

**UNIVERSIDADE ESTADUAL
DO CEARÁ - UECE**

Av. Dr. Silas Munguba, 1700 -
Campus do Itaperi, Fortaleza/CE

**MAPEAMENTO
MORFOGENÉTICO DA
PORÇÃO LESTE DO ESTADO
DO PARANÁ COM USO DA
GEOMORFOMETRIA**

**Ricardo Michael Pinheiro
Silveira**

Claudinei Taborda da Silveira

Citação: SILVEIRA, R. M. P.;
SILVEIRA, C. T. MAPEAMENTO
MORFOGENÉTICO DA
PORÇÃO LESTE DO ESTADO
DO PARANÁ COM USO DA
GEOMORFOMETRIA. **Revista
GeoUECE (online)**, v. 08, n. 15,
p. 165-177, jul./dez. 2019. ISSN
2317-028X.



MAPEAMENTO MORFOGENÉTICO DA PORÇÃO LESTE DO ESTADO DO PARANÁ COM USO DA GEOMORFOMETRIA

MORPHOGENETIC MAPPING OF THE EAST OF THE STATE OF PARANÁ USING GEOMORPHOMETRY

Ricardo Michael Pinheiro Silveira ¹

Claudinei Taborda da Silveira ²

¹ Doutor em Geografia, pesquisador PNPd/CAPES no PPGGEO da UFPR. E-mail: ricardomichaelps@gmail.com.

² Professor adjunto do Departamento de Geografia da UFPR. E-mail: claudineits@ufpr.br.

RESUMO

No âmbito da análise digital do relevo aplicada à identificação de objetos geomorfológicos, o presente trabalho apresenta uma proposta metodológica para mapeamento morfogênico amparado por técnicas geomorfológicas, contemplando morfogênese fluviomarina, fluvial e denudacional, subdivididas em processos morfogênicos construtivos e destrutivos. Foram criadas regras classificatórias semiautomatizadas em cinco atributos geomorfológicos (altimetria, declividade, área de contribuição, índice de posição topográfica e índice topográfico de umidade) calculados a partir um Modelo Digital do Terreno. A aplicação foi realizada numa porção do estado do Paraná que compreende a Planície Litorânea, a Serra do Mar e o Primeiro Planalto. Os resultados foram condizentes à realidade observada em campo, denotando a potencialidade de aplicação do método em porções com contextos geomorfológicos distintos e ressaltando as principais características do relevo local.

Palavras-chave: Modelo Digital do Terreno. Análise Digital do Relevo. Mapeamento geomorfológico. Morfogênese. Relevo do Paraná.

ABSTRACT

In the context of digital terrain analysis applied to the identification of geomorphological objects, the present study presents a methodological proposal for morphogenetic mapping supported by geomorphometric techniques, contemplating fluviomarine, fluvial and denudational morphogenesis, subdivided into constructive and destructive morphogenetic processes. Semiautomatic classification rules were created in five geomorphometric attributes (altimetry, slope, contribution area, topographic position index and topographic wetness index) calculated from a Digital Terrain Model. The application was carried out in a portion of the state of Paraná comprising the Planície Litorânea (Coastal Plain), the Serra do Mar and the Primeiro Planalto (First Plateau). The results were consistent with the reality observed in the field, denoting the potential application of the method in portions with distinct geomorphological contexts and highlighting the main features of the local landforms.



Key-words: Digital Terrain Model. Digital Terrain Analysis. Geomorphological mapping. Morphogenesis; Paraná relief.

1. INTRODUÇÃO

As aplicações de técnicas geomorfométricas, vinculadas ao desenvolvimento da análise digital do relevo, têm sido cada vez mais empregadas em trabalhos de mapeamento geomorfológico (MACMILLAN e SHARY, 2009; SEIJMONSBERGEN *et al.*, 2011; BISHOP *et al.*, 2012; DRAGUT e EISANK, 2011). O enfoque predominante, entretanto, contempla a modelagem de objetos morfográficos e morfodinâmicos, muitas vezes secundarizando a perspectiva morfogênética (SILVEIRA, 2019).

