delimitação estende-se até a confluência com o afluente rio Pardinho, localizada próxima à foz do rio Pardo. Esse recorte foi definido com o objetivo de concentrar a análise nas porções da bacia hidrográfica onde os eventos de inundação são mais expressivos, excluindo áreas que



não apresentam registros significativos. Para a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica, foi elaborado um quadro síntese com os principais parâmetros (Quadro 1), a partir de um levantamento bibliográfico das fórmulas mais utilizadas na literatura especializada, onde foram descritos cada aspecto, fórmula e suas fontes.

QUADRO 1 – Parâmetros morfométricos analisados e trabalhos usados como bases teóricas.

Área da Bacia (A)	Corresponde à área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, em projeção horizontal, inclusa entre os pontos divisores d'água.	Machado e Torres (2012)
Perímetro da bacia (P)	O perímetro da bacia é a medida do contorno da bacia hidrográfica, a linha de separação natural entre diferentes bacias, chamada de divisor de águas.	Machado e Torres (2012)
Comprimento da Bacia (Cb)	É a distância medida ao longo do rio principal, desde o ponto mais a montante na nascente até a sua foz.	Machado e Torres (2012)
Comprimento Total de Canais (Lt)	E o somatório das distancias de todos os cursos hídricos, possibilitando a avaliação primaria do escoamento linear da água na bacia hidrográfica.	Trentin (2011)
Ordem de Drenagem (H)	A hierarquia fluvial ordena os cursos d'água em diferentes níveis, elevando a ordem sempre que ocorre a confluência entre dois cursos de mesma classificação. Os cursos de ordem mais elevada tendem a apresentar maior energia e volume de fluxo.	Strahler (1952)
Densidade de Drenagem (Dd)	A densidade de drenagem é um elemento fundamental da análise morfométrica, ao expressar o grau de dissecação do relevo e revela como fatores como vegetação, clima, litologia, entre outros, influenciam o escoamento superficial e o transporte de sedimentos na área drenada. Através da fórmula: $Dd = Lt/A$	Christofolletti (1974)
Padrão de Drenagem	O padrão de drenagem é a forma como os canais de escoamento superficial se organizam na superfície terrestre, obedecendo a condicionantes estruturais, litológicos e topográficos	Christofolletti (1974)
Índice de Sinuosidade (Is)	Refere-se ao tempo de escoamento até o canal principal, sendo que cursos d'água com maior sinuosidade tendem a apresentar um tempo de deslocamento mais longo até o exutório da bacia, comparado ao canal retilíneo. Fórmula: Índice de Sinuosidade (Is) = Comprimento do rio principal (Lc) / Distância vetorial do rio (Lv)	Freitas (1952)
Amplitude Altimétrica (Aa)	Parâmetro possibilita compreender a energia potencial do relevo e sua influência sobre os processos erosivos, o escoamento superficial e a dinâmica fluvial. Sendo feito através da fórmula: $Aa = H_{MAX} - H_{MIN}$	Christofolletti (1974)
Gradientes dos Canais (Gc)	Parâmetro que permite compreender como a declividade influencia a energia do rio principal, bem como os processos de transporte e deposição de sedimento. $Gc = Aa/L$	Christofolletti (1974)
Coefficiente de compacidade (Kc)	E o parâmetro tem objetivo de verificar a forma da bacia, correlacionando a um círculo, sendo considerada a forma geométrica ideal em termos de eficiência hidrológica. $Kc = P^2/\sqrt{\pi A}$	Villela e Mattos (1975)
Razão de alongação (Re)	A razão de alongação (Re) é definida como o diâmetro de um círculo de área equivalente à da bacia dividido pelo comprimento máximo da bacia. Ela serve para indicar o grau de alongamento de uma bacia em relação a um círculo ideal.	Schumm (1956)
Razão de bifurcação (Rb)	É a razão entre o número de cursos de uma ordem e o número da ordem imediatamente superior, usada para indicar o grau de ramificação de uma bacia hidrográfica. $Rb = \frac{[(N_{wn}/ N_{wn+1}) + (N_{wn+1}/ N_{wn+2})]}{2}$	Horton (1945)
Tempo de concentração (Tc)	Importante para compreender o pico de vazão da bacia, indicando o tempo para a água escoar da montante até a jusante. Baseado na fórmula de Giandotti: $Tc = 4$	Giandotti (1934)

FONTE: própria (2025).



Para auxiliar a compreensão dos fatores morfométricos, foi realizado a caracterização do relevo através dos mapas de hipsometria, declividade, elementos do relevo (Geomorphons) e hidrográfico. Os mapas de aspectos físicos têm como base o modelo digital de elevação (MDE) do Alos Palsar com resolução espacial de 12,5 metros, disponibilizado pela *Alaska Satellite Facility* no site <https://search.asf.alaska.edu/>. Após a obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo, os dados de elevação foram convertidos do sistema elipsoidal para o sistema ortométrico. Para isso, foi necessário reconhecer a ondulação geoidal da área de estudo, que consiste na diferença de altura entre o geóide e o elipsoide, através do software MAPGEO2015 disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Foi selecionado uma coordenada na área de estudo e adicionada no software, onde foi reconhecida a ondulação geoidal, logo após foi utilizada a ferramenta chamada *Raster Calculator* do Qgis para fazer a transformação do MDT de elipsoidal para ortométrico. Ressalta-se que não foram realizados ajustes relacionados ao dossel da vegetação arbórea, o qual permanece presente no MDT final.

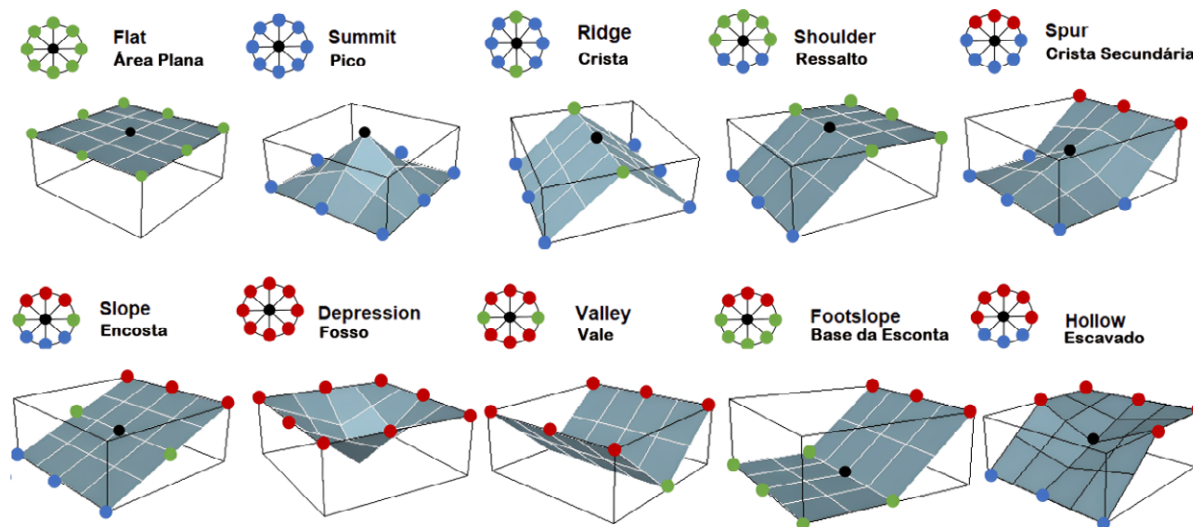
Para elaboração do mapa hipsométrico foi reclassificado o MDT, com base na análise do histograma de frequência, dividindo-se a área em cinco classes altimétricas. O gradiente de cores utilizado vai do verde, representando as áreas mais baixas, ao vermelho, indicando as áreas de maior altitude. Para realizar o mapa de declividade foi utilizada a ferramenta *Slope* do Qgis, que gera um MDT de declividade em porcentagem de inclinação. Para a classificação do mapa foi utilizada como base a definição sugerida pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), dividindo a bacia hidrográfica em 5 classes (EMBRAPA, 1999): Plano (0-3 %), Suave Ondulado (3-8 %), Ondulado (8- 20 %), Forte Ondulado (20- 45 %), Montanhoso (> 45 %).

O mapa de elementos do relevo é baseado no Geomorphons, proposto pelos autores Jasiewicz e Stepinski (2013) que consiste na classificação do relevo em 10 unidades, tem como fonte um MDT. Os elementos podem ser visualizados na Figura 2, sendo eles: áreas planas (*flat*), pico (*summit*), crista (*ridge*), ressaltos (*shoulder*), crista secundária (*spur*), encosta (*slope*), escavado (*hollow*), base de encosta (*footslope*), vales (*valley*), e fosso (*pit*). Para gerar o mapa foi utilizado a ferramenta do software Qgis chamado *r.geomorphon*, que avalia a similaridade textual do MDE considerando o ângulo e distância da célula central com os 8 pontos vizinhos. Quando a célula central apresenta um valor superior, é atribuído o valor '1'; se for inferior, recebe '-1'; e, em caso de igualdade, é atribuído '0'. Isso pode ser compreendido na Figura 2 os pontos pretos representam a célula central, enquanto os pontos vizinhos são marcados pelas cores vermelhas que indica um ponto mais alto em relação ao central, a cor azul as mais baixas enquanto a verde representa



o mesmo valor de elevação que a célula central. Esses valores são aplicados sobre os dados de elevação do terreno, possibilitando a geração de perfis de elevação nas direções principais com base na célula central e em uma distância predefinida (“lookup distance” L), utilizando informações extraídas do Modelo Digital de Elevação (MDE).

FIGURA 2 – Ilustração dos elementos do relevo (geomorphons).



FONTE: Adaptado de Wyles et al. (2022).

O cálculo do ângulo de elevação envolve a relação geométrica entre o plano horizontal e a linha que conecta a célula central aos pontos ao longo do perfil. Essa inclinação, conhecida como ângulo DSL, é derivada com base na direção (D) e na distância (L), revelando a influência de ambos os parâmetros. O ângulo Zenith do perfil é obtido por meio da fórmula $D\phi L = 90^\circ - D\beta L$, sendo $D\beta L$ o ângulo de maior elevação calculado. Já o ângulo Nadir é determinado por $D\psi L = 90^\circ - D\delta L$, em que $D\delta L$ representa o menor ângulo de elevação encontrado. O ângulo Zenith representa a relação entre o ponto mais alto do perfil e a linha de visada, enquanto o ângulo Nadir refere-se à correspondência do ponto mais baixo com essa mesma linha hipotética. Ambos os ângulos são medidos positivamente dentro da faixa de 0° a 180° , refletindo a variação da elevação em relação à horizontal.

Por fim, foi realizada a modelagem tridimensional da bacia hidrográfica com o objetivo de proporcionar uma melhor compreensão da morfologia local e permitir a comparação visual com fotografias das áreas inundadas. Para isso, utilizou-se a ferramenta “Visualizar Mapa em 3D” do software QGIS. Nessa etapa, a imagem do Google Earth foi sobreposta ao Modelo Digital de Elevação (MDE) previamente ajustado. O fator de exagero vertical foi configurado para 3,5 para evidenciar de maneira mais expressiva as transições geomorfológicas da área de estudo.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do rio Pardo está localizada na região central do estado, drena uma área de 2358,84 km² e 341,63 km de perímetro (Figura 3), e caracterizada por uma forma alongada no sentido norte a sul. Isso é evidenciado pela razão de alongamento que tem o resultado 0,28 com base na definição de Schumm (1956) a bacia é caracterizada por ser alongada e compactada influenciada pelo desenvolvimento geomorfológico. A largura média da bacia de 23,08 indica uma resposta de escoamento mais rápida em direção ao exultório.

O coeficiente de compacidade da bacia que relaciona a forma retangular a bacia para compreender a possibilidade de inundações, mostrou que a bacia do rio Pardo apresenta resultado de 1,97 caracterizando como não suscetível com base na classificação Vilella e Matos (1975) em condições normais de pluviosidade anual. Mas existem outros fatores que influenciam os processos de inundação na BHRP, uma delas é a característica dos cursos hídricos da bacia. Em relação aos cursos hídricos apresenta a extensão de 3.114,34 km, caracterizada por um padrão predominante de drenagem do tipo dendrítico. Baseado na hierarquização de Strahler (1952) a classe de 1º ordem apresentou 1.053 canais distribuídos pela bacia, isso representa cerca de 75,21% dos canais totais. O rio Pardo apresenta grande volume de água desde seu alto curso e chega à hierarquia de 5º ordem na cota de 300 metros de altitude, na cota mais inferior à margem do rio principal fica localizada a área urbana do município de Candelária. Enquanto na foz chega a 6º ordem (30 metros de altitude), na região sul da bacia na depressão central com a extensão de 41,06 km de distância (Tabela 1).

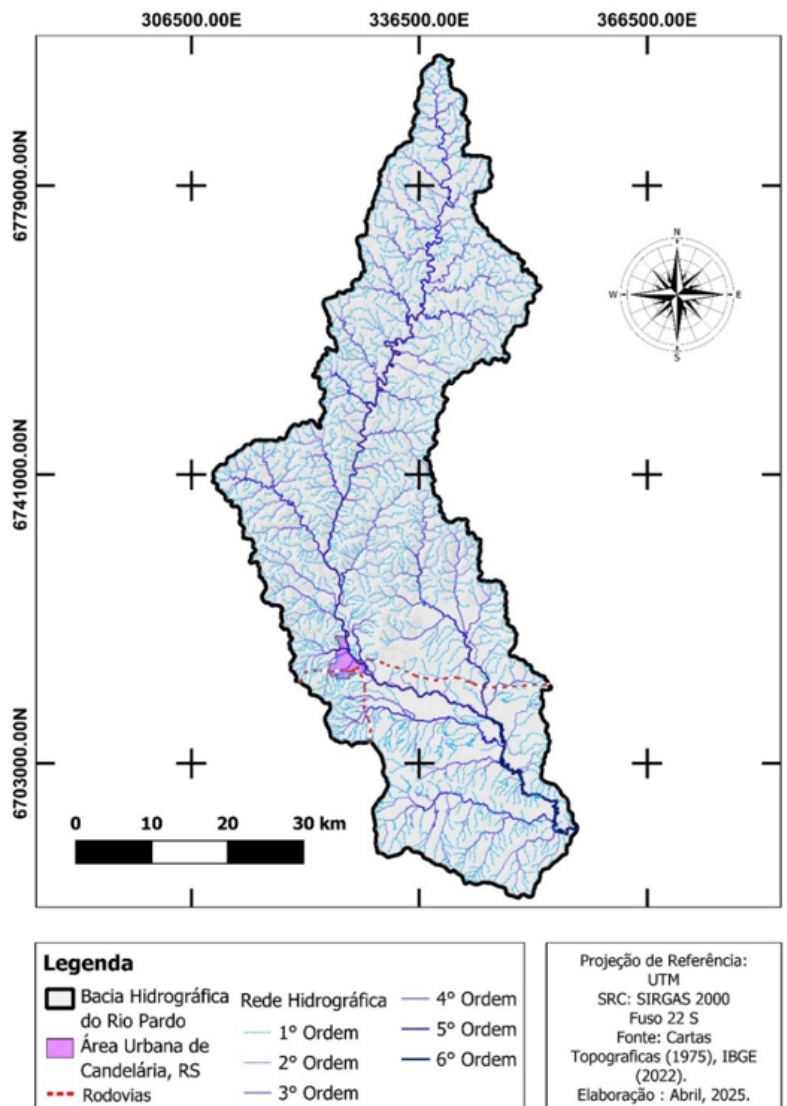


FIGURA 3 – Mapa hidrográfico da bacia hidrográfica do rio Pardo.

FONTE: própria (2025).



A razão de bifurcação da bacia, conforme proposta por Horton (1945), apresenta valores equilibrados entre as ordens de drenagem de 1ª a 3ª ordem conforme a classificação de Christofolletti (1974), com resultados variando de 3,67 a 4,10. Esses valores indicam um padrão de drenagem típico de redes dendríticas bem desenvolvidas. No entanto, observa-se uma ruptura significativa na transição da 4ª para a 5ª ordem, com a razão de bifurcação elevando-se para 8,5. A presença de desníveis acentuados em relação à depressão adjacente e a ocorrência de canais mais extensos nessa porção da bacia também contribuem para esse comportamento. Esse padrão pode influenciar diretamente na dinâmica hidrológica, favorecendo a concentração de fluxo e, conseqüentemente, aumentando o potencial de inundações em determinadas áreas.

TABELA 1 – Dados hídricos da bacia do Rio Pardo.

HIERARQUIA	Nº DE CANAIS	DISTÂNCIA (KM)	RAZÃO DE BIFURCAÇÃO
1º ordem	1053	1870,55	4.10
2º ordem	257	565,96	3.67
3º ordem	70	324,95	4.12
4º ordem	17	191,20	8.50
5º ordem	2	120,62	2.00
6º ordem	1	41,06	
TOTAL	1400	3.114,34	

FONTE: própria (2025).

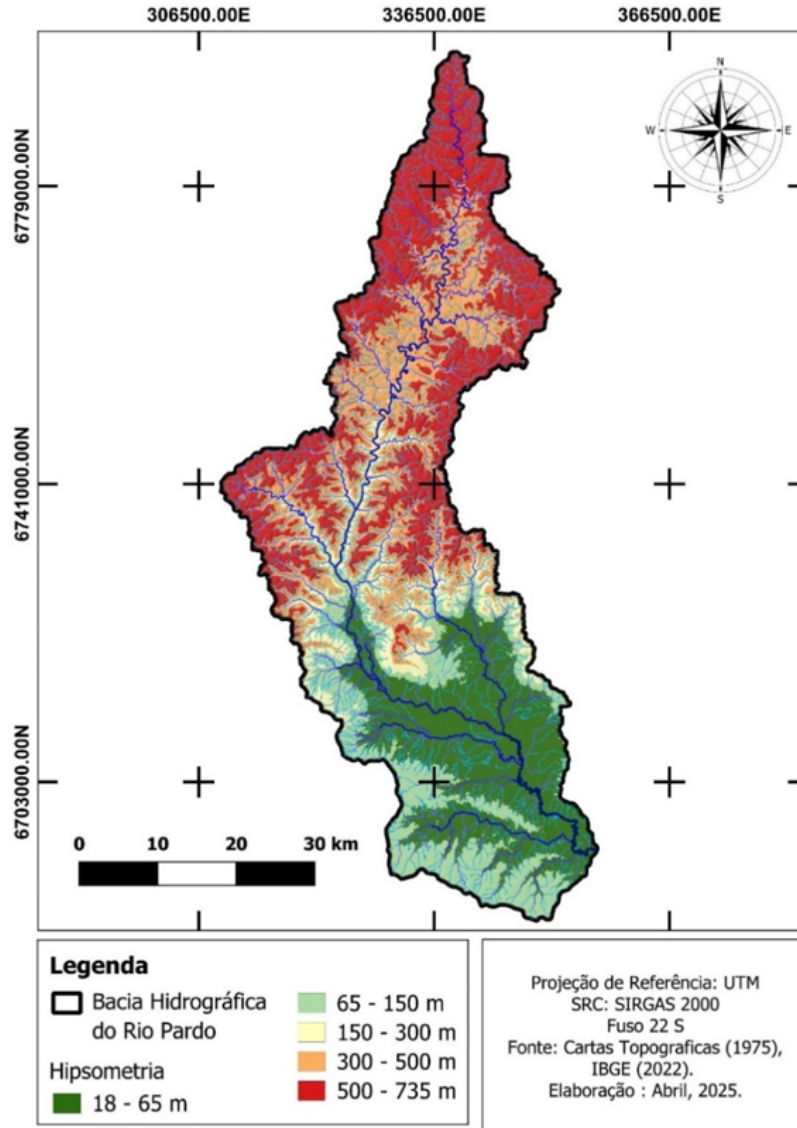
A densidade de drenagem teve o resultado de 1,32 km/km² indicando uma bacia com drenagem regular conforme a definição de Vilela e Mattos (1975), caracterizando uma boa condutividade de escoamento ao longo da bacia hidrográfica. Com relação à densidade de rio, a bacia apresenta baixa capacidade de gerar novos cursos d'água com 0,60 (Lollo, 1995). O canal principal do rio Pardo apresentou o índice de sinuosidade elevada de 1,91 m/m, indicando uma baixa velocidade de escoamento até seu exultório. O gradiente de canais que teve o resultado de 3,50 m/km indica canais com alto nível devido ao relevo apresentar alta amplitude, fazendo com que ocorram erosões nas áreas mais elevadas e sejam transportados os sedimentos para se depositarem nas áreas planas na foz da bacia.

A bacia do rio Pardo apresenta uma cota altimétrica máxima de aproximadamente 735 metros e uma cota mínima de 18 metros, totalizando uma amplitude altimétrica de 717 metros (Figura 4). As áreas mais baixas da bacia estão localizadas na região sul, marcando a foz do rio Pardo, com altitude que varia de 18 a 65 metros, correspondendo cerca de 24,12% da área de estudo. A classe de 65 a 150 metros representa o limite da depressão central, caracterizando 14,90% da área, a zona de transição da depressão central para o planalto Meridional Brasileiro e representado pela classe de 150 a 300 metros com 8,86%



da bacia. A classe 300 a 500 metros marca as áreas de escoamento no médio curso da bacia, se localizando no centro norte da bacia com cerca de 22,65% da área. As áreas mais elevadas das bacias representam o topo do planalto onde se encontram as nascentes do rio Pardo, sendo a classe com maior predominância cerca de 29,46% da área total, localizada no norte da bacia.

FIGURA 4 – Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Pardo.



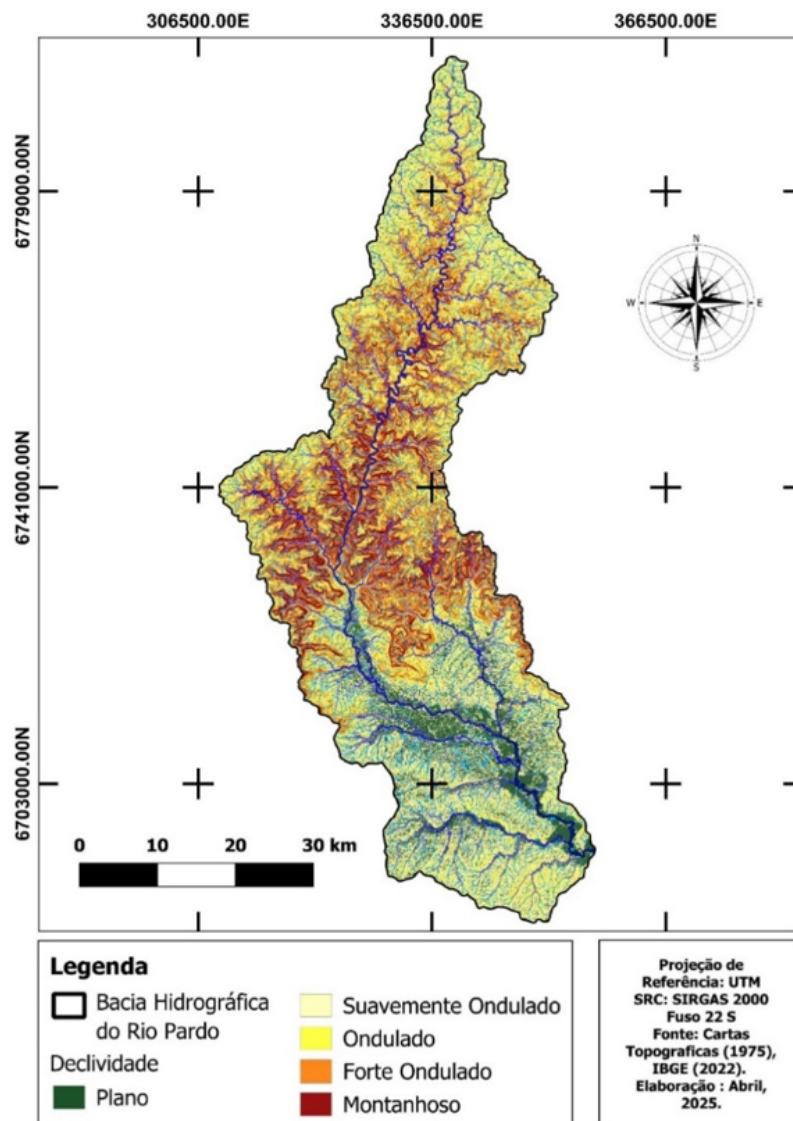
FONTE: própria (2025).

Em relação à declividade, observa-se que as áreas planas estão localizadas na região do sul da bacia na depressão central, marcando as áreas de escoamento e as planícies de inundação dos cursos hídricos principais, sendo cerca de 15,08% da bacia hidrográfica (Figura 5). A classe de declividade com relevo suavemente ondulado está distribuída por toda a bacia hidrográfica, tendo grande concentração na depressão central e alguns fragmentos no topo do planalto próximos às nascentes, que corresponde a 22,70% da área de estudo.



A classe com relevo ondulado apresenta a maior predominância na bacia hidrográfica, compondo 27,89% da área, estando localizada em fragmentos no planalto e áreas mais elevadas na depressão central. As áreas de encostas são marcadas pela classe de relevo fortemente ondulado, que está localizada na região norte da bacia que representa 23,61% da área. As áreas com inclinações superiores a 45% estão classificadas com o relevo montanhoso, representam as áreas mais íngremes do planalto na região norte, que representam 10,72% da área total.

FIGURA 5 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Pardo.



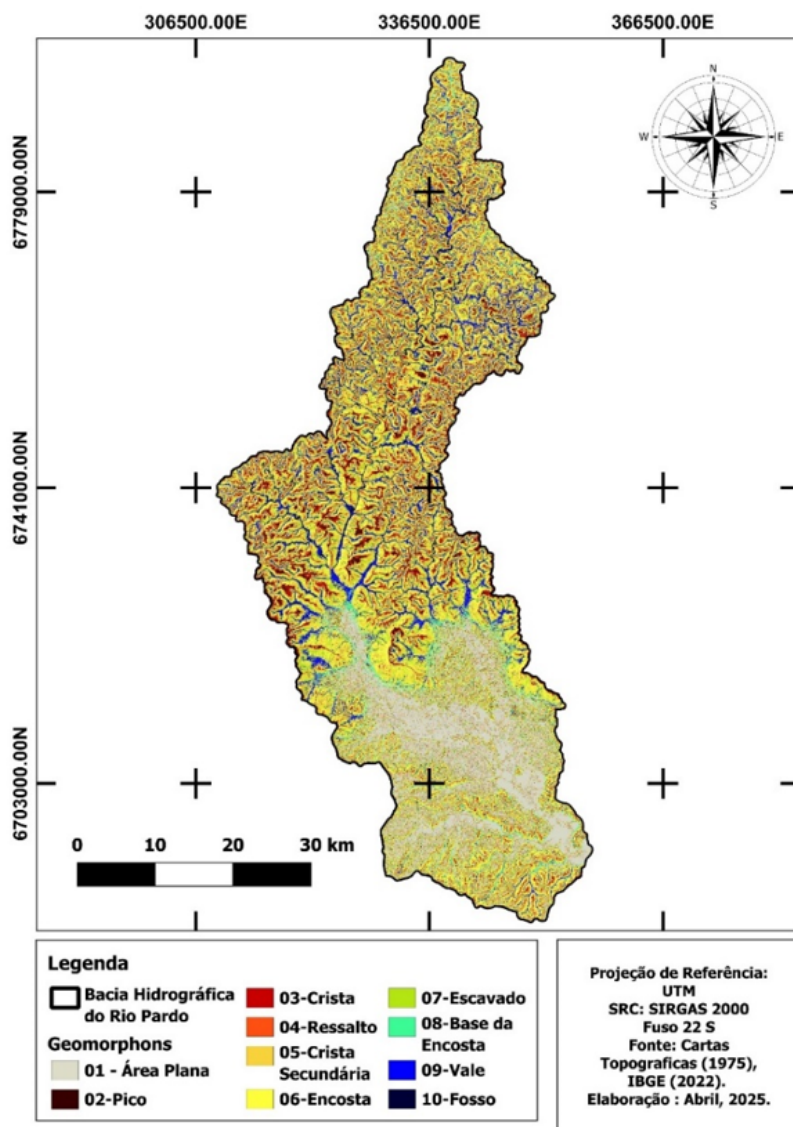
FONTE: própria (2025).

O mapa de elementos de relevo marca a predominância nas áreas planas na porção do sul da BHRP, sendo caracterizada pela suscetibilidade a processos hidrológicos como inundação na depressão central, compondo 12,80% da área total (Figura 6). As classes de vales e fossos estão encaixadas nos leitos dos cursos hídricos e do rio principal nas partes mais elevadas da bacia no norte, correspondendo juntas cerca a 11,19% da área de estudo.



As classes Escavado e Crista Secundária ocupam áreas íngremes em diferentes patamares. A classe Escavado está associada aos cursos hídricos e localiza-se acima da classe Vale, enquanto a Crista Secundária corresponde às porções mais elevadas das vertentes, com predominância na porção centro-norte da BHRP. Juntas, essas duas classes abrangem 24,69% da área total da bacia. Já a classe Ressalto, está concentrada na região sul da BHRP, inserida na Depressão Central, e caracteriza-se por áreas soerguidas em relação às áreas planas, estando distribuídas em pequenos fragmentos, representando cerca de 3,19% da bacia.

FIGURA 6 – Mapa de geomorphons da bacia hidrográfica do rio Pardo.



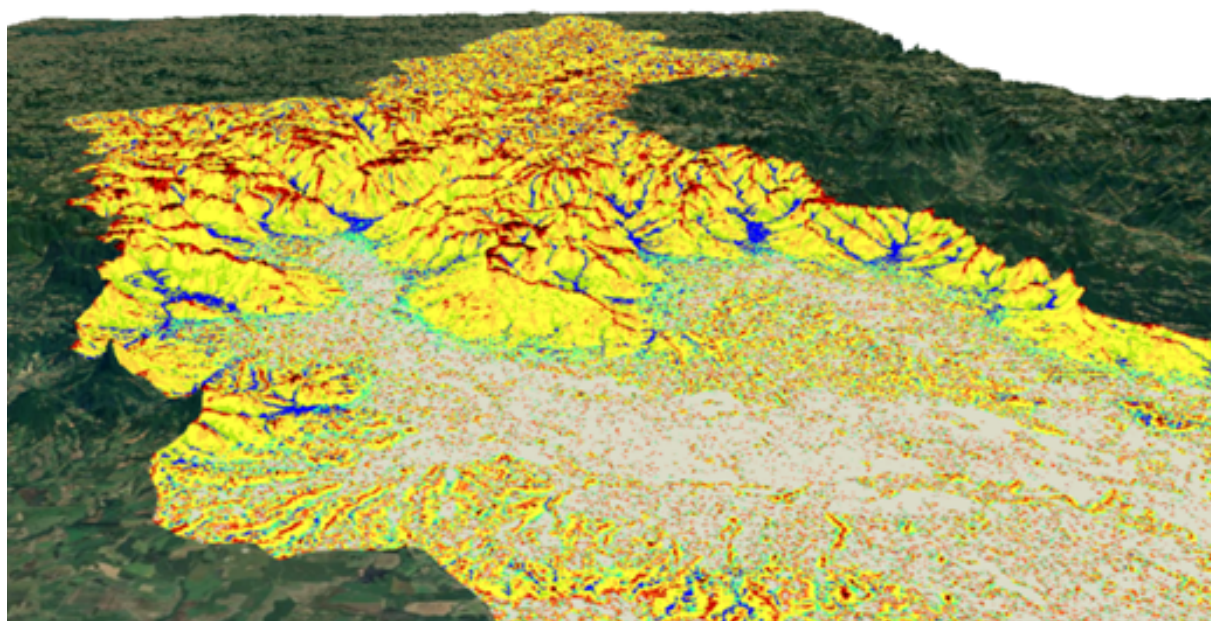
FONTE: própria (2025).

