

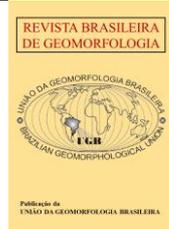


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 26, nº 1 (2025)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbgeomorfologia.v26i1.2561>



Artigo de Pesquisa

Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná com método de classificação digital de padrões de formas de relevo

Geomorphological mapping of the state of Paraná with digital classification method of landform patterns

Claudinei Taborda da Silveira ¹, Ricardo Michael Pinheiro Silveira ², Willian Bortolini ³, Victor Pierobom de Almeida ⁴

¹ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Curitiba, Brasil. E-mail: claudineits@ufpr.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6289-6306>

² Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geologia, Curitiba, Brasil. E-mail: ricardomichael@ufpr.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5664-7079>

³ Universidade Estadual do Centro-Oeste, Departamento de Geografia, Guarapuava, Brasil. E-mail: willianbortolini@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1164-1239>

⁴ Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geografia, Curitiba, Brasil. E-mail: pierobomvictor@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7615-9323>

Recebido: 21/03/2024; Aceito: 17/02/2025; Publicado: 20/03/2025

Resumo: É apresentado o método de classificação digital de padrões de formas do relevo que foi aplicado no mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. Foi utilizado um Modelo Digital do Terreno (MDT) para a obtenção de três variáveis: 1) amplitude altimétrica (AA), 2) média da declividade (MD) e 3) índice de posição topográfica (IPT), que foram combinadas para a classificação compatível com o quarto táxon geomorfológico, na escala 1:100.000. Foram obtidas 16 classes de padrões de formas do relevo: Colinas Suaves; Colinas; Colinas Onduladas; Feições dissecadas entre colinas; Morrotes; Morros; Morros Dissecados; Morros Elevados; Morros Alongados Estruturais; Serras Montanhosas Baixas; Serras Montanhosas Altas; Serras de Bordas de Planaltos; Patamares Estruturais e Cânions; Planície Fluviomarina; Planície Fluvial e Rampas Coluvionares, que resultaram na distinção de 226 unidades de padrões de formas de relevo no Paraná. O método foi condizente à escala, às características geomorfológicas, à representação pretendida e, depois de submetido à verificação de campo com a coleta de 225 pontos em 8.000km percorridos, demonstrou fidedignidade com o nível de representação desejado, cuja exatidão global do mapeamento foi de 89,71%, com ligeiro predomínio de áreas superestimadas (5,76%) se comparadas às áreas subestimadas (4,53%), denotando a exequibilidade do método.

Palavras-chave: cartografia geomorfológica; classificação digital; padrões de formas do relevo; geomorfometria; mapeamento geomorfológico do Paraná.

Abstract: The digital classification method of landform patterns that was applied in the geomorphological mapping of the State of Paraná is presented. A Digital Terrain Model (MDT) was used to obtain three variables: 1) altimetric amplitude (AA), 2) average slope (AS) and 3) topographic position index (TPI), which were combined for classification compatible with the fourth geomorphological taxon, at a scale of 1:100,000. Sixteen classes of landform patterns were obtained: Flat Low Hills; Low Hills; Steep Low Hills; Terrain dissected between hills; Hills; High Hills; Dissected Hills; Steep High Hills; Elongated Structural Hills; Low Mountains; High Mountains; Plateau Edges; Structural Plateaus and Canyons; Fluvio marine Plain;

Fluvial Plain and Colluvial Ramps. The method was consistent with the scale, the geomorphological characteristics and the intended representation and, after undergoing field verification with the collection of 225 points over 8,000km, it proved to be reliable at the desired level of representation, with overall mapping accuracy of 89.71%, with a slight predominance of overestimated areas (5.76%) compared to underestimated areas (4.53%), denoting the replicability of the method.

Keywords: geomorphological cartography; digital classification; landform patterns; geomorphometry; geomorphological mapping of Paraná.

1. Introdução

Apesar do legado deixado pelo Projeto RadamBrasil (BARBOSA *et al.*, 1984), no âmbito do levantamento sistemático em trabalhos de mapeamento geomorfológico, que mapeou o relevo brasileiro na escala do milionésimo, prevalece ainda no país uma grande lacuna, tanto sob a perspectiva de levantamentos em escalas médias e grandes, como também por métodos compostos por técnicas compatíveis com os atuais avanços das ferramentas computacionais com uso das geotecnologias.

Cabe destacar que as discussões sobre cartografia geomorfológica no país, que vêm ocorrendo nas últimas décadas, impulsionaram a formulação de um Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (SBCR), instituído formalmente a partir do primeiro *workshop* realizado na cidade do Rio de Janeiro, no ano de 2019 (IBGE, 2020), que está em construção e que congrega a atuação colaborativa da comunidade de geomorfólogos representados pela União da Geomorfologia Brasileira (UGB) e também de especialistas das instituições IBGE e do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM). Os primeiros resultados divulgados foram a reformulação do primeiro táxon geomorfológico, composto por cinco classes de relevo, em escala regional para o Brasil (COMITÊ EXECUTIVO NACIONAL – CEN/SBCR, 2022).

Enquanto esperam-se os avanços do SBCR, o cenário que se tem, hodiernamente, é de que os métodos mais utilizados no país são os de Ross (1992) e IBGE (2009), ambos influenciados pelo Projeto Radam Brasil. No entanto, as técnicas empregadas na representação de seus táxons ainda demandam maior aprimoramento na aplicação.

Favorável ao equacionamento dessas demandas merece enaltecer o uso de técnicas de análise digital do terreno, com abordagem quantitativa e computacional, empregadas na classificação do relevo nas diversas escalas, que tem dado identidade de destaque à cartografia geomorfológica praticada no século XXI. O emprego da análise digital do relevo é favorecido, sobretudo, pelos avanços na ciência da computação e disponibilidade de *hardwares* e *softwares* com capacidade de armazenamento e processamento crescentes; pelos progressos das geotecnologias, se destacando os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e as técnicas de Processamento Digital de Imagem (PDI) voltadas para análise digital do relevo; e devido à disseminação de Modelos Digitais de Elevação (MDE) com recobrimento global.

São reconhecidas as potencialidades da classificação digital do relevo, sobretudo em função da minimização da subjetividade, que tem grande contribuição aos trabalhos de mapeamento geomorfológico, principalmente com maior detalhamento (SILVEIRA; SILVEIRA, 2017; SILVEIRA *et al.*, 2018). Cabe destacar ainda que, no arcabouço literário, diversos autores corroboram em relação às vantagens da classificação digital do relevo (WOOD, 1996; MACMILLAN *et al.*, 2000; WILSON; GALLANT, 2000; ROMSTAD, 2001; VALERIANO, 2004; DRAGUT; BLASCHKE, 2006; IWAHASHI; PIKE *et al.*, 2009; KLINGSEISEN *et al.*, 2007; GROHMANN *et al.*, 2008; SAADAT *et al.*, 2008; WILSON, 2012).

Nesse contexto, o presente trabalho se concentrou no desenvolvimento de técnicas de classificação digital do relevo visando aplicação na cartografia geomorfológica, com vistas a representação da escala 1:100.000. As unidades que compõem os padrões de formas do relevo são compreendidas com equiparação ao quarto táxon geomorfológico de Ross (1992), cuja discussão numa perspectiva multiescalar foi realizada por Dantas *et al.* (2023). Quatro métodos com potencial emprego ao escopo da proposta foram inicialmente testados e refutados na tentativa de atender os objetivos estabelecidos: i) o índice de posição topográfica (IPT), de Weiss (2001), empregado na região central da Serra do Mar Paranaense por Silveira e Silveira (2016) e no estado do Paraná por Silveira e Silveira (2017); ii) a classificação de Iwahashi e Pike (2007), que se utiliza de uma árvore de decisões com base em três variáveis geomorfométricas, aplicada por Silveira *et al.* (2014) no estado do Paraná; iii) o método de Dikau (1991; 1995), automatizado por Reuter (2009), empregado no estado do Paraná por Silveira e Silveira (2015) e na região central da Serra do Mar Paranaense por Silveira e Silveira (2016); e iv) a proposta de Jasiewicz e Stepinski (2013), que faz

a classificação dos elementos de relevo por meio dos *geomorphons*, aplicado no estado do Paraná por Silveira *et al.* (2018).

Verificou-se que os experimentos relatados não atenderam satisfatoriamente o nível de representação pretendido para os padrões de formas de relevo, o que demandou o desenvolvimento de um método, que depois de submetido a extensas avaliações em campo, atendeu aos anseios. O método demonstrou melhor fidedignidade com a escala e nível de representação almejado. Nele foi realizada a combinação das variáveis geomorfológicas amplitude altimétrica, média da declividade e índice de posição topográfica, no qual se utilizou janelas móveis sobre um Modelo Digital do Terreno.

Suas primeiras aplicações foram empregadas em nível experimental por Bortolini *et al.* (2017) nas cartas topográficas de Pato Branco (MI 2682) e Clevelândia (MI 2683), localizadas na região sudoeste do Paraná; por Gomes *et al.* (2018) na carta Campo Largo (MI 2841-4); por Bortolini *et al.* (2018) nas cartas Curitiba (MI 2842) e Cerro Azul (MI 2826); por Bortolini e Silveira (2021) com emprego de segmentação multiresolução no mapeamento digital de formas de relevo na carta Curitiba (MI 2842) e por Silveira *et al.* (2023) no novo mapa geomorfológico do Paraná. Esses trabalhos realizados confirmaram a exequibilidade da proposta.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo a apresentação do método para a classificação digital dos padrões de formas de relevo do estado do Paraná e a apresentação das classes que foram obtidas, compondo um mapa geomorfológico que atende ao quarto táxon, na escala 1:100.000.

2. Área de Estudo

O estado do Paraná está localizado na Região Sul do Brasil, cujos limites territoriais são: ao norte com o estado de São Paulo, a leste o oceano Atlântico, ao sul o estado de Santa Catarina, a sudoeste e oeste sucessivamente as Repúblicas da Argentina e do Paraguai e a noroeste o estado do Mato Grosso do Sul. Sua área é de 199.575 km².

Na sua configuração predomina o relevo de planaltos, sendo reconhecidos cinco distintos compartimentos geomorfológicos (Figura 1): 1) Planície Litorânea, 2) Serra do Mar Paranaense, 3) Primeiro Planalto Paranaense, 4) Segundo Planalto Paranaense e 5) Terceiro Planalto Paranaense, nomeados por Maack (1968) como unidades naturais da paisagem e descritos com unidades morfoesculturais, tratados no segundo táxon geomorfológico, por Santos *et al.* (2006) e Oka-Fiori *et al.* (2006).

A Serra do Mar no Paraná constitui uma cadeia de montanhas marginal, a leste do Primeiro Planalto, separando-o da Planície Costeira, com cimos elevados de até 1800m (MAACK, *op. cit.*), cujas maiores elevações são sustentadas por um Cinturão Granitóide Costeiro (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998), envoltos por outras unidades litológicas diversas, majoritariamente as metamórficas de alto grau, associadas com litotipos intrusivos (OKA-FIORI, *op. cit.*).

O Primeiro Planalto Paranaense se estende desde o *front* da escarpa da Serra do Purunã, que o limita com o Segundo Planalto, até a face ocidental da Serra do Mar. Ao norte ocorrem as rochas do Grupo Açungui (FIORI; GASPAR, 1993), com relevo fortemente dissecado, com valores altimétricos entre 400 e 1200m, desenvolvido sobre as rochas metamórficas Grupo Açungui, as metavulcânicas do Grupo Castro, as intrusões graníticas e os diques de diabásio (SANTOS, *op. cit.*). Na porção sobre as rochas do embasamento cristalino, cortado por diques de pegmatitos e de diabásio, as elevações médias variam entre 850 e 950m, com relevo suavemente ondulado e a presença de áreas planas ao longo dos principais rios, associado à formação das planícies aluvionares (OKA-FIORI, *op. cit.*).

O Segundo e o Terceiro Planaltos Paranaense estão sobre a Bacia Sedimentar do Paraná, uma ampla região sedimentar do continente sul-americano recoberta na região central por espessas coberturas de lavas, resultantes de intenso vulcanismo fissural, associadas a uma intrincada rede de diques cortando a seção sedimentar e múltiplos diques e soleiras, cujo registro sedimentar e magmático é organizado por Milani *et al.* (2007) em seis supersequências: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru, cujas três primeiras são representadas por sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivo-regressivos ligados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozóico, ao passo que as demais correspondem a pacotes de sedimentos continentais com rochas ígneas associadas (MILANI *et al.*, 2007).