Conforme Evans *et al.* (2009), a geomorfometria moderna auxilia, de modo concomitante, na descrição, mapeamento e interpretação do relevo, com destaque para: a) interpretação visual de modelos digitais do terreno (MDTs); b) reconhecimento automatizado e quantificação de propriedades geomorfológicas; c) extração automatizada de estruturas hidrológicas ou denudacionais; d) extração automatizada de formas de relevo, sendo essa uma das áreas de pesquisa mais ativas no campo da geomorfologia recente (EVANS *et al.*, 2003).

As aplicações computadorizadas para mapeamento geomorfológico, segundo Bocco *et al.* (2011), requerem considerações fundamentais sobre aspectos temporais, espaciais e disponibilidade de dados básicos, devendo distinguir: i) a modelagem conceitual dos fenômenos do "mundo real" pela teoria geomorfológica; ii) a representação dos objetos em conceitos computadorizados; iii) o nível da base de dados, os procedimentos de visualização e a posterior aplicação. Para Bolongaro-Crevenna *et al.* (2005), a geomorfometria considera a relação entre objetos geomorfológicos e os parâmetros numéricos usados para descrevê-los

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma proposta metodológica para mapeamento morfogênético amparado por técnicas geomorfométricas, derivando um conjunto de regras classificatórias semiautomatizadas em atributos geomorfométricos derivados de um MDT. Para testar a aplicabilidade do método numa perspectiva regional, de modo contínuo e em áreas com grande diversidade geomorfológica, o recorte espacial escolhido foi a porção leste do estado do Paraná. A área abarca a Planície Litorânea, Serra



do Mar e Primeiro Planalto, conforme compartimentação de Maack (1981) e Santos et al. (2006).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Processamento do Modelo Digital do Terreno e dos atributos geomorfométricos

O MDT foi gerado a partir das bases vetoriais planialtimétricas derivadas de cartas topográficas produzidas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nas escalas 1:25.000 (Serra do Mar e Planície Litorânea) e 1:50.000 (Primeiro Planalto), contendo curvas de nível, pontos cotados e hidrografia. O método empregado para a obtenção do MDT foi o interpolador *Topogrid*, conforme proposta de Hutchinson (1989), cujo tamanho de célula foi definido em 20 metros.

Foram calculados, a partir do MDT, quatro atributos geomorfométricos (tabela 1) que compuseram as regras de classificação para os objetos morfogenéticos (tabela 2).

Tabela 1 - Atributos geomorfométricos calculados

| Atributo geomorfométrico | Ordem / Cálculo | Referência do cálculo |
|-------------------------------|-----------------------|--|
| Altimetria | Zero (MDT) / Regional | Hutchinson (1989) |
| Declividade | Primário / Local | Horn (1981) |
| Área de contribuição | Primário / Regional | Tarboton (1997) (método D-Infinito) |
| Índice de Posição Topográfica | Primário / Regional | Wilson e Gallant (2000) e Weiss (2001) |
| Índice Topográfico de Umidade | Secundário / Composto | Beven e Kirkby (1979) |

2.2. Modelagem da morfogênese

A definição das classes morfogenéticas foi baseada na concepção de mapas geomorfológicos poloneses (KLIMASZEWSKI, 1963a; 1963b) e alemães (LESER; STÄBLEIN, 1975), onde a morfogênese representa um agrupamento das formas a partir de sua origem e evolução em relação aos agentes genéticos e processos atuantes em comum. Considerou-se, também, a concepção de Demek (1967), na qual um complexo de agentes contribui para a gênese da maioria das formas de erosão-denudação, porém, um dos fatores normalmente



predomina sobre os outros, sendo normalmente decisivo para o desenvolvimento das formas.

A partir das características geomorfológicas do estado do Paraná foram definidas três classes (dentre as quinze principais) para as etapas de modelagem geomorfométrica: morfogênese fluviomarinha, morfogênese fluvial e morfogênese denudacional.