Para facilitar a compreensão dos diferentes elementos do relevo, foi elaborada a Figura 8, com o objetivo de aprimorar a visualização de cada classe mapeada. A classe Base da Encosta delimita o limite da Depressão Central, como evidenciado na imagem 3D,



abrangendo 4,35% da área de estudo. As áreas íngremes, que estão associadas ao escoamento superficial dos cursos hídricos, são representadas pela classe Encosta, que apresenta maior predominância entre os elementos do relevo da bacia, ocupando 31,80% da área total e estando distribuída ao longo de toda a bacia. As classes Pico e Crista delimitam as áreas de topo do planalto, caracterizando os cumes de morros e morrotes na porção centro-norte da bacia. Conforme apresentado na Figura 8, essas classes possuem continuidade espacial e formato linear, representando juntas cerca de 11,98% da bacia hidrográfica.

FIGURA 7 – Imagens oblíquas em 3D dos elementos de relevo da BHRP.



FONTE: própria (2025).

A Figura 9 apresenta o modelo 3D da bacia hidrográfica do rio Pardo, evidencia como o vale está encaixado na transição entre o Planalto Meridional e a Depressão Central, ressaltando num relevo abrupto da região (Figura 9). Essa configuração geomorfológica favorece o escoamento acelerado dos cursos d'água, conforme já discutido anteriormente nos aspectos morfométricos, contribuindo para a elevada suscetibilidade da bacia hidrográfica a processos hidrológicos. Ao avaliar o tempo de concentração que estima o intervalo necessário para que a água proveniente de uma precipitação percorra o trajeto da cabeceira até a foz da bacia, utilizando-se a fórmula proposta por Giandotti (1934), obteve-se um valor de 22,77 horas. Esse resultado é considerado elevado e influência diretamente na dinâmica de concentração do fluxo no vale, favorecendo o acúmulo de



água e, conseqüentemente, o risco de inundação. Associado a isso, a área urbana do município de Candelária está localizada na depressão próxima ao rebordo do planalto, essa área recebe grande volume de água que vem da cabeceira da bacia.

FIGURA 8 – Imagens oblíquas em 3D e na inundação de 2024 da bacia do rio Pardo.



FONTE: própria (2025).

A Figura 10 retrata a realidade do vale durante o desastre ocorrido em março de 2024, quando o estado do Rio Grande do Sul foi atingido por volumes extremos de precipitação, resultando na inundação de diversas bacias hidrográficas que drenam para o lago Guaíba. Também é possível verificar como a área urbana de Candelária está próxima ao rio Pardo e extremamente suscetível a inundações.



FIGURA 9 – Imagem oblíqua na inundação de 2024 da bacia do rio Pardo



FONTE: Acervo pessoal de Luciano Barbosa Rosa, data 30/04/2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pardo mostrou-se eficaz para a compreensão das características físicas e ambientais da área de estudo, sendo potencializada pelo uso de Sistemas de Informa es Geográficas (SIG), que permitem uma análise mais ágil e integrada de diferentes conjuntos de dados. Embora alguns parâmetros relacionados à forma da bacia indiquem uma baixa suscetibilidade a inunda es, esses dados, isoladamente, não representam toda a complexidade da realidade local. A avalia o de outros indicadores revela que a bacia   suscetível a processos hidrológicos, o que pode ser atribuído à elevada energia do curso d'água e   acentuada sinuosidade do canal principal. Essas características, aliadas   transi o geomorfológica abrupta entre o Planalto Meridional e a Depressão Central, favorecem a rápida concentra o do fluxo na foz da bacia, contribuindo para o transbordamento do canal. Esse comportamento é corroborado pelo curto tempo de concentra o identificado na análise. Além disso, as características morfológicas da porão sul da bacia, marcada pela predominância de áreas planas, intensificam esse processo.

As informa es obtidas por meio desta pesquisa fornecem subsídios importantes para o poder público no que se refere à gestão ambiental, ao planejamento territorial e ao ordenamento da bacia hidrográfica do rio Pardo. Esses dados permitem identificar áreas



mais suscetíveis a inundações, contribuindo para a tomada de decisões mais assertivas na prevenção de desastres, no uso e ocupação do solo e na implementação de políticas públicas voltadas à mitigação de riscos e à preservação dos recursos naturais.

Agradecimentos:

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- ARONOFF, S. **Geographical Information Systems: A Management Perspective**. Ottawa. WDI. Publications, 1989.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, Ed. 1. Universidade de São Paulo. p. 147, 1974.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas do planalto de Poços de Caldas**. 1970. 215 f. Tese (Livre-docência) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1970.
- COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?. **Photogrammetric Engineering and Remote**, Colúmbia. V. 54, p. 1551-1554, 1988.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.
- GIANDOTTI, M. Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua. Rome: Memorie e studi idrografici. **Servizio Idrografico Italiano**, p. 107-117, 1934.
- GRITTI, O.; BOZA, D.; TRENTIN, Romario. Uso da geotecnologia na análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Baios. **Revista de Geografia**, v. 40, n. 2, p. 179–199, 2023.
- GUIRRA, A. M. P. et al. A evolução metodológica de Fragilidade Ambiental no Brasil e seu aspecto transdisciplinar. **Anais do IV Simpósio Nacional sobre Cidades Pequenas**, Universidade Federal de Uberlândia. Observatório das Cidades, Ituiutaba, p. 234-250, 2016.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**, New York, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.
- IQBAL, M.; SAJJAD, H.; BHAT, F. A. Morphometric Analysis of Shaliganga Sub Catchment, Kashmir Valley, India Using Geographical Information System. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, 2013.
- JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147–156, 2013.
- LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. Tese (Doutorado em Geotecnia). São Carlos, Universidade de São Paulo. 1995.
- MACHADO, J. O. TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.



- OLIVEIRA, P. T. S. de et al. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 819–825, 2010.
- PEREIRA, M. A. B. et al. Geotecnologias Aplicadas à Análise da Morfometria: um estudo sobre duas bacias hidrográficas localizadas no Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 1, p. 315–331, 25 jan. 2024.
- RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R. Novas geotecnologias aplicadas ao estudo geomorfológico: exemplo de morfometria da Voçoroca do Areal, Cacequi-RS. **GeoTextos**, 29 jun. 2020.
- SCHEREN, R. S. **Zoneamento de Sistemas Geoambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Potiribu, RS**. 2021. 240 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597- 646, 1956.
- SILVA, W. O. **Análise das áreas de risco associadas aos processos hidrológicos na área urbana de Candelária, RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria. 2025. 119 p.
- STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 923–938, 1952.
- SUGIYAMA, M. T. O.; GOMES, M. C. V. Bacias hidrográficas em relevos escarpados: implicações para a análise da suscetibilidade a corridas de detritos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 3, 2023.
- TOMINAGA, L. K. et al. (Orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 1a. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.
- TRENTIN, R. **Mapeamento Geomorfológico e Caracterização Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul** – Brasil. 2011. 215f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. São Paulo: ABRH, 2012.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.
- WYLES, H. M. E. *et al.* A Novel Approach to Using Seabed Geomorphology as a Predictor of Habitat Use in Highly Mobile Marine Predators: Implications for Ecology and Conservation. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, 19 abr. 2022.



MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA FALÉSIA DE BARRA DE TABATINGA, NÍSIA FLORESTA - RN

Daniel Carlos Alves Santos ¹

Rodrigo de Freitas Amorim ²

Heleriany de Medeiros Madeiros ³

Silvio Braz de Sousa ⁴

Thiago França Simonetti ⁵

PALAVRAS-CHAVE: Falésias costeiras; Erosão; Geomorfologia aplicada; Sensoriamento Remoto.

RESUMO

No Nordeste brasileiro os Tabuleiros Costeiros, que finalizam de forma abrupta com o mar, formam falésias estruturadas em rochas da Formação Barreiras, apresentando uma dinâmica geomorfológica complexa com diferentes níveis de estabilidade. Nesse contexto, o entendimento dos processos morfodinâmicos demanda conhecer detalhadamente as características morfométricas e os processos associados. Para tanto, o presente trabalho objetiva realizar um mapeamento geomorfológico de detalhe da falésia de Barra de Tabatinga, localizada no município de Nísia Floresta, litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte. A metodologia fez uso de um levantamento de campo, empregando a técnica de transectos ao longo de toda área em análise e um levantamento aerofotogramétrico (executado em 27 de março de 2024). Foi utilizado um sensor full-frame de 45 MP e lentes intercambiáveis em um gimbal estabilizado de 3 eixos, embarcado em uma Aeronave Remotamente Pilotada, modelo Matrice 300, com controle de posicionamento efetuado por RTK. O voo ocorreu a 110 metros de altura com sobreposição de 85%, gerando um ortomosaico com Ground Sample Distance (GSD) de 2 cm e Modelo Digital de Elevação (MDE), processado no software DJI Terra 4.2.5, no Datum SIRGAS 2000 (fuso 25S). A elaboração dos produtos cartográficos foi realizada no ArcGIS 10.8.2, licença do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRN (PPGe/UFRN). A execução do mapeamento para identificação e descrição das feições geomorfológicas existentes teve como base o terceiro e quarto nível taxonômico, conforme especificado no Manual Técnico de Geomorfologia IBGE (2009). Assim, foram delimitadas dez unidades geomorfológicas: tabuleiros costeiros (227.405,8 m² –

¹ Doutorando em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, danielcarlos472@gmail.com

² Professor Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, rodrigo.freitas@ufrn.br

³ Doutoranda em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, profahelerianyedeiros@gmail.com

⁴ Professor Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, silvio.braz@ufrn.br

⁵ Mestre em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, thiagofsimonetti@gmail.com



54,8%), promontório (72.703,8 m² – 17,5%), dunas semifixas (50.021 m² – 12%), zona de estirâncio (24.113,4 m² – 5,8%), depósito de tálus (23.713,9 m² – 5,7%), dunas móveis (7.402 m² – 1,8%), face da falésia (6.944,2 m² - 1,7%), zona de pós-praia (1.133,2 m² – 0,3%), depósito de colúvio (794,3 m² – 0,2%), terraço marinho (512,6 m² – 0,1%); e duas feições: voçorocas (385,7 m² – 0,1%) e reentrâncias erosionais. A partir dos modelos digitais, a faixa de falésia foi delimitada com extensão total de 1.651 metros, com variação de altura entre 4,4 e 29,2 metros. Os dados permitiram identificar uma diversidade morfológica na área da escarpa, com presença de camadas sedimentares friáveis e 14 pontos com presença de voçorocas. Esses pontos de voçorocas na borda do tabuleiro e a presença de reentrâncias erosivas na base da escarpa evidenciam a atuação combinada de processos erosivos pluviais e marinhos, caracterizando em um sistema de escarpa ativa em constante reconfiguração. A compartimentação geomorfológica proposta fornece subsídios para a compreensão detalhada da dinâmica morfológica da falésia. A abordagem adotada permite não apenas compreender a espacialização da dinâmica da área da falésia, como também contribuir com diagnósticos técnicos aplicáveis à gestão do território.

INTRODUÇÃO

As escarpas costeiras do litoral oriental do Rio Grande do Norte (RN), estruturadas pelos sedimentos da Formação Barreiras, representam o contato do tabuleiro costeiro com oceano. Apresentam uma interação complexa entre fatores estruturais, litológicos e climáticos, que se manifestam em diferentes níveis de estabilidade e sob variados processos erosivos (Maia; Amorim, 2022) e caracterizam a transição entre os tabuleiros costeiros e planícies marinhas através de formas abruptas (Angelim, 2007; IBGE, 2009), representando unidades geomorfológicas de relevância para os estudos sobre a dinâmica costeira.

No litoral oriental do estado do RN, essas feições estão localizadas em um contexto de intenso uso turístico, ocupação urbana e segunda moradia, o que potencializa os riscos associados à sua morfodinâmica principalmente em virtude dos processos erosivos (Muehe, 2006) com constantes desmoronamentos de partes das escarpas. Logo, se faz necessário compreender as características geomorfológicas e seus processos associados. Trabalhos realizados no litoral do RN (Scudelari *et al.*, 2005; Amorim, Maia, 2021; Amaro *et al.*, 2021, Madeiros *et al.*, 2024, Santos *et al.*, 2024) reforçam que os processos de recuo das escarpas costeiras estão associados a atuação combinada de agentes pluviais e marinhos atuando em uma litologia friável, gerando complexidade no entendimento.

Diante desse cenário, esses processos apresentam risco elevado em virtude da ausência de mapeamentos cartográficos na escala de detalhe que abarquem os processos geomorfológicos, um problema recorrente na literatura quando se trata de estudos em escala de detalhe (Tuller, Saraiva, 2016; Souto *et al.*, 2021). Nesse contexto, o uso de instrumentos, técnicas e produtos de sensoriamento remoto que permitam a coleta de



informações sem o contato direto com o objeto de estudo (Jensen, 2009), aplicados ao mapeamento geomorfológico possibilitam a identificação em diferentes escalas, base para o entendimento mais completo de sua dinâmica.

Nesse sentido, a disponibilidade de produtos de alta resolução espacial, a partir de aerofotogrametria por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), tem permitido a geração de modelos altimétricos e produtos cartográficos com maior precisão e acurácia da informação, demonstrado por Silva (2018), o que fornece uma base de dados sistemáticos fundamental quando se trata da gestão e mitigação da degradação costeira (Amaro *et al.*, 2021).

A partir desse contexto, esse trabalho tem por objetivo realizar um mapeamento geomorfológico de detalhe da falésia de Barra de Tabatinga, situada no município de Nísia Floresta, no litoral oriental do estado do RN. De forma a atingir esse objetivo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: a) mapear as unidades geomorfológicas da praia de Barra de Tabatinga; e b) identificar a localização de voçorocas na borda superior da falésia.

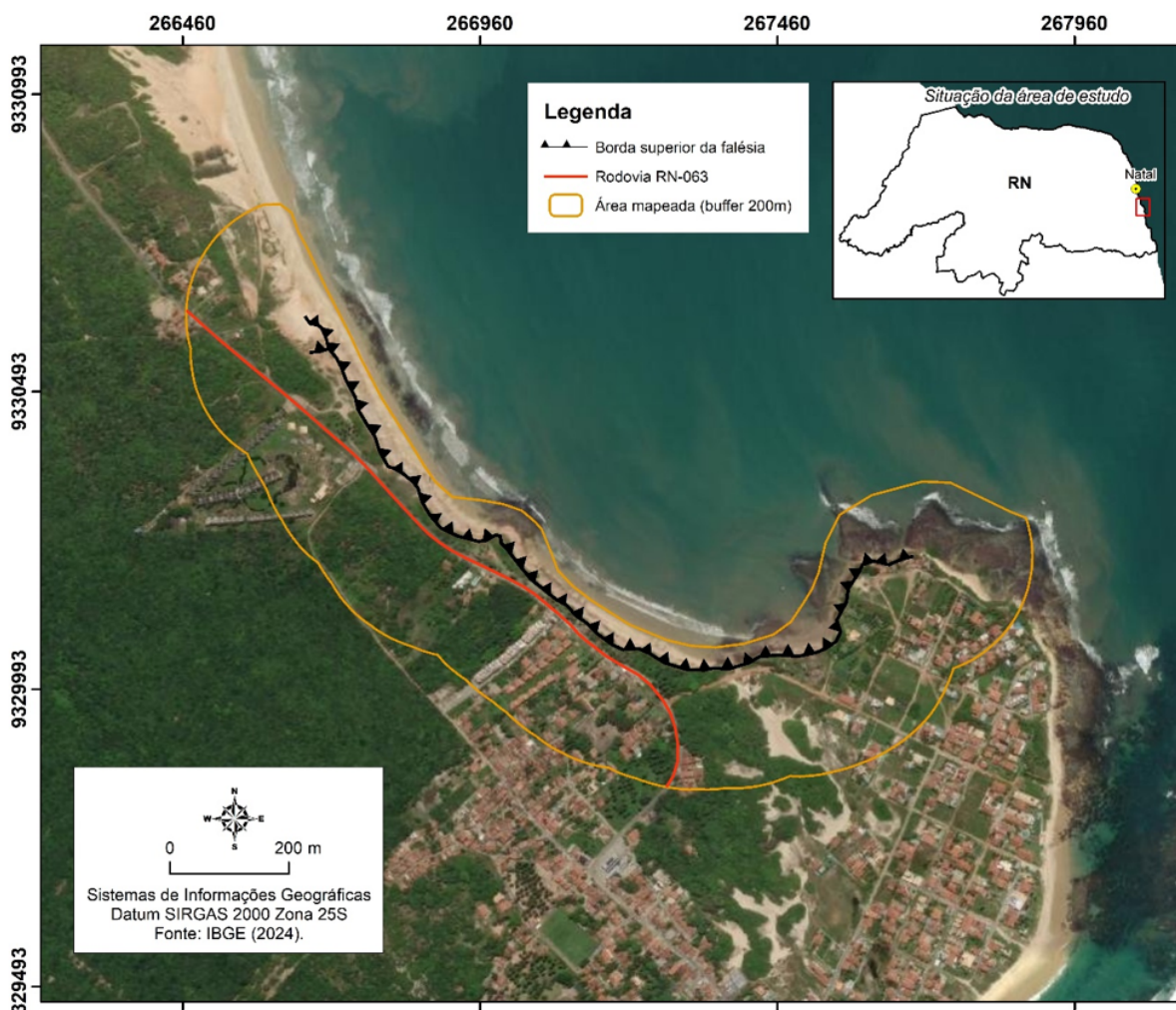
ÁREA DE ESTUDO

As falésias da praia de Barra de Tabatinga estão localizadas no município de Nísia Floresta, litoral oriental do Estado do RN (Figura 1) a 36 km da cidade de Natal, capital do Estado. Sua paisagem é caracterizada por uma enseada formada pela Formação Barreiras (Angelim, 2007) e campos de dunas que a recobrem, com orientação da linha de costa no sentido NW (Amorim; Maia, 2021). Essa área está inserida em um contexto cuja morfologia da costa é influenciada por processos erosivos em virtude de padrões específicos de refração e difração de ondas (Muehe, 2006). A Formação Barreiras encontrada na área é caracterizada pela presença de sedimentos do período do Paleógeno, com perfis de laterização que variam sua coloração do vermelho ao marrom, descritas por Amorim e Maia (2021).

Para além da presença das escarpas, a topografia na área da praia é predominantemente plana, com pouca presença de vegetação, sendo essa evidente no recobrimento dos campos dunares sobre o tabuleiro costeiro.



FIGURA 1: Localização da área de estudo.



FONTE: própria (2025).

MATERIAIS E MÉTODOS

Partindo do contexto da cartografia em seu estado da arte aplicada à geomorfologia, esse estudo realizou a compartimentação geomorfológica da praia de Tabatinga em uma escala de detalhe. A metodologia aqui empregada se baseou na hierarquia taxonômica proposta pelo Manual Técnico de Geomorfologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), que classifica as falésias como um modelado do relevo (quarto nível taxonômico). Esta abordagem em diferentes níveis de análise representa um pilar na geomorfologia brasileira, fundamentada nos trabalhos pioneiros de Ab'Saber (1969).

Além disso, as possibilidades oferecidas pelos produtos de sensoriamento remoto de alta resolução espacial permitem executar a identificação e mapeamento de unidades e feições geomorfológicas delineadas pelo IBGE (2009). O mapeamento geomorfológico de detalhe, executado em diferentes trabalhos na literatura (Rodrigues; Brito, 2000; Souza; Furrier, 2019), é caracterizado por focar em níveis taxonômicos mais específicos



da paisagem e comumente não identificados em escalas de mapeamento regional. Ao aplicar esses produtos de alta resolução espacial, torna-se possível identificar e delimitar com precisão feições de pequena dimensão e processos erosivos recentes, como a face da escarpa e voçorocas.

A partir disso, a execução da compartimentação partiu de dados primários obtidos por meio de um levantamento aerofotogramétrico realizado no dia 27 de março de 2024 na área de estudo. Para a aquisição dos dados, foi utilizada uma ARP modelo DJI Matrice 300 RTK (Figura 2).

FIGURA 2: ARP DJI Matrice 300 RTK acoplada do sensor L1 (LIDAR).



FONTE: Acervo dos autores (2024).

A aeronave é equipada com controle de posicionamento e correção em tempo real (RTK – *Real Time Kinematic*), método este que corrige em tempo real as coordenadas obtidas pelo equipamento e garantem uma alta precisão posicional dos produtos gerados, estando alinhado aos padrões de controle de qualidade da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). A montagem dos equipamentos, aeronave e RTK realizado durante atividade de campo, pode ser observada na Figura 3.



FIGURA 3: Montagem da aeronave e RTK em campo.



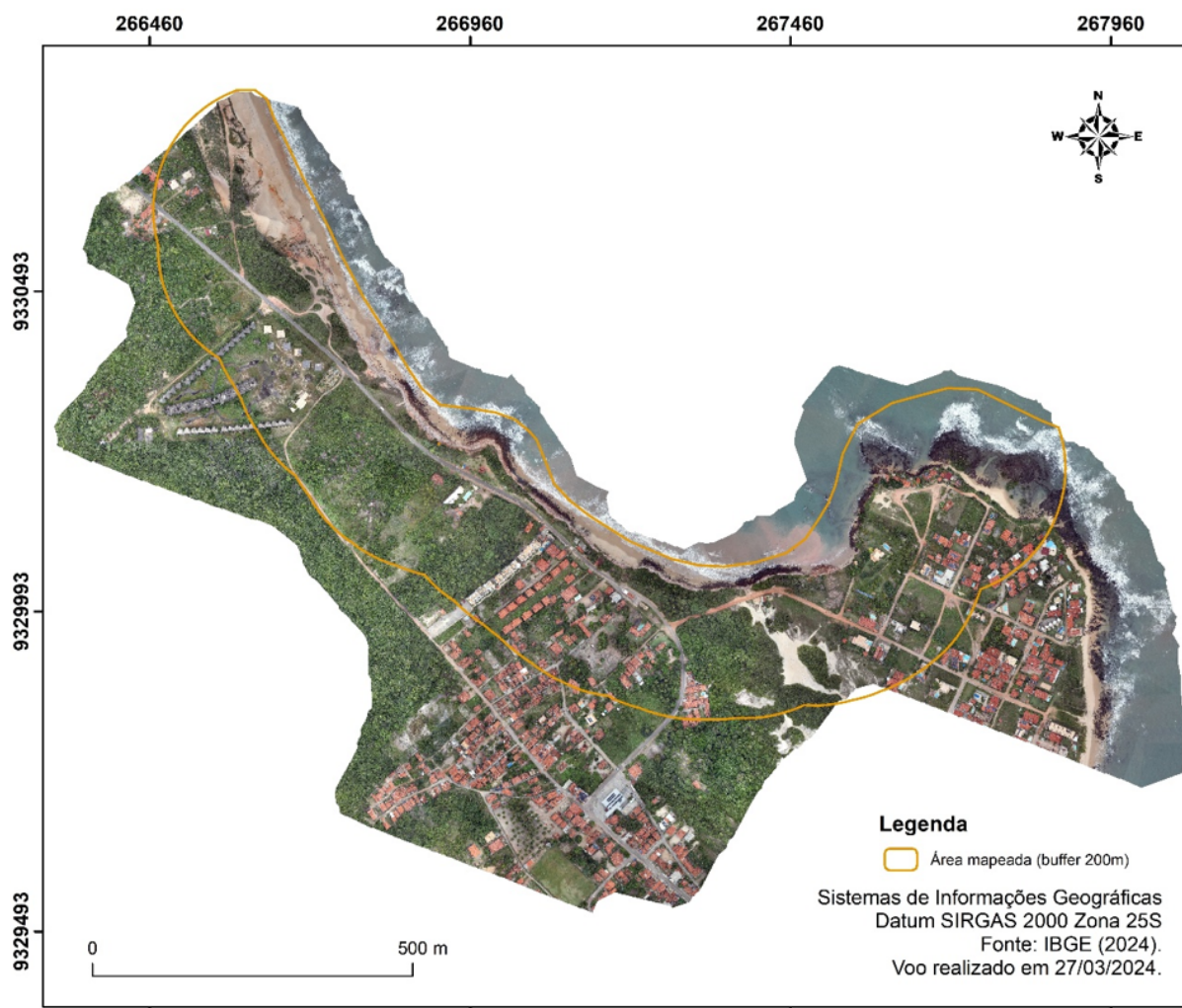
FONTE: Acervo dos autores (2024).

Para o levantamento aerofotogramétrico, foi utilizada a câmera Zenmuse P1, que se caracteriza por um sensor full-frame de 45 megapixels com lentes intercambiáveis e um gimbal estabilizado de três eixos. Sua alta velocidade de obturador assegurou a captura das 1.098 fotografias que compuseram o ortomosaico da área. Para o levantamento do relevo, foi empregado o sensor LiDAR (*Light Detection and Ranging*) Zenmuse L1, que combina um emissor LiDAR de Classe 1, um sistema de medição inercial (IMU) de alta precisão e uma câmera RGB auxiliar. Esta unidade foi responsável por gerar a nuvem de pontos de alta densidade, com capacidade de medição a até 450 metros de distância, que serviu de base para o Modelo Digital de Elevação (MDE).

O plano de voo foi executado a 110 metros de altura em relação ao nível do mar, com uma sobreposição de 85% longitudinal quanto transversal, assegurando máxima acuidade dos produtos gerados. Os dados brutos foram processados no *software* DJI Terra versão 4.2.5, a partir do qual foi gerado um ortomosaico com GSD (*Ground Sample Distance*) de 2 cm (Figura 4). Esse nível de detalhamento permite um mapeamento com escala de até 1:100. A geração de um produto com alta resolução espacial reforça os apontamentos de Galo e Camargo (1994), ao afirmarem a importância de se conhecer a qualidade dos produtos finais gerados por geotecnologias.



FIGURA 4: Ortomosaico gerado a partir do levantamento de campo (27/03/2024).



FONTE: própria (2025).

Todos os produtos foram padronizados e referenciados seguindo o Datum SIRGAS 2000 (fuso 25S), garantindo a precisão espacial necessário para um trabalho dessa natureza e possibilitando a interoperabilidade futura com outros bancos de dados ao se ter uma padronização da informação (Sousa; Santos, 2023).

De maneira a estabelecer uma delimitação da área de estudo, adotou-se um *buffer* de 200 metros em direção ao continente a partir da borda superior da falésia. Essa área circundante foi utilizada como perímetro para a identificação e mapeamento das unidades e feições geomorfológicas.

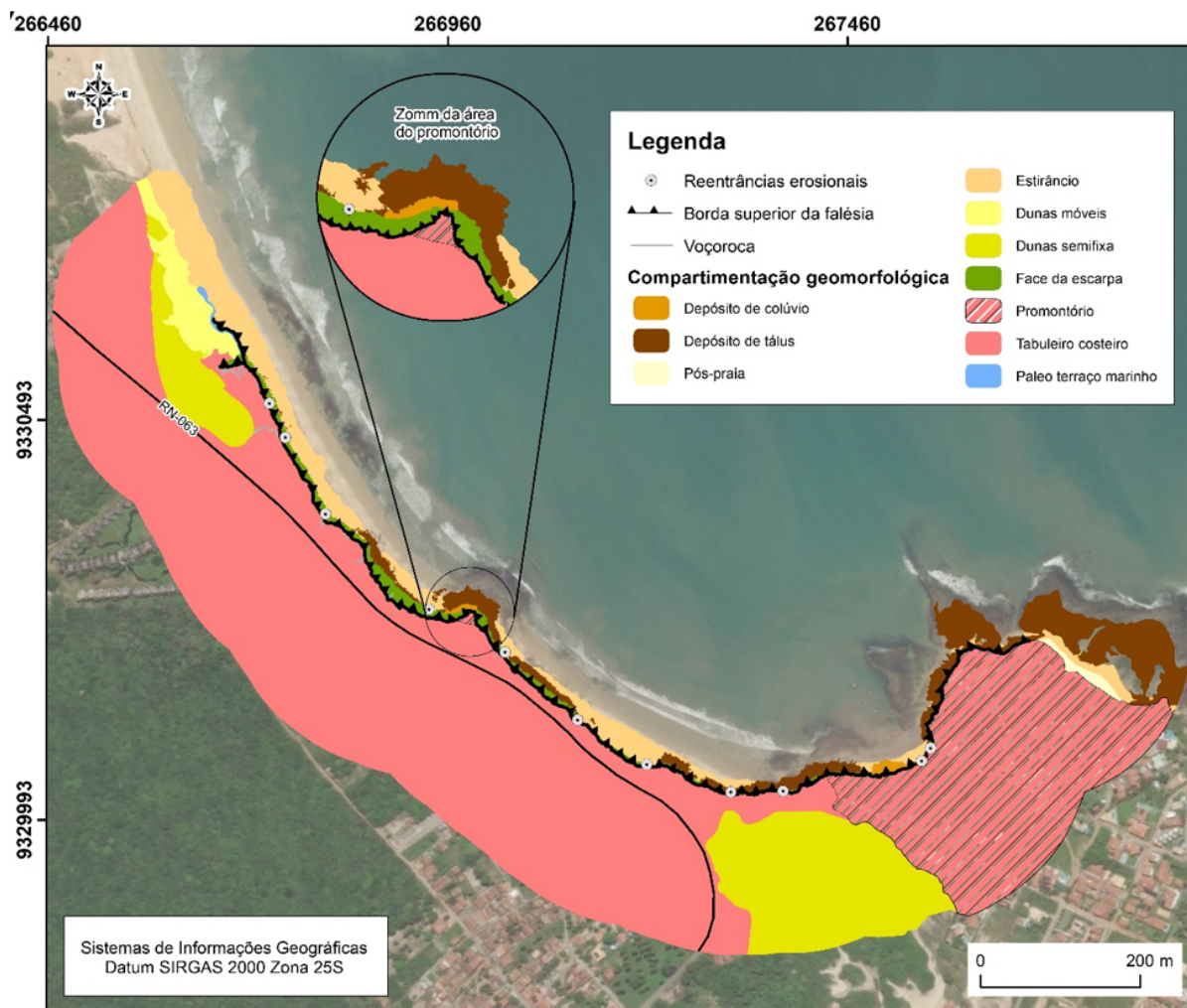
Por fim, a etapa final consistiu na elaboração de produtos cartográficos e mensuração dos dados obtidos. Para isso, foi utilizado o *software* ArcGis ArcMap 10.8.2, licença disponibilizada pelo Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia (PPGe) da Univerisdade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a extensão da falésia de 1.651 metros, foi executado o mapeamento de detalhe de uma faixa de 200 metros, tendo como referência a borda superior da escarpa, totalizando uma área de 415.130 m². Nessa faixa, a altura da falésia varia de 4,43 metros a máxima 29,2 metros. Foram identificadas, mapeadas e descritas dez unidades geomorfológicas: tabuleiro costeiro, dunas móveis, dunas semifixas, face da escarpa, promontório, pós-praia, estirâncio, depósito de tálus, depósito de colúvio, paleo terraço marinho e duas feições: 14 voçorocas e 11 reentrâncias erosionais (Figura 5 e Tabela 1).