O Segundo Planalto, disposto sobre rochas sedimentares, apresenta-se na forma de um planalto modelado em estruturas monoclinais, sub-horizontais, mergulhando para oeste (OKA-FIORI, *op. cit.*). Essa unidade é caracterizada por Costa *et al.* (2005) como um patamar modelado em litologias sedimentares da Bacia do Paraná, cujas camadas são inclinadas suavemente para oeste, dissecadas pela rede de drenagem que corre no mesmo sentido. Nela os diques com direção SE-NW constituem núcleos de elevações alongadas. Essa unidade se estende desde o

reverso da escarpa Purunã (ou Devoniana), sobre os arenitos da Formação Furnas, onde as altitudes médias de cimeira estão entre 1100 e 1200 m, até seu limite oeste, no sopé do *front* da escarpa Triássico-Jurássico (ou Serra Geral), com altitudes que variam entre 400 e 500m.

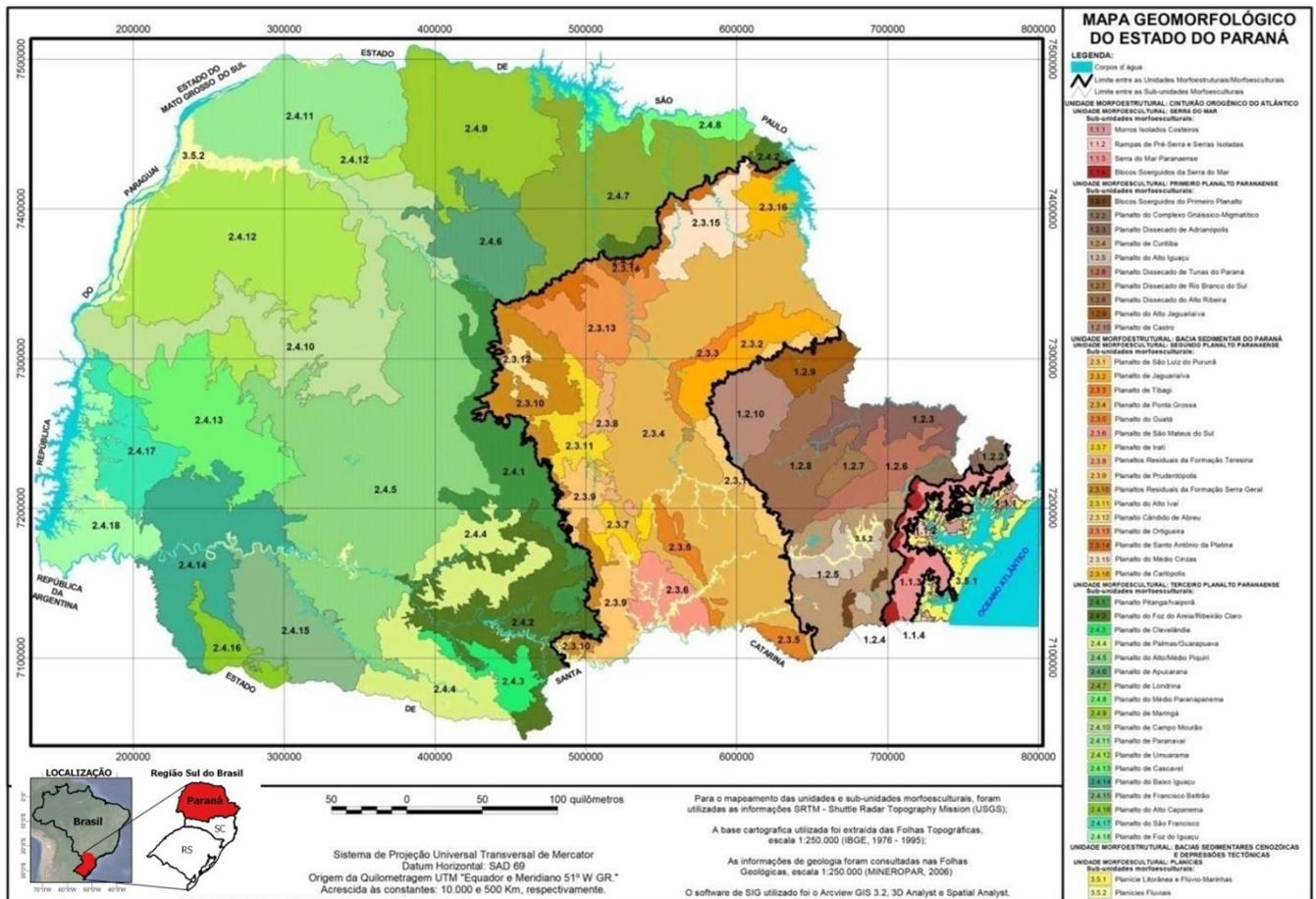


Figura 1. Mapa Geomorfológico do Estado do Paraná, apresentando três níveis taxonômicos: unidades morfoestruturais, unidades morfoesculturais e subunidades morfoesculturais. Fonte: Santos *et al.* (2006).

O Terceiro Planalto tem seu relevo majoritariamente desenvolvido sobre as rochas vulcânicas mesozoicas do Grupo Serra Geral e sobre as rochas areníticas do Grupo Caiuá (Besser *et al.*, 2021). O relevo do Terceiro Planalto predomina em extensão no Paraná, as elevações médias de cimeira são entre 1100 e 1250 m, no reverso da escarpa da Serra da Esperança, decaindo para altitudes entre 220 e 300 m próximo da calha do rio Paraná (SANTOS, *op. cit.*).

3. Materiais e Métodos

A execução foi composta por sete etapas, descritas a adiante e sintetizadas na representação do fluxograma (Figura 2).



Figura 2. Fluxograma das etapas do método.

Etapa 1 - Interpolação do Modelo Digital do Terreno (MDT): Foi interpolado a partir do método Topogrid (HUTCHINSON, 1988), disponível no software ArcMap 10.1, utilizando-se como dados vetoriais de entrada as curvas de nível, os pontos cotados e a hidrografia, oriundos da digitalização de cartas topográficas na escala 1:50.000 e 1:25.000. O tamanho do pixel adotado para a grade matricial foi de 20 metros, considerando a proposta de Hengl (2006) e experimentos realizados na avaliação da compatibilidade de representação da base cartográfica.

Etapa 2 - Cálculo das variáveis geomorfométricas: Foram calculados, a partir do MDT, a declividade (em porcentagem), o Índice de Posição Topográfica (IPT), a amplitude altimétrica e a média da declividade.

A declividade foi calculada em valores de porcentagem a partir de uma janela móvel 3×3 pixels, conforme as variáveis direcionais do modelo teórico de Horn (1981).

A amplitude altimétrica, tratada por Aili (2008) como relevo local (*local relief* – LR), se caracteriza como a diferença entre a altimetria máxima e mínima de determinada área (Equação 1), dada por um raio circular de tamanho determinado a partir da análise de uma série de perfis de vertentes, conforme a ilustração de um perfil individual na Figura 3, calculado de modo manual com o uso da ferramenta de mensuração de linhas. Apesar da extensão da vertente em perfil compreender a vertente, foi considerado na análise do MDT o comprimento da vertente em planta. O valor considerado para o raio circular foi da moda do comprimento das vertentes em planta para cada contexto geomorfológico, adotando como referência as subunidades morfoesculturais:

$$\text{Amplitude altimétrica} = A_{\max} - A_{\min} \quad (1)$$

onde A_{\max} é a altitude máxima presente na área do raio e A_{\min} é a altitude mínima.

A média da declividade é caracterizada como a média dos valores de declividade de uma determinada área (Equação 2), que, assim como a amplitude altimétrica, foi calculada a partir de um raio predefinido.

$$\text{Média da Declividade} = \sum Dn \quad (2)$$

onde $\sum D$ a soma das declividades de cada pixel abrangido pelo raio de análise e n o número de pixels abrangidos pelo raio.

O Índice de Posição Topográfica (IPT), proposto por Wilson e Gallant (2000), caracteriza-se como a diferença entre a elevação de um pixel central (Z_0) e a média de elevação (Z) do entorno (Equação 3). Para o cálculo da média de elevação foi utilizado um raio circular de 1 km.

$$IPT = Z_0 - Z \quad (3)$$

O procedimento de determinação do tamanho do raio para o cálculo das variáveis geomorfométricas foi realizado para cada uma das subunidades morfoesculturais, de Santos et al. (2006), mapeadas como o 3º táxon geomorfológico. Cabe considerar que essas subunidades foram empregadas como unidades de relevo representativas das características morfológicas e morfométricas, nas quais foi considerado o valor da moda dos comprimentos de vertentes. Os comprimentos de vertentes foram calculados em planta, de maneira amostral e de forma manual (Figura 3). As dimensões dos raios de vizinhança determinados para cada subunidade morfoescultural são indicados no Quadro 1.

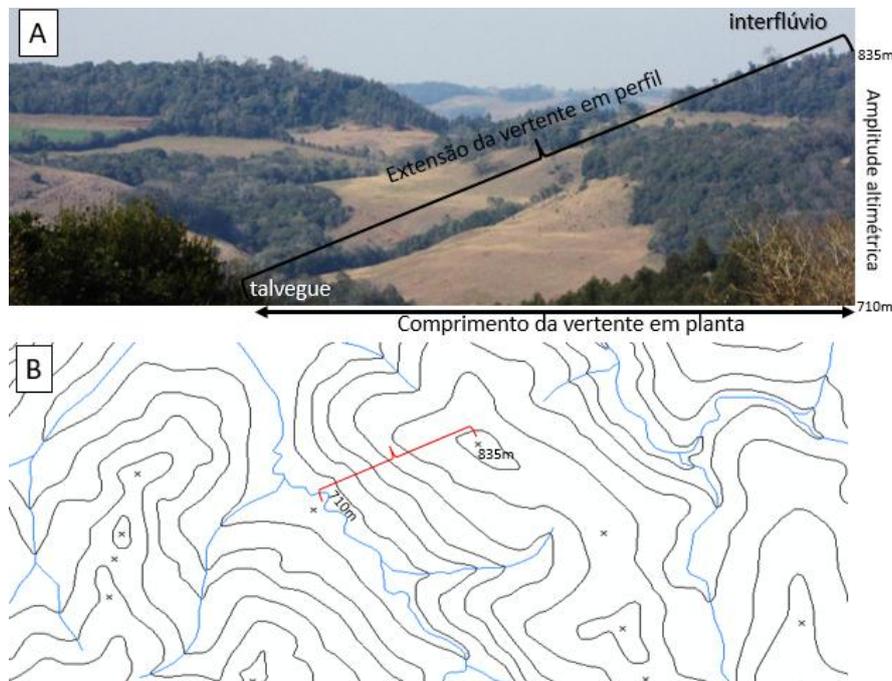


Figura 3. A) fotografia que representa em uma vertente a amplitude altimétrica, a extensão da vertente em perfil e o comprimento da vertente, sendo esse último empregado na determinação do tamanho do raio utilizado no cálculo das variáveis geomorfométricas; B) representação da vertente com curvas de nível.

Etapa 3 - Aplicação das variáveis geomorfométricas para o mapeamento dos padrões de relevo: inicialmente foram definidos os padrões de relevo a serem mapeados (modelo conceitual), categorizados a partir de modelos heurísticos da ocorrência de tais objetos na paisagem. A expressão das dimensões morfométricas dos padrões de relevo foi mensurada pela amplitude altimétrica, média da declividade e índice de posição topográfica. A classificação se apoiou nos parâmetros aplicados em experimentos prévios, com recortes amostrais, publicados por Bortolini *et al.* (2017; 2018) e Gomes *et al.* (2018). Considerou-se, também, o conceito de “assinatura geométrica” (PIKE, 1988) para a representação quantitativa de cada padrão individualizado.

Na sequência, as variáveis geomorfométricas foram discretizadas conforme as categorias geomorfológicas predefinidas. A combinação das variáveis por meio de álgebra de mapas resultou na identificação das unidades de mapeamento, de acordo com os parâmetros dispostos no Quadro 2 (Primeiro Planalto), Quadro 3 (Segundo Planalto), Quadro 4 (Terceiro Planalto) e Quadro 5 (Serra do Mar e Planície Litorânea).

Quadro 1. Tamanho do raio por subunidade morfoescultural condizente ao comprimento médio das vertentes.