Para cada classe morfogenética modelada foi atribuído um processo morfogenético predominante, conforme proposta de Klimaszewski (1963a; 1963b) utilizada nos primeiros mapas poloneses, cujos processos podem ser construtivos e destrutivos. Nessa perspectiva, um morro, caracterizado como uma unidade de morfogênese denudacional, pode ser segmentado com o predomínio de processo destrutivo no topo e de processo construtivo nas porções intermediárias e inferiores (caracterizando, por exemplo, depósitos coluvionares).

Operacionalmente, no âmbito geomorfométrico, a modelagem seguiu a proposta de Silveira (2019). Para a parametrização foram utilizados cinco atributos geomorfométricos: hipsometria, declividade, área de contribuição, ITU e IPT, sendo que para esse último foram calculados três distintos raios de análise de vizinhança: 100, 500 e 5000 metros (5, 25 e 250 células, respectivamente). Os parâmetros detalhados são apresentados pela tabela 2.

A morfogênese fluviomarinha teve como parâmetro apenas a hipsometria, enquanto a morfogênese fluvial contemplou a soma de quatro regras de classificação além do limiar hipsométrico. Cada regra condiz às características de distintos contextos geomorfológicos da área de estudo, devido à variedade morfométrica da ocorrência de feições e processos fluviais. A morfogênese denudacional, por fim, contemplou todas as demais áreas em que não houve ocorrência de morfogênese fluviomarinha e fluvial. A segmentação, portanto, se deu a partir dos parâmetros inversos dessas duas primeiras classes morfogenéticas.



Tabela 2 - Parâmetros de classificação da morfogênese e processos morfogênicos

| Morfogênese | Parâmetros | Processo morfogênético | Parâmetros |
|---------------|---|---------------------------|--|
| Fluviomarinha | Hipsometria < 20 metros | Destrutivo Construtivo | IPT (raio de 500 metros) > 0 IPT (raio de 500 metros) < 0 |
| Fluvial | Hipsometria > 20 metros; a) Área de contribuição > 1km ² ; b) IPT (raio de 100 metros) < - 1 desvio padrão; | Destrutivo | Declividade > 8% ou área de contribuição > 1km ² |
| | c) ITU > média e IPT (raio de 500 metros) < - 1 desvio padrão; d) ITU > média e IPT (raio de 500 metros) > - 1 desvio padrão e < 0 e IPT (raio de 5000 metros) < 0 | Construtivo | Declividade < 8% e área de contribuição < 1km ² |
| Denudacional | Soma de todos os segmentos não contemplados pela morfogênese fluviomarinha e fluvial | Destrutivo | IPT (raio de 500 metros) > 0 |
| | | Construtivo | IPT (raio de 500 metros) < 0 |

A conferência de campo contabilizou 116 pontos de controle e 900 km percorridos com conferência em tempo real dos resultados obtidos pelo mapeamento (extensão DNR Garmin, no software ArcGIS 10.1).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Planície Litorânea

A hidrografia como dado de entrada para a interpolação do MDT foi fundamental para a distinção de processos morfogênicos, já que as porções interfluviais, de posição mais elevada que o entorno, foram definidas como destrutivas, e as porções inferiores como construtivas. Muitas áreas mapeadas como processo morfogênético construtivo correspondem às depressões intercordões, de Angulo (2004), que constituem áreas alagadas em depressões rasas, estreitas e alongadas.

Supôs-se, inicialmente, que as etapas de modelagem geomorfométrica seriam prejudicadas em função da generalização associada à equidistância de 10 metros das curvas de nível para uma extensa planície. Entretanto, a conferência em campo das classes morfogênicas mapeadas



demonstrou que os pontos cotados e principalmente a hidrografia, com base no interpolador *Topogrid* (HUTCHINSON, 1989), foram determinantes para que o MDT derivado tenha permitido, de modo condizente à realidade, suprir a escassez de curvas de nível na representação de objetos discretos.