FIGURA 5: Compartimentação geomorfológica da área de falésia de Barra de Tabatinga.



FONTE: própria (2025).



TABELA 1: Valores absolutos da compartimentação geomorfológica da praia de Barra de Tabatinga.

CLASSE	M ²	%
Tabuleiro costeiro	227.405,8	54,8
Promontório	72.703,8	17,5
Dunas semifixas	50.021,0	12,0
Zona de estirâncio	24.113,4	5,8
Depósito de tálus	23.713,9	5,7
Dunas móveis	7.402,0	1,8
Face da Falésia	6.944,2	1,7
Zona de pós-praia	1.133,2	0,3
Depósito de colúvio	794,3	0,2
Terraço marinho	512,6	0,1
Voçoroca	385,7	0,1
TOTAL	415.130,0	100,0

FONTE: própria (2025).

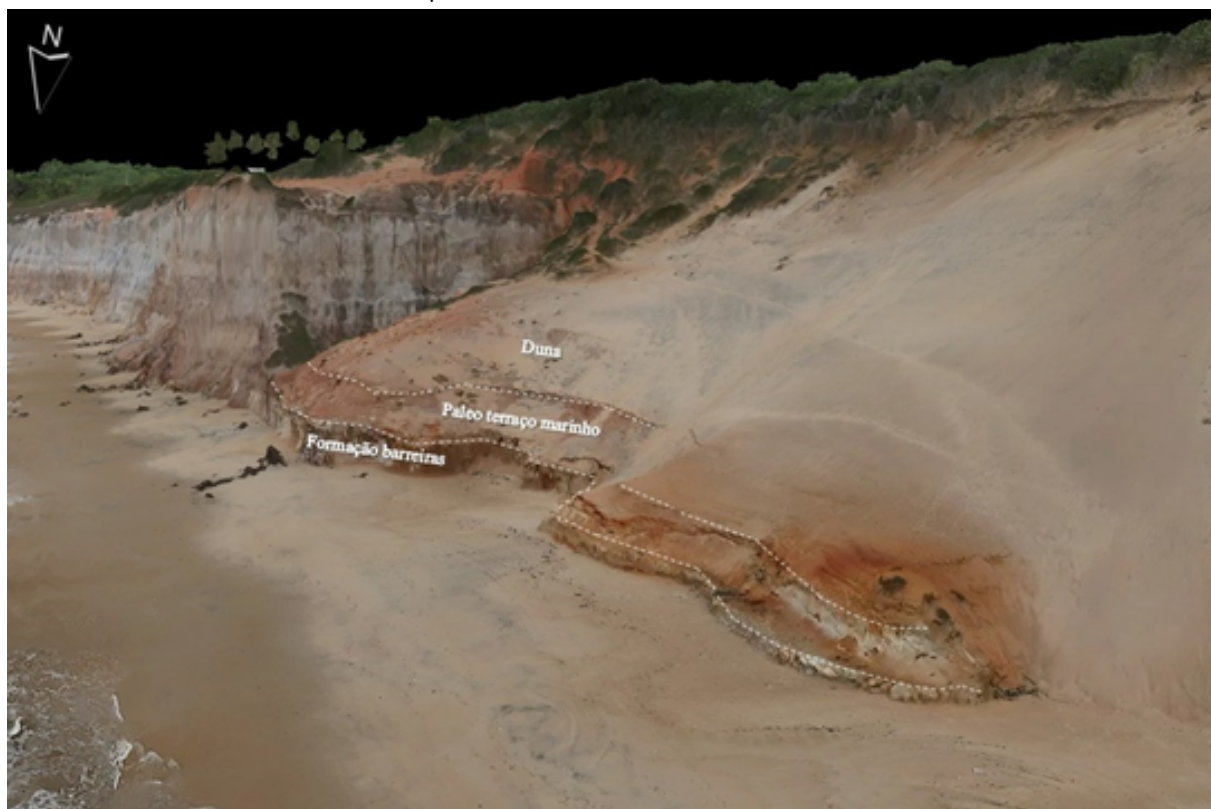
Como observado na Tabela 1, a classe predominante na classificação foi de Tabuleiro costeiro, ocupando uma área de 227.405,8 m² (54,8%), seguido da classe de Promontório com uma área de 72.703,8 m² (17,5%). Em relação a essa classe, entende-se por promontório a porção mais saliente e elevada do relevo costeiro que avança em direção ao mar (Jatobá; Lins, 1998).

Em relação as unidades associadas à dinâmica praiar e eólica, as coberturas de Dunas Semifixas ocupam uma área de 50.021,0 m² (12%) seguido da zona de Estirâncio com uma área de 24.113,4 m² (5,8%), das Dunas Móveis com 7.402 m² (1,8%), zona de Pós-Praia com uma área de 1.133,2 m² (0,3%) e o paleo terraço marinho com uma área de 512,6 m² (0,1%).

A partir da Figura 6, pode-se observar a identificação do paleo terraço marinho sobre a Formação Barreiras e recoberto pelos sedimentos da duna semifixa. Essa representação foi gerada a partir de uma visualização tridimensional obtida através do levantamento de dados por LIDAR no ambiente do software DJI Terra.



FIGURA 6: Representação tridimensional a partir de nuvem de pontos LiDAR do depósito de colúvio na base da falésia.



FONTE: própria (2025).

Para além dessas feições, a escala de mapeamento de até 1:100 permitiu identificar unidades em escala de detalhe, como a face da falésia, e também feições associadas a processos erosivos na escala de tempo recente. Entre essas feições, foram identificados Depósitos de Tálus (Figura 7), Depósitos de Colúvio (Figura 8) e Voçorocas.

Os depósitos de tálus ocorrem ao longo de toda faixa de falésia, localizado em sua base com uma área de 23.713,9 m² (5,7%). Os depósitos de colúvio foram identificados próximo aos dois promontórios ocupando uma área de 794,3 m² (0,2%). Esses depósitos formam uma rampa de sedimentos inconsolidados na base da falésia e sua formação ocorre em função do desmoronamento de setores mais friáveis da falésia que colapsam.



FIGURA 7: Depósito de tálus na base do promontório em Tabatinga.



FONTE: Acervo dos autores (2024).

FIGURA 8: Representação tridimensional a partir de nuvem de pontos LiDAR do depósito de colúvio na base da falésia.



FONTE: própria (2025).



Outra feição identificada e associada a processos erosivos recentes foram as voçorocas, que apresentaram uma área total de 385,7 m² (0,1%), e foram localizadas próximas a borda superior da falésia na cimeira do tabuleiro costeiro. Essas voçorocas apresentam grande capacidade erosiva na parte superior da escarpa, uma vez que canalizam o transporte de sedimentos e potencializam a capacidade erosiva em períodos de precipitação (Amorim; Maia, 2021).

Um dos principais *inputs* das voçorocas identificadas na área de estudo ocorre em função do escoamento superficial advindo da rodovia estadual RN-063, que ocasiona a erosão pluvial do material ocasionando o aprofundamento de seu talvegue nas camadas superiores próximo a borda da falésia. Embora esses processos apresentem baixa representatividade quanto a área ocupada, proporcionalmente em relação ao total, são indicadores essenciais da morfodinâmica local da área.

A partir da Figura 9, observa-se o cenário de atuação de diferentes ações erosivas sobre a forma da escarpa. A partir da Rodovia RN-063, tem-se o escoamento superficial gerando uma erosão pluvial que configura a feição das voçorocas (erosão linear) e dos anfiteatros erosivos (erosão laminar). Em paralelo, na base da falésia está ocorrendo a erosão marinha a partir do solapamento das ondas sobre a base da escarpa, ocasionando as reentrâncias erosionais.

FIGURA 9: Erosão pluvial e marinha observado sobre a escarpa costeira.



FONTE: própria (2025).



A coexistência de voçorocas no topo da escarpa associada aos depósitos de colúvio em sua base valida o diagnóstico apresentado por Amorim e Maia (2021) acerca da ação combinada de erosão pluvial e marinha sobre a falésia. A presença de depósitos de colúvio indica que os colapsos que resultaram nessas feições tem seus fatores de controle relacionados as características litostatigráficas, nas zonas mais friáveis da escarpa, combinados pela ação de energia das ondas que resultam no solapamento da base.

Essa dinâmica de forma-processo configurada a partir do balanço de forças erosivas e a resistência dos materiais encontra subsídio na Teoria do Equilíbrio Dinâmico de Hack (1960), uma vez que essa diferenciação ao longo da escarpa evidencia que, embora a erosão seja guiada pelos processos marinhos (força), a resposta da falésia é mediada por suas condições geológicas (resistência), o que explica a variação espacial do recuo.

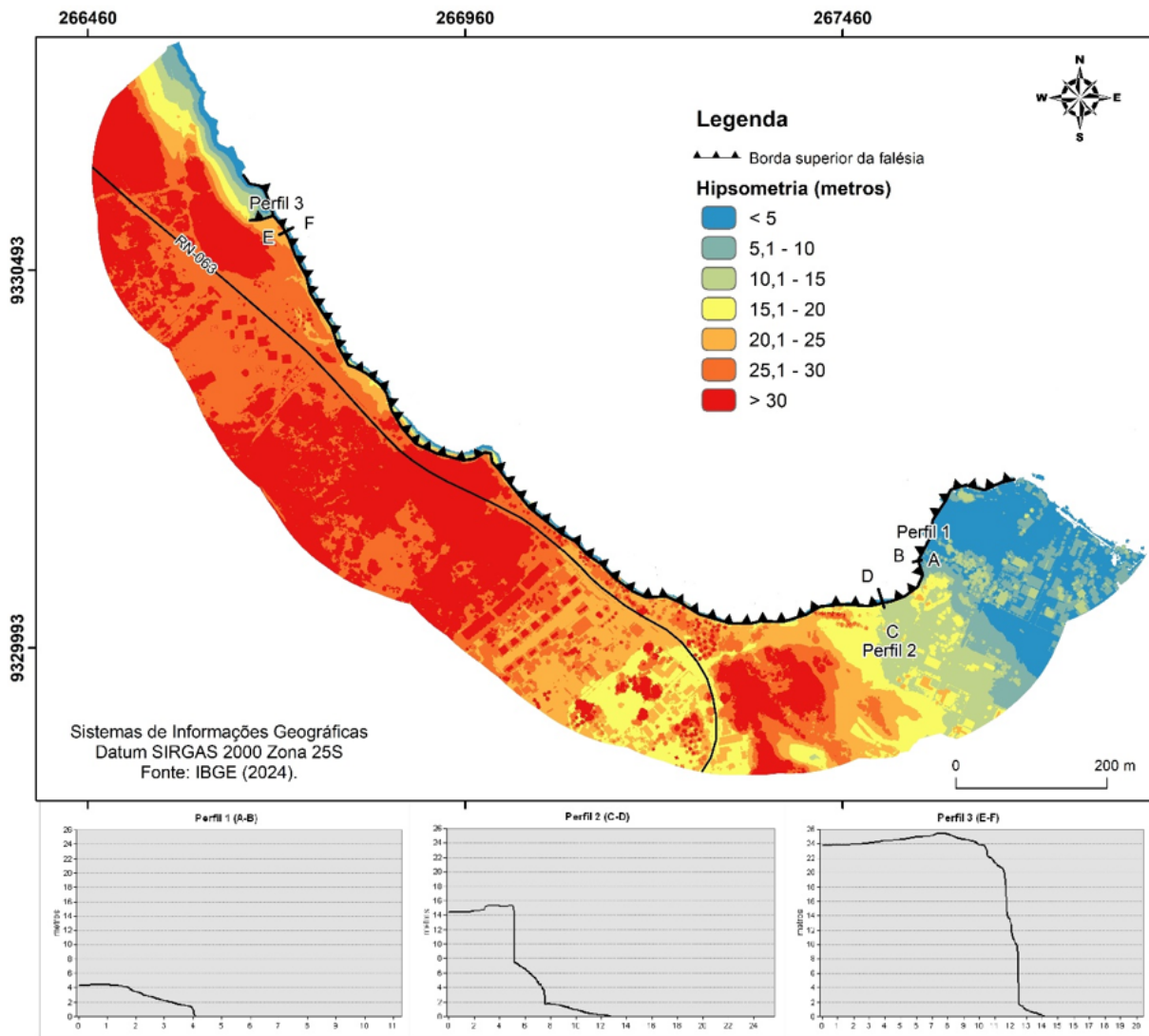
Além disso, a sobreposição do mapeamento com os diferentes usos antrópicos, a partir do ortomosaico, permite observar um cenário de vulnerabilidade impulsionado pelas infraestruturas existentes. A proximidade de infraestruturas, como a Rodovia RN-063, com a borda da falésia onde se desenvolvem processos erosivos intensos, cria uma condição de fragilidade ambiental, tornando um potencial de risco.

Por fim, na Figura 10, observa-se a hipsometria em metros na área de estudo, focalizando três perfis topográficos traçados: Perfil 1 (A-B), Perfil 2 (C-D) e Perfil 3 (E-F), com intuito de exemplificar a variabilidade de altura e inclinação que se encontra na faixa de falésias em Barra de Tabatinga.

O Perfil 1 apresenta uma altura máxima de 4,43 metros com angulação baixa a suave. Em contrapartida, o Perfil C-D apresenta altura máxima de 15,3 metros com angulação da escarpa próximo a 90°. Nesse perfil ainda é possível identificar a rampa do depósito de colúvio citado anteriormente que foi formado a partir de um desmoronamento. Já no Perfil E-F, observamos uma altura máxima de 25,4 metros da borda superior da falésia, com sua escarpa apresentando declives acentuados.



FIGURA 10: Hipsometria e perfis topográficos na área de estudo.



FONTE: própria (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do mapeamento geomorfológico de detalhe da falésia de Barra de Tabatinga permitiu identificar dez unidades de relevo e duas feições geomorfológicas e detalhar a morfometria da escarpa. A análise dos dados de alta resolução validou, para a localidade, o diagnóstico de uma complexa dinâmica costeira regida pela atuação combinada de processos pluviais e marinhos, conforme apontado por estudos anteriores na região.

A identificação de voçorocas no topo do tabuleiro e de depósitos de tálus e colúvio na base da escarpa permite observar que a evolução da falésia não se limita a ação das ondas, sendo intrinsecamente controlada pelas características litoestratigráficas e estruturais da Formação Barreiras.



Na perspectiva metodológica, o trabalho demonstrou a eficácia da aerofotogrametria a partir ARPs para a análise de ambientes costeiros. A geração de produtos cartográficos em escala de detalhe (1:100) contribuiu para obtenção de informações geoespaciais em nível local e mapeamentos geomorfológicos de detalhe. Esta abordagem fornece a base de dados sistemáticos fundamental para a gestão e mitigação da degradação em zonas costeiras. Além disso, a adoção de um referencial geodésico padronizado (SIRGAS 2000) e de técnicas para garantir a acurácia posicional, como o RTK, assegura a qualidade dos dados e sua interoperabilidade, possibilitando que sejam integrados a outros bancos de dados e comparados com levantamentos futuros.

A proximidade de infraestruturas, como a Rodovia RN-063, com a borda de uma escarpa ativa e suscetível a processos erosivos, cria um cenário com potencial de risco. Por fim, embora este estudo ofereça um diagnóstico detalhado da situação atual, sua natureza é a de um retrato estático, visto que se trata de um processo contínuo e dinâmico.

Agradecimentos:

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES), pela concessão e financiamento de bolsa de estudo em nível de Doutorado ao primeiro autor, que permitiu a dedicação e realização desse trabalho durante o período de escrita da tese.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, n. 18, p. 1-23, 1969. Disponível em: https://biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1348929_UmConceitoDeGeomorfologia.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.
- AMARO, V. E.; CARVALHO, R. C.; MATOS, M. de F. A. de; INGUNZA, M. del P. D.; SCUDELARI, A. C. Avaliação da Suscetibilidade do Solo à Erosão nas Falésias do Litoral Oriental do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 1, p. 03-25, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i1.1887>.
- AMORIM, R. de F.; MAIA, R. P. **Diagnóstico e apontamentos de medidas mitigadoras para o contexto de riscos nas falésias de Pipa e Barra de Tabatinga – RN**. Natal: 2021, 225f.
- ANGELIM, L. A. de A. (org.). **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte – Escala 1: 500.000**. Recife: CPRM, Serviço Geológico do Brasil, 2007.



- GALO, M.; CAMARGO, P. de O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: COBRAC – 1994, 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. **Tomo II**, p.41-48, Florianópolis – SC, 1994.
- HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. **American Journal of Science**. Bradley Volume, v.258-A, p.80-97, 1960. Disponível em: https://earth.geology.yale.edu/~ajs/1960/ajs_258A_11.pdf/80.pdf. Acesso em: 14 jul. 2025.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2. Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p.
- JATOBÁ, L.; LINS, R. C. **Introdução a geomorfologia**. 2ed. – revista e ampliada. Recife: Bagaço, 1998.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p. (Tradução de José Carlos N. Epiphanyo et al.).
- MADEIROS, H. M.; AMORIM, R. de F.; SANTOS, D. C. A.; SOUSA, S. B. Estabilidade e instabilidade em falésias costeiras. **Anais do XX SBGFA – Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA – Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente**. Campina Grande: Realize Editora, 2024. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/117982>. Acesso em 15 jul. 2025.
- MAIA, R. P.; AMORIM, R. de F. Aspectos morfoestruturais e fatores erosivos em Falésias. O caso de Pipa – RN. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 23, n. 4, p. 2000-2009, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2141>.
- MUEHE, D. (org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- RODRIGUES, S. C; BRITO, J. L. S. Mapeamento geomorfológico de detalhe - uma proposta de associação entre o mapeamento tradicional e as novas técnicas em geoprocessamento. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2000. DOI: 10.14393/RCG1115243.
- SCUDELARI, A. C.; BRAGA, K. G.; COSTA, F. A. A.; SANTOS JUNIOR, O. F. Estudo dos processos erosivos instalados na praia de Pipa - RN. **Brazilian Journal Of Aquatic Science And Technology**, v. 9, n. 1, p. 31, 2005. Editora UNIVALI. DOI: <http://dx.doi.org/10.14210/bjast.v9n1.p31-37>.
- SANTOS, D. C A.; SOUSA, S. B.; AMORIM, R. de F.; FRAZÃO, A. P. R. F. Geotecnologias e o estudo da degradação do Patrimônio Natural Costeiro: o caso do Morro do Careca, Natal – Rio Grande do Norte (2023). Maceió - AL: **Revista Contexto Geográfico**, v. 9, nº 18, p. 326-336, 2024. DOI: <https://doi.org/10.28998/contegeo.9i.18.16885>.
- SILVA, D. Q. **Viabilidade e acurácia de VANT para o monitoramento costeiro tridimensional**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018, 95f.
- SOUSA, S. B.; SANTOS, D. C. A. Banco de dados Geoespaciais: padronização e avaliação como suporte à Inteligência Territorial. **Revista Confins**: 2023, DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.53964>.
- SOUZA, A. dos S.; FURRIER, M. Técnicas de mapeamento geomorfológico aplicadas em escala de detalhe. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 1, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i1.1391.
- SOUTO, R. D.; BARROS, J. D. de; RIBEIRO, M. F.; QUALHANO, M. A. L. Vazios cartográficos: os desafios da ausência de mapeamento oficial. **Ciência Hoje**, v. 381, 2021. Disponível em: <http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP3W34T/45SNFQ8>. Acesso em: 21 nov. 2023.
- TULER, M.; SARAIVA, S. **Fundamentos de geodésia e cartografia**. Porto Alegre: Brookman, 2016, 227p.



DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS USINAS DE ENERGIA EÓLICA E SOLAR NOS COMPARTIMENTOS DE RELEVO DO NORDESTE BRASILEIRO

Thiago França Simonetti ¹
Daniel Carlos Alves Santos ²
Silvio Braz de Sousa ³
Rodrigo de Freitas Amorim ⁴

PALAVRAS-CHAVE: Compartimentos do Relevo; Processos Morfodinâmicos; Usinas eólicas; Usinas solares; Nordeste brasileiro.

RESUMO

Cada compartimento de relevo apresenta um nível de estabilidade geomorfológica inerente aos processos morfoclimáticos atuantes e estrutura do embasamento geológico, frente às ações antrópicas que podem desencadear reafeiçoamentos. Nesse contexto, o presente trabalho objetiva analisar a distribuição das usinas eólicas (EOL) e solares fotovoltaicas (UFV) nos compartimentos de relevo na região Nordeste do Brasil, buscando identificar correlações entre os processos morfodinâmicos atuantes em cada compartimento e a capacidade produtiva de energia renovável. A metodologia, empregou o cruzamento de informações espaciais em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas), tendo como base a Carta de Geomorfologia na escala 1:250.000, utilizando o primeiro nível taxonômico, disponibilizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), além de modelagens da velocidade do vento a 100 metros de altura com base no Global Wind Atlas (GWA), e de potencial fotovoltaico, que foram extraídos do Global Solar Atlas (GSA). O MDE (Modelo Digital de Elevação) foi gerado utilizando os dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução espacial de 30 metros. Os dados sobre as usinas são oriundos do Sistema de Informação de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (SIGA/ANEEL, 2023). A elaboração dos produtos cartográficos foi realizada no ArcGIS 10.8.2, através da licença do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRN (PPGE/UFRN). Os resultados demonstram que o padrão de distribuição espacial de cada matriz energética é significativamente distinto um do outro, com as usinas UFV ocupando majoritariamente áreas de baixa declividade e superfícies de aplainamento, enquanto as EOL, de maneira geral, ocupam áreas elevadas. As usinas UFV, estão majoritariamente situadas em áreas de superfícies de aplainamento, como os Tabuleiros, Depressões, além das cimeiras das Chapadas e Planaltos,

- ¹ Mestre em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, thiagofsimonetti@gmail.com
- ² Doutorando em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, danielcarlos472@gmail.com
- ³ Professor Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, silvio.braz@ufm.br
- ⁴ Professor Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, rodrigo.freitas@ufm.br



demonstrando um padrão mais disperso de distribuição espacial na região. As usinas EOL, por sua vez, embora ocorram em diferentes contextos altimétricos, apresentam maior concentração espacial, especialmente em compartimentos elevados, como é o caso das Chapadas, Patamares, Planaltos e Serras. Nos Tabuleiros, há uma relevância significativa para ambos os modais energéticos. Ao se avaliar a capacidade produtiva das usinas EOL e UFV, observam-se os totais referentes aos compartimentos geomorfológicos em que estão localizadas, onde os Planaltos concentram a maior capacidade produtiva outorgada pela ANEEL até 2023, totalizando 12,49 GW, sendo 9,09 GW de usinas eólicas e 3,40 GW de solares. Os Tabuleiros registram 10,48 GW, com predominância de 7,53 GW de UFV e 2,95 GW de EOL. As Serras somam 7,32 GW, dos quais 6,55 GW correspondem a EOL e 0,77 GW a UFV. Nas Chapadas, a potência total é de 6,94 GW, com 2,69 GW de EOL e 4,25 GW de UFV, refletindo condições favoráveis para ambas as matrizes. Os patamares concentram 5,96 GW, sendo 1,47 GW de EOL e 4,49 GW de UFV. As depressões totalizam 4,86 GW, com 1,14 GW de EOL e 3,72 GW de UFV. Por fim, destaca-se que a relação estrutural dos compartimentos de relevo na diversidade espacial de cada modal energético reflete, além das variáveis climatológicas inerentes a cada modal aqui avaliado, controles geomorfológicos na distribuição espacial das EOL e UFV no Nordeste brasileiro.

INTRODUÇÃO

Cada compartimento de relevo apresenta um nível de estabilidade geomorfológica inerente aos processos morfoclimáticos atuantes e estrutura do embasamento geológico, frente às ações antrópicas que podem desencadear reafeiçoamentos. Nesse contexto, o presente trabalho objetiva analisar a distribuição das usinas eólicas (EOL) e solares fotovoltaicas (UFV) nos compartimentos de relevo na Região Nordeste do Brasil, buscando identificar correlações entre os processos morfodinâmicos atuantes em cada compartimento e a capacidade produtiva de energia renovável.

Nas últimas décadas, o avanço das tecnologias de geração de energia a partir de fontes renováveis consolidou-se como um dos principais vetores da transição energética global, diante da urgência em reduzir emissões de gases de efeito estufa e da necessidade de diversificar a matriz energética (Rasul; Azad; Sharma, 2016, p.48; Bhattacharyya, 2012, p. 262). No Brasil, esse processo tem se intensificado, especialmente com a expansão da produção de energia elétrica a partir das matrizes eólica e solar fotovoltaica, cujo crescimento é impulsionado pela ampla disponibilidade de recursos naturais e pela consolidação de políticas públicas voltadas à sustentabilidade energética.

O Nordeste brasileiro, nesse cenário, desponta como a principal região do país na geração de energia eólica e solar fotovoltaica. As condições climáticas favoráveis, como altos índices de radiação solar e ventos constantes com boa intensidade e regularidade, têm favorecido a instalação de centenas de empreendimentos



energéticos distribuídos por todos os estados da região. Contudo, para além dos condicionantes climáticos, aspectos geomorfológicos exercem influência significativa na localização e no desempenho desses empreendimentos.

O presente artigo tem como objetivo principal analisar a distribuição das usinas eólicas (EOL) e solares fotovoltaicas (UFV) nos compartimentos de relevo do Nordeste brasileiro, com base em dados disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) galgados em técnicas de geoprocessamento. A proposta envolve, ainda, identificar correlações entre os processos morfodinâmicos característicos de cada compartimento e a capacidade produtiva das usinas implantadas até o ano de 2023, buscando interpretar os condicionantes naturais e estruturais que moldam a espacialização dessas infraestruturas no território. Para isso, parte-se de uma perspectiva de análise geoespacial galgada em uma produção cartográfica específica para a temática na área de estudo (Sousa, 2017, p. 18).

A análise integrada da distribuição espacial das usinas em função dos compartimentos do relevo se apresenta como uma lacuna importante na literatura geográfica, com implicações diretas no planejamento territorial e na gestão ambiental desses empreendimentos. A abordagem geográfica e geomorfológica adotada neste estudo, visa justamente suprir essa lacuna, oferecendo uma interpretação fundamentada sobre a correlação entre as formas de relevo e a localização das usinas eólicas e solares. Tal perspectiva permite subsidiar políticas públicas mais eficientes, contribuir para o ordenamento do território e fomentar decisões que equilibrem o aproveitamento energético. Assim, o presente artigo justifica-se pela relevância científica aplicada ao tema e pelo potencial de gerar subsídios técnicos para um planejamento territorial mais eficaz.

A compartimentação do relevo é uma ferramenta essencial para a análise espacial das dinâmicas físicas e do uso do território, pois sintetiza as formas do relevo, sua gênese e sua organização em unidades com características morfoestruturais e morfoclimáticas semelhantes (Ross, 1990, p.65). No Brasil, a classificação mais amplamente utilizada é a proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que organiza o relevo em níveis taxonômicos hierárquicos. No primeiro nível, adotado neste trabalho, os compartimentos geomorfológicos são definidos a partir de critérios litológicos, estruturais, morfogenéticos e morfoesculturais (Ab'Saber, 1974; Christofoletti, 1980), permitindo identificar unidades como chapadas, planaltos, depressões, serras, tabuleiros e patamares.

Cada compartimento de relevo apresenta processos morfodinâmicos singulares, que influenciam diretamente a viabilidade técnica e econômica de implantação de usinas renováveis. A declividade, a altitude, a estabilidade dos terrenos e os processos morfodinâmicos atuantes constituem fatores-chave na seleção das áreas para instalação



dos parques eólicos e solares. Assim, compreender a distribuição espacial dessas usinas a partir da compartimentação geomorfológica permite identificar padrões condicionados pela dinâmica do relevo de cada localidade. Tais compartimentos não apenas refletem a estrutura geológica e morfoclimática da região, como também influenciam os processos morfodinâmicos atuantes. Desse modo, compreende-se que os processos erosivos, estabilidade de encostas, dinâmica hídrica superficial e capacidade de suporte físico ao uso antrópico, são condicionados pela estruturação do relevo (Ross, 2013).

A geomorfologia da região, portanto, não deve ser vista apenas como pano de fundo físico, mas como elemento ativo na organização do território. A interação entre relevo e infraestrutura energética, por exemplo, afeta diretamente os custos de implantação, a viabilidade de construção de bases, fundações, vias de acesso e redes de transmissão, além de influenciar os riscos associados à erosão, instabilidade e degradação ambiental.

As fontes eólica e solar, desse modo, representam matrizes energéticas renováveis onde ambas apresentam especificidades técnicas que condicionam sua distribuição espacial e sua integração com o meio físico. As usinas eólicas (EOL) dependem da disponibilidade de ventos com velocidade média consistente e de baixa turbulência, sendo idealmente implantadas em áreas elevadas ou litorâneas, com horizonte livre de obstáculos, como cristas de serras, tabuleiros, chapadas e bordas de planaltos. A presença de ventos constantes é fundamental para garantir a eficiência dos aerogeradores e justificar o investimento em sua infraestrutura.

Já as usinas solares fotovoltaicas (UFV) têm como principal condicionante a incidência de radiação solar, que, no caso do Nordeste brasileiro, é bastante elevada e distribuída de maneira relativamente homogênea. Contudo, aspectos do relevo influenciam de forma significativa a escolha das áreas de implantação. A declividade do terreno, por exemplo, tende a ser pouco expressiva para facilitar o manejo durante o nivelamento das estruturas e otimizar a captação da luz solar. Além disso, superfícies amplas, planas ou suavemente inclinadas tendem a reduzir custos operacionais e logísticos, favorecendo áreas como tabuleiros costeiros, depressões e cimeiras de chapadas.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi desenvolvida a partir do cruzamento de bases de dados espaciais e estatísticos em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). As seguintes fontes foram utilizadas: Carta de Geomorfologia do IBGE (2021), utilizada para a delimitação dos compartimentos de relevo no primeiro nível taxonômico, com base em critérios morfoestruturais e morfogenéticos. A escala utilizada foi de 1:250.000,



com cobertura para toda a região Nordeste. O sistema SIGA (ANEEL, 2023) é o sistema oficial da Agência Nacional de Energia Elétrica que disponibiliza os dados de usinas de geração elétrica outorgadas, incluindo localização geográfica, tipo de fonte (eólica ou solar fotovoltaica), potência instalada e status operacional.

O Global Wind Atlas (GWA) constitui-se em uma plataforma internacional que fornece modelagens da velocidade média do vento a 100 metros de altura, geradas com base em simulações atmosféricas de alta resolução, úteis para análises de potencial eólico. O Global Solar Atlas (GSA) é uma base que disponibiliza dados sobre o potencial de geração solar fotovoltaica, com informações sobre radiação solar média global, específica para cada ponto do território, considerando parâmetros de inclinação e eficiência dos painéis. O SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* é um conhecido conjunto de dados altimétricos utilizado para a geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE), com resolução espacial de 30 metros.

A pesquisa aqui exposta se apoia no cruzamento de informações geomorfológicas do IBGE, com dados espaciais sobre os empreendimentos cadastrados no SIGA/ANEEL, além de modelagens do potencial eólico e solar provenientes de plataformas globais. A produção de energia renovável é o resultado, portanto, da convergência entre potencial natural, viabilidade técnica e decisões políticas e econômicas. No caso da energia eólica e solar, essa convergência é altamente sensível a variações locais do relevo, que modulam os efeitos do clima no território.