Unidades do 3º táxon	Raio (m)	Unidades do 3º táxon	Raio (m)
1.1.1 Serras Isoladas Costeiras	1200	2.3.11 Planalto do Alto Ivaí	600
1.1.2 Morros Isolados	500	2.3.12 Planalto de Cândido Abreu	600
1.1.3 Serra do Mar Paranaense	1200	2.3.13 Planalto de Ortigueira	540
1.1.4 Blocos Soerguidos da Serra do Mar	1200	2.3.14 Planalto de Santo Antônio da Platina	600
1.1.5 Rampas de Pré-Serra	-	2.3.15 Planalto do Médio Cinzas	500
1.2.1 Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto	500	2.3.16 Planalto de Carlópolis	540
1.2.2 Planalto do Complexo Gnáissico-Migmatítico	400	2.4.1 Planalto de Pitanga/Ivaiporã	700
1.2.3 Planalto Dissecado de Adrianópolis	600	2.4.2 Planalto do Foz do Areia/Ribeirão Claro	600
1.2.4 Planalto de Curitiba	400	2.4.3 Planalto de Clevelândia	500
1.2.5 Planalto do Alto Iguaçu	450	2.4.4 Planalto de Palmas/Guarapuava	900
1.2.6 Planalto Dissecado de Tunas do Paraná	400	2.4.5 Planalto do Alto/Médio Piquiri	700
1.2.7 Planalto Dissecado de Rio Branco do Sul	550	2.4.6 Planalto de Apucarana	600
1.2.8 Planalto Dissecado do Alto Ribeira	600	2.4.7 Planalto de Londrina	600
1.2.9 Planalto do Alto Jaguariaíva	700	2.4.8 Planalto do Médio Parapanema	800
1.2.10 Planalto de Castro	450	2.4.9 Planalto de Maringá	1500
2.3.1 Planalto de São Luís do Purunã	700	2.4.10 Planalto de Campo Mourão	1500
2.3.2 Planalto de Jaguariaíva	600	2.4.11 Planalto de Paranavaí *	3000
2.3.3 Planalto de Tibagi	600		100
2.3.4 Planalto de Ponta Grossa (Porção Norte)	700		30
2.3.4 Planalto de Ponta Grossa (Porção Sul)	750	2.4.12 Planalto de Umuarama	1500
2.3.5 Planalto de Guatá	700	2.4.13 Planalto de Cascavel	1400
2.3.6 Planalto de São Mateus do Sul	450	2.4.14 Planalto do Baixo Iguaçu	800
2.3.7 Planalto de Irati	540	2.4.15 Planalto de Francisco Beltrão	900
2.3.8 Planalto Residuais da Formação Teresina	600	2.4.16 Planalto do Alto Capenema	500
2.3.9 Planalto de Prudentópolis	600	2.4.17 Planalto do São Francisco	700
2.3.10 Planaltos Residuais da Formação Serra Geral	500	2.4.18 Planalto de Foz do Iguaçu	1000

* Na unidade 2.4.11, foram usados três tamanhos de raio de análise de vizinhança: 3000 m (para o cálculo da média da declividade), 100 m (para o cálculo de média da declividade que delimitou as feições dissecadas entre colinas); e 30 m (para o cálculo da amplitude altimétrica).

Quadro 2. Parâmetros para o mapeamento de padrões de formas de relevo (4º táxon) nas subunidades geomorfológicas (3º táxon) do Primeiro Planalto Paranaense (2º táxon).

Unidades do 3º táxon	Padrão de forma de relevo (4º táxon)							
	Colinas (COL)	Colinas Onduladas (CON)	Morrotos (MRT)	Morros (MOR)	Morros Dissecados (MOD)	Morros Ondulados (MOE)	Serras de Bordas de Planaltos (SBP)	Planície Fluvial (PFV)
1.2.1	AA<120 e MD<8	AA<60 e MD>8 ou AA>60 e <80 e MD>8 e <30	AA>60 e <80 e MD>30 ou AA>80 e <120 e MD>8	AA>120 e <200 e MD<30		AA>200		
1.2.2	AA<100 e MD<8	AA<50 e MD>8 ou AA>50 e <70 e MD>8 e <30	AA>50 e <70 e MD>30 ou AA>70 e <100 e MD>8	AA>100 e <200 e MD<30	AA>100 e <200 e MD>30	AA>200		
1.2.3			AA>60 e <80 e MD>30 ou AA>80 e <120 e MD>8	AA>120 e <200 e MD<30	AA>120 e <200 e MD>30	AA>200		
1.2.4	AA<100 e MD<8	AA<50 e MD>8 ou AA>50 e <70 e MD>8 e <30	AA>50 e <70 e MD>30 ou AA>70 e <100 e MD>8	AA>100 e <200 e MD<30				D<3 e IPT>0
1.2.5	AA<100 e MD<8	AA<50 e MD>8 ou AA>50 e <70 e MD>8 e <30						
1.2.6	AA<100 e MD<8	AA<50 e MD>8 ou AA>50 e <70 e MD>8 e <30	AA>50 e <70 e MD>30 ou AA>70 e <100 e MD>8	AA>100 e <200 e MD<30	AA>100 e <200 e MD>30	AA>200		
1.2.7			AA>60 e <80 e MD>30 ou AA>80 e <120 e MD>8	AA>120 e <200 e MD<30	AA>120 e <200 e MD>30	AA>200		
1.2.8		AA<575 e MD>8 ou AA>75 e <95 e MD>8 e <30	AA>75 e <95 e MD>30 ou AA>95 e <130 e MD>8	AA>130 e <190 e MD<30	AA>130 e <190 e MD>30	AA>190	Delimitação visual dos morros elevados no contato entre o Primeiro e o Segundo Planalto	
1.2.9		AA<80 e MD>8 ou AA>80 e <120 e MD>8 e <20	AA>80 e <120 e MD>20 ou AA>120 e <150 e MD>8	AA>150 e <200 e MD<30	AA>150 e <200 e MD>30	AA>200		
1.2.10	AA<130 e MD<5	AA<50 e MD>8 ou AA>50 e <80 e MD>5 e <30	AA>50 e <80 e MD>30 ou AA>80 e <130 e MD>8	AA>130 e <200 e MD<30				D<3 e IPT>0

Legenda: AA: amplitude altimétrica; MD: média da declividade; D: declividade e IPT: índice de posição topográfica.

Quadro 3. Parâmetros para o mapeamento de padrões de formas de relevo (4º táxon) nas subunidades geomorfológicas (3º táxon) do Segundo Planalto Paranaense (2º táxon).

Unidades do 3º táxon	Padrão de forma de relevo (4º táxon)								
	Colinas (COL)	Colinas Onduladas (CON)	Morrotos (MRT)	Morros (MOR)	Morros Ondulados (MOE)	Morros Alongados Estruturais (MAE)	Serras de Bordas de Planaltos (SBP)	Patamares Estruturais e Cânions (PEC)	Planície Fluvial (PFV)
2.3.1	AA<120 e MD<8	AA<80 e MD>8 ou AA>80 e <120 e MD>8	AA>120 e <160	AA>160 e <200					D<3 e IPT>0
2.3.2	AA<100 e MD<8	AA<100 e MD>8 ou AA>100 e <150 e MD<13 ou AA>150 e <220 e MD<13						AA>100 e <150 e MD>13 ou AA>150 e <220 e MD>13 ou AA>220	
2.3.3	AA<60 e MD<30 ou AA>60 e <90 e MD<10	AA<60 e MD>30 ou AA>60 e <90 e MD>10 e <30	AA>60 e <90 e MD>30 ou AA>90 e <120						D<3 e IPT>0
2.3.4 S	AA<120 e MD<8	AA<120 e MD>8 e <20	AA<120 e MD>20 ou AA>120 e <160	AA>160 e <220	AA>220				
2.3.4 N	AA<150 e MD<8	AA<150 e MD>8		AA>150 e <220	AA>220				
2.3.5	AA<120 e MD<8	AA<120 e MD>8	AA>120 e <160						
2.3.6	AA<110 e MD<7	AA<110 e MD>7							
2.3.7	AA<110 e MD<8	AA<80 e MD>8 ou AA>80 e <110 e MD>8 e <20	AA>80 e <110 e MD>20 ou AA>110 e <150	AA>150 e <210					
2.3.8	AA<90 e MD<20 ou AA>90 e <120 e MD<8		AA<90 e MD>20 ou AA>90 e <120 e MD>8 ou AA>120 e <160	AA>120 e <210	AA>210				
2.3.9	AA<130 e MD<8	AA>90 e <130 e MD>8	AA>90 e <130 e MD>8 ou AA>130 e <150 e MD<8	AA>130 e <150 e MD>8 ou AA>150 e <210	AA>210				
2.3.10	AA<120 e MD<20		AA<120 e MD>20 ou AA>120 e <160		AA>160 e <210 e MD>20 ou AA>210		Delimitação visual dos morros elevados no contato entre o Segundo e o Terceiro Planalto		
2.3.11	AA<110 e MD<20		AA<110 e MD>20 ou AA>110 e <160		AA>160 e <210 e MD>20 ou AA>210				
2.3.12	AA<110 e MD<8 ou AA<70 e MD<20		AA<70 e MD>20 ou AA>70 e <110 e MD>8 ou AA>110 e <160	AA>160 e <210	AA>210			D<3 e IPT>0	
2.3.13	AA<80 e MD<8	AA<60 e MD>8 ou AA>60 e <80 e MD>20 e <80				AA>130 e <200 e MD>20			
2.3.14	AA<110 e MD<8 ou AA<80 e MD>8 e <20		AA<80 e MD>20 ou AA>80 e <110 e MD>8 ou AA>110 e <155	AA>155 e <240	AA>140		Delimitação visual dos morros elevados no contato entre o Segundo e o Terceiro Planalto	D<3 e IPT>0	
2.3.15	AA<110 e MD<8	AA<90 e MD>8	AA>90 e <110 e MD>8 ou AA>110 e <160	AA>160 e <200					
2.3.16	AA<70 ou AA>70 e <100 e MD<8		AA>70 e <110 e MD>8 ou AA>110 e <150		AA>150 e <210 e MD>20 ou AA>210				

Quadro 4. Parâmetros para o mapeamento de padrões de formas de relevo (4º táxon) nas subunidades geomorfológicas (3º táxon) do Terceiro Planalto Paranaense (2º táxon).

Unidades do 3º táxon	Padrão de forma de relevo (4º táxon)								
	Colinas Suaves (COS)	Colinas (COL)	Colinas Onduladas (CON)	Feições Dissecadas Entre ColinasFD C	Morrotos (MRT)	Morros (MOR)	Morros Dissecados (MOD)	Morros Ondulados (MOE)	Planície Fluvial (PFV)
2.4.1		AA<120 e MD<8	AA<80 e MD>8 ou AA>80 e <120 e MD>8 e <14		AA>80 e <120 e MD>14	AA>120 e <250 e MD<20	AA>120 e <250 e MD>20		D<3 e IPT>0
2.4.2		AA<115 e MD<8	AA<75 e MD>8 ou AA>75 e <115 e MD>8 e <12		AA>75 e <115 e MD>12	AA>115 e <245 e MD<20	AA>115 e <245 e MD>20	AA>245	
2.4.3		AA<110 e MD<8	AA<70 e MD>8 ou AA>70 e <110 e MD>8 e <12		AA>70 e <110 e MD>12	AA>110 e <240 e MD<20	AA>110 e <240 e MD>20	AA>240	D<3 e IPT>0
2.4.4		AA<130 e MD<8	AA<90 e MD>8 ou AA>90 e <130 e MD>8 e <12		AA>90 e <130 e MD>12	AA>130 e <250 e MD<20	AA>130 e <250 e MD>20		
2.4.5		AA<120 e MD<8	AA<80 e MD>8 ou AA>80 e <120 e MD>8 e <12		AA>80 e <120 e MD>12	AA>120 e <250 e MD<20	AA>120 e <250 e MD>20		
2.4.6		AA<115 e MD<8	AA<75 e MD>8 ou AA>75 e <115 e MD>8 e <14		AA>75 e <115 e MD>14	AA>115 e <245 e MD<20	AA>115 e <245 e MD>20		
2.4.7		AA<115 e MD<8	AA<75 e MD>8 ou AA>75 e <115 e MD>8 e <14		AA>75 e <115 e MD>14	AA>115 e <245 e MD<20	AA>115 e <245 e MD>20		D<3 e IPT>0
2.4.8		AA<125 e MD<9	AA<85 e MD>9 ou AA>85 e <125 e MD>9 e <14						
2.4.9	MD<5	MD>5 e <8	MD>8						
2.4.10		MD<8	MD>8						
2.4.11	AA<90 e MD*<8,5 e MD**<4,5	AA<90 e MD*<8,5 e MD**>4,5		AA<90 e MD*>8,5					
2.4.12		MD<7,5	MD>7,5						
2.4.13		AA<160 e MD<8	AA<160 e MD>8 e <12		AA<160 e MD>12	AA>160 e MD<20	AA>160 e MD>20		
2.4.14		AA<125 e MD<8	AA<85 e MD>8 ou AA>85 e <125 e MD>8 e <12		AA>85 e <125 e MD>12	AA>125 e <255 e MD<20	AA>125 e <255 e MD>20		
2.4.15		AA<130 e MD<8	AA<90 e MD>8 ou AA>90 e <130 e MD>8 e <12		AA>90 e <130 e MD>12	AA>130 e <260 e MD<20	AA>130 e <260 e MD>20		
2.4.16			AA<70 e MD>8 ou AA>70 e <110 e MD>8 e <14		AA>70 e <110 e MD>14	AA>110 e <240 e MD<20	AA>110 e <240 e MD>20		
2.4.17		AA<120 e MD<8	AA<80 e MD>8 ou AA>80 e <120 e MD>8 e <14		AA>80 e <120 e MD>14	AA>120 e <250 e MD<20	AA>120 e <250 e MD>20		
2.4.18		AA<135 e MD<8	AA<95 e MD>8 ou AA>95 e <135 e MD>8 e <12		AA>95 e <135 e MD>12	AA>135 e <265 e MD<20			D<3 e IPT>0

Quadro 5. Parâmetros para o mapeamento de padrões de formas de relevo (4º táxon) nas subunidades geomorfológicas (3º táxon) da Serra do Mar e das Planícies (2º táxon).