Outros três exemplos com resultados satisfatórios verificados em campo merecem destaque: i) possibilidade de interpretação dos estágios evolutivos da Ilha do Mel, Superagui e do município de Pontal do Paraná a partir dos terraços e classes morfogênicas; ii) indicação de erosão costeira, sobretudo na porção centro-sul do arco praial (município de Matinhos), em praias que apresentam processo morfogênico destrutivo próximos à costa; iii) representação condizente à realidade nas porções estuarinas e na abrupta transição de relevo com a Serra do Mar (figura 1).

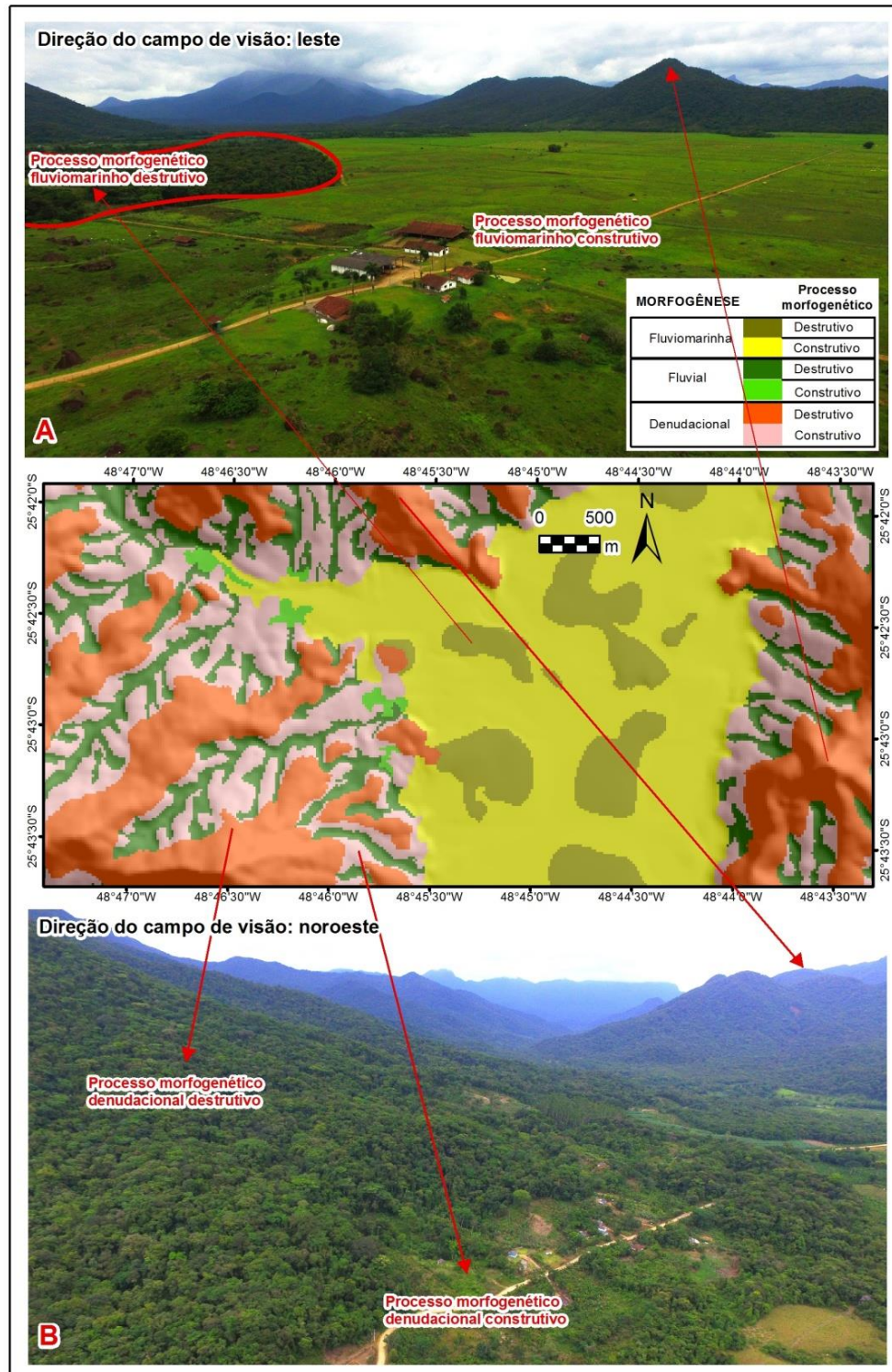
Quanto às porções de morfogênese fluviomarinha construtiva, que próximas às drenagens podem ser associadas às planícies de inundação, verificaram-se três características distintas: i) planícies de inundação com influência de marés, próximas à costa, onde a combinação de maré meteorológica e astronômica torna a área suscetível a inundações eventuais; ii) planícies de inundação dos rios continente adentro, afastados da Serra do Mar, em porções mais rebaixadas dos cursos fluviais; iii) planícies de inundação no sopé da Serra do Mar, destacadas pelo gradiente altimétrico e ruptura de declividade com a Planície Litorânea, cuja quebra de relevo favorece o extravasamento do fluxo acumulado dos rios para as áreas marginais.