O relevo atua, portanto, como uma variável que condiciona o acesso, a estabilidade do terreno e a integração com redes de transmissão e centros consumidores. Compreender os padrões de ocupação das usinas em função da compartimentação geomorfológica permite interpretar as lógicas territoriais determinantes para a locação das usinas.

No semiárido nordestino, o regime climático predominante caracteriza-se por elevados índices de insolação, ventos regulares, baixa umidade, condições que, somadas à estabilidade geomorfológica de muitos compartimentos, criam um cenário propício para o desenvolvimento de projetos energéticos de larga escala. A distribuição espacial dessas usinas, portanto, não é aleatória, mas responde a um conjunto de condicionantes físico-naturais, em que o relevo desempenha papel estrutural.

Nesse sentido, destaca-se que é do ponto de vista da morfologia do relevo, da composição do embasamento estrutural e da localização geográfica, que advém as características que tornam o Nordeste uma potência em geração de energia a partir de matriz eólica e solar fotovoltaica e conseqüentemente, são fatores fundamentais para se compreender a dinâmica da distribuição espacial das centrais geradoras. Estudos anteriores (Chou, 2006; Nascimento, 2015; Kleber, 2021) já apontaram para a tendência de



concentração de usinas eólicas em áreas de serras e chapadas, enquanto as usinas solares se espalham por planícies, tabuleiros e depressões. Tais tendências refletem a busca por eficiência técnica aliada à redução de custos, considerando a logística de construção e operação.

Portanto, o cruzamento entre dados geomorfológicos e a localização das usinas permite revelar as interações entre a estrutura física do território e os padrões espaciais das matrizes energéticas renováveis, contribuindo para o planejamento racional e sustentável da ocupação energética do Nordeste brasileiro. O presente estudo abrange a totalidade da região Nordeste do Brasil, composta pelos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. A região possui características fisiográficas distintas em relação ao restante do país, apresentando uma combinação de clima predominantemente semiárido, mosaicos de vegetação típicos da Caatinga e transições com o Cerrado e a Mata Atlântica, além de uma geomorfologia variada que inclui planaltos, chapadas, serras, patamares, tabuleiros e depressões.

A diversidade geomorfológica do Nordeste brasileiro é marcada por compartimentos de relevo que refletem tanto a estrutura geológica do embasamento cristalino quanto os processos morfoclimáticos que atuaram ao longo do tempo geológico. A diversidade mencionada, proporciona condições distintas de aproveitamento energético, especialmente no que se refere à instalação de empreendimentos eólicos e solares. A análise espacial desses empreendimentos à luz da compartimentação geomorfológica permite entender a lógica locacional das infraestruturas e suas possíveis correlações com a aptidão natural de cada unidade.

Desse modo, o processamento e análise dos dados foram realizados no software ArcGIS 10.8.2, com licença acadêmica disponibilizada pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRN (PPGE/UFRN). As etapas metodológicas seguiram o seguinte roteiro: 1- Organização e padronização das bases cartográficas: os dados da Carta de Geomorfologia foram importados, vetorizados e classificados segundo os compartimentos de relevo do primeiro nível taxonômico (Chapadas, Planaltos, Serras, Patamares, Depressões, Tabuleiros e Planícies); 2- Georreferenciamento e sobreposição das usinas: a base do SIGA/ANEEL com as usinas EOL e UFV em operação até 2023 foi importada e sobreposta aos polígonos dos compartimentos geomorfológicos; 3- Categorização das usinas por tipo e localização: cada empreendimento foi classificado quanto ao tipo (eólico ou solar) e ao compartimento de relevo em que se encontra. Em casos de sobreposição entre dois compartimentos, a alocação foi feita com base na posição predominante do centroide da usina; 4- Cálculo da capacidade produtiva por compartimento: somou-se a potência outorgada de todas as usinas localizadas dentro de

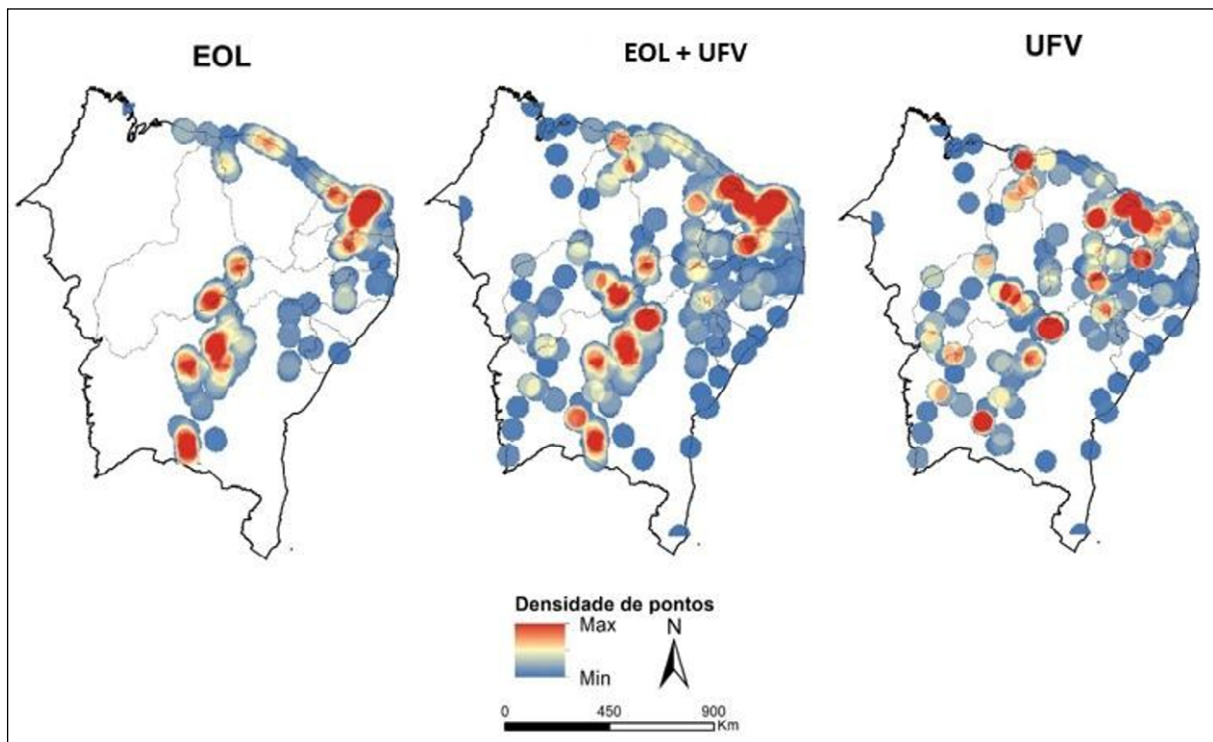


cada compartimento, gerando um total (em *gigawatts*) por tipo de matriz e por unidade geomorfológica; 5- Integração com dados climáticos: as informações do GWA e GSA foram utilizadas como suporte interpretativo, possibilitando comparar as localizações preferenciais com os mapas de potencial eólico e solar; e 6- Elaboração de mapas temáticos e gráficos de síntese.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos estados da Região Nordeste, apenas o estado do Alagoas não possui nenhum empreendimento de produção de energia eólica em seu território. Os estados da Bahia e Rio Grande do Norte são os expoentes históricos principais nessa temática e lideram em quantidade de empreendimentos instalados. A Figura 1 traz a configuração da distribuição espacial das usinas eólicas e solares no Nordeste do Brasil.

FIGURA 1 - Distribuição das usinas em outorgadas pela ANEEL no Nordeste.



FONTE: SIG/ANEEL (2023); própria (2024).

A composição física-territorial do Nordeste brasileiro é complexa e remonta a diversas idades geológicas do planeta. Nele, é possível observar que existem áreas mais recentes, de acumulação fluvial e ainda em consolidação, atribuída ao Quaternário. Há, também, a presença de bacias mesozoicas e de embasamentos pré-cambrianos e ainda as unidades geotécnicas remanescentes representadas pela área cratônica.

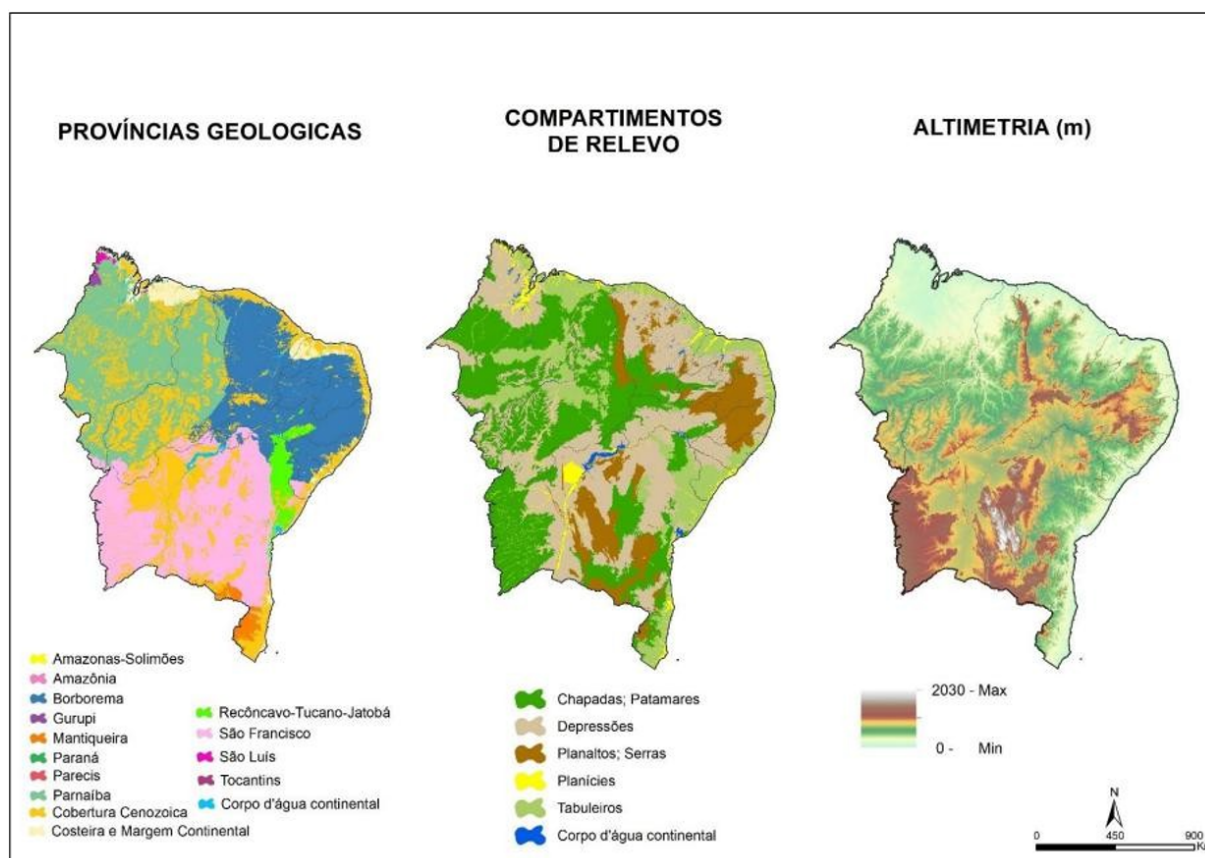
Destaca-se novamente, portanto, que é do ponto de vista do contexto morfoclimático, da composição do embasamento estrutural e da localização geográfica,



que advém as características que tornam o Nordeste uma potência em geração de energia a partir de matriz eólica e solar fotovoltaica. Uma vez que as características físico-naturais são primordiais na localidade de oferta de determinado recurso, nota-se, que as usinas de energia renovável tendem a estarem localizadas em determinados tipos de compartimento de relevo e determinadas cotas altimétricas.

Compartimentos residuais elevados, associados a maciços cristalinos e escudos antigos, onde são observadas altos índices de velocidade dos ventos em níveis próximos a 100 metros de altura, tornando-se zonas preferenciais para a instalação de aerogeradores. Por sua vez, as superfícies rebaixadas e planas e planaltos sedimentares favorecem o aproveitamento fotovoltaico, dada sua menor obstrução topográfica, alta estabilidade térmica e incidência solar homogênea ao longo do ano. A Figura 2 apresenta os contextos geológicos, geomorfológicos e altimétricos do Nordeste através de representação espacial.

FIGURA 2 - Contexto geológico, geomorfológico e altimétrico do Nordeste brasileiro.



FONTE: IBGE (2023); própria (2024).

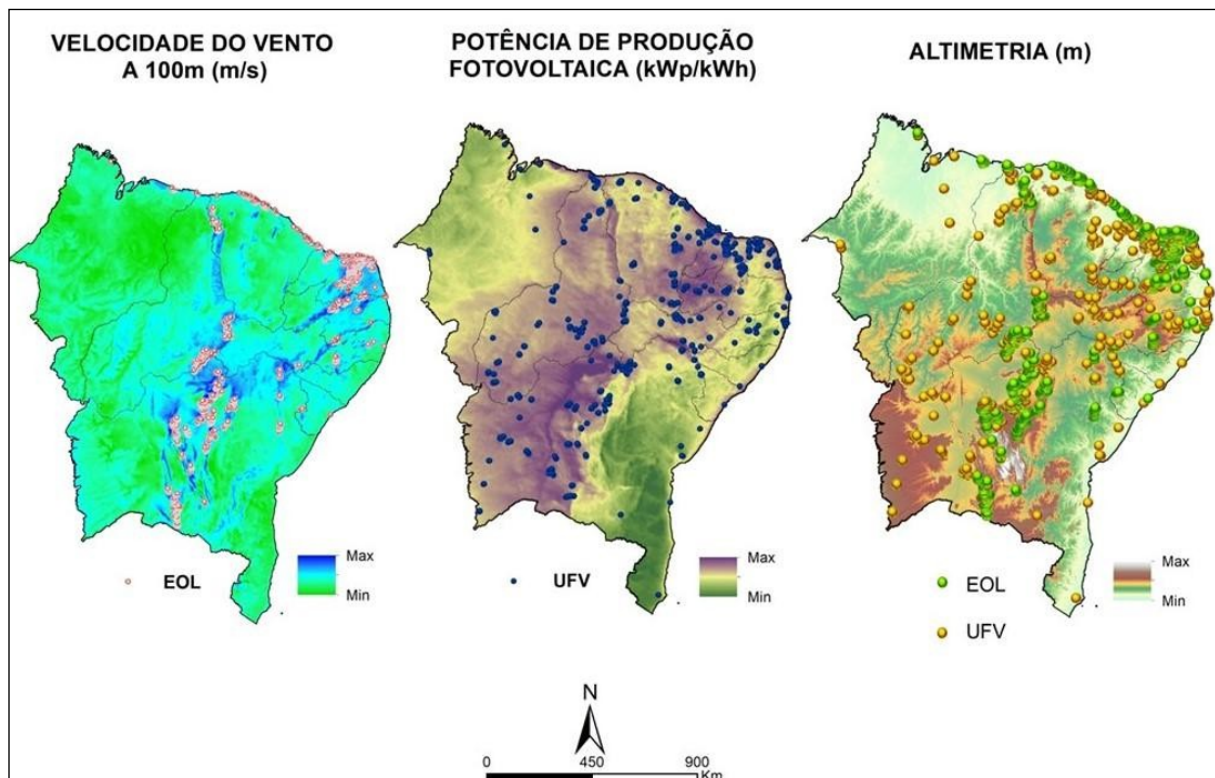
A distribuição espacial das usinas EOL e UFV reflete, com isso, uma lógica locacional fortemente associada às potencialidades naturais do território, incluindo as condicionantes geomorfológicas e climáticas. No caso das usinas solares fotovoltaicas,



observa-se uma predisposição por áreas inseridas em compartimentos de relevo plano a suavemente ondulado, com baixa rugosidade e relativa estabilidade morfodinâmica, como as depressões e as superfícies rebaixadas. Tais ambientes geomorfológicos não apenas favorecem a implantação de grandes áreas de módulos fotovoltaicos, como também coincidem com zonas de alta disponibilidade de irradiação solar e baixa variação sazonal, conforme atestado em modelagens de produtividade energética para o Semiárido brasileiro.

Já as usinas eólicas, tendem a se concentrar em regiões com formas de relevo mais elevadas e dissecadas, como cristas estruturais, chapadas e serras residuais, que promovem a aceleração de fluxos atmosféricos e apresentam condições topográficas favoráveis à maior eficiência dos aerogeradores. A modelagem de vento a 100 metros de altura, utilizada como parâmetro técnico na etapa de pré-viabilidade, reforça a adequação dessas feições do relevo ao aproveitamento da energia cinética do vento, especialmente em domínios de bordas de bacias sedimentares e zonas de transição morfoestrutural. A Figura 3 apresenta as usinas de matriz EOL e UFV, outorgadas pela ANEEL, localizadas por sobre os modelados de velocidade do vento e potência fotovoltaica, bem como mostra ainda, a sobreposição das duas matrizes em uma representação de cota altimétrica.

FIGURA 3 - Localização das usinas e dos modelados de velocidade do vento, altitude e potência de produção fotovoltaica.



FONTE: GSA; GWA (2023); SRTM; própria (2024).



A Figura 3 ilustra que as usinas de matriz EOL concentram-se nas áreas com maior velocidade do vento amostrada. Nesse contexto, o Planalto de Ibiapaba nas áreas de divisa entre o oeste do Ceará e leste do Piauí se destaca como uma área de significativa velocidade do vento, mas que ainda não possui nenhum empreendimento outorgado. Ademais, destaca-se, ainda, pela análise de dispersão de pontos desse modal, a área localizada no sudoeste do estado da Paraíba, que também apresenta significativo potencial e não apresenta usinas previstas.

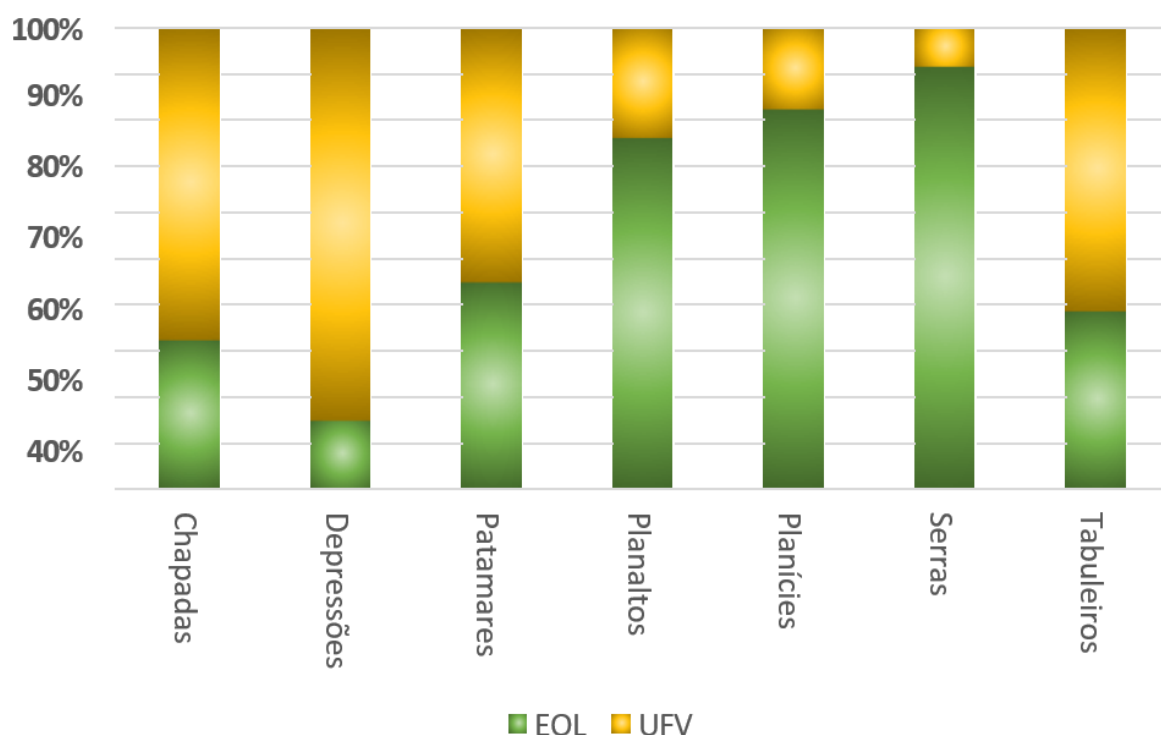
Nota-se inclusive, que a oeste do Planalto da Ibiapaba, abrangendo estado do Piauí e do Maranhão, de maneira geral, quase não há áreas de cotas elevadas acima dos 550 metros, o que reflete na distribuição espacial exposta. Na Figura 3 é possível correlacionar, ainda, a quantidade de usinas de matriz UFV em localidades com cotas abaixo dos 550 metros. Logo, devido a maior oferta de áreas com cotas altimétricas abaixo de 550 metros na área de estudo como um todo, se traduz na dispersão especial apresentada pelas usinas de produção a partir do modal UFV. Já as usinas de matriz EOL, por outro lado, são mais distribuídas do ponto de vista das cotas altimétricas, mas concentradas espacialmente, acompanhando, portanto, a distribuição espacial dos compartimentos de relevo.

No caso do potencial fotovoltaico, representado pelo mapa do meio na Figura 3, nota-se que a área preenchida com verde escuro no leste da Bahia, ou seja, de menor potencial fotovoltaico, quase não apresenta nenhuma usina instalada. Nota-se também, a ausência significativa de empreendimentos no estado do Maranhão como um todo. Ao analisar o mapa de altimetria, disposto à direita, percebe-se a razão, por fim, da menor dependência espacial do modal UFV, em relação ao modal EOL.

Os Tabuleiros, de contextos costeiros nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, figuram como o compartimento de relevo que possui significativa presença e relevância dos dois modais de energia, tanto EOL quanto UFV. Ademais, nota-se que o compartimento “Patamares” no estado do Piauí se destaca, por congrega mais de 100 usinas de cada um dos tipos estudados. A Figura 4 apresenta cada compartimento geomorfológico e o total de empreendimentos, de maneira gráfica.



FIGURA 4 – Porcentagem de usinas em cada compartimento geomorfológico.



FONTE: IBGE (2023); própria (2024).

A partir do gráfico da Figura 4, é possível perceber, de maneira mais intuitiva, quais os compartimentos de relevo mais propícios para a instalação de cada modal de energia estudado. Observa-se que, no caso dos compartimentos de cotas altimétricas elevadas, predominam com mais de 70% os empreendimentos de matriz EOL. Enquanto nas Depressões e Tabuleiros, observa-se um predomínio considerável da matriz UFV. Nesse sentido, essa percepção adiciona mais uma variável na análise dessa pesquisa, pois confirma a tendência de amplo poder de dispersão das usinas de matriz UFV, uma vez que estão localizadas nas mesmas áreas de adensamento das usinas de matriz EOL, mas, também, localizam-se em áreas distintas.

Observa-se, mais uma vez, uma influência das características das formas de relevo no processo de instalação das usinas. O Quadro 1 apresenta os quantitativos totais de usinas nos respectivos compartimentos geomorfológicos do Nordeste, divididos por estados. As Serras e os Planaltos destacam-se como compartimentos estratégicos para a geração eólica, totalizando, respectivamente, 7,19 GW e 11,06 GW em potência outorgada na escala regional. A elevada altimetria, as vertentes expostas ao fluxo atmosférico e a maior rugosidade superficial tornam esses domínios preferenciais para o aproveitamento da energia cinética do vento, especialmente no estado da Bahia, que concentra 5,86 GW em Serras e 4,77 GW em Planaltos. O Rio Grande do Norte (RN) também é expressivo,



com 2,5 GW em Planaltos e 2,71 GW nos Tabuleiros, indicando ocupação significativa de zonas costeiras elevadas e bordas do escudo cristalino.

QUADRO 1 - Compartimentos geomorfológicos e a produção (Gw) usinas de matriz UFV e EOL por estado.

Compartimento Geomorfológico	Potência Outorgada (GW) por UF									
	Tipo	BA	CE	MA	PB	PE	PI	RN	SE	AL
Chapadas	EOL	1.28	0.01	0	0	0.16	0.56	0.23	0	0
	UFV	2.68	0.02	0	0	0.34	1.18	0.47	0	0
Depressões	EOL	0.71	0.04	0	0.01	0.03	0.03	0.55	0	0
	UFV	1.83	0.10	0	0.02	0.07	0.07	1.41	0	0
Patamares	EOL	0.26	0	0	0	0.02	0.92	0	0	0
	UFV	1.05	0	0	0	0.06	3.66	0	0	0
Planaltos	EOL	4.77	1.41	0	1.79	0.59	0	2.50	0	0
	UFV	0.61	0.18	0	0.23	0.08	0	0.32	0	0
Planícies	EOL	0	1.81	0	0.03	0	0.39	0.44	0.03	0
	UFV	0	0.60	0.02	0.01	0	0.06	0.07	0.01	0
Serras	EOL	5.86	0	0	1.09	0	0	0.24	0	0
	UFV	0.10	0	0	0.02	0	0	0.01	0	0
Tabuleiros	EOL	0.29	0.86	0.22	0.01	0	0	2.71	0	0
	UFV	0.44	1.34	0.34	0.01	0	0	4.25	0	0

FONTE: IBGE; SIG/ANEEL (2023); própria (2024).

A geração solar fotovoltaica, por sua vez, mostra maior aderência às Chapadas, Depressões e Patamares, totalizando 10,66 GW distribuídos nesses compartimentos, com destaque para os estados do Piauí e Bahia. As Chapadas, devido à sua topografia plana e altitudes intermediárias, apresentam baixos níveis de sombreamento e elevada estabilidade térmica diária, o que favorece a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Os Patamares, especialmente no Piauí, somam 3,66 GW, expressando o avanço da fronteira solar no semiárido nordestino.

A comparação entre as matrizes eólica (EOL) e solar fotovoltaica (UFV) em cada compartimento geomorfológico revela padrões espaciais distintos, mas também áreas de sobreposição significativa, onde ambas as fontes se mostram viáveis e complementares. A distribuição relativa da potência instalada por tipo de relevo evidencia como os condicionantes geomorfológicos influenciam de maneira diferenciada o aproveitamento energético, conforme as especificidades técnicas de cada matriz. Nos planaltos, de maneira geral, na área de estudo, observa-se a predominância da energia eólica frente a matriz fotovoltaica, que representa 9,09 GW frente aos 3,40 GW de UFV.

As serras, por sua vez, constituem o compartimento com maior dominância eólica proporcional: 6,55 GW de EOL frente a apenas 0,77 GW de UFV. Nas chapadas, o equilíbrio entre as duas matrizes é mais expressivo, com 2,69 GW de EOL e 4,25 GW



de UFV. Os patamares apresentam situação semelhante, com predominância de UFV (4,49 GW) sobre EOL (1,47 GW). Nas depressões há a produção de 3,72 GW de UFV frente a 1,14 GW de EOL. Os tabuleiros, conforme já explicitado, configuram um dos poucos compartimentos com expressiva participação das duas matrizes: 7,53 GW de UFV e 2,95 GW de EOL. Por fim, as planícies apresentam os menores valores absolutos de potência instalada: 0,77 GW de EOL e 0,77 GW de UFV.

Desse modo, afere-se aqui que, devido a maiores disponibilidades de áreas com alto potencial de produção fotovoltaica, em detrimento de áreas com velocidade do vento adequada, faz com que o modal UFV demonstre um padrão de distribuição espacial mais disperso, enquanto o modal EOL, apresente um padrão de distribuição espacial mais concentrado. Em outras palavras, a distribuição da potência outorgada para geração de energia eólica (EOL) e solar fotovoltaica (UFV) no Nordeste aponta, dessa forma, uma relação com a compartimentação geomorfológica regional, evidenciando a morfologia do relevo como condicionante da viabilidade técnico-econômica dos empreendimentos energéticos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada entre os dados de potencial energético (eólico e solar), modelagens atmosféricas e compartimentação geomorfológica da região Nordeste do Brasil auxilia a compreender a correlação dos processos morfodinâmicos com a lógica de distribuição e operação das usinas. O relevo atua não apenas como base física de suporte, mas como elemento ativo que interage com a dinâmica dos fluxos atmosféricos e a incidência solar. As diferentes unidades geomorfológicas, ao refletirem processos morfoestruturais distintos, apresentam características que favorecem ou limitam a eficiência e a instalação de determinados tipos de matriz energética.

A espacialização dos dados aqui expostos, demonstra que os processos morfodinâmicos atuam como filtros seletivos para a viabilidade energética: compartimentos elevados e dissecados favorecem a instalação e otimização do desempenho dos aerogeradores, enquanto superfícies rebaixadas e suavemente onduladas favorecem o rendimento dos sistemas fotovoltaicos. Nesse contexto, a integração dos dados geoespaciais com os compartimentos geomorfológicos permite o subsídio de estratégias de planejamento e ordenamento do território a partir da seleção e alocação da infraestrutura energética. A inter-relação entre potencial natural (representado por modelagens climáticas e topográficas) e viabilidade de instalação aponta para um modelo territorial de produção energética condicionado pelos processos e formas da superfície terrestre.



A abordagem adotada nesta pesquisa reforça a importância de análises geomorfológicas aplicadas ao setor energético, destacando que a geografia física, especialmente a geomorfologia climática, deve ser incorporada como variável na gestão integrada de recursos renováveis no semiárido brasileiro. Ademais, após a análise executada, percebeu-se que o padrão de distribuição espacial de cada uma das duas matrizes elétricas é significativamente distinto um do outro. Enquanto as usinas eólicas mostram uma concentração em áreas específicas, as usinas solares exibem uma distribuição mais heterogênea, ocupando regiões diversas na área de estudo.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. Domínio morfoclimático semiárido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, São Paulo, Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, n. 43, 1974.
- ANEEL. Agência Nacional De Energia Elétrica. **SIGA – Sistema de Informações de Geração da ANEEL: conjunto de dados**. Brasília: ANEEL, 2023. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>. Acesso em: 16 jul. 2025.
- BHATTACHARYYA, S. C. Energy access programmes and sustainable development: A critical review and analysis. **Energy for sustainable development**, v. 16, n. 3, p. 260-271, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0973082612000245>. Acesso em: 21 jul. 2025.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1980.
- CHOU, S. C. et al. Mapeamento eólico para o nordeste. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. p. 2006, 2006.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geomorfologia 1:250.000 – Banco de Informações Ambientais (BDiA): base de dados vetorial do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html>. Acesso em: 05 jul. 2025.
- KLEBER, R. M. **Geração de energia fotovoltaica: panorama atual e perspectivas futuras de Brasil e Alemanha**. TCC (Graduação) - Curso de Química Industrial, UFRGS, Porto Alegre, 2021, 56 f. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/232666>. Acesso em: 7 ago. 2024.
- NASCIMENTO, A. de S. **Energia solar fotovoltaica: estudo e viabilidade no nordeste brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015, 146 f. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/8153>. Acesso em: 26. Jul. 2023.
- RASUL, M. G.; AZAD, A. K.; SHARMA, S. C. **Clean Energy for Sustainable development: comparisons and contrasts of new approaches**. London: Academic Press, 2016. 591 p.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.
- ROSS, J. L. S. O Relevo Brasileiro nas Macroestruturas Antigas. **Revista Continentes**. n. 2, p. 8-27, jan. 2013. Disponível em: <https://revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/16>. Acesso em: 25 jul. 2025.
- SOUSA, S. B. **Dinâmica territorial e padrões espaciais da pecuária brasileira**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017, 1882 f. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8099>. Acesso em: 01. Mar. 2025.