Unidades do 3º táxon	Padrão de forma de relevo (4º táxon)							
	Colinas Onduladas (CON)	Morrotos (MRT)	Morros (MOR)	Serras Montanhosas Baixas (SMB)	Serras Montanhosas Altas (SMA)	Planície Fluvio Marinha (PFM)	Planície Fluvial (PFV)	Rampas Colúvionares (RCV)
3.5.1						Z<15	D<3 e IPT>0	
3.5.2								
1.1.1				AA<380	AA>380	Z<15		Z<120 e D<16
1.1.2	Z>15 e AA<60 e D>6	Z>15 e AA>60 e <90 e D>6	Z>15 e AA>90 e D>6			Z<15	D<3 e IPT>0	
1.1.3				AA<380	AA>380			
1.1.4				AA<380	AA>380			
1.1.5				AA<380	AA>380		D<3 e IPT>0	Z<120 e D<16

Legenda: Z: Altimetria; AA: amplitude altimétrica; D: declividade; IPT: índice de posição topográfica.

Após a integração e combinação das variáveis geomorfométricas, foi aplicado um filtro que removeu agrupamentos que variaram entre 0,25 km² (ou 625 *pixels*) e 30 km² (ou 75000 *pixels*), sendo o valor de 1 km² (ou 2500 *pixels*) o parâmetro predominante de generalização. As áreas removidas foram reclassificadas como pertencentes ao padrão de formas de relevo das áreas vizinhas. A aplicação do filtro (generalização) está vinculada à hierarquia taxonômica pretendida pelo mapeamento, sendo o valor do filtro definido com base na dimensão das unidades categorizadas de relevo proposta por Dikau (1989).

Etapa 4 - Levantamento e conferência de campo: Foram realizadas expedições de campo para a conferência dos resultados preliminares e posterior correção dos padrões de relevo, totalizando aproximadamente 9.000 km percorridos em vias terrestres. Essas atividades foram realizadas com o intuito de avaliar as classificações obtidas a partir dos parâmetros geomorfométricos definidos para cada padrão de relevo.

Durante as expedições de campo foram coletadas fotos georreferenciadas representativas do relevo de 225 pontos amostrais de distintos compartimentos do relevo, descritos e ilustrados por fotos no nível do solo, e complementados com 25 voos realizados com um drone, modelo *DJI Phantom 3*. Os pontos de campo serviram para a conferência dos padrões de formas de relevo que previamente foram definidos e cartografados apoiados no conhecimento prévio do relevo das distintas regiões.

Etapa 5 - Implementação de ajustes nos padrões mapeados: Foram realizadas edições manuais no mapeamento obtido, com apoio dos pontos amostrais de campo, visando: a incorporação de pequenas porções de padrão de relevo ao padrão do seu entorno, por possuírem características semelhantes; o ajuste de áreas de contato entre padrões de relevo, que apresentaram limites que cortam as vertentes; e ajuste de áreas classificadas como determinado padrão de relevo que abrange apenas uma face de vertente. Esses ajustes foram realizados a partir de interpretação visual do relevo sombreado, como exemplificado na Figura 4.

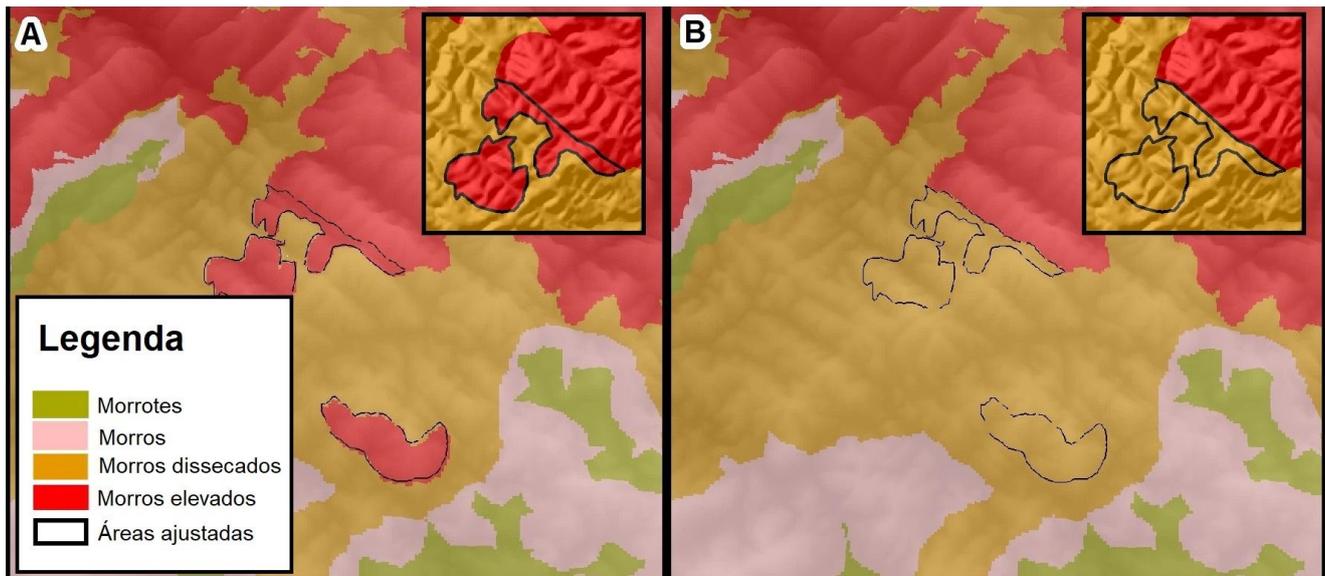


Figura 4. A: exemplo de área antes do ajuste; B: exemplo de área após ajuste.

Etapa 6 – Conferência do mapeamento: Foi realizada através do cálculo de exatidão global obtido por uma matriz de confusão, comparando o resultado da classificação dos padrões de relevo antes e depois dos ajustes da *Etapa 5*.

A avaliação quantitativa foi realizada pela acurácia do mapeamento corrigido. Considerou-se, nos cálculos: i) exatidão global, que mensura as áreas concordantes entre as classes mapeadas (equação 4); ii) erros de inclusão, que são as áreas superestimadas pelo mapeamento; iii) erros de omissão, que se referem às áreas subestimadas pelo mapeamento.

Etapa 7: mapa de padrões de relevo: corresponde à elaboração do produto cartográfico adequado à escala 1:100.000 e à construção da legenda geomorfológica representativa, onde cada padrão de forma de relevo foi representado por polígonos, diferenciados por cores e por intensidade.

4. Resultados

Foram identificadas 16 classes de padrões de formas de relevo: 1) Colinas Suaves (COS); 2) Colinas (COL); 3) Colinas Onduladas (CON); 4) Feições dissecadas entre colinas (FDC); 5) Morrotes (MRT); 6) Morros (MOR); 7) Morros Dissecados (MOD); 8) Morros Elevados (MOE); 9) Morros Alongados Estruturais (MAE); 10) Serras Montanhosas Baixas (SMB); 11) Serras Montanhosas Altas (SMA); 12) Serras de Bordas de Planaltos (SBP); 13) Patamares Estruturais e Cânions (PEC); 14) Planície Fluviomarina (PFM); 15) Planície Fluvial (PFV) e 16) Rampas Coluvionares (RCV). A combinação dessas 16 classes com as 50 unidades geomorfológicas do terceiro táxon preexistentes e propostas por Santos *et al.* (2006), resultou na individualização de 226 distintas unidades de padrões de formas de relevo no Paraná, que compõe um novo mapa geomorfológico do Estado (Figura 5).

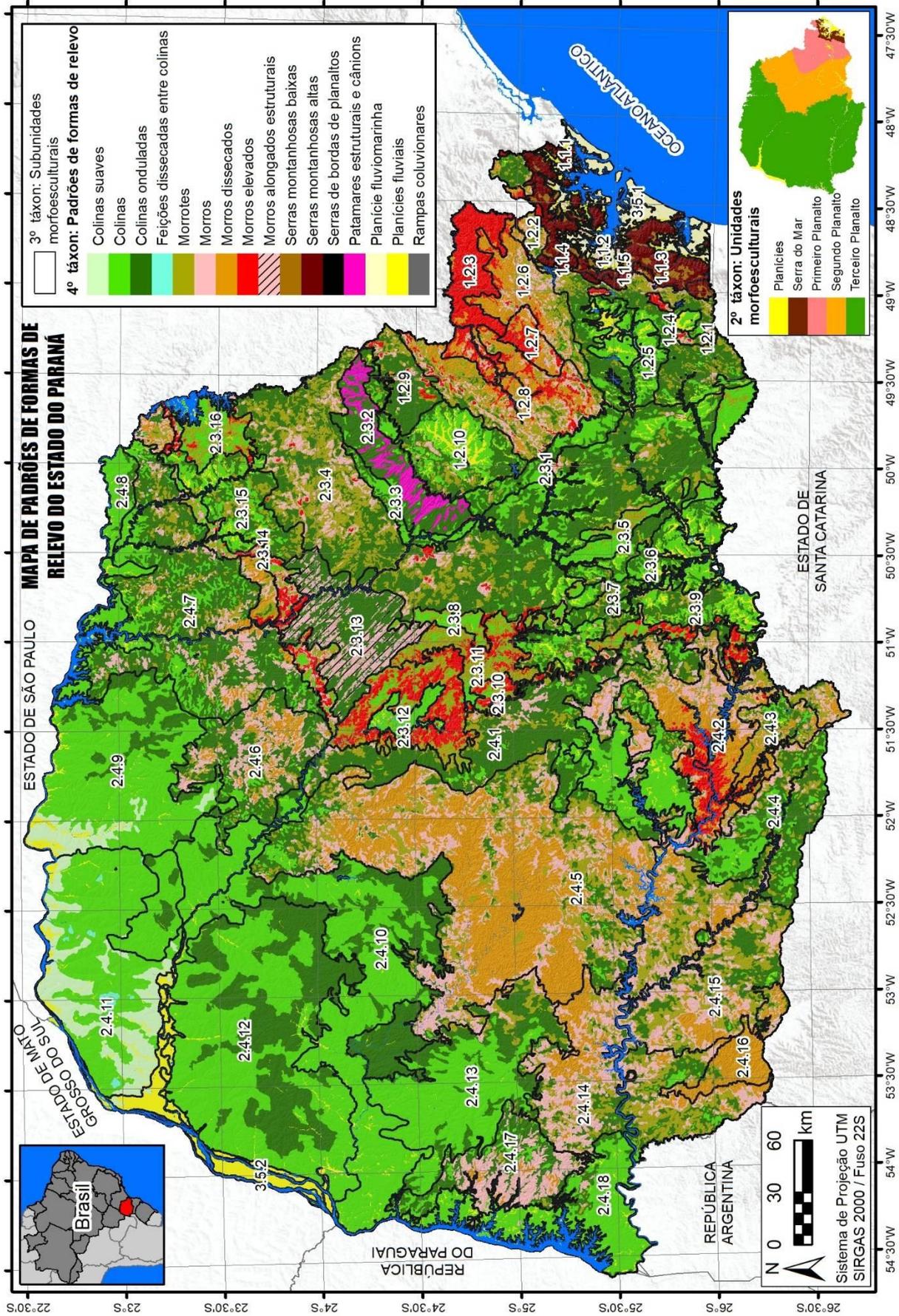


Figura 5. Mapa geomorfológico do Paraná com os padrões de formas do relevo

A distribuição dos padrões de formas de relevo nas unidades geomorfológicas do Paraná é mostrada na Figura 6. A Figura 6A representa as unidades das Planícies, a Figura 6B das unidades da Serra do Mar, a Figura 6C as unidades do Primeiro Planalto, a Figura 6D do Segundo Planalto e a Figura 6E do Terceiro Planalto.