3.2. Serra do Mar

Na Serra do Mar, as classes de morfogênese destacaram a segmentação entre a origem denudacional e fluvial do relevo, com algumas áreas mapeadas como gênese fluviomarinha nos sopés da Serra do Mar. A figura 2, que indica a Serra do Marumbi, ilustra essas três classes numa perspectiva tridimensional.



Figura 1 - Exemplo dos resultados na transição entre a Planície Litorânea e Serra do Mar

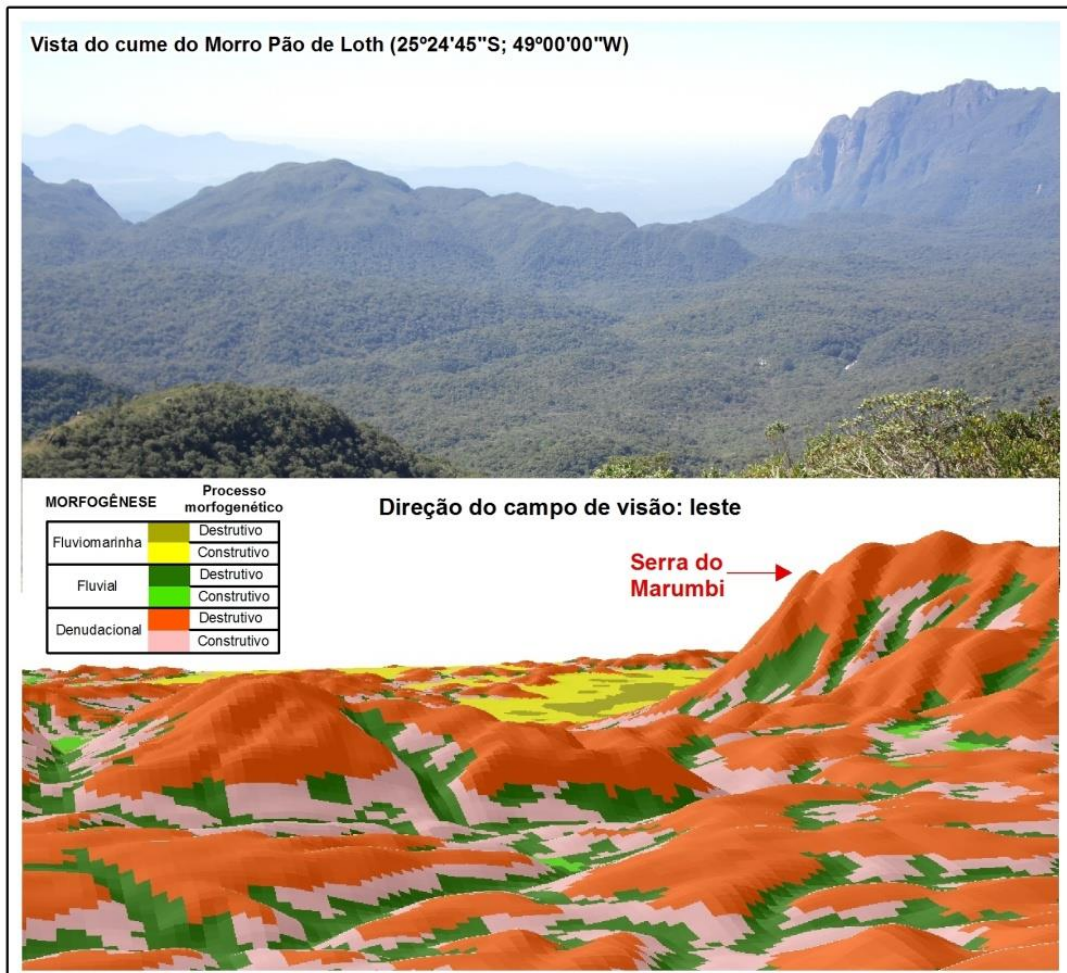


Cabe destacar que o caráter morfogênético, no presente trabalho, foi compreendido numa escala têmpero-espacial mais recente, o que possibilitou a subdivisão entre processos morfogênéticos de predomínio construtivo ou destrutivo que caracterizam o modelado atual. Portanto, mesmo compreendendo



que de modo mais abrangente, enquanto unidade homogênea, a Serra do Mar possui origem vinculada à tectônica do *rift* continental de idade paleocênica, o mapeamento obtido permitiu detalhar a constituição e evolução genética do relevo.

Figura 2 - Modelagem na Serra da Baitaca e Serra do Marumbi



As porções de gênese fluvial evidenciaram o padrão de dissecação do relevo na região serrana, onde o desnível e a acentuada declividade (média de 34%) conferem densidade de incisões fluviais com vales escavados. Como consequência, 85% das áreas de gênese fluvial foram mapeadas como processo morfo-genético destrutivo, evidenciadas médios das vertentes, enquanto os 15% de área com processo construtivo concentraram-se sobretudo nos terços inferiores. O mesmo padrão foi observado para a gênese denudacional, na qual os topos e áreas adjacentes contemplaram processo morfo-genético destrutivo e



as porções imediatamente inferiores, que dispõem de material coluvionar, por processo construtivo.