REVISÃO GEOMORFOLÓGICA DA DELIMITAÇÃO DA PLANÍCIE LAGUNAR MARGINAL DO CANAL SÃO GONÇALO – RS

Lucas Pires Ferreira ¹

Vinícius Bartz Schwanz ²

Adriano Luís Heck Simon ³

Vanda Carneiro de Claudino-Sales ⁴

PALAVRAS-CHAVE: Re-delimitação, Planície de Inundação, Áreas Úmidas, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento.

RESUMO

Planícies de inundação são áreas planas adjacentes a rios, lagos ou canais, periodicamente alagadas durante eventos de cheia, quando o volume de água excede a capacidade do leito principal. Estes locais funcionam como zonas de amortecimento natural, armazenando água e sedimentos, regulando o fluxo hidrológico e sustentando ecossistemas úmidos geodiversos e biodiversos. Sua formação resulta da deposição secular de sedimentos (aluviões e coluviões) transportados pela água, criando solos férteis e paisagens dinâmicas. Além de seu papel ecológico essencial, as planícies de inundação são historicamente aproveitadas para agricultura, mas também enfrentam riscos devido a ocupações humanas inadequadas e mudanças climáticas, que intensificam eventos extremos. A preservação dessas áreas é crucial para a segurança hídrica e a resiliência ambiental. O presente estudo propôs uma revisão e a definição de ajustes para os limites da Planície Lagunar Marginal do Canal São Gonçalo, importante sistema hidrológico localizado inserido entre duas grandes Unidades Morfoestruturais do Estado do Rio Grande do Sul, o Planalto Sul-rio-grandense e a Planície Costeira. Compreende parte dos territórios dos municípios de Pelotas, Rio Grande, Capão do Leão e Arroio Grande. A delimitação original dessa planície, realizada por Silva (2014) a partir da estereoscopia de fotografias aéreas em escala de 1:40.000 do ano de 1953, foi reavaliada mediante a integração de novos parâmetros. Todos os processos prático-metodológicos que englobaram Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto foram realizados em ambiente SIG utilizando o *software* QGIS V3.34.1. Os ajustes metodológicos foram realizados de forma multidisciplinar, combinando: (1) a delimitação original estabelecida por Simon e Da Silva (2015); (2) o Mapa Geomorfológico da Planície

¹ Mestrando em Geografia pela Universidade Federal de Pelotas - RS, lucasxicara@gmail.com

² Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria - RS, viniciusbschwanz@gmail.com

³ Doutor em Geografia (Organização do Espaço) pela Universidade Estadual Júlio Mesquita Filho - SP, adrianosimon@email.com

⁴ Professora orientadora: Doutora em Geografia Ambiental pela Universidade Paris-Sorbonne, vcs@ufc.br



e Terras Baixas Costeiras do Rio Grande do Sul (Moura *et al.*, 2021); (3) análise de imagens de satélite de alta resolução e composições coloridas; (4) indicadores ecológicos, como a distribuição de vegetação aquática (MapBiomas, 2023). Os dados trabalhados foram obtidos nos seguintes repositórios: repositório do Laboratório de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, repositório de Geociências do IBGE, *EarthExplorer*, *GloVis* e Plataforma MapBiomas. A proposta de re-delimitação identificou quatro pontos críticos de alterações além de algumas suavizações que foram realizadas por todo limite. No processo, respeitou-se a escala adotada por Silva (2014) de 1:40.000. Os limites originais registravam uma área de 790,90 km², pós alterações, com as inclusões e exclusões de áreas, o limite passou a registrar 886,52 km². Houve uma diferença (ampliação) de 95,62 km² de área, que representa um aumento aproximado de 12,1%. Os resultados evidenciaram discrepâncias entre os limites convencionais da planície e sua dinâmica funcional real, especialmente em áreas de transição sujeitas a pulsos de inundação e processos erosivos. Essa revisão demonstra que a planície lagunar exerce um importante papel na retenção e na regulação hidrológica. Conclui-se que a atualização cartográfica aqui apresentada não apenas reflete com maior precisão a interação entre o canal e sua planície adjacente, mas também subsidia políticas de gestão territorial e conservação, sobretudo em contextos de mudanças climáticas e pressão antrópica. Recomenda-se a adoção desses critérios em futuros planos de manejo e estudos de impacto ambiental na região.

INTRODUÇÃO

A geomorfologia fluvial estuda os processos e formas do relevo moldados pela ação dos rios, abrangendo desde a dinâmica hidrossedimentar até a evolução de paisagens aluviais (Leopold *et al.*, 1964). Nesse contexto, as planícies de inundação representam compartimentos geomorfológicos fundamentais, formadas pela deposição de sedimentos durante eventos de transbordamento fluvial, que constroem superfícies aluviais ao longo do tempo (Bridge, 2003). Essas áreas são caracterizadas por uma dinâmica pulsante, alternando entre períodos de inundação e seca, o que condiciona a formação de ecossistemas úmidos de alta relevância ecológica. No Brasil, tais ambientes são frequentemente associados a áreas úmidas, as quais desempenham funções essenciais, como regulação hidrológica, manutenção da biodiversidade e estoque de carbono (Junk *et al.*, 1989).

Áreas úmidas são porções da paisagem periodicamente ocupadas pelas águas advindas do transbordamento de rios ou lagos, das chuvas ou do afloramento de águas subterrâneas. Esta condição acarreta adaptações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e etológicas da biota local, formando estruturas específicas e características nas comunidades presentes (Junk *et al.* 1989). São integradas por fatores hidrológicos, climatológicos, geomorfológicos, pedológicos e bioquímicos. Configuram porções do espaço projetadas pela natureza que tem como função receber, reter e dar vazão às águas pluvio-fluviais (Gomes; Magalhães Júnior, 2017).



Planícies de inundação são áreas planas adjacentes a rios, lagos ou canais, periodicamente alagadas durante eventos de cheia, quando o volume de água excede a capacidade do leito principal. Estes locais funcionam como zonas de amortecimento natural, armazenando água e sedimentos, regulando o fluxo hidrológico e sustentando ecossistemas úmidos geodiversos e biodiversos. Sua formação resulta da deposição secular de sedimentos (aluviões e coluviões) transportados pela água, criando solos férteis e paisagens dinâmicas. Além de seu papel ecológico essencial, as planícies de inundação são historicamente aproveitadas para agricultura, mas também enfrentam riscos devido a ocupações humanas inadequadas e mudanças climáticas, que intensificam eventos extremos. A preservação dessas áreas é crucial para a segurança hídrica e a resiliência ambiental.

A relação entre rio e planície de inundação constitui um sistema hidrodinâmico conhecido como sistema rio-planície de inundação, no qual a interação entre fluxos hidrológicos, transporte de sedimentos e processos geomorfológicos molda a paisagem (Ward *et al.*, 2002; Rocha, 2011). Esse sistema é caracterizado por uma conectividade hidrodinâmica que varia espacial e temporalmente, influenciada pela magnitude e frequência das cheias, topografia da planície e características do canal fluvial (Amoros; Bornette, 2002; Rocha, 2011). Durante eventos de inundação, a água transborda do canal principal, espalhando-se pela planície e depositando sedimentos finos, o que contribui para a formação de solos férteis e habitats diversificados (Dunne; Aalto, 2013).

A conectividade, que ocorre de forma longitudinal (ao longo do rio), lateral (entre o rio e a planície) e vertical (entre águas superficiais e subterrâneas) desempenha um papel fundamental na dinâmica desses sistemas (Tockner *et al.*, 2010). A desconexão, seja por barragens ou alterações no uso do solo, pode reduzir a troca de sedimentos e nutrientes, impactando a biodiversidade e a resiliência do ecossistema (Poff *et al.*, 1997). Do ponto de vista geomorfológico, a evolução desse sistema é marcada pela migração de meandros, formação de diques marginais e desenvolvimento de depressões (como lagoas e áreas úmidas), que refletem a interação entre processos erosivos e deposicionais (Nanson; Croke, 1992).

Diante dos pressupostos, o objetivo do presente estudo foi realizar uma revisão geomorfológica dos atuais limites da Planície Lagunar Marginal do Canal São Gonçalo (PLMCSG), um importante sistema hidrológico inserido entre duas grandes Unidades Morfoestruturais do Estado do Rio Grande do Sul, o Planalto (Escudo Cristalino) e a Planície Costeira. Compreende parte dos territórios dos municípios de Pelotas, Rio

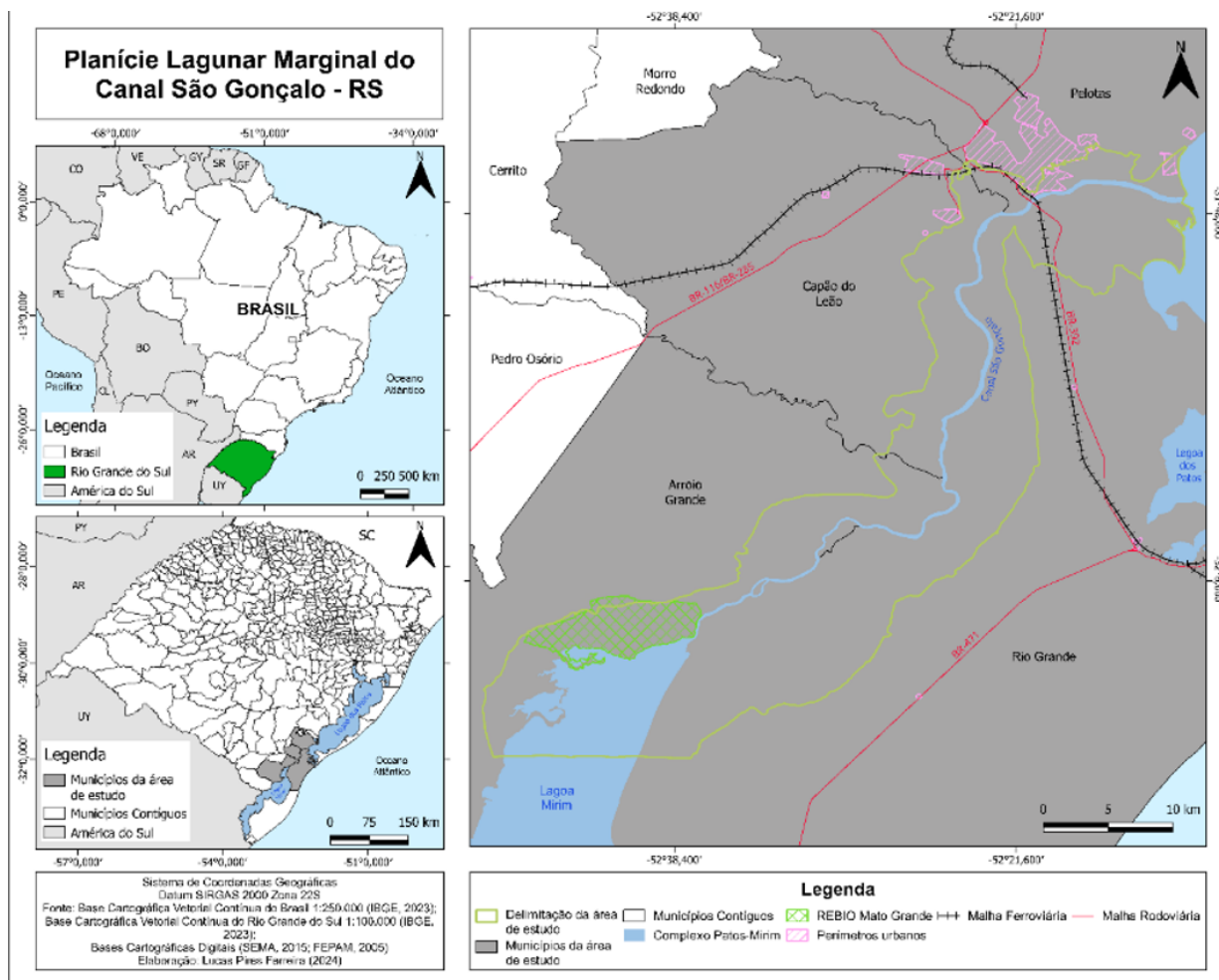


Grande, Capão do Leão e Arroio Grande. A delimitação original dessa planície, realizada por Simon; da Silva (2015), a partir da estereoscopia de fotografias aéreas em escala de 1:40.000 do ano de 1953, foi reavaliada mediante a integração de novos parâmetros.

ÁREA DE ESTUDO

A área da PLMCSG localiza-se no Estado do Rio Grande do Sul, sobre parte dos territórios dos municípios de Pelotas, Rio Grande, Capão do Leão e Arroio Grande, que pode ser verificada na Figura 1. Encontra-se sobre influência do regime climático-hidroológico da Bacia Hidrográfica Mirim/São Gonçalo, uma bacia binacional transfronteiriça, de grande extensão territorial.

FIGURA 1 - Mapa de localização da área de estudo.



FONTE: Ferreira et al. (2024).

Atualmente, o Canal São Gonçalo, além de ser o principal corpo hídrico de toda a bacia, que realiza a conexão do sistema com o oceano, é o grande responsável por moldar a paisagem local. O mesmo, atualmente é um sistema controlado através da barragem eclusa, na altura do Município de Pelotas, que impede a salga do canal com o objetivo de captação de água para abastecimento público e para a irrigação das lavouras de arroz



MATERIAIS E MÉTODOS

O pontapé inicial da pesquisa foi contemplado pelas etapas de revisão bibliográfica e cartográfica. A revisão bibliográfica envolveu um processo sistemático de busca, seleção e análise de materiais. A primeira etapa consistiu na definição dos temas e palavras-chave, na qual foram identificados os conceitos centrais e definiram-se as palavras-chave utilizadas na busca por referências. Em seguida, realizou-se a busca pelas mesmas, consultando fontes como livros, artigos científicos, periódicos, dissertações, teses, relatórios técnicos e documentos oficiais; tanto nacionais quanto internacionais. Bases de dados como SciELO, Google Acadêmico e Periódico CAPES foram algumas das ferramentas essenciais para essa busca. Os conceitos utilizados para as buscas realizadas nesta etapa teórica foram: geomorfologia, geomorfologia fluvial, planície de inundação, áreas úmidas e hidrodinâmica.

A revisão cartográfica complementou a revisão bibliográfica, fornecendo uma base espacial para o estudo. Ela envolveu a coleta e a análise de dados (em formato shapefile, raster, KML e XML), mapas e imagens de satélite. Ainda nesta etapa definiu-se quais bancos de dados e repositórios (público e privados, nacionais e internacionais) seriam utilizados: IBGE, e Plataforma MAPBIOMAS.

Todos os processos prático-metodológicos que englobaram Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto foram realizados em ambiente SIG utilizando o *software* QGIS V3.34.1. Os ajustes metodológicos foram realizados de forma multidisciplinar, combinando: (1) a delimitação original estabelecida por Simon e Da Silva (2015); (2) o Mapa Geomorfológico da Planície e Terras Baixas Costeiras do Rio Grande do Sul (Moura *et al.*, 2021); (3) análise de imagens de satélite de alta resolução e composições coloridas; e (4) indicadores ecológicos, como a distribuição de vegetação aquática (MapBiomias, 2023). Os dados trabalhados foram obtidos nos seguintes repositórios: repositório do Laboratório de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, repositório de Geociências do IBGE, *EarthExplorer*, *GloVis* e Plataforma MapBiomias.

Cabe ressaltar que este trabalho surge como complemento do realizado por Ferreira *et al.* (2024), que se propôs a obter e analisar a dinâmica das coberturas e usos da área, dentro do recorte temporal 1985 – 2022. A análise das coberturas e usos da terra indicou pontos onde o limite deveria ser revisado (inclusões e exclusões de área), por, de certa maneira, não representar a realidade. Foram verificadas grandes áreas críticas e diversas outras de pequena expressão (inclusão e exclusão de área).

O mapeamento geomorfológico da PLMCSG, realizado por Simon e Da Silva (2015), foi feito a partir da estereoscopia de fotografias aéreas em escala de 1:40.000 do ano de 1953, fator este considerado responsável para as incongruências observadas. Com a



decisão de alterar os limites da área de estudo tomada, buscou-se na literatura bases teórico-metodológicas e dados que corroborassem com esta nova etapa. Na Tabela 1 é possível verificar os dados utilizados nesta etapa.

TABELA 1 - Conjunto de dados utilizados na readequação e suas referências

DADO	REFERÊNCIA	ESCALA/RESOLUÇÃO
Limites Políticos-Administrativos	IBGE, 2023;	1:250.000
		1:100.00
Limites PLMCSG	Simon; da Silva; 2015	1:50.000
Mapeamento Geomorfológico	Moura et al., 2021	1:500.000
Imagem de Satélite	USGS, 2023	15 metros
Coberturas e usos	MAPBIOMAS, 2022	30 metros

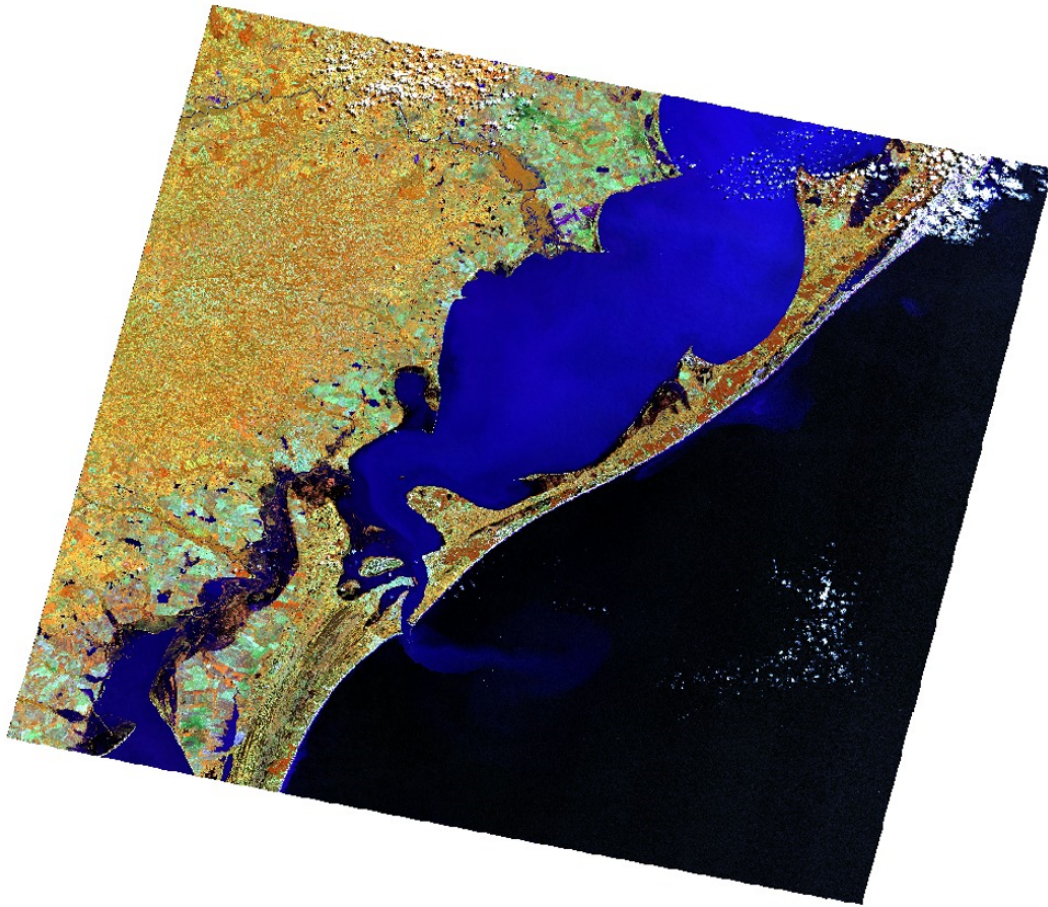
FONTE: Ferreira (2025).

No processo de busca e seleção pela imagem de satélite ideal, consideraram-se dois repositórios: o Catálogo do Imagens do INPE e as plataformas *EarthExplorer* e *Global Visualization Viewer (GloVis)*, ambas do *United States Geological Service (USGS)*. Nos repositórios, foram considerados os satélites CBERS, Landsat, Sentinel e suas diversas missões. As buscas e seleções das imagens levaram em conta o período temporal (ago-out/2023) e o percentual de cobertura de nuvens (até 15%). A imagem de satélite selecionada foi uma cena do satélite Landsat 9 para 05/10/2023, período em que as máximas pluviométricas foram além do normal, acontecimento este em que toda planície de inundação é recrutada pelas águas do leito maior excepcional (evento extremo).

A cena foi selecionada na plataforma *EarthExplorer* e as bandas espectrais obtidas na plataforma *GloVis*. Para a realizar a composição de banda falsa cor com realce da água, foram utilizadas as bandas 4, 5, 6 e 8, sendo elas: banda 4 vermelho, banda 5 infravermelho próximo (NIR), banda 6 infravermelho de ondas curtas (SWIR 1) e banda 8 pancromática (com resolução espacial de 15 metros). A composição foi montada com o plugin *OrfeoToolBox*, através do processamento *ImageManipulation > ConcatenateImages* com a ordem de entrada das bandas de imagem 564. Para aumentar a resolução espacial, fundiu-se à composição 564 a banda pancromática (banda 8), processo este que melhora a resolução da imagem de 30 para 15 metros. Esta junção foi feita também com o plugin *OrfeoToolBox* através dos seguintes processamentos: *Geometry > Superimpose*, após isto, *Geometry > Pansharpening*. A Figura 2 representa a composição montada.



FIGURA 2 - Composição de banda falsa cor utilizada.



FONTE: Ferreira (2025).

A geomorfologia da área foi fator determinante neste processo de adequação. A área de estudo em questão é uma planície de inundação, porção de terras baixas sedimentares adjacentes ao CSG. Grandes elevações pluviométricas aumentam a vazão dele, fazendo com que suas águas extravasem os diques marginais e ocupem o leito maior regular e também o leito maior excepcional. Logo, toda lâmina d'água identificada pela composição de realce do azul, indica o leito maior excepcional do Canal São Gonçalo, a sua planície lagunar marginal em completa extensão.

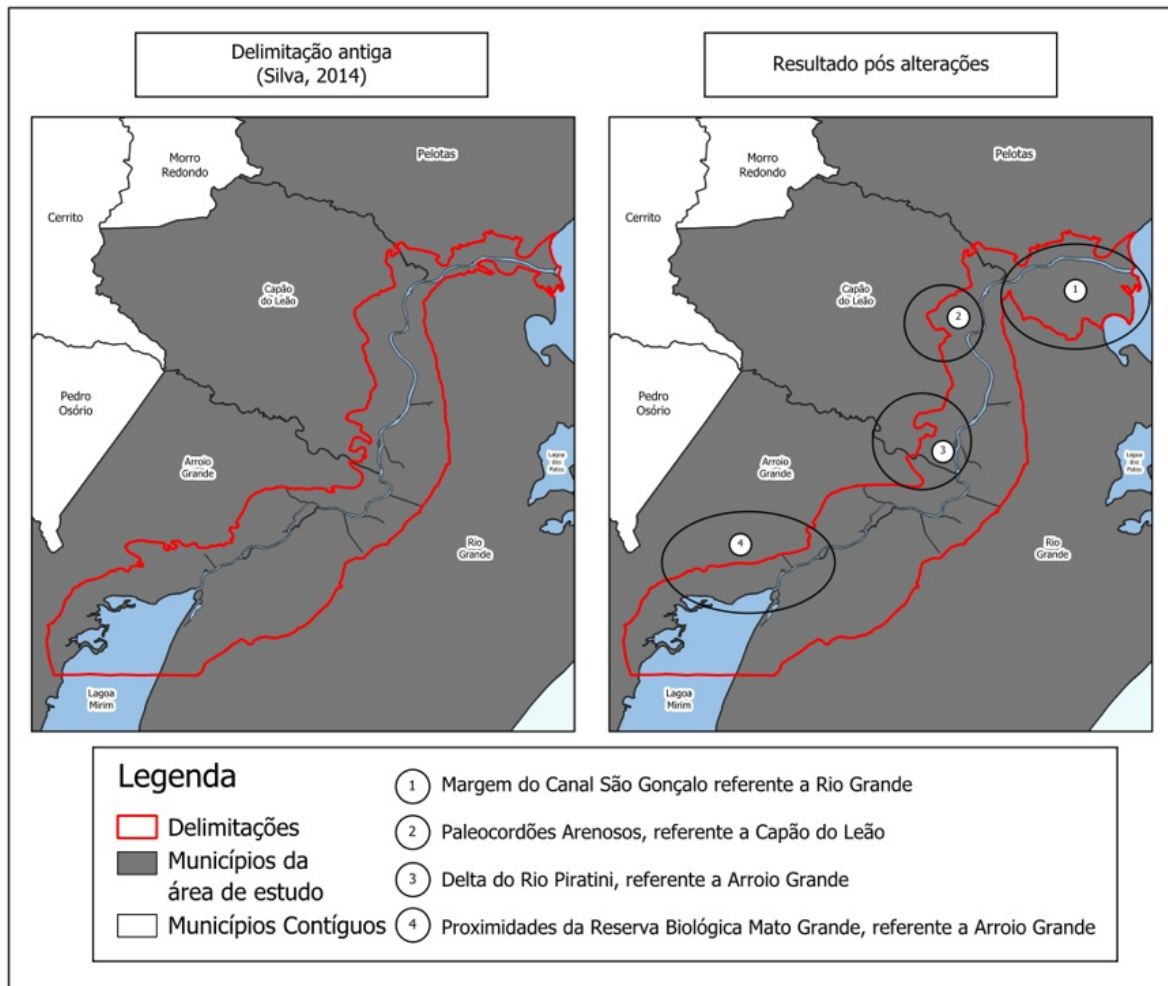
Estabelecido isto, a adequação dos limites pautou-se no seguinte procedimento: análise espacial dos dados de cobertura e uso. Toda extensão de terra que o MAPBIOMAS considerou enquanto áreas úmidas (*Campo Alagado e Área Pantanosa* - Banda 11) foi sobreposta na imagem montada de realce do azul. A verificação do leito maior excepcional do CSG foi realizada através da sobreposição das áreas úmidas e da lâmina d'água identificada. A partir disto, utilizando como base os limites originais e o mapeamento de Moura *et al.* (2021), o novo limite pode ser obtido através do processo de vetorização manual em ambiente SIG.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a diferença entre a delimitação realizada por Simon e Da Silva (2015) e a delimitação com as alterações propostas, com os pontos de alterações registrados.

FIGURA 3 - Comparação das delimitações da PLMCSG.



FONTE: Ferreira (2025).

Para o processo de re-delimitação respeitou-se a escala adotada por Simon; Da Silva (2015) de 1:40.000. Os limites originais registravam uma área de 790,90 km². Após alterações, com as inclusões e exclusões de áreas, o limite passou a registrar 886,52 km². Houve uma diferença (ampliação) de 95,62 km² de área, que representa um aumento aproximado de 12,1%. A proposta de re-delimitação identificou quatro pontos críticos de alterações além de algumas suavizações que foram realizadas por todo limite.

MARGEM DO CANAL SÃO GONÇALO REFERENTE A RIO GRANDE

Esta foi a principal e mais significativa alteração (referente a inclusão de área) feita em todo limite. Este foi o ponto do limite que originou a hipótese de alteração da delimitação, que ocorreu durante a análise da dinâmica das coberturas e usos da terra.



A Plataforma MapBiomias classifica toda essa área enquanto Campo Alagado e Área Pantanosa, no caso, coberturas vegetais naturais de áreas úmidas onde normalmente se registram juncais e macrófitas aquáticas.

Neste ponto, a inclusão de área e suavizações do limite foram feitas com base em todos os materiais (mapeamento das coberturas e usos da terra (MapBiomias, 2023), delimitação base (Simon; Da Silva, 2015), mapeamento das terras baixas do RS (Moura *et al.*, 2021), a composição de banda falsa-cor (USGS, 2023) e a altimetria do relevo). A Figura 4 mostra com maior detalhamento as alterações realizadas.

FIGURA 4 - Ponto de alteração 1: Margem do Canal São Gonçalo referente a Rio Grande.

DELIMITAÇÃO ANTIGA



RESULTADO PÓS ALTERAÇÃO



FONTE: Ferreira (2025).

PALEOCORDÕES ARENOSOS NO MUNICÍPIO DE CAPÃO DO LEÃO

Estes paleocordões arenosos são paleoformas identificadas na área de estudo por Simon e Da Silva (2015). Os paleocordões são as únicas paleoformas que podem ser observadas na paisagem, as demais como paleoenseadas e paleopontais encontram-se colmatados, em abrangência da planície flúvio-lacustre em diferentes estágios do processo de colmatagem (Simon; Da Silva, 2015). Estas paleoformas, encontram-se sobre influência da dinâmica pluvial (que promove o arrasamento das protuberâncias [cristas e vales] das paleoformas).

As mesmas são resultado da morfogênese e morfodinâmica não só marinha, como lagunar, ou seja, esteve sobre influência direta em um momento do tempo geológico quando o CSG (em conjunto com a Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim) ainda constituía



um extenso corpo lagunar. É uma porção do relevo que foi trabalhada pela dinâmica lagunar, quando o processo de colmatação ainda não tinha ocorrido ou ainda estava em estágio inicial (Simon; Da Silva, 2015).

Os paleocordões já se encontravam dentro do limite proposto por Simon e Da Silva (2015). Desta forma, foram realizados apenas ajustes e suavizações, de modo em que o limite respeite as paleofeições que se apresentam na paisagem. Estas pequenas alterações foram feitas com base nos mesmos materiais do ponto anterior, sobretudo, na altimetria do relevo. A Figura 5 demonstra com maior detalhamento as alterações realizadas neste ponto.

FIGURA 5 - Ponto de alteração 2: Paleocordões arenosos referentes a Capão do Leão.

DELIMITAÇÃO ANTIGA



RESULTADO PÓS ALTERAÇÃO



FONTE: Ferreira (2025).

DELTA DO RIO PIRATINI

Este foi um ponto onde a revisão e proposição de alteração precisou ser minuciosa, uma vez que abrange dois diferentes compartimentos geomorfológicos: a planície lagunar e a planície alúvio-coluvionar. Neste caso, pode-se dizer que esta área deltaica tem morfogênese lagunar e morfodinâmica aluvio-coluvionar. Hoje, está diretamente sobre influência alúvio-coluvionar, mas, num passado não distante no tempo geológico, esteve sobre influência lagunar.

Planícies alúvio-coluvionares são formas de relevo planas ou suavemente onduladas, formadas pela deposição de sedimentos transportados por processos fluviais



(aluviões) e de encostas (coluviões). Estas feições geomorfológicas são comuns em áreas de baixadas e vales fluviais, onde a energia do relevo diminui, permitindo a acumulação dos materiais erodidos (Christofolletti, 1980; 1981).

As formações deltaicas são formas do relevo que ocorrem na foz de rios, onde há a deposição de sedimentos transportados pelo curso d'água ao encontrar um corpo de água maior, como um oceano, mar, lago ou lagoa. São resultantes de processos complexos de erosão, transporte, sedimentação e compactação, que envolvem a interação entre forças fluviais, marinhas ou lacustres (Christofolletti, 1980; 1981).