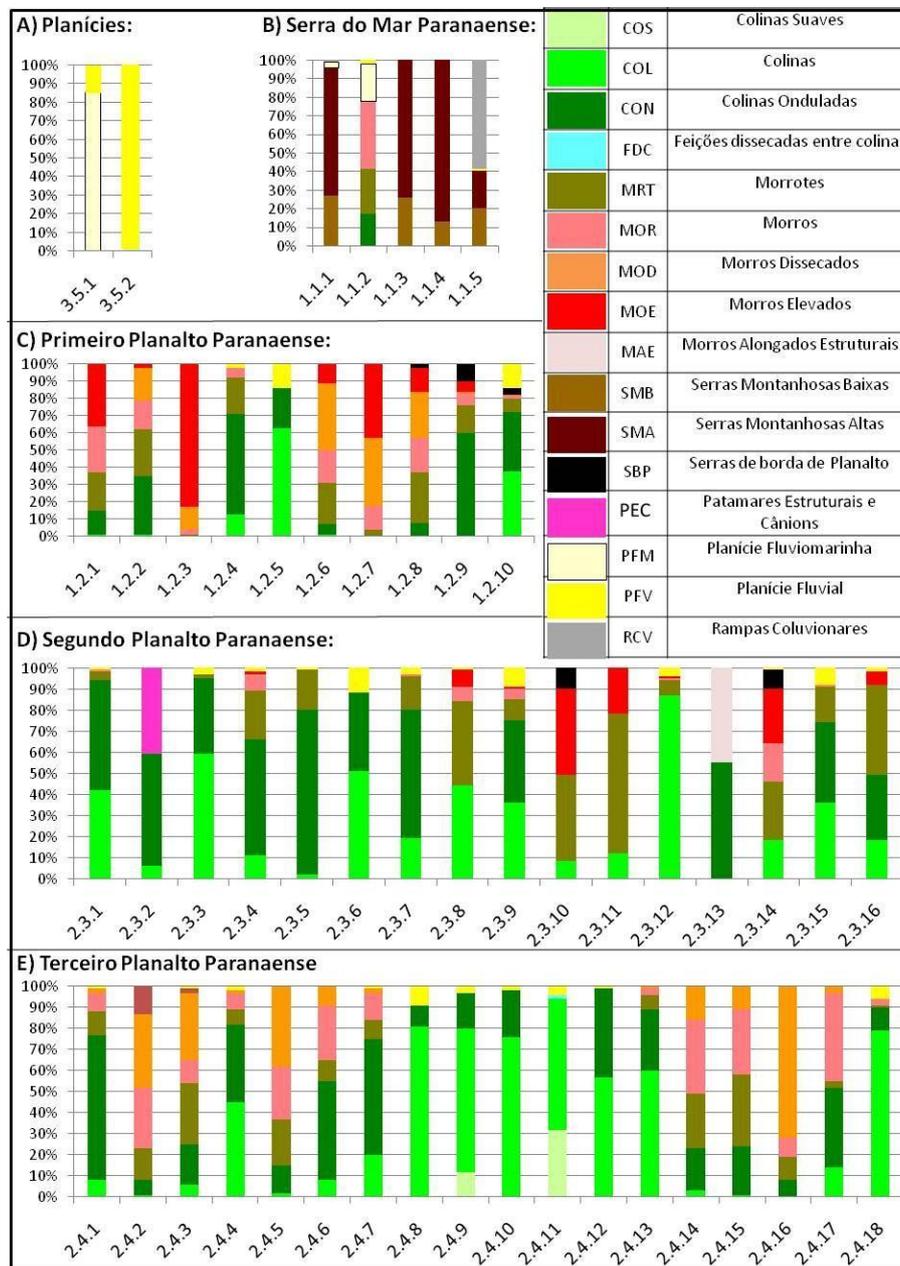


Figura 6. Gráficos com a distribuição em proporção dos padrões de formas do relevo nas unidades geomorfológicas do Paraná.

Em relação à matriz de confusão, os resultados evidenciaram que a exatidão global do mapeamento (Quadro 6) foi de 89,71%, com ligeiro predomínio de áreas superestimadas (5,76%) se comparadas às áreas subestimadas (4,53%), tendo como referência a modelagem realizada sem os ajustes e correções manuais. Os padrões de formas de relevo mais subestimados foram os morros elevados (16,9%), os morrotes (16%), as serras montanhosas baixas (14,5%) e as serras de borda de planalto que tiveram 100% de inclusão posterior com os ajustes manuais, uma vez que não foi possível empregar a técnica de janelas móveis na delimitação semiautomática, pois os critérios coincidem com os empregados nos morros elevados, enquanto os padrões mais superestimados foram os morros alongados estruturais (50,2%) e as planícies fluviais (40%). Os maiores valores de exatidão foram registrados nas serras montanhosas altas (94,7%) e nas colinas (88,3%).

Quadro 6. Resultados da matriz de confusão por padrão de relevo

PdFR		Mapeamento SEM correções e ajustes manuais (área em km ²)															Sub		
		PFM	PFV	COS	COL	CON	MRT	MOR	MOD	MOE	MAE	SMB	SMA	SBP	RCV	PEC		FDC	
Mapeamento COM correções e ajustes manuais	PFM	1754,5 80,4%	5,1	0	0	35,7	40,5	27,0	0	0	0	9,3	0,7	0	2,7	0	0	14,0%	
	PFV	293,9	5182,5 54,8%	382,7	2675,8	304,6	39,6	66,0	7,7	1,0	0	5,8	1,0	0	1,3	0	0	5,2%	
	COS	0	65,5	3138,0 82,8%	4,6	0	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,4%
	COL	0	358,6	199,1	52079,6 88,3%	1611,6	185,7	66,5	0,2	14,8	0	0	0	0	0	0	0	15,4	7,5%
	CON	1,7	22,8	0	973,4	50915,3 86,9%	1815,3	460,2	35,4	81,3	41,7	0	0	0	0	0	82,5	0	7,1%
	MRT	0,6	10,8	0	767,5	1816,3	21289,2 71,2%	988,2	36,0	188,3	1,9	0,1	0	0	0	0	1,5	0	16,0%
	MOR	4,1	10,9	0	11,9	179,8	1510,9	17697,8 76,5%	630,4	56,4	0,4	0,7	0,3	0	0,2	0,4	0	0	13,1%
	MOD	0	4,7	0	2,0	11,7	153,9	963,9	15993,1 86,9%	288,4	0	0	0	0	0	0	0	0	5,3%
	MOE	0	4,4	0	4,5	8,5	382,9	344,5	260,2	6152,2 71,5%	0,4	0	0	0	0	0	0	0	16,9%
	MAE	0	0,4	0	0	0	599,3	2,8	0	238,7	790 47,1%	0	0	0	0	0	0	0	2,7%
	SMB	3,1	0,5	0	0	0	0,2	0,8	0	0	0	698,5 83,9%	3,9	0	4,7	0	0	0	14,5%
	SMA	1,1	0,7	0	0	0	0,1	0,8	0,1	1,3	0	99,1	2057,3 94,7%	0	3,1	0	0	0	0,4%
	SBP	0	2,3	0	1,3	0,7	54,6	100,0	8,9	581,0	0	0	0	0 0,0%	0	1,1	0	0	100,0%
	RCV	1,9	0,1	0	0	0	0,1	0,3	0	0,0	0	5,7	2,1	0	92,7 80,8%	0	0	0	10,4%
	PEC	0	0,3	0	1,3	189,4	0,7	1,6	0,2	0,3	0	0	0	0	0	0	786,0 73,8%	0	8,0%
FDC	0	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	128,7 88,8%	10,7%	
Sup	5,5%	40,0%	1,9%	4,2%	6,0%	12,8%	10,4%	7,7%	11,7%	50,2%	1,65	4,9%	0%	8,8%	18,2%	0,5%	TOTAL SUB 4,53%	TOTAL SUP 5,76%	
Exatidão	80,4%	54,8%	82,8%	88,3%	86,9%	71,2%	76,5%	86,9%	71,5%	47,1%	83,9%	94,7%	0,0%	80,8%	73,8%	88,8%	89,7%		

Legenda: PdFR: padrões de formas de relevo; Sub: subestimação; Sup: superestimação; COS: Colinas Suaves; COL: Colinas; CON: Colinas Onduladas; FDC: Feições dissecadas entre colinas; MRT: Morrotes; MOR: Morros; MOD: Morros Dissecados; MOE: Morros Elevados; MAE: Morros Alongados Estruturais; SMB: Serras Montanhosas Baixas; SMA: Serras Montanhosas Altas; SBP: Serras de Bordas de Planaltos; PEC: Patamares Estruturais e Cânions; PFM: Planície Fluviomarina; PFV: Planície Fluvial e RCV: Rampas Coluvionares.

5. Discussão

Os padrões de relevo mapeados representam um avanço na cartografia geomorfológica paranaense, cujos resultados têm potencial para subsidiar análises socioambientais derivadas e estabelecer critérios morfométricos para o detalhamento de mapas geomorfológicos posteriores. Conforme Botelho *et al.* (2024), as distintas morfologias do Paraná, que guardam uma complexa gênese associadas aos fatores litoestruturais e climáticos, interferem na formação e distribuição dos solos e podem condicionar ou limitar o uso e ocupação da terra, em especial no modelo agrícola vigente, aos processos morfodinâmicos e às problemáticas ambientais urbanas.

4.1. Colinas e feições dissecadas entre colinas

O emprego do termo colina é bastante utilizado na geomorfologia. Algumas designações encontradas na literatura a conceituam como um “termo usado na descrição da paisagem física, pelos geomorfólogos, para indicar pequenas elevações do terreno com declives suaves, algumas podem ter gênese de acumulação, como é o caso das morainas e as dunas, no entanto a grande maioria constitui formas de erosão” (GUERRA; GUERRA, 2008, p. 146), ou então, que colina “configura uma elevação do terreno que apresenta encostas suaves, com declividade menor do que 15% e altitude inferior a 100m” (IBGE, 2004, p. 78). Colina é tratada também como um padrão de relevo cujos parâmetros na sua detecção são: amplitude predominante entre 40m a 70m com declividade inferior a 20% (IPT; CPRM, 2014, p. 12).

No presente trabalho colina compõe um conjunto de padrão de formas relevo. Foi adotado no intuito de identificar padrões morfológicos, cuja distinção tem características morfométricas estabelecidas em intervalos de amplitude altimétrica e média da declividade. Assim, sua detecção no método proposto não teve relação genética e/ou processual, ainda que no relevo do Estado do Paraná a sua presença esteja associada à morfogênese denudacional.

Foram identificados quatro distintas classes de colinas: i) colinas suaves (COS), cujas vertentes são mais extensas, com baixa declividade e pequena amplitude altimétrica; ii) colinas (*strictu sensu*) (COL), com declividade variando de baixa a moderada e com pequena amplitude altimétrica; iii) colinas onduladas (CON) com declividade mais elevada e maior amplitude altimétrica, em relação às demais classes de colinas; e uma quarta classe, iv) feições dissecadas entre colinas (FDC), que estão associadas às feições de paleovoçorocas, assim denominadas por Goulart e Santos (2014) e Marcolin *et al.* (2023), que estão imbricadas entre as colinas suaves, cujo padrão foi detectável exclusivamente no relevo da região noroeste do Paraná, sobre o Grupo Caiuá, na unidade geomorfológica 2.4.11-Planalto de Paranavá (SANTOS *et al.*, 2006), sobre a qual representa 0,1% no estado do Paraná (Tabela 1).