Desta forma, a adequação deste ponto utilizou os mesmos materiais do ponto anterior, pautando-se na altimetria do relevo, de forma que a nova delimitação proposta respeitasse ambos os compartimentos geomorfológicos presentes na área. A Figura 6 demonstra com maior detalhamento as alterações realizadas neste ponto.

FIGURA 6 - Ponto de alteração 3: Delta do Rio Piratini.

DELIMITAÇÃO ANTIGA



RESULTADO PÓS ALTERAÇÃO



FONTE: Ferreira (2025).

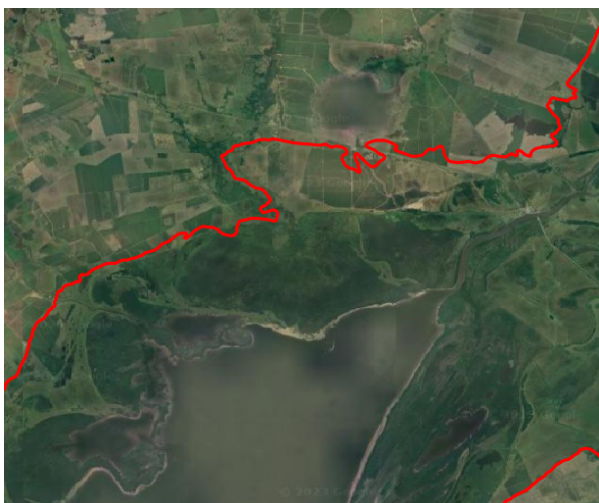
PROXIMIDADES DA RESERVA BIOLÓGICA MATO GRANDE

Para realizar a adequação neste ponto não foi necessário adotar o rigor teórico-metodológico tão refinado quanto o implementado nos pontos 2 e 3. Aqui, nas proximidades da Reserva Biológica Mato Grande (REBIO Mato Grande), o material diferencial utilizado foi o mapeamento das coberturas e usos da Terra. A alteração consistiu na exclusão de área referente a classe Outras Lavouras Temporárias do MapBiomias. A altimetria do relevo foi utilizada como apoio no ajuste fino da forma desta porção da delimitação. A Figura 7 demonstra com maior detalhamento as alterações realizadas neste ponto.



FIGURA 7 - Ponto de alteração 4: Proximidades da REBIO Mato Grande.

DELIMITAÇÃO ANTIGA



RESULTADO PÓS ALTERAÇÃO



FONTE: própria (2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos ambientais, especialmente aqueles voltados à análise de dinâmicas geomorfológicas, hidrológicas e ecológicas (como o presente) são fundamentais para embasar políticas de gestão territorial e conservação, sobretudo em regiões sob intensa pressão antrópica e climática, como o Rio Grande do Sul. O estado tem enfrentado eventos extremos recorrentes, como as cheias sistemáticas desde 2022, que evidenciam a necessidade de um planejamento adaptativo. A compreensão dos processos fluviais, da conectividade entre rios e planícies de inundação e da capacidade de resiliência dos ecossistemas úmidos permite a elaboração de estratégias que minimizem impactos e promovam o uso sustentável da natureza e seus recursos.

Nesse contexto, pesquisas que mapeiam e modelam cenários de inundação e avaliam a capacidade de retenção hídrica de áreas úmidas fornecem subsídios técnicos para a regulamentação de ocupações urbanas e rurais. Além disso, a identificação de áreas prioritárias para conservação e restauração ecológica pode auxiliar na mitigação de desastres, uma vez que ecossistemas saudáveis funcionam como amortecedores naturais contra cheias. No Rio Grande do Sul, onde a expansão agrícola e a urbanização desordenada amplificam os efeitos das mudanças climáticas, o conhecimento científico deve orientar políticas públicas que integrem adaptação ambiental, redução de riscos e desenvolvimento socioeconômico.

A revisão demonstra que a planície lagunar exerce um importante papel na retenção e na regulação hidrológica. A atualização cartográfica aqui apresentada não apenas reflete com maior precisão a interação entre o canal e sua planície adjacente, mas



também subsidia políticas de gestão territorial e conservação, sobretudo em contextos de mudanças climáticas e pressão antrópica. Recomenda-se a adoção desses critérios em futuros planos de manejo e estudos de impacto ambiental na região.

A proposta de re-delimitação identificou quatro pontos críticos de alterações além de algumas suavizações que foram realizadas por todo limite. No processo, respeitou-se a escala adotada por Silva (2014) de 1:40.000. Os limites originais registravam uma área de 790,90 km²; pós alterações, com as inclusões e exclusões de áreas, o limite passou a registrar 886,52 km². Houve uma diferença (ampliação) de 95,62 km² de área, que representa um aumento aproximado de 12,1%. Os resultados evidenciaram discrepâncias entre os limites convencionais da planície e sua dinâmica funcional real, especialmente em áreas de transição sujeitas a pulsos de inundação e processos erosivos.

A atualização dos limites para o compartimento geomorfológico implica também na atualização da cartografia e bibliografia geomorfológica para a área. Uma das próximas etapas deste trabalho é a formulação de documentos e laudos técnicos que têm como destino o poder público municipal no qual a área de estudo está inserida, com o objetivo de orientar um plano de manejo e gestão sustentável das porções de áreas úmidas, dada sua importância geo-bioecológica e o atual momento climático e apelo popular que o estado do Rio Grande do Sul vem enfrentando de eventos extremos de precipitação, subsequentes alagamentos que causam perdas materiais e de vidas. Por isso, é importante que o poder público (em suas esferas municipal, estadual e federal) reveja o processo de expansão das cidades e ocupação de certas áreas. É crucial que o paradigma do Desenvolvimento Sustentável oriente a formulação de políticas públicas focadas na gestão e ordenamento do espaço.

É importante destacar o atual momento político que se encontra a pasta do meio ambiente no país, que é profundamente sucateada e escanteada desde o governo passado. A conhecida “PL da devastação”, o projeto de lei nº. 2.159/2021, representa mais um grave episódio de retrocesso na legislação ambiental brasileira, equiparando-se a Lei nº. 12.651/2012, que alterou o Código Florestal e enfraqueceu a proteção de áreas sensíveis, como APPs e Reservas Legais. A proposta em questão flexibiliza ainda mais o licenciamento ambiental, reduzindo a exigência de estudos detalhados para obras consideradas «estratégicas», o que pode acelerar a degradação de biomas já ameaçados.

Assim como ocorreu em 2012, quando as mudanças no Código Florestal levaram ao aumento do desmatamento e conflitos fundiários, a aprovação da PL 2.159/2021 pode agravar a perda de biodiversidade, a escassez hídrica e os desastres climáticos, que já afetam diretamente a população, como visto nas recentes enchentes no Rio Grande do Sul. O poder público, em todas as esferas, deve repensar decisões que privilegiam



o desenvolvimento econômico desenfreado a qualquer custo, adotando políticas que equilibrem crescimento econômico e uso sustentável dos recursos naturais. A natureza não é um obstáculo ao progresso, mas a base que sustenta a vida e a economia.

Por fim, é importante destacar a relevância ambiental que esta área teve durante os sucessíveis eventos extremos que vem ocorrendo desde 2022. Ferreira (2025) evidencia que o fato desta área ter mantido suas coberturas naturais, em grande maioria, conservadas ao longo do tempo, frente ao processo de uso e ocupação, viabilizou que a mesma pudesse suportar todo o escoamento oriundo do Sistema Mirim/São Gonçalo (BHMSG). Esta é uma das áreas-chaves do estado do Rio Grande do Sul no amortecimento dos efeitos das mudanças climáticas que vêm ocorrendo em curso, e, desta forma, necessitam de proteção, preservação e conservação.

Agradecimentos:

Os devidos agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo financiamento através da concessão de bolsa de Iniciação Científica.



REFERÊNCIAS

- AMOROS, C.; BORNETTE, G. Connectivity and biocomplexity in waterbodies of riverine floodplains. **Freshwater Biology**, 2002.
- BRIDGE, J. S. **Rivers and Floodplains: Forms, Processes, and Sedimentary Record**. Blackwell Science, 2003.
- CHOU, S. C. et al. Mapeamento eólico para o nordeste. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. p. 2006, 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. São Paulo: Blucher, 1981.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Blucher, 1980.
- DUNNE, T.; AALTO, R. Large River floodplains. **Treatise on Geomorphology**, 2013.
- FERREIRA, L. P. **Dinâmica das coberturas e usos da Terra na Planície Lagunar Marginal do Canal São Gonçalo – RS**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia Bacharelado) - Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025, 102f.
- FERREIRA, L. P. *et al.* Dinâmica de coberturas e usos da terra na planície lagunar marginal do Canal São Gonçalo, RS (1985-2022). **Anais do XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA - Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente**. Campina Grande: Realize Editora, 2024. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/118174>.
- GOMES, C. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Aparato conceitual sobre áreas úmidas (wetlands) no Brasil: desafios e opiniões de especialistas. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 37, n. 3, p. 484-508, 2017.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geomorfologia 1:250.000 – Banco de Informações Ambientais (BDiA): base de dados vetorial do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html>. Acesso em: 05 jul. 2025.
- JUNK, W. J. *et al.* **The flood pulse concept in river-floodplain systems**. Canada: Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1989.
- KLEBER, R. M. **Geração de energia fotovoltaica: panorama atual e perspectivas futuras de Brasil e Alemanha**. TCC (Graduação) - Curso de Química Industrial, UFRGS, Porto Alegre, 2021, 56 f. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/232666>. Acesso em: 7 ago. 2024.
- LEOPOLD, L. B. *et al.* **Fluvial Processes in Geomorphology**. W.H. Freeman, 1964.
- MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomass – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org>.
- MOURA, N.S.; BUSCHER, N.; DE OLIVEIRA, A.O.; RIBEIRO, J.G.J. **Mapa Geomorfológico da Planície e Terras Baixas Costeiras do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 2021. 1 mapa color., 841 x 1189 mm. Escala 1:500.000. ISBN 978-85-63843-27-2 (Digital). Disponível em: www.ufrgs.br/labgeo.
- NANSON, G. C.; CROKE, J. C. A genetic classification of floodplains. **Geomorphology**, 1992.
- NASCIMENTO, A. de S. **Energia solar fotovoltaica: estudo e viabilidade no nordeste brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015, 146 f. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/8153>. Acesso em: 26. Jul. 2023.
- POFF, N. L. *et al.* The natural flow regime. **BioScience**, 1997.
- RASUL, M. G.; AZAD, A. K.; SHARMA, S. C. **Clean Energy for Sustainable development: comparisons and contrasts of new approaches**. London: Academic Press, 2016. 591 p.
- ROCHA, P. C. Sistemas rio-planície de inundação: geomorfologia e conectividade hidrodinâmica. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 33, p. 50-67, 2011.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.
- ROSS, J. L. S. O Relevo Brasileiro nas Macroestruturas Antigas. **Revista Continentes**. n. 2, p. 8-27, jan. 2013. Disponível em: <https://revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/16>. Acesso em: 25 jul. 2025.
- SIMON, A. L. H.; DA SILVA, P. F. Análise geomorfológica da planície lagunar sob influência do canal São Gonçalo – Rio Grande do Sul – Brasil. **Geosciences = Geociências**, v. 34, n. 4, p. 749-767, 2015.
- SOUSA, S. B. **Dinâmica territorial e padrões espaciais da pecuária brasileira**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017, 1.882 f. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8099>. Acesso em: 01. mar. 2025.
- TOCKNER, K. *et al.* River flood plains: Present state and future trends. **Environmental Conservation**, 2010.
- WARD, J. V. *et al.* Riverine landscape diversity. **Freshwater Biology**, 2002.



INTERPRETAÇÃO E MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO GONÇALO, COM SUPORTE DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO

Paulo Emanuel Alves Lopes ¹

Gislania de Meneses Silva ²

Lara Lima Lourenço ³

Maria Lúcia Brito da Cruz ⁴

PALAVRAS-CHAVE: SIG; relevo; compartimentação do terreno; análise espacial; morfologia fluvial.

RESUMO

No contexto dos estudos ambientais e do planejamento territorial, o mapeamento geomorfológico se configura como uma ferramenta essencial para a compreensão das dinâmicas naturais, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos e mitigação de riscos ambientais. A cartografia geomorfológica, apoiada por tecnologias geoespaciais, tem ganhado relevância especialmente com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Modelos Digitais de Elevação, que proporcionam maior precisão, agilidade e padronização na produção de mapas temáticos. Nesse contexto, a pesquisa em geomorfologia se torna cada vez mais relevante à medida que busca entender a distribuição, organização e explicação das formas de relevo e seus processos históricos, onde revela as possibilidades de transformação e dinâmica do terreno, sendo valiosa tanto para a comunidade científica quanto para os setores responsáveis pelo planejamento e gerenciamento do espaço territorial. O mapeamento geomorfológico é uma ferramenta essencial para compreender a dinâmica das bacias hidrográficas, permitindo a identificação de processos erosivos, áreas suscetíveis a inundações e planejamento ambiental eficaz. O presente artigo teve por objetivo realizar o mapeamento geomorfológico do alto curso da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo, situada entre os municípios de Palmácia, Maranguape, Pentecoste e Caucaia – CE, utilizando os softwares ArcGIS e QGIS. Desta forma, foi empregado o Modelo Digital de Superfície – MDS Copernicus, com resolução espacial de 30 metros. O processo metodológico foi estruturado em cinco etapas: 1- preparação da base cartográfica, 2- extração de cotas altimétricas, 3- classificação das unidades geomorfológicas, 4- análise espacial e interseções e 5- elaboração do mapa temático

¹ Mestrando em Geografia na Universidade Estadual do Ceará - UECE, paulo.emanuel@aluno.uece.br

² Doutoranda em Geografia na Universidade Estadual do Ceará – UECE, gislaniameneses@gmail.com

³ Doutoranda em Geografia na Universidade Estadual do Ceará – UECE, lara.lourenco@aluno.uece.br

⁴ Professora do Curso de Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE, mlbcruz@gmail.com



final. Os resultados obtidos demonstram que, além da facilidade de aquisição e manipulação, esse modelo constitui uma excelente fonte de dados altimétricos para a caracterização das feições geomorfológicas da área. A bacia delimitada abrange uma área de aproximadamente 450,765 km² e apresenta como principais cursos d'água o rio São Gonçalo, o riacho do Recanto, o riacho dos Grossos e o riacho da Volta, todos barrados por açudes como Itapebussu, Amanari, Lajedo e Sítios Novos. No que se refere à compartimentação do relevo, foram identificadas sete classes principais: os inselbergs, com uma área de 13,533 km²; os degraus estruturais, com 16,968 km²; depressão sertaneja dissecada com 142,187 km², depressão sertaneja aplainada 190,761 km²; o maciço residual, ocupando 54,028 km²; a planície fluvial, com 7,191 km²; e as áreas de corpos hídricos, que somam 26,097 km². Conclui-se que o uso de dados do Copernicus em ambiente SIG se mostra eficiente para o mapeamento geomorfológico, oferecendo vantagens em termos de custo, padronização e qualidade das informações geradas.

INTRODUÇÃO

A geomorfologia, enquanto ramo da Geografia Física, tem como objetivo analisar as formas do relevo terrestre, suas origens, transformações e interações com os demais elementos naturais e antrópicos da paisagem. No contexto dos estudos ambientais e de planejamento territorial, o mapeamento geomorfológico se configura como uma ferramenta essencial para a compreensão das dinâmicas naturais, contribuindo para a gestão sustentável dos recursos e mitigação de riscos ambientais.

A cartografia geomorfológica, apoiada por tecnologias geoespaciais, tem ganhado relevância especialmente com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Modelos Digitais de Elevação - MDS, que proporcionam maior precisão, agilidade e padronização na produção de mapas temáticos.

A análise dos estudos geomorfológicos voltados para bacias hidrográficas permite compreender as formas do relevo com a dinâmica hídrica e os processos morfogenéticos que condicionam o escoamento superficial, a erosão e a sedimentação, sendo fundamental para diagnósticos ambientais e o planejamento territorial daquela região (Rodrigues; Bacani, 2013).

Assim, o estudo da compartimentação geomorfológica das bacias hidrográficas constitui uma etapa fundamental para a compreensão dos processos morfodinâmicos e da organização do espaço natural, possibilitando uma leitura integrada da paisagem (Ab'Sáber, 2003).

Diante disso, o presente estudo teve como foco a realização do mapeamento geomorfológico do alto curso da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo, situada entre os municípios de Palmácia, Maranguape, Pentecoste e Caucaia, no estado do Ceará. Esta bacia, de expressiva importância hídrica e ambiental, abriga diversos sistemas naturais representativos do relevo cearense, sendo caracterizada por uma diversidade de formas



e processos morfogenéticos. A pesquisa se justifica pela carência de estudos detalhados da compartimentação do relevo na região, especialmente com abordagem metodológica integrada e o uso de geotecnologias de livre acesso, como o QGIS e dados do Copernicus.

O principal objetivo deste trabalho foi identificar e delimitar as unidades geomorfológicas predominantes na área de estudo, com base em dados altimétricos e interpretação visual, a fim de compreender a estruturação e evolução do relevo local. Para isso, foram utilizados os softwares ArcGIS e QGIS em ambiente SIG, com aplicação do Modelo Digital de Superfície - MDS Copernicus, de 30 metros de resolução espacial.

Com isso, o uso de dados altimétricos de domínio público integrados a metodologias de geoprocessamento oferece uma alternativa eficiente, econômica e confiável para o mapeamento geomorfológico, contribuindo com subsídios importantes para estudos ambientais, planejamento territorial e educação geográfica. O trabalho desenvolvido reafirma o potencial das geotecnologias na análise do relevo, sobretudo em regiões semiáridas como o Ceará, onde a compreensão das formas terrestres é fundamental para a gestão de recursos e mitigação de impactos ambientais.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa adotou uma abordagem geoespacial aplicada ao mapeamento geomorfológico do alto curso da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo, localizada no estado do Ceará. Para tanto, foram utilizados os softwares QGIS 3.40 e ArcGIS 10.8, com foco na análise de Modelos Digitais de Elevação e ferramentas de geoprocessamento, visando à caracterização morfológica da área.

O processo metodológico foi estruturado em cinco etapas:

1. Preparação da base cartográfica;
2. Análise espacial especializada;
3. Classificação das unidades geomorfológicas;
4. Análise espacial e interseções;
5. Elaboração do mapa temático final.

Preparação da base cartográfica

Inicialmente, foram adicionadas ao ambiente do QGIS as seguintes camadas:

- Bacia hidrográfica do rio São Gonçalo (formato vetor);
- Modelo Digital de Elevação SRTM (formato raster);
- Modelo Digital de Superfície – Copernicus (formato raster);
- Imagem de satélite do Google (camada raster-web para suporte visual).

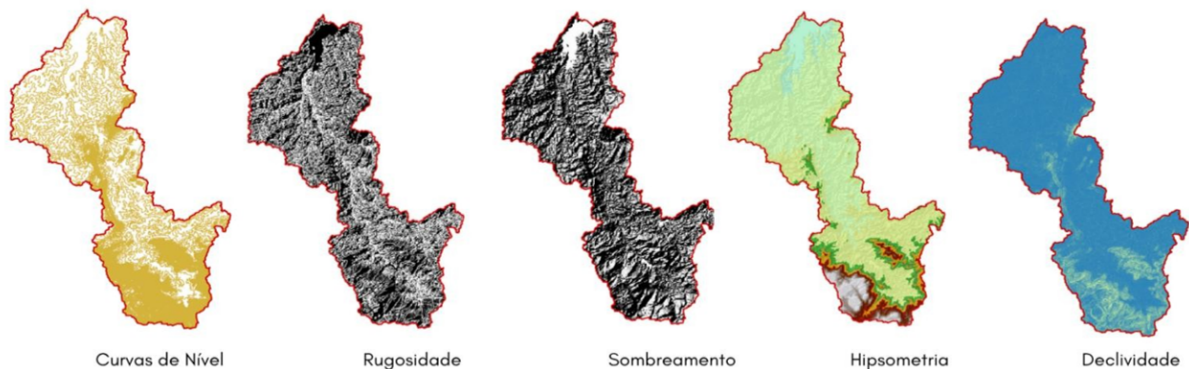


O MDS-Copernicus foi utilizado como base para a geração de curvas de nível com equidistância de 30 metros, representando variações altimétricas fundamentais para a compartimentação do relevo.

ANALISE ESPACIAL ESPECIALIZADA

Como demonstrado na Figura 1, esse modelo permitiu uma análise integrada de variáveis morfométricas; curvas de nível, rugosidade, sombreamento, hipsometria, declividade. A utilização dessas ferramentas possibilita não apenas a definição geométrica da bacia, mas também a compreensão detalhada da sua estrutura topográfica, promovendo uma base sólida para investigações geomorfológicas.

FIGURA 1 – Análise espacial especializada - variáveis morfométricas.



FONTE: própria (2025).

A partir da camada de curvas de nível, foram selecionadas e extraídas manualmente as seguintes cotas altimétricas específicas: 200 m, 150 m e 100 m, consideradas marcos relevantes para a diferenciação dos compartimentos geomorfológicos:

- Cada cota foi copiada (Ctrl+C) da camada original e colada (Ctrl+V) em novos arquivos shapefile (SHP) individuais.
- As feições extraídas foram posteriormente ajustadas com a ferramenta de edição de nós, com o objetivo de expandi-las para além do limite da bacia, quando necessário, facilitando as análises de sobreposição e interseção.

Classificação das unidades geomorfológicas

Com base na interpretação altimétrica e visual, as seguintes unidades geomorfológicas foram definidas:

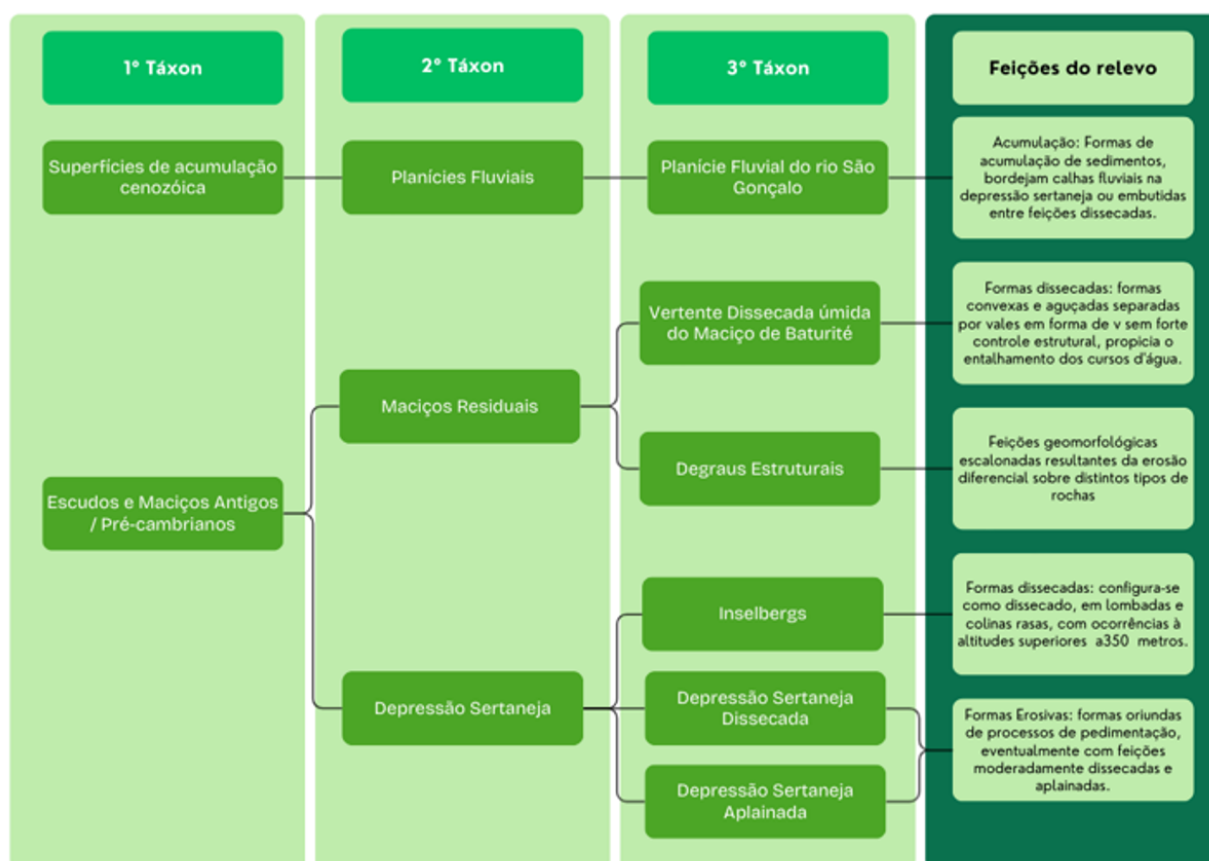
- Planície Fluvial
- Inselbergs
- Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos



- Maciço Residual Cristalino – Vertente Dissecada Úmida
- Depressão Sertaneja Aplainada
- Depressão Sertaneja Dissecada

A delimitação foi realizada por meio de vetorização interpretativa sobre o modelo Copernicus DEM, 30 metros, apoiada por análise visual da imagem de satélite e referências morfogenéticas da literatura. A Figura 2 sintetiza a compartimentação geomorfológica do alto curso da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo com base na classificação taxonômica em três níveis (1º, 2º e 3º táxon), conforme proposta adaptada de Ross (1992).

FIGURA 2 – Classificação Taxonômica e Caracterização das Unidades de Relevô no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio São Gonçalo.



FONTE: própria (2025).



Análise espacial e interseções

As unidades geomorfológicas foram refinadas utilizando as operações de geoprocessamento vetorial no QGIS:

- Interseções foram aplicadas para delimitar feições como maciço residual, suas bordas e áreas de inselbergs.
- Diferença espacial foi utilizada para excluir áreas sobrepostas e ajustar os limites entre Inselbergs e Depressão Sertaneja Aplainada; Depressão Sertaneja Aplainada e Depressão Sertaneja Dissecada; Bordas dissecadas em áreas de contato entre compartimentos.

A unidade Depressão Sertaneja Aplainada foi extraída diretamente a partir da seleção da área da bacia compreendida entre as cotas de 100 e 150 metros.

Elaboração do mapa geomorfológico

Após a classificação e delimitação das unidades, foi elaborado o mapa temático geomorfológico com uso de simbologia padronizada e paleta de cores distintas para facilitar a interpretação. As áreas de cada unidade foram calculadas automaticamente com base nas geometrias vetorizadas. O produto fornece uma representação detalhada da compartimentação do relevo na área de estudo, servindo como subsídio para análises ambientais e de planejamento territorial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da área

A bacia do rio São Gonçalo drena setores dos municípios de Palmácia, Maranguape, Caucaia, Pentecoste, São Gonçalo do Amarante e Paracuru, compreendendo uma superfície de 465 km². Ela está entre as 16 sub-bacias que compõem a Bacia Metropolitana de Fortaleza, definida pela Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (Ceará, 2017).

O rio São Gonçalo possui uma extensão aproximada de 95,75 km, com suas nascentes situadas na Serra de Baturité, em áreas que atingem altitudes variando entre 130 m e 850 m ao longo de seu percurso. O rio segue em direção noroeste, drenando diferentes compartimentos do relevo até desaguar no litoral oeste do estado do Ceará, na zona de transição entre os municípios de Paracuru e São Gonçalo do Amarante (COGERH, 2022).



A área de análise da pesquisa é o alto curso da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo (Figura 3), localizado na porção norte do estado do Ceará, situada entre os municípios de Palmácia, Maranguape e na divisa entre Pentecoste e Caucaia, delimitado a partir do açude Sítios Novos.

No distrito de Amanari, município de Maranguape, o Rio São Gonçalo é barrado respectivamente, pelos açudes Itapebussu e Amanari, os quais, juntamente com o açude Boticário, compõem os principais espelhos d'água dessa unidade hidrográfica. O rio São Gonçalo (Figura 4) é represado nas proximidades da comunidade Manoel Guedes, contribuindo para o abastecimento do açude Itapebussu, responsável por suprir a demanda hídrica de parte significativa da região.

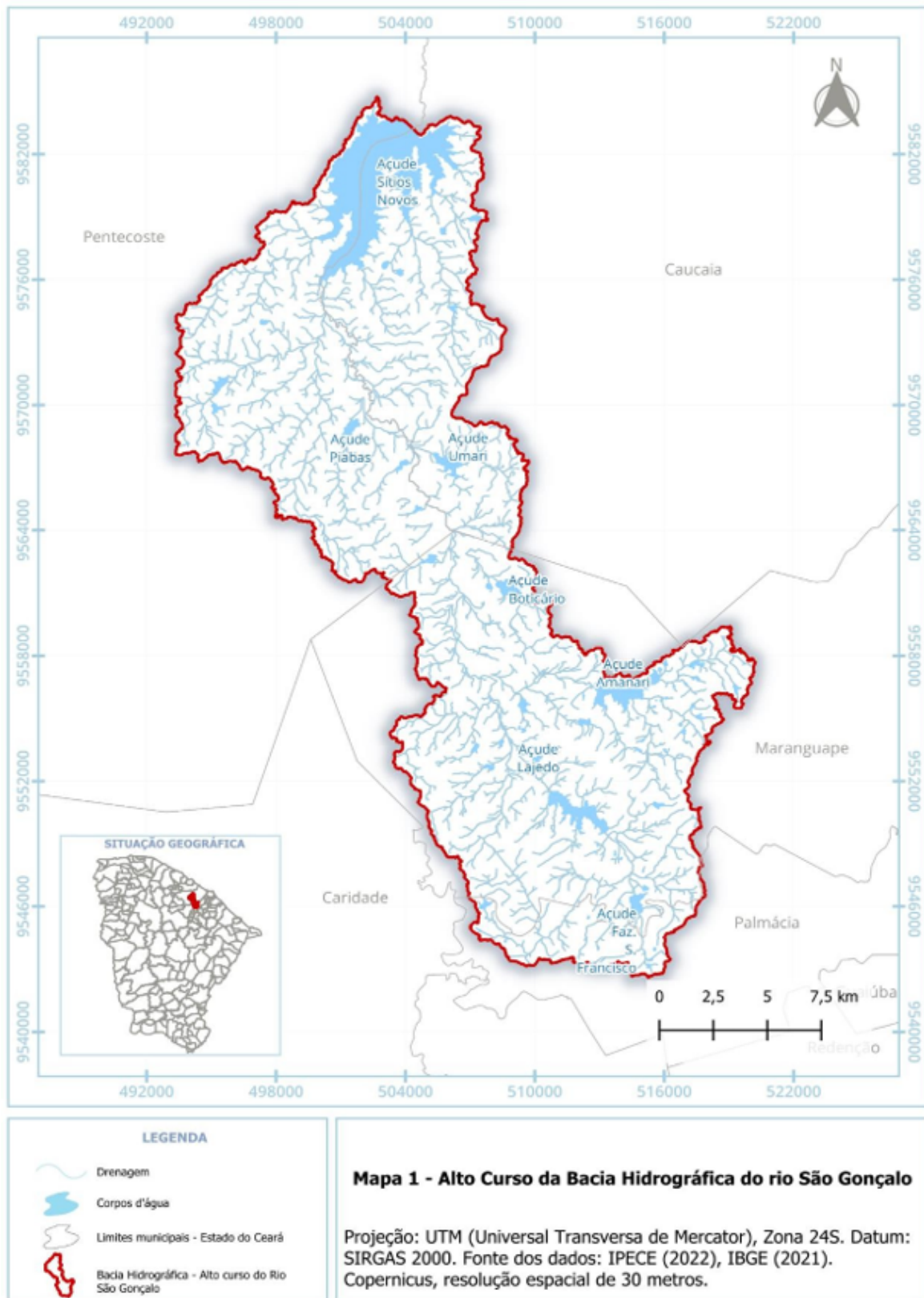
A área que compreende a sub-bacia em estudo, está inserida na porção noroeste da Província Estrutural Borborema, especificamente no Domínio Ceará Central - DCC, limitado a oeste pelo Lineamento Transbrasiliano e a leste pelo Lineamento Senador Pompeu. A geologia local é composta predominantemente por rochas cristalinas do embasamento pré- cambriano.