Tabela 1. Área total dos padrões de formas de relevo no estado do Paraná

Padrão de formas de relevo	Área total nos compartimentos geomorfológicos do Paraná					Área total no Paraná km ²
	Planícies km ²	Serra do Mar km ²	1° Planalto km ²	2° planalto km ²	3° planalto km ²	
Colinas suaves	-----	-----	-----	-----	3314 (3%)	3314 (1,7%)
Colinas	-----	-----	2276 (12%)	7459 (17%)	41781 (35%)	51516 (25,9%)
Colinas onduladas	-----	77(2%)	4800(26%)	17974 (42%)	29561 (25%)	52411 (26,3%)
Feições dissecadas entre colinas	-----	-----	-----	-----	149 (0%)	149 (0,1%)
Morrotes	-----	108 (3%)	3109(17%)	8878 (20%)	12142 (10%)	24237 (12,2%)
Morros	-----	167 (5%)	1886(10%)	1839 (4%)	16093 (13%)	19986 (10,0%)
Morros Dissecados	-----	-----	2547(14%)	0 (0%)	14732 (12%)	17279 (8,7%)
Morros Elevados	-----	-----	3055(16%)	2851 (7%)	962 (1%)	6868 (3,5%)
Morros Alongados Estruturais	-----	-----	-----	1633 (4%)	-----	1633 (0,8%)
Serras Montanhosas Baixas	-----	706 (21%)	-----	-----	-----	706 (0,4%)
Serras Montanhosas Altas	-----	2179 (63%)	-----	-----	-----	2179 (1,1%)
Serras de bordas de planaltos	-----	-----	307(2%)	587 (1%)	-----	894 (0,4%)
Patamares estruturais e cânions	-----	-----	-----	977 (2%)	-----	977 (0,5%)
Planície fluviomarinha	1668 (22%)	99(3%)	-----	-----	-----	1767 (0,9%)
Planície fluvial	5897 (78%)	11(0%)	602(3%)	1108 (3%)	1520 (1%)	9138 (4,6%)
Rampas coluvionares	-----	93(3%)	-----	-----	-----	93 (0,0%)

As colinas e colinas onduladas são os padrões de relevo mais comumente encontrados no território do Paraná, somam-se mais da metade da área do estado, pois ocupam, respectivamente, 25,9% e 26,3% (Tabela 1). As colinas

suaves ocorrem de modo restrito, apenas no compartimento do Terceiro Planalto, presente exclusivamente nas unidades 2.4.9-Planalto de Maringá e 2.4.11-Planalto de Paranavaí (SANTOS *et al.*, 2006), nas regiões norte e noroeste do Paraná (Figura 6D), cuja representação em área no estado é de 1,7% (Tabela 1).

Cabe destacar, porém, que apesar das colinas e/ou colinas onduladas serem de ampla ocorrência no estado, quando vistas de modo agrupado, cada padrão de forma de relevo distribuído sobre as distintas unidades de geomorfológicas se difere do outro, em função da unidade que está inserida, que lhe confere características morfo genéticas e morfodinâmicas individuais. Pode ser citado, por exemplo, de forma ilustrativa, o caso de colinas que ocorrem na região noroeste do Paraná e as que ocorrem no entorno da capital, Curitiba. Apesar de ambas serem representadas como padrão de colinas, as que estão situadas no noroeste são suscetíveis à processos de voçorocamento, condicionadas ao tipo de material e solo, que participam do seu processo evolutivo e dinâmico, enquanto as situadas em Curitiba não tem predisposição ao desenvolvimento dos mesmos processos e têm gênese distinta, bem como estão inseridas em diferentes compartimentos morfoesculturais e morfoestruturais.

Portanto, as classes de: i) colinas suaves (COS), ii) colinas (*strictu sensu*) (COL), iii) colinas onduladas (CON) e iv) feições dissecadas entre colinas (FDC) compreendem 54% do território paranaense, sendo a primeira e a última restritas ao Terceiro Planalto, com área de 3.314km² e 149km², respectivamente (Tabela 1); a segunda com predomínio no Terceiro Planalto (Tabela 1) com área total de 41.781km² e a terceira classe no Primeiro e Segundo Planaltos (Tabela 1), com área total de 4.800km² e 17.974km², respectivamente, além de expressiva área sobre o Terceiro Planalto perfazendo 29.561km².

4.2. Morros e morrotes

A designação de morro é bastante empregada sob a conotação morfográfica. Visa expressar de modo qualitativo a forma de relevo, como a definição de que configura um monte pouco elevado, cuja altitude é de aproximadamente 100 a 200m (GUERRA; GUERRA, 2008, p. 440), ou a de Florenzano (2008) de que constituem médias elevações do terreno, com domínio de topos arredondados, amplitudes entre 100 e 200m e declividades altas. Para realizar sua distinção muitas vezes são usados intervalos morfométricos, como o IBGE (2004) que emprega na sua determinação a classe de declividade superior a 15% e amplitude altimétrica entre 100 e 300m.

É frequente também a subcategorização dos morros, como em IPT e CPRM (2014) que os distingue em morro baixo aqueles com declividade predominante de 30% e amplitude altimétrica entre 90 e 110m e morro alto com declividade superior a 30% e amplitude altimétrica entre 140 e 200m. Outra separação é apresentada em IPT (1981), cujas classes são de morros e morros com vertentes suavizadas, ambas com amplitude altimétrica entre 100 e 300m e a primeira com declividade superior a 30% e a segunda com valores inferiores.

No Paraná foram classificadas quatro distintas classes com padrões de morros, que somam a representatividade de 23% do território do estado (Tabela 1), são elas: a) os morros (MOR), que representam 10% e são caracterizados por grande amplitude altimétrica e moderada declividade, b) os morros dissecados (MOD), com 8,7%, e que são caracterizados por grande amplitude altimétrica e alta declividade, c) os morros elevados (MOE), com 3,5%, caracterizados por amplitude altimétrica maior do que as demais classes de morros e d) os morros alongados estruturais (MAE), com 0,8%, e que apresentam as mesmas características morfométricas dos morros, mas são caracterizados pelas cristas alongadas e controladas pelas estruturas geológicas lineares de direção NW-SE localizadas no eixo central do Arco de Ponta Grossa.

As regiões constituídas por relevos muito dissecados e complexos foram as que demandaram a segregação dos morros em classes que os separassem em dissecados e elevados, caso de distinção semelhante entre morros foi empregada por Bortolini e Silveira (2021), quando utilizaram um método de segmentação multiresolução na Folha Curitiba e identificaram distintas classes de padrões de relevo de morros, morros elevados e morros declivosos, esse último equivalente ao que aqui é designado de morros dissecados (MOD).

Desse modo, os MOE foram identificados em todos os planaltos do Paraná, majoritariamente no Primeiro Planalto com área de 3.055km², no Segundo Planalto com área de 2.851km² e no Terceiro Planalto com 962km². Os MOD ocorreram no Primeiro Planalto com área de 2.547km² e com destaque maior no Terceiro Planalto com área de 14.732km². O padrão de MOR foi o de maior abrangência, classificado nos planaltos e na Serra do Mar, cuja maior representação foi no Terceiro Planalto com 16.093km², no Primeiro e Segundo Planalto com área equivalente, 1.886km² e 1.839km² e menor expressão na Serra do Mar com 167km² (Tabela 1).

Já os morros alongados estruturais, restritos ao Segundo Planalto (Figura 14-C), com área de 1.633km², configuram os lineamentos positivos ao longo das estruturas do enxame de diques do Arco de Ponta Grossa, nas áreas onde as rochas encaixantes apresentam menor resistência denudacional em relação à rocha do dique. Esses diques, predominantemente basálticos, constituem uma notável feição geológica com alinhamentos estruturais de direção preferencial entre N50W e N60W, cuja extensão pode variar de alguns metros a dezenas de quilômetros, apresentando-se intrudidos nas rochas paleozoicas da bacia do Paraná, bem como rochas pertencentes ao seu embasamento cristalino (RENNE *et al.*, 1996).

A classe de morrotes (MRT) foi identificada como um conjunto de padrões de relevo com valores morfométricos intermediários entre os morros e colinas. Configura-se, sob o aspecto morfológico, como a transição entre as colinas e os morros, diferenciando-se desses por expressar valores intermediários de declividade e amplitude altimétrica. Segundo IBGE (2004, p. 221) e IPT (1981), morrotes apresentam declividade maior do que 15% e altitudes superiores a 100m; para Florenzano (2008) possuem declividade predominante de 20% e amplitude altimétrica de 60 a 90m e para o IPT e CPRM (2014) apresenta declividade alta com valores de baixa amplitude altimétrica, variando entre 20 a 60m.

No presente trabalho, apesar dos valores adotados na sua determinação se aproximarem dos estabelecidos na literatura, com variação em acordo com as subunidades morfoesculturais, foi verificada que sua presença majoritária ocorre consorciada e em situação de vizinhança com as classes de morros, muitas vezes de forma transicional com as colinas onduladas. Assim como ocorre com as colinas e morros, os morrotes também apresentaram distinções conforme a unidade geomorfológica a qual estão inseridos. Por exemplo em porções do Primeiro Planalto os morrotes apresentam cristas alongadas sustentadas por diques de diabásio, quartzitos ou filitos, que são mais resistentes do que as rochas encaixantes, predominantemente carbonáticas (ROSA FILHO; GUARDA, 2008). Enquanto isso, em outras porções onde se desenvolveram sobre o Complexo Gnáissico-Migmatítico, os morrotes apresentam topos arredondados e vales entalhados.

Assim, a classe MRT foi identificada majoritariamente nos planaltos, e minoritariamente na região montanhosa da Serra do Mar. Esta classe é mais representativa no Segundo Planalto, onde abrange aproximadamente 20,5% (8.878km²) da sua área. No Primeiro Planalto e no Terceiro Planalto abrange 16,7% (3.109km²) e 10,1% (12.142km²) de suas áreas, respectivamente, enquanto na Serra do Mar abrange apenas 3,1% (108km²) de sua área (Tabela 1).

4.3 Serras montanhosas e serras de bordas de planaltos

Conforme Guerra e Guerra (2008), serra é um termo usado na descrição da paisagem física de terrenos acidentados com fortes desníveis, empregado, portanto, com sentido descritivo para formas de relevo, desconsiderando sua origem e evolução. Desse modo, para os referidos autores o conceito de serra é muito generalista.

Em parte, esta afirmação está carregada de verdade, uma vez que no Brasil serras são amplamente empregadas na designação de unidades de relevo com elevada declividade e amplitude altimétrica, que muitas vezes aparecem na designação de toponímias regionais. Exemplo disso é a denominação da Serra do Mar, cujo termo empregado é de notável consenso na designação das escarpas de blocos falhados que circundam a borda leste entre o planalto e litoral nas regiões Sul e Sudeste do país.

No estado do Paraná, a denominação da unidade de relevo Serra do Mar Paranaense é histórica, já empregada na literatura consagrada, tal como em Maack (1968), que a destaca como uma das cinco unidades fisiográficas do estado, corroborado por Bigarella (1978) e, mais recentemente, adotada em Santos *et al.* (2006) na designação de uma das cinco unidades morfoesculturais do Paraná.

Para Maack (1968) e Bigarella (1978), a Serra do Mar Paranaense não representa unicamente o degrau entre o litoral e o Primeiro Planalto, mas configura uma serra marginal típica que se eleva com valores altimétricos compreendidos entre 500 e 1.000m sobre o nível médio do planalto que a circunda a oeste. Do mesmo modo, sua morfologia não configura exclusivamente uma serra de borda de planalto, já que possui setores originados por erosão diferencial regressiva, onde as maiores elevações, com cimos elevados, são sustentadas pelo Cinturão Granitóide Costeiro do Estado do Paraná (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998), influenciadas, ainda, por sistemas de falhas, fraturas e diques que, conjuntamente, exercem controle na rede de drenagem e na escarpa do *front* montanhoso da Serra (SANTOS *et al.*, 2006).

Portanto, empregou-se na classificação dos padrões de formas de relevo a terminologia de serra montanhosa, exclusivamente utilizada para as unidades de relevo que compreendem a feição de destaque da borda leste, entre o Primeiro Planalto Paranaense e litoral, cujo relevo já foi tratado como uma serra marginal típica em Maack (1968) e Bigarella (1978), pois apresenta elevado desnível para ambas as faces, leste e oeste. As serras montanhosas foram distintas em dois diferentes padrões de formas: serras montanhosas baixas (SMB) e serras montanhosas altas (SMA), a primeira classe com área de 706km² e a segunda com 2.179km² (Tabela 1).