A distribuição das chuvas e as características geológicas influenciam diretamente o regime dos rios e a disponibilidade hídrica, tanto na superfície quanto no subsolo. Segundo Zanella e Sales (2011), esses elementos ambientais estão interligados ao comportamento fluvial. No município de Maranguape, inserido na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), os principais sistemas climáticos atuantes são: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), as Linhas de Instabilidade (LI) e as Ondas de Leste.

O relevo da bacia é caracterizado por áreas de planaltos dissecados e serras, destacando-se a Serra do Boticário, Serra do Gigante e Serra do Boqueirão, que compõem parte das escarpas do Maciço de Baturité. Essas formações exercem influência direta na drenagem e no regime pluviométrico da região, funcionando como divisores naturais de águas.



FIGURA 3 – Mapa de localização do Alto curso da bacia do rio São Gonçalo.



FONTE: própria (2025).



FIGURA 4 - Rio São Gonçalo, distrito de Amanari, Maranguape.



FONTE: própria (2025).

A rede de drenagem, apresenta um padrão predominantemente dendrítico, típico de regiões com litologias homogêneas e relevo suavemente ondulado, o que favorece a formação de uma malha de drenagem ramificada. Essa configuração facilita a coleta e o direcionamento das águas pluviais a partir das áreas mais elevadas, como as serras do Gigante, Boticário e Boqueirão, em direção às zonas mais baixas da bacia, onde se localizam os principais espelhos d'água, como os açudes Itapebussu, Amanari e Boticário.

O rio São Gonçalo é o principal curso d'água da bacia, de caráter intermitente, ou seja, apresenta escoamento superficial apenas durante o período chuvoso. Sua vazão é fortemente condicionada à sazonalidade climática da região semiárida e à variabilidade interanual das chuvas. Durante os meses secos, o leito fluvial tende a secar ou apresentar trechos isolados com pouca água, especialmente nos afluentes de menor porte.

A drenagem da bacia é composta por diversos riachos e córregos temporários que convergem para o leito principal, contribuindo para a recarga dos açudes e barragens locais. No entanto, a ação antrópica, como o desmatamento das matas ciliares, o uso



intensivo das margens para agricultura, tem provocado processos de assoreamento, erosão das margens e alteração do fluxo natural da água, comprometendo a eficiência e a funcionalidade da rede hidrográfica.

A área de estudo apresenta elevada diversidade pedológica, refletindo a heterogeneidade do relevo, vegetação e substrato geológico predominante na região semiárida do Ceará. Os principais solos identificados foram: Neossolo Flúvico, Psamítico típico, associado a relevo plano e suave ondulado sob caatinga hipoxerófila; Planossolos Háptico e Nátrico, com texturas variando de arenosa a argilosa, em áreas planas e suavemente onduladas, frequentemente em fase pedregosa e vegetação hiperxerófila. Destacam-se também Argissolos, frequentemente em fase rochosa ou pedregosa. A vegetação predominante é a caatinga, variando entre hipoxerófila e hiperxerófila, conforme o tipo de solo e relevo associado. Essa diversidade de classes e fases pedológicas possui implicações diretas sobre o uso do solo, a disponibilidade hídrica e a vulnerabilidade ambiental local (FUNCEME, 2024).

As serras do Pocin e do Boticário desempenham papel fundamental como dispersores naturais da drenagem da sub-bacia do Amanari, assim como as serras do Boqueirão e do Gigante, localizadas na base do maciço de Baturité. Esses relevos funcionam como divisores de água, contribuindo diretamente para a recarga dos açudes Itapebussu e Amanari. Nessas áreas, observa-se uma crescente pressão sobre os recursos naturais, decorrente do uso histórico do solo e do aumento populacional (Oliveira; Almeida; Souza, 2011).

As margens dos cursos d'água são frequentemente utilizadas para práticas agrícolas de caráter autossuficiente. A disponibilidade hídrica proporciona o desenvolvimento de cultivos ao longo dos rios e riachos, o que contribui para a descaracterização da vegetação ciliar, que se apresenta em faixas estreitas e fragmentadas ao longo dos canais de drenagem.

O alto curso da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo apresenta uma expressiva diversidade ambiental, resultante da interação entre fatores geológicos, geomorfológicos, climáticos e biogeográficos. Essa região é marcada pela presença do Maciço Residual da Serra da Aratanha, que configura a principal elevação da área e exerce forte influência na organização da paisagem e nos processos ambientais locais (Silva; Santos; Lima, 2021).

Compartimentação Geomorfológica

Do ponto de vista da compartimentação do relevo, identificam-se unidades como maciços residuais, degraus estruturais, inselbergs, depressões sertanejas dissecadas e aplainadas, além de planícies fluviais, conforme tipologia adaptada de Ross (1992). Essa compartimentação geomorfológica é essencial para compreender os processos



morfodinâmicos e a organização do espaço natural (Ab'Sáber, 2003; Rodrigues; Bacani, 2013), influenciando diretamente o padrão de drenagem, os processos erosivos e a distribuição da vegetação.

A estrutura geológica subjacente, composta majoritariamente por rochas cristalinas da Província Borborema, condiciona a existência de formas residuais e isoladas, como os inselbergs, resultantes da ação da erosão diferencial ao longo do tempo geológico (Barbosa; Rodrigues, 2015). Já a presença dos degraus estruturais indica zonas de transição entre compartimentos altimétricos, marcando superfícies rebaixadas e compartimentadas pela dissecação fluvial.

Em termos de morfogênese, a paisagem reflete a atuação conjugada de processos tectônicos antigos, denudacionais e fluviais, com predominância de processos exógenos associados ao intemperismo físico-químico e à erosão pluvial (Souza; Menezes; Almeida, 2018). As áreas de planície fluvial, por sua vez, estão relacionadas à sedimentação recente e sazonal, característica dos ambientes de várzea.

A cobertura vegetal acompanha a variação altimétrica e os condicionantes climáticos locais. Em altitudes superiores a 700 metros, como nas zonas centrais e sul do maciço, predominam fragmentos de mata úmida atlântica, favorecidos por mesoclimas mais amenos e úmidos, com temperaturas médias anuais em torno de 20 °C (Silvaneto, 2020). Essas características, muito distintas das condições semiáridas do entorno, atraem um grande fluxo de turistas/visitantes durante todo o ano.

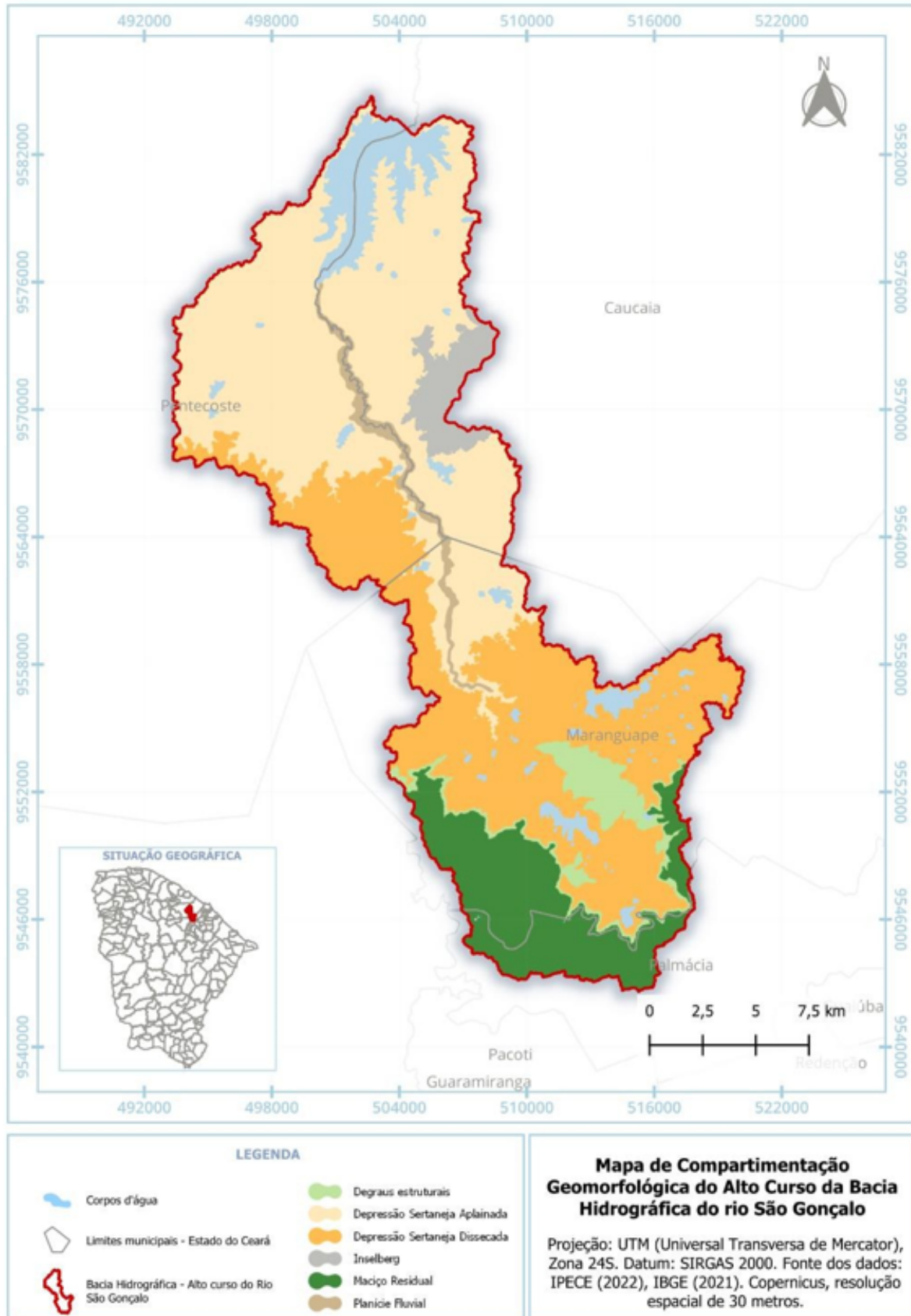
A rede hidrográfica apresenta um padrão denso e ramificado, com nascentes situadas nas áreas mais elevadas e drenagem orientada segundo as variações topográficas e estruturais, o que reforça a importância do relevo na dinâmica hidrológica da bacia (Tucci, 2002).

No contexto do mapeamento geomorfológico, a análise não se limita à identificação dos padrões de formas do relevo, sendo fundamental a incorporação de dados altimétricos e de declividade para a adequada identificação e caracterização das unidades geomorfológicas. Esses parâmetros permitem uma compreensão mais precisa da compartimentação do relevo e de sua dinâmica morfogenética.

Com isso, foi possível elaborar o mapa de compartimentação geomorfológica do alto curso da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo (Figura 5). A partir de uma análise integrada de dados altimétricos, morfodinâmicos e cartográficos, o mapeamento revela a complexidade fisiográfica da área e oferece subsídios importantes para estudos ambientais, hidrológicos e de ordenamento territorial.



FIGURA 5 – Mapa de compartimentação geomorfológica do alto curso da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo.



FONTE: própria (2025).



Conforme apresentado na Figura 5, a planície fluvial é representada pela cor marrom, essas áreas formam-se a partir da deposição de sedimentos oriunda da dinâmica fluvial, desenvolvendo-se ao longo dos cursos d'água e acompanhando seu traçado longitudinal. No contexto semiárido, essas áreas se destacam por apresentarem condições edáficas mais favoráveis e maior disponibilidade hídrica em comparação aos ambientes adjacentes. Segundo Souza (2000), as planícies fluviais representam importantes zonas de potencial natural, funcionando como ambientes excepcionais dentro das depressões sertanejas do semiárido.

Na área de estudo, as nascentes dos rios e riachos concentram-se majoritariamente no maciço residual de Baturité, bem como em inselbergs distribuídos na borda da bacia. Esses cursos d'água percorrem áreas de embasamento cristalino e, à medida que avançam para jusante, ampliam sua largura e favorecem a formação de uma planície aluvial mais expressiva.

As zonas de acumulação, muitas vezes inundáveis, correspondem a superfícies planas com ou sem cobertura arenosa, sujeitas a inundações periódicas, principalmente durante a estação chuvosa.

Conforme apresentado no mapa, o relevo da bacia hidrográfica exerce forte influência sobre a organização da drenagem e o regime pluviométrico local. Destacam-se, nesse contexto, a Serra do Boticário, Serra do Gigante e Serra do Boqueirão, que integram as escarpas do Maciço de Baturité e atuam como divisores naturais de águas, interferindo diretamente na dinâmica hídrica da região. O maciço residual, representado pela cor verde escuro, representa áreas elevadas e isoladas, como o Maciço de Baturité, com altitudes superiores a 700 m, resultantes da erosão diferencial sobre rochas resistentes. O maciço de Baturité (Figura 6) constitui um dos mais expressivos compartimentos de relevos elevados situados próximo ao litoral, de onde dista cerca de 80 km.

Desenvolve-se nas litologias metatexitos com protólito de composição granodiorítica a granítica com orientações NNE-SSW e altitudes que variam de 500 a 800m (Pitombeira et al., 2021). A disposição do relevo em virtude do deslocamento dos ventos condiciona a formação de chuvas orográficas na vertente oriental e nas cimeiras. A vertente ocidental, com chuvas mais escassas, apresenta condições ambientais que guardam semelhanças com as depressões sertanejas (Souza, 2000).

Os degraus estruturais (Figura 5), representados pela cor verde claro, são unidades em declive acentuado entre compartimentos altimétricos, associadas à dissecação de antigos planaltos. A depressão sertaneja dissecada, representada pela cor laranja,



representa um relevo movimentado com vales entalhados, associado à erosão fluvial intensa. Já a depressão sertaneja aplainada, na cor bege, representa áreas suavemente onduladas com dissecação menos intensa.

FIGURA 6 – Maciço de Baturité, distrito de Amanari, Maranguape.



FONTE: própria (2025).

Na área de estudo, essas depressões configuram superfícies encaixadas entre maciços residuais (Figura 7), com altitudes variando entre 50 e 200 metros e predominância de relevo suave ondulado em cotas mais baixas. Até os 100 metros de altitude, observa-se uma topografia essencialmente plana, enquanto entre 100 e 200 metros a declividade se torna mais acentuada, associada a superfícies de pedimentação moderadamente dissecadas.

As depressões sertanejas correspondem a superfícies de aplainamento desenvolvidas sobre rochas cristalinas, onde o processo erosivo atuou de forma generalizada sobre diferentes litologias. Sua morfologia é marcada por pedimentos inclinados que se estendem a partir das bases de maciços residuais, cristas residuais e inselbergs, apresentando declive voltado predominantemente em direção ao litoral. Essas áreas são caracterizadas por déficit hídrico acentuado, condição que favorece a dispersão da vegetação de caatinga (Souza, 2000).



FIGURA 7 – Depressão Sertaneja aplainada e, ao fundo maciço residual, distrito de Amanari, Maranguape.



FONTE: própria (2025).

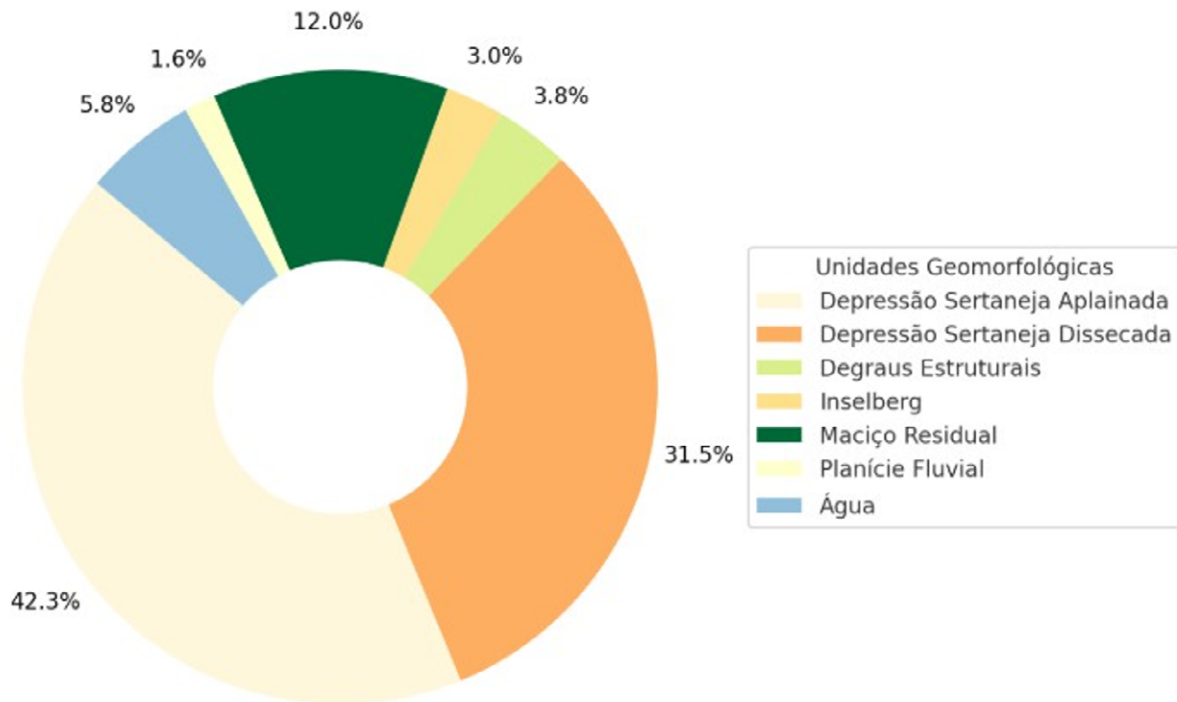
Inselbergs e cristas residuais encontram-se inseridos nessas depressões, sejam elas planas ou dissecadas. Esses elementos de relevo são pontuais e ocupam áreas relativamente pequenas. Assim como os maciços residuais, são produtos da erosão diferencial, preservando-se devido à maior resistência das rochas que os compõem. As cristas residuais, em especial, são associadas a Neossolos Litólicos e apresentam cobertura de vegetação típica da caatinga (Bandeira, 2020). Ambas as feições se destacam por suas encostas íngremes e presença de declividades classificadas como de forte ondulação.

Os inselbergs (cor cinza na Figura 5) correspondem aos morros isolados de topo arredondado ou aplainado, restos de formas mais resistentes à erosão.

Com isso, foi elaborado o Gráfico 1, para melhor exemplificar a quantidade em porcentagem de cada classe identificada no mapeamento anterior.



GRÁFICO 1 – Distribuição da compartimentação geomorfológica da área, em porcentagem.



FONTE: própria (2025).

Os resultados do mapeamento geomorfológico do alto curso da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo evidenciam uma predominância das unidades de Depressão Sertaneja Aplainada (42,3%) e Depressão Sertaneja Dissecada (31,5%), que juntas ocupam aproximadamente 3/4 da área total analisada.

As demais unidades distribuem-se de forma mais pontual, como o Maciço Residual (12,0%), os Degraus Estruturais (3,8%), os Inselbergs (3,0%) e a Planície Fluvial (1,6%). As áreas de corpos hídricos representadas por açudes e pequenos reservatórios, abrangem cerca de 5,8% da bacia. Essa compartimentação, possibilitada pelo uso do Modelo Digital de Superfície e ferramentas SIG, reforça a heterogeneidade geomorfológica da região, refletindo diferentes processos de modelagem e controle estrutural do relevo.

No quadro 1 são apresentadas as principais formas de relevo e suas características na sub-bacia do alto curso do rio São Gonçalo. O quadro reúne informações sobre as formas morfoestruturais, os compartimentos do relevo, os processos de morfogênese e as feições resultantes, destacando como a estrutura geológica e os agentes de modelagem atuam na configuração da paisagem dessa região hidrográfica.



QUADRO 1 - Relevo: Estrutura, Compartimentação e Morfogênese da área.

FORMAS MORFOESTRUTURAIS	COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO	MORFOGÊNESE	FEIÇÕES DO RELEVO
Escudos e Maciços Antigos / Pré- Cambrianos	Maciço Residual do Maciço de Baturité	Erosão diferencial sobre rochas cristalinas e tectonismo antigo	Relevo elevado, vertentes íngremes, convexo, drenagem entalhada e formas aguçadas
Escudos e Maciços Antigos / Pré- Cambrianos	Degraus Estruturais	Diferentes fases de soerguimento e erosão ao longo de milhões de anos	Feições geomorfológicas escalonadas resultantes da erosão diferencial sobre distintos tipos de rochas
Escudos e Maciços Antigos / Pré- Cambrianos	Depressão Sertaneja Dissecada	Erosão fluvial intensa e intemperismo físico	Vales encaixados, interflúvios convexos, relevo movimentado
Escudos e Maciços Antigos / Pré- Cambrianos	Depressão Sertaneja Aplainada	Rebaixamento e erosão moderada	Superfícies suavemente onduladas, drenagem menos entalhada
Escudos e Maciços Antigos / Pré- Cambrianos	Inselbergs	Erosão diferencial e resistência litológica	Morros isolados, topos arredondados ou tabulares, encostas íngremes
Superfícies Cenozóicas	Planície Fluvial do rio São Gonçalo	Acumulação de sedimentos fluviais recentes	Superfícies planas, margens de rios, solos férteis e suscetíveis à inundação sazonal

FONTE: própria (2025).

Assim, o Alto Curso da Bacia Hidrográfica do rio São Gonçalo constitui uma área ambientalmente estratégica, tanto por sua diversidade fisiográfica quanto por sua relevância hídrica e ecológica. A compreensão integrada desses elementos é fundamental para o planejamento territorial e para a conservação dos recursos naturais presentes na região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do mapeamento geomorfológico do alto curso da bacia hidrográfica do rio São Gonçalo evidenciou a importância da análise do relevo como elemento-chave para a compreensão dos processos naturais em regiões semiáridas. A utilização de geotecnologias, especialmente os dados altimétricos do MDS Copernicus e os recursos



oferecidos pelos softwares QGIS e ArcGIS, demonstrou-se eficaz para a identificação e delimitação das unidades geomorfológicas predominantes, mesmo em áreas com escassez de estudos detalhados.

A compartimentação do relevo permitiu reconhecer a diversidade de formas e processos morfogênicos que caracterizam a paisagem da bacia, como maciços residuais, serras, planaltos dissecados, depressões sertanejas e planícies fluviais. Essa variabilidade geomorfológica influencia diretamente os padrões de drenagem, uso do solo e dinâmica ambiental local, sendo fundamental para orientar ações de planejamento territorial e gestão sustentável dos recursos naturais.

Além disso, a abordagem metodológica adotada, pautada no uso de geotecnologias de livre acesso e na interpretação integrada da paisagem, reforça o potencial das ferramentas de geoprocessamento como aliadas da pesquisa geográfica e da produção de conhecimento aplicado. O estudo reafirma a relevância da cartografia geomorfológica para o diagnóstico ambiental em escala local, subsidiando políticas públicas voltadas à conservação, uso racional do território e mitigação de riscos naturais.

Assim, conclui-se que a análise geomorfológica, especialmente quando aplicada ao contexto de bacias hidrográficas, constitui uma base sólida para a leitura integrada da paisagem e o desenvolvimento de estratégias voltadas ao manejo ambiental sustentável, sobretudo em regiões vulneráveis como o semiárido cearense.

Agradecimentos:

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/Brasil).



REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- BANDEIRA, T. V. **Análise Geoambiental do Município de Guaiúba/CE: Enfoque na compreensão do estado de degradação e conservação da cobertura vegetal**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2020, 195 f.
- BARBOSA, F. F.; RODRIGUES, S. C. Geomorfologia do semiárido brasileiro: formas residuais e evolução morfoestrutural. **Revista Geografia**, v. 40, n. 2, p. 55–74, 2015.
- CEARÁ. **Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH**. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica Metropolitana. Fortaleza: SRH, 2017.
- COGERH. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Sistema de Informações dos Recursos Hídricos do Ceará – SIRH**. Fortaleza: COGERH, 2022. Disponível em: <https://www.cogerh.ce.gov.br>. Acesso em: 14 jul. 2025.
- FUNCEME. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos do Estado do Ceará** [livro eletrônico]. Fortaleza, CE: Coletivo Duas Catitas, 2024.
- OLIVEIRA, Í. P.; ALMEIDA, I. C.; SOUZA, J. N. S.; Potencialidades de Aproveitamento Hídrico no Alto Curso da Bacia do Rio São Gonçalo - CE. In: Medeiros, C. N. de; Gomes, D. D. M.; Albuquerque, E. L. S.; Cruz, M. L. B. da (Org.). **Recursos Hídricos do Ceará: Integração, Gestão e Potencialidades**. Fortaleza: IPECE, v. 1, p.11-249, 2011.
- PITOMBEIRA, J. P. A.; AMARAL, W. S.; SANTOS, T. J. S.; DANTAS, E. L.; FUCK, R. A. **A new record of continental arc magmatism in the Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil): evidence from the Pacatuba Maranguape Complex**. Precambrian Research, v. 359, p. 1-28, 2021.
- RODRIGUES, S. C.; BACANI, V. M. Geossistemas e compartimentação do relevo: abordagens para análise ambiental integrada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 67–78, 2013a.
- RODRIGUES, V. A.; BACANI, V. M. Análise morfométrica da microbacia do Ribeirão das Araras – SP, com o uso de geotecnologias. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, 21(1), 25–37, 2013.
- ROSS, J. L. S. **Geografia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 1992.
- SILVA, L. M.; SANTOS, F. R.; LIMA, T. A. Estruturação ambiental do Maciço de Baturité: relevo, vegetação e clima. **Revista Territórios**, v. 10, n. 2, p. 121–140, 2021.
- SILVANETO, R. F. **Brejos de altitude do Nordeste do Brasil: biodiversidade, geodiversidade e conservação**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2020.
- SOUZA, M. F.; MENEZES, J. R.; ALMEIDA, D. L. Processos morfogenéticos em ambientes semiáridos: dinâmicas erosivas e compartimentação do relevo. **Revista GeoNordeste**, v. 29, n. 2, p. 95–112, 2018.
- SOUZA, M. J. N. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. In: Lima, L. C.; Souza, M. J. N.; Moraes, J.O. **Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, p. 5-104, 2000.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2002.
- ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. Considerações sobre o Clima e a Hidrografia do Maciço de Baturité. In: Bastos, F. H. B. (Org.). **Serra de Baturité: uma visão integrada das questões ambientais**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, p. 61–75, 2011.



CONTEXTO GEOMORFOLOGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA RIACHO TALHADA - SERTÃO DE ALAGOAS

Vinicius Valdir dos Santos ¹

Wagner Valdir dos Santos ²

PALAVRAS-CHAVE: Geomorfologia; Bacia Hidrográfica; Semiárido;
Processos Erosivos.

RESUMO

Este estudo analisa a geomorfologia da bacia hidrográfica do Riacho Talhada, no sertão semiárido de Alagoas, utilizando ferramentas de geoprocessamento (QGIS e Google Earth Pro) e dados cartográficos. A pesquisa identificou feições como inselbergs, cimeiras, morros, encostas e pedimentos, destacando sua influência na dinâmica hídrica e vulnerabilidade ambiental. Os resultados revelaram que o relevo, moldado por processos erosivos intensos e clima semiárido, condiciona o escoamento superficial e a infiltração, enquanto a ocupação humana agrava a degradação do solo. A análise demonstrou a eficácia das técnicas geoespaciais para mapeamento e planejamento territorial, além de subsidiar estratégias de gestão sustentável. Conclui-se que a integração de estudos geomorfológicos com aspectos hidrológicos e socioeconômicos é essencial para mitigar impactos ambientais e garantir a segurança hídrica na região.

¹ Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual do Paraná - Unioeste, vinicius_vinix5@hotmail.com

² Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual do Paraná - Unioeste, wagner_santos.valdir@hotmail.com



INTRODUÇÃO

O estudo das bacias hidrográficas como unidades de análise espacial tem se consolidado como abordagem fundamental para a compreensão das interações entre os elementos naturais e antrópicos da paisagem. Nesse contexto, a geomorfologia desempenha papel central, ao permitir a identificação, caracterização e interpretação das formas de relevo e dos processos atuantes na superfície terrestre. De acordo com Ross (1992), a análise geomorfológica é essencial para a compreensão do espaço geográfico, visto que o relevo condiciona o comportamento dos sistemas hidrológicos, influencia o uso e ocupação do solo, e participa da dinâmica ambiental como um todo.

Christofoletti (1980) destaca que o estudo integrado das bacias hidrográficas deve considerar os aspectos morfométricos, estruturais e funcionais, visando compreender como os diferentes compartimentos do relevo interferem na drenagem e nos fluxos hídricos. No semiárido brasileiro, caracterizado por elevadas taxas de evaporação, chuvas irregulares e solos pouco desenvolvidos, esses fatores ganham ainda mais relevância, uma vez que condicionam a vulnerabilidade ambiental e os limites da sustentabilidade local (Ab'Sáber, 1999).

A bacia hidrográfica do Riacho Talhada, localizada no sertão de Alagoas, constitui um espaço de grande interesse para estudos geomorfológicos por sua representatividade no contexto semiárido. A região apresenta feições morfológicas típicas desse ambiente, como inselbergs, pedimentos e cimeiras, que resultam da atuação prolongada de processos erosivos, tectônicos e climáticos regionais. Nesse cenário, torna-se imprescindível realizar um levantamento detalhado das formas do relevo e compreender a sua relação com os processos hidrológicos e com as atividades humanas. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar a geomorfologia da bacia hidrográfica do Riacho Talhada, com ênfase na identificação de feições geomorfológicas e na interpretação de sua influência sobre a dinâmica ambiental da bacia. A pesquisa utiliza bases cartográficas, imagens de satélite e ferramentas de geoprocessamento, como o QGIS e o Google Earth Pro, permitindo uma abordagem integrada e espacialmente detalhada do território estudado.