O acréscimo do termo montanhoso, complementar a designação de serra, empregada no presente trabalho exclusivamente para o relevo da Serra do Mar, teve como propósito assumir esse compartimento morfoescultural como um conjunto de montanhas em concordância com a atual interpretação do Sistema Brasileiro de Classificação do Relevo (COMITÊ EXECUTIVO NACIONAL – CEN/SBCR, 2022) e de Botelho *et al.* (2023), que expressam a Serra do Mar como um relevo de montanhas.

Essas montanhas, do ponto de vista de gênese, diferem-se das montanhas em estruturas dos dobramentos modernos, aos moldes de típicas cadeias orogênicas de relevo jovem (GUERRA; GUERRA, 2008), tal como as evidentes grandes cadeias de montanhas existentes no planeta, como as cordilheiras dos Andes, do Himalaia, os Alpes, entre outros casos. A Serra do Mar foi categorizada por Ab'Saber (1985; 2006) como Montanhas de blocos falhado, ao tratar das origens da complexidade geomorfológica do sudeste do Brasil. Segundo Guerra e Guerra (2008), as velhas montanhas desgastadas do Brasil Atlântico contrastam, na América do Sul, com as montanhas jovens da cadeia andina.

Se aqui se assumiu o termo serra para a designação do padrão de relevo Serras montanhosas, é porque se entende que uma montanha pode ser designada como serra, porém, ressalta-se que nem toda serra configura uma montanha. Nesse sentido, outro conjunto de padrão de serra foi aqui tratado como as Serras de borda de planaltos.

O relevo das bordas de planaltos, presentes no Paraná, apresenta, muitas vezes, toponímias de serras. É aceito na literatura que serra é a denominação de borda de planaltos (GUERRA; GUERRA, 2008, p. 570), como é o caso da Serra do Purunã, na passagem do Primeiro para o Segundo Planalto, e Serra da Esperança, que representa a passagem do Segundo para o Terceiro Planalto. Assim, optou-se pela complementação do termo “serras de bordas de planaltos”.

Esse padrão configura o *front* erosivo das duas *cuestas* presentes no Paraná (AB'SABER, 1949): o *front* da *cuesta* devoniana, cuja gênese está associada ao processo de circundesnudação pós-cretácea, que conforma uma linha de *cuestas* de relativa expressão morfológica no Paraná, denominada regionalmente de Escarpa Devoniana, com associação à idade do seu arcabouço geológico, ou ainda como Escarpa do Purunã ou Serrinha (AB'SABER, 1964); e outra, situada na transição do Segundo para o Terceiro Planalto Paranaense, cujo limite marcado pelo realce topográfico da chamada Escarpa Triássico-Jurássica, com denominações de Escarpa Mesozóica, Escarpa Arenito-basáltico, Escarpa do Serra Geral ou, como é comumente designada no Paraná, Escarpa da Serra da Esperança, ou da Boa Esperança. Para Ab'Saber (1949), a escarpa do Serra Geral constitui, em quase toda a sua extensão, um sistema de escarpas de circundesnudação, dos mais típicos e gigantes de que se tem notícia.

4.4 Patamares estruturais e Cânions

Os patamares estruturais são definidos pelo Dicionário Geológico-Geomorfológico do IBGE como “uma superfície plana que interrompe a continuidade do declive de uma vertente”, sendo gerados através da retomada da erosão devido à presença de estruturas geológicas (GUERRA, 1993, p. 314). Adaptado à inclinação geral das camadas sedimentares, este relevo no estado do Paraná foi modelado como resposta da epirogênese de idade terciária (equivalente atualmente ao período Paleógeno), onde a drenagem se superimpôs, apresentando-se cataclinal (consequente), correndo assim para oeste e abrindo profundos boqueirões epigenéticos ou vales superimpostos na *cuesta* (COSTA *et al.*, 2005). Os rios penetram nessa unidade geomorfológica seguindo alinhamentos estruturais e sulcos que existem na área de reverso da *cuesta*, surgindo, em consequência, cânions profundos e estreitos (COSTA *et al.*, 2005). São os casos dos vales dos rios Iapó (Cânion do Guartelá), Jaguariaíva (Cânion do Vale do Codó) e Itararé, que possuem suas nascentes no Primeiro Planalto Paranaense e rompem a *cuesta*, assim, drenando rumo ao interior do continente (MELO *et al.*, 2007). Entre os rios Iapó e Jaguariaíva existe uma sequência muito grande desses sulcos estruturais (COSTA *et al.*, 2005).

Uma importante megaestrutura de soerguimento que marca este contexto geomorfológico é o Arco de Ponta Grossa. Durante o Cretáceo Inferior ocorreu um intenso vulcanismo que preencheu grande parte da Bacia do Paraná e estabeleceram-se, então, os enxames de diques expostos nas bordas da bacia sedimentar, entre eles o enxame associado ao Arco de Ponta Grossa (RAPOSO, 1995). Segundo Ferreira (1982), o limite norte do Arco de Ponta Grossa, marcado pelo Alinhamento de Guapiara, apresenta 600 km de extensão e larguras variáveis de 20 a 100 km, o limite sul do Arco é caracterizado pelo Alinhamento do Rio Piquiri que é orientado a N60-65W, com extensão de 115 km e largura máxima de 20 km. A região central é definida pelos Alinhamentos São Jerônimo-Curiúva e do Rio Alonzo e se caracteriza por intenso fraturamento e falhamentos de pequeno rejeito.

A implantação do arco, por meio de mecanismos de inversão tectônica (FERREIRA, 1982), foi responsável por desenvolver uma série de falhas e fraturas sobre as rochas de cobertura metassedimentares a partir da reativação de antigas linhas de fraqueza no embasamento (FASSBINDER, 1990). Com o intenso evento de vulcanismo que ocorreu no Cretáceo Inferior e que foi responsável por preencher significativa parte da Bacia do Paraná, foram estabelecidos um enxame de diques máficos de grande extensão e direção preferencial NW que estão associados ao Arco de Ponta Grossa (RAPOSO, 1995). Melo *et al.* (2007) afirmam que o Arco de Ponta Grossa é responsável pela forma crescente que as unidades geológicas e escarpas que delimitam os planaltos tomaram ao longo de suas evoluções, além de que suas estruturas rúpteis, como falhas e fraturas, se caracterizam como importantes fatores de controles das drenagens da área.

4.5 Planícies e rampas coluvionares

As planícies, definidas como conjuntos de formas planas ou suavemente onduladas em que os processos de sedimentação são superiores aos de erosão (IBGE, 2009), foram subdivididas em duas categorias no presente mapeamento: planície fluviomarina e planícies fluviais. No contexto litorâneo, a formação da planície fluviomarina está associada a ciclos transgressivo/regressivos do Quaternário nos dois últimos períodos glaciais (ANGULO, 2004) e ao sistema de drenagem vinculado ao complexo estuarino de Paranaguá e Guaratuba, que recebem o material erodido das montanhas da Serra do Mar. Incluem-se, nesse padrão de forma de relevo, os terraços, os canais fluviais suscetíveis a inundações, os manguezais, os cordões arenosos e pequenas dunas.

As planícies fluviais, por sua vez, divergem da conceituação que as classifica “em geral posicionadas a baixa altitude” (IBGE, 2009, p. 30) no estado do Paraná. No Primeiro e Segundo Planalto constam planícies que superam 1000 m de altitude. Destacam-se, em extensão, as planícies dos rios Iguaçu (sobretudo no terço médio e superior), Tibagi, Ivaí e Paraná e as planícies menores que evidenciam os processos agradacionais no contexto interplanáltico.

A gênese das planícies fluviais apresenta relação direta com as unidades morfoesculturais no Paraná, visto que os processos de acumulação têm origem na denudação de feições que sustentam as maiores elevações no âmbito regional. São exemplos os maciços graníticos da Serra do Mar, que condicionam as planícies fluviais nos sopés das montanhas (a leste) e a Bacia Sedimentar de Curitiba (a oeste) com a planície fluvial do Alto Iguaçu; a escarpa sedimentar e o Arco de Ponta Grossa no Segundo Planalto, com a formação da planície do rio Tibagi; os planaltos residuais da Formação Serra Geral, o aprofundamento do nível de base do rio Paraná e a erosão diferencial das fases vulcânicas (derrames, vulcanoclastos e piroclastos), no Terceiro Planalto, que exemplificam a origem da planície fluvial do rio Ivaí.

Em relação às rampas coluvionares, cujo termo foi proposto inicialmente por Bigarella e Mousinho (1965) como rampas de colúvio, salienta-se a importância desse padrão de forma de relevo na compreensão da morfodinâmica local. São definidas como “formas de fundo de vale suavemente inclinadas, associadas à coalescência de depósitos coluviais provenientes das vertentes que se interdigitam e/ou recobrem os depósitos aluvionares. Ocorre em setores de baixa encosta, em segmentos côncavos que caracterizam as reentrâncias (*hollows*) ou depressões do relevo nos anfiteatros” (IBGE, 2009, p. 36). Os complexos de rampas coluvionares, destacados no presente mapeamento de modo circundante à Serra do Mar, são formadas pelo retrabalhamento em função da recorrência dos processos erosivos e deposicionais durante o Quaternário (GUERRA; GUERRA, 2008).

A presença dos depósitos coluvionares é favorecida pela ruptura de declive e transporte de material intemperizado a montante por processos gravitacionais. Trata-se de uma característica atual, já que os movimentos de massa controlam a morfodinâmica nesse ambiente montanhoso, e, ao mesmo tempo, trata-se de uma característica que evidencia a morfogênese da região leste paranaense. Muitas das planícies de inundação que constam na transição entre a Serra do Mar e a Planície Litorânea estão associadas a sistemas de cones de dejeção de detritos. No

mapa geomorfológico da Folha SG.22 Curitiba (COSTA *et al.*, 2005) do Projeto RADAMBRASIL (BARBOSA *et al.*, 1984), por exemplo, todas as planícies confinadas nos grandes vales da Serra do Mar foram mapeadas como "Planícies Alúvio-Coluvionares", na categoria "Rampas de colúvio", caracterizando-as como modelado de acumulação, em áreas planas ou embaciadas, resultante da convergência de leques coluviais, cones de dejeção ou da concentração de depósitos de enxurradas.

6. Conclusões

O método se mostrou exequível e compatível com os requisitos propostos, fazendo uso de recursos tecnológicos atuais para se obter um produto de cartografia geomorfológica em escala intermediária. Apresentou limitações pontuais, demandando ajustes por interpretação visual. Para a sua execução é indispensável a realização de trabalhos de campo.

As dezesseis classes que compuseram os padrões de formas de relevo no território paranaense foram estabelecidas com amparo da literatura e se mostraram compatíveis à escala e configuram unidades aptas para serem adotadas no quarto táxon geomorfológico.

A aplicação do método permitiu a elaboração de um novo mapa geomorfológico do Estado do Paraná na escala 1:100.000, aqui proposto como um avanço na escala e no táxon, com a distinção de 226 unidades de padrões de formas de relevo. As principais limitações do método se ativeram ao efeito de borda nos atributos geomorfolômétricos com cálculo regional e à necessidade de que os operadores tenham clareza sobre o modelo de distribuição do relevo da área para a determinação dos parâmetros e verificação das classificações obtidas.

O método, a designação hierárquica e a composição das classes visam oferecer a sua contribuição para o avanço da cartografia geomorfológica no Brasil, em especial no atual momento de debate e formulação do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo. Trata-se de uma proposta metodológica aberta, cuja inclusão de variáveis geomorfométricas adicionais ou de outros métodos de parametrização podem detalhar as classes na composição do mapa geomorfológico obtido.

Contribuições dos Autores: Concepção, C. T. S., R. M. P. S. e W. B.; metodologia, C. T. S., R. M. P. S., W. B. e V. A. P.; software, C. T. S., R. M. P. S., W. B. e V. A. P.; validação, C. T. S., R. M. P. S., W. B. e V. A. P.; pesquisa, C. T. S., R. M. P. S., W. B. e V. A. P.; recursos, C. T. S.; preparação de dados, C. T. S., R. M. P. S., W. B. e V. A. P.; escrita do artigo, C. T. S., R. M. P. S., W. B.; revisão, C. T. S., R. M. P. S., W. B. e V. A. P.; aquisição de financiamento, C. T. S. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Disponibilidade de dados: Os arquivos vetoriais do mapa geomorfológico deste trabalho estão disponíveis em <https://doi.org/10.5281/zenodo.14884572>.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Chamada: CNPq nº 09/2020 - Bolsa Produtividade, Processo número 305670/2020-4; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Chamada MCTIC/CNPq nº 28/2018, Processo número 434343/2018-8.

Agradecimentos: Ao Instituto Água e Terra (IAT-PR), à época ITCG/Mineropar, pelas bolsas de estágio concedidas durante o desenvolvimento do projeto.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

1. AB'SABER, A.N. **O relevo brasileiro e seus problemas**. In: *Brasil - a terra e o homem*, Org.: Aroldo de Azevedo. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 1964.
2. AB'SABER, A.N. Regiões de circundesnudação pós-cretácea, no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia, São Paulo**, v. 1, p.1-21, 1949.
3. AB'SABER, A. N. O Ribeira de Iguape: uma setorização endereçada ao planejamento regional. **Boletim Técnico Sudelpa**, São Paulo, n. 1, p. 1-35, 1985.
4. AB'SABER, A. N. Montanhas de blocos falhados. **Scientific American Brasil**, n. 47, p. 98, 2006. Tradução. Disponível em: <biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1667445_MontanhasDeBlocosFalhados.pdf>.

5. AILL, L. DEM-based Analysis of Local Relief. In: Zhou, Q., Lees, B., Tang, Ga. (eds) *Advances in Digital Terrain Analysis. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2008. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77800-4_10
6. ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D.R. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, n.28, v.2, p.135-150, 1998.
7. ANGULO, R. J. Mapa do Cenozoico do litoral do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de geociências*, v. 55, p. 25-42, 2004.
8. BARBOSA, G. V.; SILVA, T. C.; NATALI FILHO, T.; DEL'ARCO, D. M.; COSTA, R. C. R. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto Radambrasil. *Boletim Técnico, Série Geomorfologia*. Salvador n. 1, 187 p., 1984.
9. BESSER, M.L; BRUMATTI, M; SPISILA, A.L. Mapa Geológico e de Recursos Naturais do Estado do Paraná. Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Curitiba: SGB-CPRM, 2021, 1 mapa colorido, 235 x 90 cm. Escala 1:600.000, disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/22492>
10. BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. *Boletim Paranaense de Geografia*, Curitiba-PR, 16/71:153-198, 1965.
11. BIGARELLA, J. J; BECKER, R.D; MATOS, D.J.; WERNER, A. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná: Um problema de segurança ambiental e nacional**. Secretaria do Estado do Planejamento do Paraná: Curitiba. 1978.
12. BORTOLINI, W.; SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P.; SILVA, J. M. F. Técnicas geomorfométricas para o mapeamento de padrões de relevo: aplicação nas cartas Curitiba e Cerro Azul, estado do Paraná. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, v. 36, p. 15-32, 2018. DOI: 10.11606/rdg.v36i0.144285
13. BORTOLINI, W; SILVEIRA, C. T. Emprego de segmentação multiresolucional no mapeamento digital de formas de relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 24, 2021. DOI: 10.20502/rbg.v22i4.1987
14. BORTOLINI, W; SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P. Emprego de técnicas geomorfométricas na identificação de padrões de relevo. *Revista Ra'e Ga*, v. 41, p. 131-150, 2017. DOI: 10.5380/raega.v41i0.51724
15. BOTELHO, R.G.M.; DANTAS, M.E.; SILVEIRA, C.T. Excursões técnicas: pelas montanhas do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 58p.
16. BOTELHO, R. M. G.; SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P. **Excursões técnicas: guia de campo da I Reunião de Classificação do Relevo Planaltos do Estado do Paraná**. IBGE, Coordenação de Meio Ambiente. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.
17. COSTA, R. C.; BUSS, M. D.; ROSA, R. O. **Capítulo 2 – Geomorfologia**. In: Levantamento de Recursos Naturais, Volume 35: folha SG.22 Curitiba, parte da folha SG.21 Asunción e folha SG.23 Iguape (Relatório técnico do extinto Projeto RADAMBRASIL), Org. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, 2005.
18. COMITÊ EXECUTIVO NACIONAL – CEN/SBCR. Breve estado da arte do Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo (SCBR): contribuições de e para a sociedade científica geomorfológica. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 67, n. 2, p. 212-227, 2022.
19. DANTAS, M. E.; LACERDA, A.; MAIA, M. A. M. **Cartas de padrão de relevo multiescala**. Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial: volume 7 – versão 1.. SGB-CPRM, 2023.
20. DIKAU, R. The application of a digital relief model to landform analysis. In: RAPER, J. F. (Ed.), **Three Dimensional Applications in Geographical Information Systems**. Taylor & Francis, London, p.51-77, 1989.
21. DIKAU, R.; BRABB, E. E.; MARK, R. M. **Landform Classification of New Mexico by Computer**. Open File report 91-634. U.S. Geological Survey, 1991.
22. DIKAU, R.; BRABB, E. E.; MARK, R. K.; PIKE, R. J. Morphometric landform analysis of New Mexico. *Zeitschrift fur Geomorphologie Supplementband*. v. 101, p. 109-126, 1995.
23. DRAGUT, L; BLASCHKE, T. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. *Geomorphology*, v. 81, p. 330-344, 2006. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.04.013.
24. FASSBINDER, E. **Análise estrutural da Falha da Lancinha: estado do Paraná**. 1990. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
25. FERREIRA, F.J.F. **Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.
26. FIORI, A. P.; GASPAS, L. A. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (Proterozóico Superior), Paraná, sul do Brasil. *Boletim IG-USP. Série Científica*, v. 24, p. 1-19, 1993. DOI: 10.11606/issn.2316-8986.v24i0p1-19.
27. FLORENZANO, T. G. Introdução à geomorfologia. In: _____ (org.). **Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

28. GOMES, S. M. A.; SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Aplicação de técnicas geomorfométricas para classificação de formas do relevo em Campo Largo, estado do Paraná - Brasil. **Revista Geografar**, v. 13, n. 1., p. 75-97, 2018. DOI: 10.5380/geografar.v13i1.56463.
29. GOULART, A. Á.; SANTOS, L. J. C. Evolução temporal e espacial das paleovoçorocas presentes no município de Loanda/PR. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 10, p. 81-86, 2014.
30. GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 73-83, 2008. DOI: 10.31223/osf.io/amn2t
31. HENGL, T. Finding the right pixel size. **Computers & Geosciences**. 32, p. 1283-1298, 2006. DOI: 10.1016/j.cageo.2005.11.008
32. HORN, B. K. P. Hill shading and the reflectance map. *Proceedings of the IEEE*, n. 69, v.01, p. 14-47, 1981.
33. HUTCHINSON, M. F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. **Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney**, Australia, 1988.
34. GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 446 p. 1993.
35. GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário Geológico-Geomorfológico**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.
36. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 175 p., 2009.
37. IBGE. **Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.
38. IBGE. **Relatório Técnico 1º Workshop sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Relevo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 77p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101731.pdf>.
39. IPT. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, citado em: cap. 4 – cartografia in: geomorfologia conceitos e tecnologias atuais. 1981.
40. IPT; CPRM. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - 1:25.000** - Nota técnica explicativa. 2014.
41. IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated classification of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology**.v. 86, p. 409-440, 2007. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.09.012
42. JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons a Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147-156, 2013. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.11.005
43. KLINGSEISEN, B.; METTERNICHT, G.; PAULUS, G. Geomorphometric landscape analysis using a semi-automated GIS-approach, *Environmental Modeling and Software* Vol. XX, pag. 1–13. **Science Direct**, 2007.
44. MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Estado do Paraná, Universidade Federal do Paraná e Instituto de Geologia e Pesquisas Tecnológicas, 1968.
45. MACMILLAN, R. A.; PETTAPIECE, W. W.; NOLAN, S. C.; GODDARD, T. W. A generic procedure for automatically segmenting landforms into landform elements using DEMs, heuristic rules and fuzzy logic. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 113, 81–109, 2000. DOI: 10.1016/S0165-0114(99)00014-7
46. MARCOLIN, L.; CALEGARI, M. R.; SANTOS, L. J. C.; CAMARGO, P. B. de. Phytoliths, $\delta^{13}\text{C}$ and Charcoal: holocene environmental memories from a paleogully in northwestern Paraná State . **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 24, n. 00, 2023. DOI: 10.20502/rbg.v24i00.2328. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2328>. Acesso em: 3 set. 2024.
47. MELO, M. S.; GUIMARÃES, G. B.; RAMOS, A. F.; PRIETO, C. C. Relevo e hidrografia dos Campos Gerais. IN: MELO, K. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2007. p. 49-58.
48. MILANI, E. J.; RANGEL, H. D.; BUENO, G. V.; STICA, J. M.; WINTER, W. R.; CAIXETA, J. M.; NETO, O. P. Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 15, n. 2, p. 183-205, 2007.
49. OKA-FIORI, C., SANTOS, L.J.C., CANALI, N.E., FIORI, A.P., SILVEIRA, C.T., SILVA, J.M.F., ROSS, J.L.S. **Atlas geomorfológico do estado do Paraná: Escala base 1:250.000 modelos reduzidos 1:500.000**. Curitiba, Minerais do Paraná SA. - MINEROPAR; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 59p.
50. PIKE, R. J. The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. **Mathematical Geology**, v. 20, p. 491–511, 1988.
51. PIKE, R. J.; EVANS, I., HENGL, T. Geomorphometry: A Brief Guide. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**. Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, pp. 3-30, 2009.

52. RAPOSO, M. I. B. Episódios intrusivos no Arco de Ponta Grossa, determinados através de estudos paleomagnéticos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 25, n. 1, p. 3-19, 1995.
53. RENNE, P. R.; DECKART, K.; ERNESTO, M.; Fe, G.; PICCIRILLO, E. M. Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil), and implications to Paraná flood volcanism. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 144, n. 1-2, p. 199-211, 1996. DOI: 10.1016/0012-821X(96)00155-0
54. REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science, Amsterdam: Elsevier, v. 33, p. 3-30, 2009.
55. ROSA FILHO, E. F.; GUARDA, M. J. Compartimentação hidrogeológica da Formação Capiru na região norte de Curitiba-PR, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 22, n. 01, p. 67-74, 2008. DOI: 10.14295/ras.v22i1.17024
56. ROMSTAD, B. Improving relief classification with contextual merging. **Proceedings of ScanGIS'2001** – The 8th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science. Ås, Norway, p. 3-13, 2001.
57. ROSS, J. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Rev. Geografia**. São Paulo, IG-USP, p. 17-29, 1992.
58. SAADAT, H.; BONNELL, R.; SHARIFI, F.; MEHUYS, G.; NAMDAR, M.; ALE-EBRAHIM, S. Landform classification from a digital elevation model and satellite imagery. **Geomorphology**. v. 100, p. 453-464, 2008. DOI: 10.1016/j.geomorph.2008.01.011
59. SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F.; ROSS, J.L.S.; Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 7, n. 2. p. 03-11. 2006. DOI: 10.20502/rbg.v7i2.74
60. SILVEIRA, C. T.; 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. DOI: 10.5380/raega.v41i0.51674
61. SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L.E.S. 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.01, p. 33-57, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i1.1263>
62. SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P.; BORTOLINI, W.; ALMEIDA, V. P. Unidades de relevo do novo mapa geomorfológico do Paraná: avanço na escala e táxon. **Geo UERJ**, n. 42, 2023. DOI: 10.12957/geouerj.2023.74576
63. 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**, v. 15, n. 1, 87-101, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v15i1.433.
64. SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Classificação hierárquica automatizada de formas do relevo no estado do Paraná apoiada na modelagem digital do terreno. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 05, p. 1509-1523, 2015.
65. SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Análise digital do relevo aplicada à cartografia geomorfológica da porção central da Serra do Mar Paranaense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, nº 4, 615-629, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i4.1063
66. VALERIANO, M.M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 1-72, 2004.
67. WEISS, A. **Topographic Position and Landforms Analysis**. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA, 2001.
68. WILSON, J. P. Digital terrain modelling. **Geomorphology**. v. 137, p. 107-121, 2012. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.03.012
69. WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.
70. WOOD, J. **The geomorphological characterisation of digital elevation models**. Leicester, UK, 1996. 185p. PhD Thesis - University of Leicester. Disponível em: <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.