METODOLOGIA

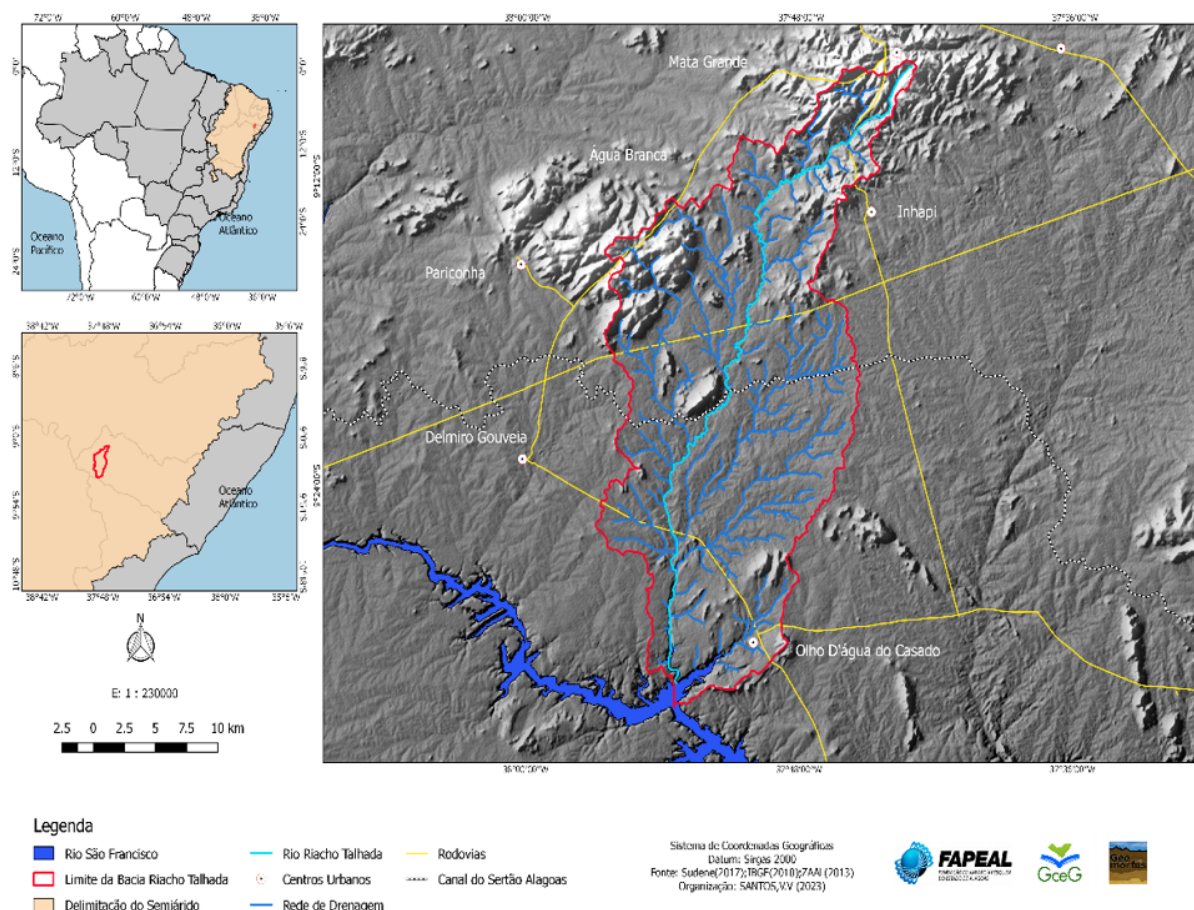
Localização da Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Riacho Talhada está localizada no Sertão de Alagoas, especificamente na região do Agreste Alagoano tem uma área de aproximadamente 626,9 km² e pertence a região hidrográfica do Talhada. Abrange os municípios de Olho d'Água do Casado, Água Branca, Delmiro Gouveia, Mata Grande e Inhapi. Trata-se de uma região semiárida, com pouca vegetação e altas temperaturas ao longo do ano. A



topografia da microbacia é marcada por serras, chapadas e vales, com elevações que variam entre 200 e 800 metros acima do nível do mar. O principal curso d'água da microbacia é o Riacho Talhada, que apresenta baixo fluxo hídrico na maior parte do ano devido aos períodos de estiagem. Situa-se entre as latitudes 9° 12' 00" e 9° 24' 00" sul do equador e as longitudes de 38° 00' 00" e 37° 48' 00" oeste de Greenwich (Figura 1).

FIGURA 1 - Mapa de Localização da área de estudo.



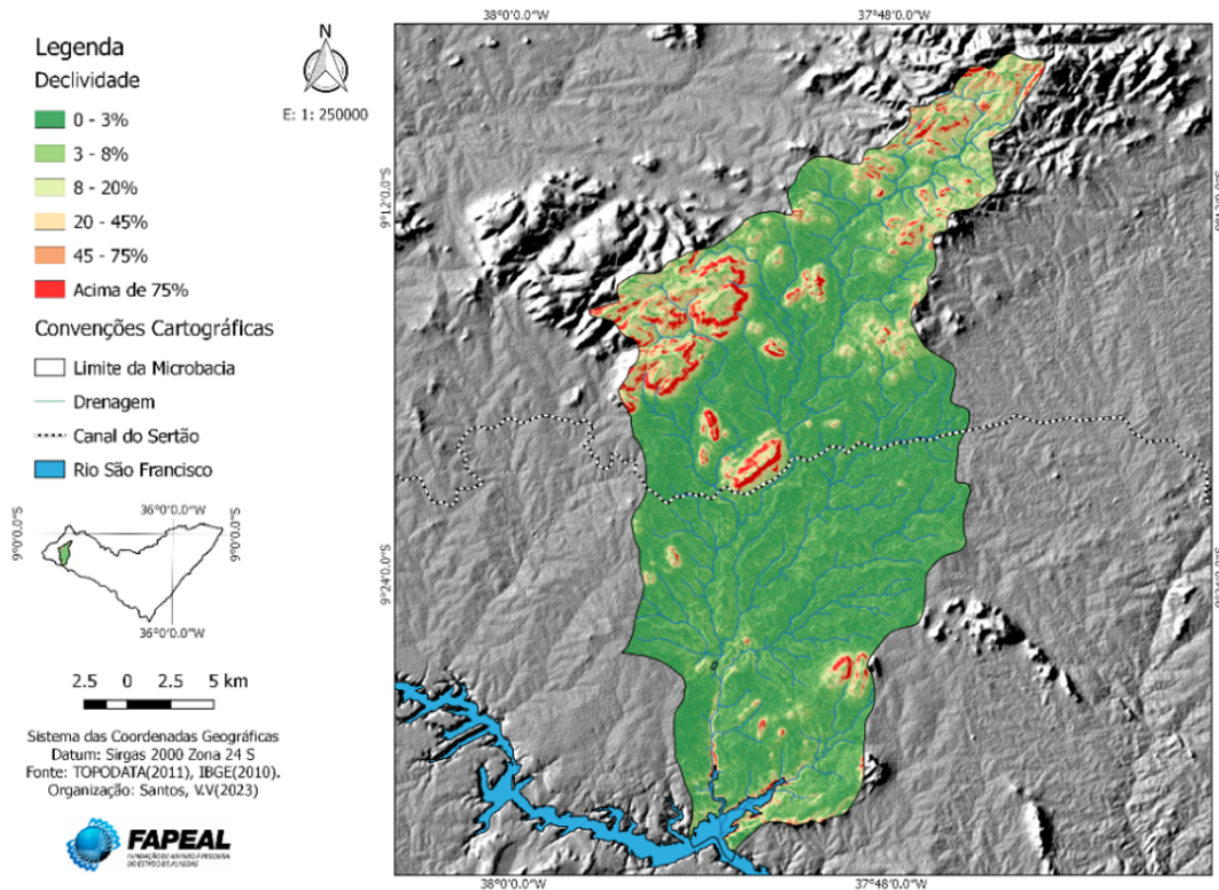
FONTE: própria (2025).

Em uma área de terrenos áridos, com clima semiárido a bacia hidrográfica Riacho Talhada (AL) possui também como característica física o relevo acidentado, com grande variação altimétrica, com morros, serras e vales profundos. Nas partes mais baixas da bacia podem ocorrer áreas alagáveis, tais como brejos e lagoas temporárias. Na Figura 2 podemos observar a medida de inclinação da superfície em relação ao horizonte. Já na Figura 3 pode-se observar o mapa de hipsometria no qual analisamos altitude ou elevação da superfície na bacia hidrográfica em questão. Ela está inserida entre os maciços estruturais de Água Branca e Mata Grande, ambos com altitude acima de 600 m e declividade entre 3% acima 75%, e a depressão sertaneja. Esses dados fornecem uma



descrição dos modelados descritos nos mapas a seguir. A declividade e a hipsometria são duas variáveis importantes na análise e planejamento do ambiente natural e construído, permitindo a identificação de áreas de risco, bem como de oportunidades de desenvolvimento de infraestrutura e uso do solo.

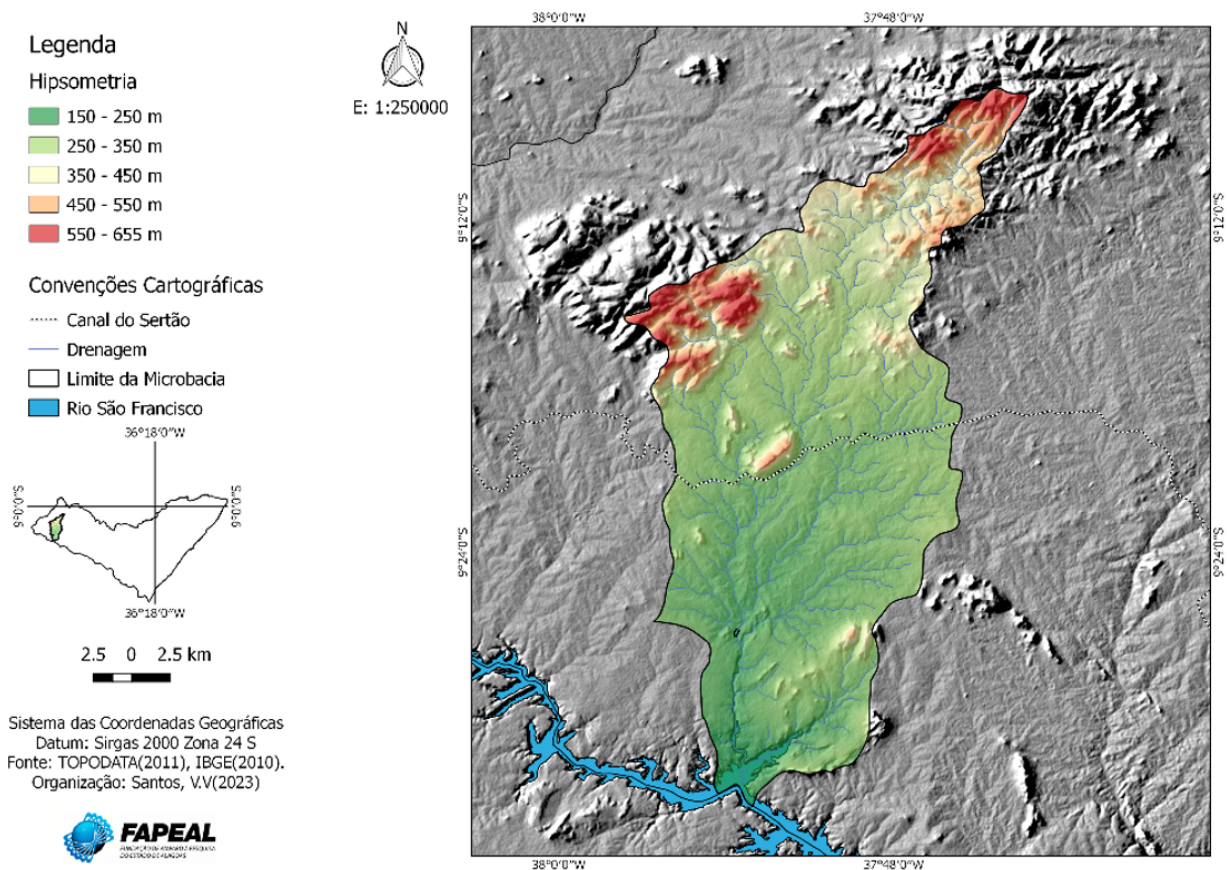
FIGURA 2 - Mapa de Declividade da bacia Riacho Talhada.



FONTE: própria (2025).



FIGURA 3 - Mapa Hipsométrico da bacia Riacho Talhada.



FONTE: própria (2025).

A hipsometria indica a distribuição espacial das diferentes altitudes dentro da bacia hidrográfica, onde através de tons de cores do vermelho ao verde classificados por metros (m) conseguimos identificar onde estão as áreas mais elevadas e áreas mais baixas. Da mesma maneira no mapa de declividade, porém no mapa de declividade ele apresenta as áreas com maior ou menor declive através de grau de porcentagem (%), através dos mapas de hipsometria e declividade se a área apresentar uma hipsometria ou declividade acentuada isso pode aumentar a velocidade do escoamento de água, aumentando o risco de enchentes e erosões no local.



DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.

A parte inicial do trabalho foi a delimitação da área territorial da bacia hidrográfica Riacho Talhada, localizada no semiárido de Alagoas, a bacia é uma opção interessante para trabalhar a geomorfologia em bacias hidrográficas em ambiente semiárido. De acordo com Ross (1992), a análise geomorfológica é fundamental para a compreensão da organização do espaço natural, especialmente em áreas de clima semiárido, onde a atuação dos processos exógenos é intensificada pela escassez hídrica e pela fragilidade do solo, o que influencia diretamente a dinâmica ambiental da bacia.

Para delimitar bacia hidrográfica Riacho Talhada, foi necessário utilizar imagens de satélite e mapas. O processo de delimitação da bacia hidrográfica foi feito por meio do software QGIS e Google Earth Pro, e com o suporte do bando de dados TOPODATA, SUDENE, SEMAH AL, ANA, IBGE, EMBRAPA e entre outros permitiram a criação de modelos digitais do terreno e a identificação das unidades geomorfológicas.

- A. QGIS** - O QGIS 2.18 é um software livre, de código aberto, que é amplamente utilizado para trabalhos de geoprocessamento e análise geoespacial. Ele oferece uma variedade de ferramentas e recursos para criação, edição e análise de mapas, assim como para a importação e gerenciamento de dados espaciais de diferentes fontes. Uma das principais vantagens do QGIS 2.18 é sua capacidade de lidar com diversos tipos de dados, tanto vetoriais quanto raster, incluindo formatos comuns, como o shapefile e o TIFF.

- B. Google Earth Pro** - O Google Earth Pro é uma ferramenta poderosa e versátil que pode ser útil para uma ampla variedade de trabalhos. O Google Earth Pro permite visualizar cenários hipotéticos de desenvolvimento urbano, identificar problemas e oportunidades em áreas específicas e avaliar questões relacionadas a infraestrutura, mobilidade e meio ambiente. É possível criar e analisar mapas temáticos, combinar dados georreferenciados de diferentes fontes e realizar análises espaciais mais complexas, como modelagem de relevo e superfícies tridimensionais.



Levantamentos de Bases de Dados Cartográficos e Elaboração dos Mapas

A metodologia inicial usada para a elaboração dos mapas bases e mapas temáticos da bacia hidrográfica Riacho Talhada foram desenvolvidas no Software QGIS e dividida nas seguintes etapas:

- A. Coleta de dados:** Para criar mapa da bacia hidrográfica Riacho Talhada, foi feita coletar dados relevantes, como dados de elevação, linhas de água, limite da bacia hidrográfica, solo, vegetação, clima e entre outros. Esses dados foram obtidos a partir de diversas fontes, tendo como principais as: SUDENE (2017), IBGE (2010), ZAAL (2013), TOPODATA (2011), EMBRAPA (2013) e SEMARH (2007).
- B. Preparação de dados:** Após coletar os dados, os memos foram preparados para a criação do mapa. Isso incluiu a conversão de formatos, recorte de áreas específicas, ajuste de projeção, entre outros. Desse modo, se estabeleceu o mapa base da bacia hidrográfica do Riacho Talhada.
- C. Geração de layout:** Por último, foi gerado o layout do mapa, no qual as dimensões, a escala e os elementos dos mapas seguiram um padrão nos Sistemas de Coordenadas Geográficas de ambos foram Datum: Sirgas 2000, Zona 24 S e em escala 1:250000.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Geomorfologia da Bacia Hidrográfica Riacho Talhada- AL

A Geomorfologia desempenha um papel fundamental na compreensão da vulnerabilidade ambiental. Através dessa disciplina, é possível estudar, identificar e analisar os processos e formas presentes no relevo terrestre. De acordo com Montgomery (2007), a geomorfologia é essencial para entender os processos naturais que moldam o relevo, bem como as interações humanas, possibilitando a avaliação dos riscos e potenciais impactos ambientais. Segundo Van Westen (2010), a análise geomorfológica aplicada às áreas de risco é fundamental para compreender as formas de relevo e os processos associados, permitindo identificar as zonas mais suscetíveis a movimentos de massa, inundações e outros eventos naturais. Essa abordagem fornece



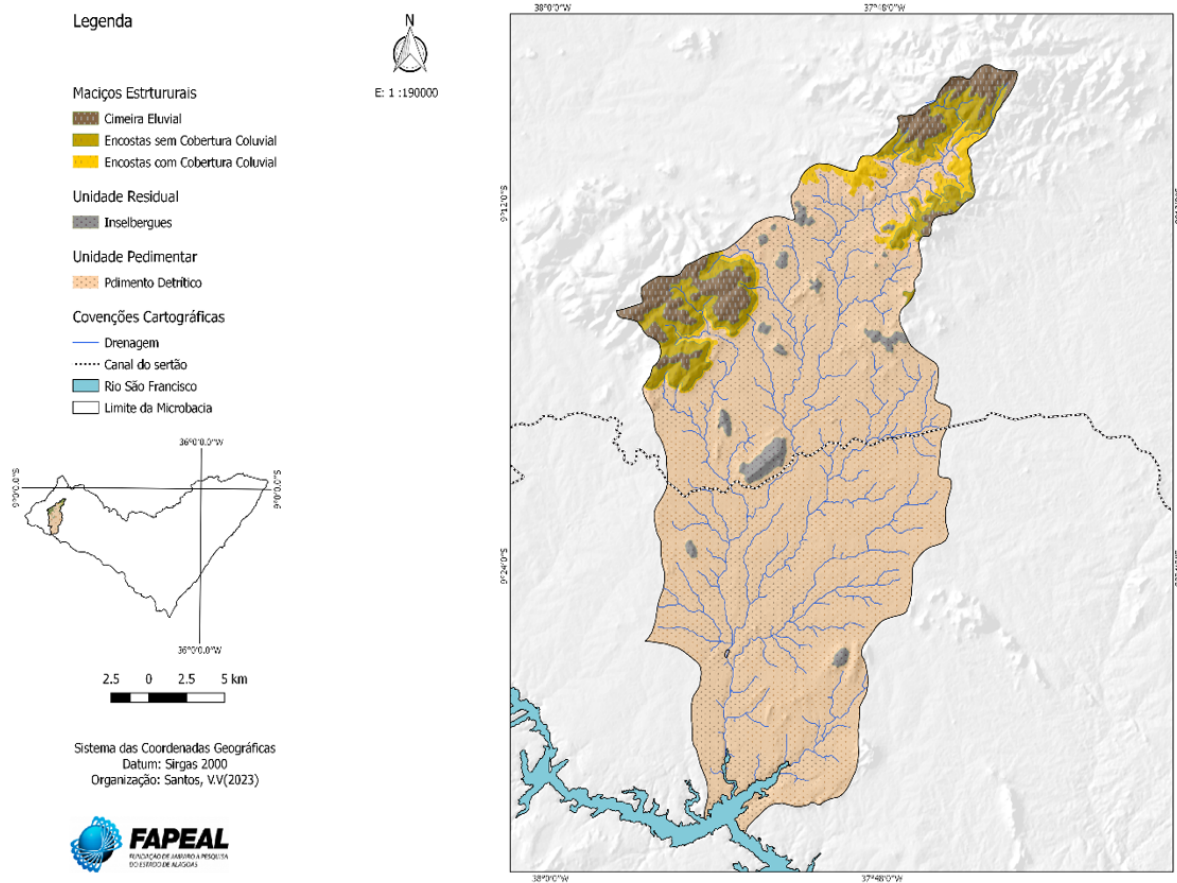
subsídios essenciais para o planejamento territorial e para a redução da vulnerabilidade socioambiental. Hooke (2000), a geomorfologia é relevante para a identificação de áreas propensas à erosão e ao assoreamento de rios e corpos d'água. O conhecimento dos processos erosivos é fundamental para a conservação dos recursos hídricos e prevenção de enchentes, possibilitando a proposição de medidas de manejo e recuperação de áreas degradadas.

A geomorfologia do semiárido de Alagoas é caracterizada pela presença de relevos diversos, como inselbergs, morros, chapadas e vales. Nessa região, a ação dos agentes erosivos, como a água e o vento, é intensa, modelando o terreno e moldando as paisagens. Segundo Ferreira et al. (2017), o Sertão de Alagoas é caracterizado por um relevo predominante de formas tabulares, onde se destacam os chapadões e as Serras do Sertão. Essas formações são resultado da atuação de processos erosivos ao longo do tempo, como a ação das águas pluviais e o intemperismo. Roque (2014) enfatiza a importância do processo de incisão dos rios para a morfologia do Sertão de Alagoas. Segundo o autor, a escassez de chuvas na região e a alta taxa de evaporação contribuem para a formação de rios de regime intermitente, que apresentam poucas cheias ao longo do ano.

Durante a exploração recente na bacia hidrográfica do Riacho Talhada – AL, pode-se constatar a presença de algumas feições geomorfológicas, a variedade e singularidade dessas formações revelaram um cenário da interação entre as forças naturais ao longo do tempo. Entre as feições encontradas estavam Inselbergs, Pedimento dendrítico, Cimeira Eluvial, Encostas e entre outros. Essas formações geológicas são testemunhas de processos tectônicos que ocorreram milhões de anos atrás, moldando a paisagem atual e criando desafios únicos para a formação dos cursos d'água na região. Na Figura 4 conseguimos observar como estão divididas as feições geomorfológicas da bacia e onde está inserida cada unidade de determinada feição e como ela influencia no comportamento hidrológico da bacia.



FIGURA 4 - Mapa geomorfológico da bacia Riacho Talhada.



FONTE: própria (2025).

Fragmentos Geomorfológicos

Inselberg

A feição geológica denominada inselberg é um relevo caracterizado por colinas que se destaca isoladamente em terrenos planos ou suavemente ondulados, sendo comum encontrá-la em áreas de clima árido a semiárido. A erosão diferencial é um mecanismo central na gênese de inselbergs, formas residuais elevadas resultam da exposição de blocos ou núcleos de rocha mais resistentes, enquanto o material circundante é removido por intemperismo e erosão (Römer et al., 2007). Na Figura 5, observamos um inselberg que fica na localização $9^{\circ}20'31,31''S$ e $37^{\circ}52'9,51''O$, a feição está no centro da bacia hidrográfica e situa-se próximo ao canal principal.



FIGURA 5 - Inselberg da Bacia Hidrográfica Riacho Talhada – AL.



FONTE: Google Earth. Elaboração própria (2025).

Cimeira

A cimeira é uma forma elevada de terreno que funcionam como divisores de bacias hidrográficas e determina a direção do escoamento de água. Segundo Christofolletti (1999, p. 64), a cimeira é a “parte mais alta do divisor de água de uma região”. Ela é responsável por definir para onde a água fluirá, caindo em direção às diferentes vertentes. Segundo Guerra (2011, p. 76), “a topografia de uma cimeira varia de abrupta a levemente inclinada na direção das vertentes”. Isso significa que a inclinação da cimeira pode variar de acordo com a região e os processos de formação do relevo. Essa inclinação é fundamental para a determinação do fluxo das águas e para a direção do escoamento superficial. A cimeira da bacia hidrográfica do riacho Talhada está localizada em $9^{\circ}17'24,14''S$ e $37^{\circ}54'50,49''$. Como se pode observar na Figura 6, ela fica localizada na parte superior do lado esquerdo da bacia, contendo também áreas urbanas em sua delimitação.

FIGURA 6 - Cimeira da Bacia Hidrográfica Riacho Talhada – AL.



FONTE: Google Earth. Elaboração própria (2025).

Morros



Morro é uma forma de relevo bastante comum encontrado em várias regiões, inclusive nas delimitações da área de estudo. Segundo Ross (1992), o morro pode ser definido como uma forma de relevo caracterizada por elevações isoladas ou agrupadas, geralmente com encostas convexas e topos arredondados, resultantes de processos de dissecação em áreas cristalinas. Ross (1992), complementa dizendo que os morros são constituídos por rochas sedimentares ou rochas ígneas altamente resistentes à erosão, o que contribui para a sua formação. O autor enfatiza que essas elevações podem ocorrer isoladamente ou em conjuntos, formando colinas e serras. Na imagem (Figura 7), localizada nas coordenadas $9^{\circ}19'12,44''\text{S}$ e $37^{\circ}53'41,71''\text{O}$, vê-se um dos morros encontrados na área de estudo, o mesmo fica próximo ao Inselberg.

FIGURA 7 - Morro da Bacia Hidrográfica Riacho Talhada – AL.



FONTE: Google Earth. Elaboração própria (2025).

Encosta

Encostas são superfícies inclinadas do relevo presentes em diversas regiões do mundo. Segundo Guerra (2015), elas correspondem a vertentes que variam em grau de declividade e estão diretamente associadas à dinâmica dos processos geomorfológicos. Essas áreas são constantemente modificadas pela ação do intemperismo e da erosão, que atuam no desgaste das vertentes. De acordo com Sears (2004), tais processos naturais são fundamentais para a modelagem das encostas, sendo responsáveis pela formação de vales, ravinas e escarpas. Conforme observado por Guerra (2007), as encostas podem ser suaves e pouco inclinadas, formando colinas, ou podem ser íngremes e escarpadas, formando serras e montanhas. A encosta está localizada em $9^{\circ}16'3,53''\text{S}$ e $37^{\circ}54'10,69''\text{O}$. As encostas moldam os canais fluviais e em tempos de chuva ajudam a encher o canal principal através dos afluentes que desaguam no canal principal (Figura 8).

FIGURA 8 - Encostas da Bacia Hidrográfica Riacho Talhada – AL.



FONTE: Google Earth. Elaboração própria (2025).

Unidade Pedimentar

O relevo pedimentar é caracterizado por uma superfície plana, inclinada suavemente, que, geralmente, se estende desde a base de montanhas ou escarpas em direção a um curso d'água. Essa forma de relevo é comumente encontrada em áreas de clima árido ou semiárido, onde a erosão é um processo predominante. De acordo com Penteado (2014, p. 158), o pediplano é um relevo que se forma a partir da erosão e deposição de sedimentos, resultando em uma superfície plana que permite o desenvolvimento de processos de pedogênese. Situada em quase toda a parte inferior da bacia e próximo a sua foz ($9^{\circ}24'39,83''S$ e $37^{\circ}49'35,27''O$), a unidade pedimentar se faz presente em grande parte da bacia (Figura 9).

FIGURA 9 - Unidade Pedimentar da Bacia Hidrográfica Riacho Talhada – AL.



FONTE: Google Earth. Elaboração própria (2025).



Essas são as feições geomorfológicas encontradas na bacia hidrografia do Riacho Talhada- AL. A geomorfologia é de extrema importância no sertão de Alagoas. Estudar e entender as formas de relevo presentes nessa região ajuda a entender o comportamento da bacia hidrográfica, como, por exemplo, definir as áreas mais propícias para a agricultura, identificar os locais onde a escassez hídrica é maior, como também contribui para o estudo da história geológica e evolução do sertão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização das unidades geomorfológicas, como inselbergs, cimeiras, pedimentos, encostas e morros, revelou a complexidade estrutural e funcional do território, evidenciando como os processos naturais, aliados à ação antrópica, moldam a paisagem e interferem diretamente na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos.

A utilização de ferramentas de geoprocessamento, como o QGIS e o Google Earth Pro, somada à análise de bases cartográficas e imagens de satélite, mostrou-se eficaz para a delimitação da bacia e para a representação espacial das unidades do relevo. Esses recursos facilitaram a interpretação das relações entre forma, processo e estrutura, elementos fundamentais na compreensão das dinâmicas geomorfológicas.

Verificou-se que a geomorfologia da bacia está fortemente condicionada pelas características climáticas do semiárido, pelas formações geológicas e pela ocupação do solo. As feições observadas refletem a longa atuação de processos erosivos, intensificados por eventos de chuva concentrada e pela fragilidade dos solos, o que contribui para a degradação ambiental e para a intensificação da vulnerabilidade hídrica.

Assim, a análise geomorfológica da bacia do Riacho Talhada não apenas contribui para o conhecimento científico da região, mas também serve de subsídio para ações de planejamento territorial, conservação ambiental e gestão sustentável dos recursos naturais. Recomenda-se, portanto, o aprofundamento de estudos integrados que considerem aspectos hidrológicos, pedológicos, climáticos e socioeconômicos, a fim de promover estratégias eficazes de uso e manejo da bacia em benefício das populações locais e da preservação ambiental.



REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 4. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 1999.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- EMBRAPA. Geoinfo — repositório/dados espaciais (catálogo de geodados e metadados). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 2013. Disponível em: <https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/>. Acesso em: 19 set. 2025.
- FERREIRA, R. O.; et al. Geomorfologia do Sertão de Alagoas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.18, n. 2, p. 327341, 2017.
- GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: fundamentos, métodos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24385/24385_5.PDF. Acesso em: 19 set. 2025.
- GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.
- HOOKE, R. L. **Geomorphology and environmental management**. Chichester: Wiley, 2000.
- IBGE. **Malhas territoriais — Malha municipal (representação da divisão político-administrativa do Censo 2010)**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 19 set. 2025.
- MONTGOMERY, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 33, p. 1326813272, 2007.
- PENTEADO, F. A. **Geomorfologia**. 12. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2014.
- RÖMER, W. Differential weathering and erosion in an inselberg landscape in southern Zimbabwe: a morphometric study and some notes on factors influencing the long-term development of inselbergs. **Geomorphology**, v. 86, n. 3, p. 349368, 2007.
- ROQUE, P. L. **Processos fluviais e a formação da paisagem no sertão de Alagoas**. Maceió: Instituto Geográfico e Cartográfico de Alagoas, 2014.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da compartimentação do relevo brasileiro: o modelo dos grandes domínios morfoestruturais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 6374, 1992.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1992.
- SEMARH (AL). **Regiões Hidrográficas e Bacias Hidrográficas do Estado de Alagoas** [shapefile]. Maceió: Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH, 2007. Disponível em: <https://dados.al.gov.br/catalogo/dataset/regioes-hidrograficas-e-bacias-hidrograficas-do-estado-de-alagoas/resource/e8b0a03f-8ae9-4ef9-b8f2-f9e5b6f73544>. Acesso em: 19 set. 2025.
- SOUZA, J. C. de. **Encostas: processos geomorfológicos e riscos naturais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24385/24385_5.PDF. Acesso em: 19 set. 2025.
- SUDENE. **SIGMapas: plataforma de dados georreferenciados**. Brasília: Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/assuntos/sigmapas>. Acesso em: 19 set. 2025.
- TOPODATA — **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. São José dos Campos**: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE; Projeto TOPODATA, 2011. Disponível em: <https://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 19 set. 2025.
- VAN WESTEN, C. J. GIS for the assessment of risk from geomorphological hazards. In: ALCÁNTARAAYALA, Irasema; GOUDIE, Andrew S. (orgs.). **Geomorphological Hazards and Disaster Prevention**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. p. 205220.
- ZAAL. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas**. ARAÚJO FILHO, J. C. de; SANTOS, J. C. P. dos; PARAHYBA, R. da B. V.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; BARROS, A. H. C.; MARQUES, F. A.; AMARAL, A. J. do. **Zoneamento agroecológico do Estado de Alagoas. Recife: Embrapa Solos**, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1003944/zoneamento-agroecologico-do-estado-de-alagoas>. Acesso em: 19 set. 2025.