Nas elevações sustentadas por intrusões graníticas, o processo morfogênético destrutivo foi delimitado na ruptura de curvatura e declive derivada da erosão diferencial no contato com rochas metamórficas do Complexo Gnáissico-Migmatítico. Nos demais topos da Serra do Mar, que não contam com corpos graníticos, esse limite foi destacado em porções mais inferiores das vertentes. Assume-se, portanto, a dificuldade de mapeamento e interpretação das áreas transicionais, localizadas nos terços médios, uma vez que possuam tanto caráter degradacional quanto agradacional. Todavia, o mapeamento buscou segmentar o predomínio de determinado processo morfogênético. Morfometricamente essa diferenciação da gênese denudacional foi realizada pela posição topográfica (atributo IPT), embora também seja observada pela transição entre segmentos convexos (predomínio degradacional) e côncavos (agradacional) das vertentes, sob análise do perfil de curvatura. Essa quebra de curvatura é visível na paisagem (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), entretanto, para fins de modelagem, o IPT se mostrou mais representativo.

3.3. Primeiro Planalto

O mapeamento do Primeiro Planalto reforçou as diferenças entre a porção norte (figura 3) e porção sul (figura 4) desse grande compartimento geomorfológico. Dois fatores principais contribuem para essa diferenciação expressa no relevo: a diversidade litológica e, principalmente, o efeito nível de base, já que o rio Ribeira tem seu curso a leste, mais próximo ao oceano e com maior desnível altimétrico que o rio Iguaçu, que segue a oeste e cruza o estado até desaguar no rio Paraná.

Em campo foi verificado o mapeamento compatível das áreas fluviais e denudacionais. Destaca-se que, em função da heterogeneidade geomorfológica e da dificuldade de representação das feições fluviais na bacia sedimentar de Curitiba, o Primeiro Planalto foi o compartimento geomorfológico que demandou maior número de regras para a classificação morfogênética.



Figura 3 - Exemplo dos resultados da modelagem na porção norte do Primeiro Planalto

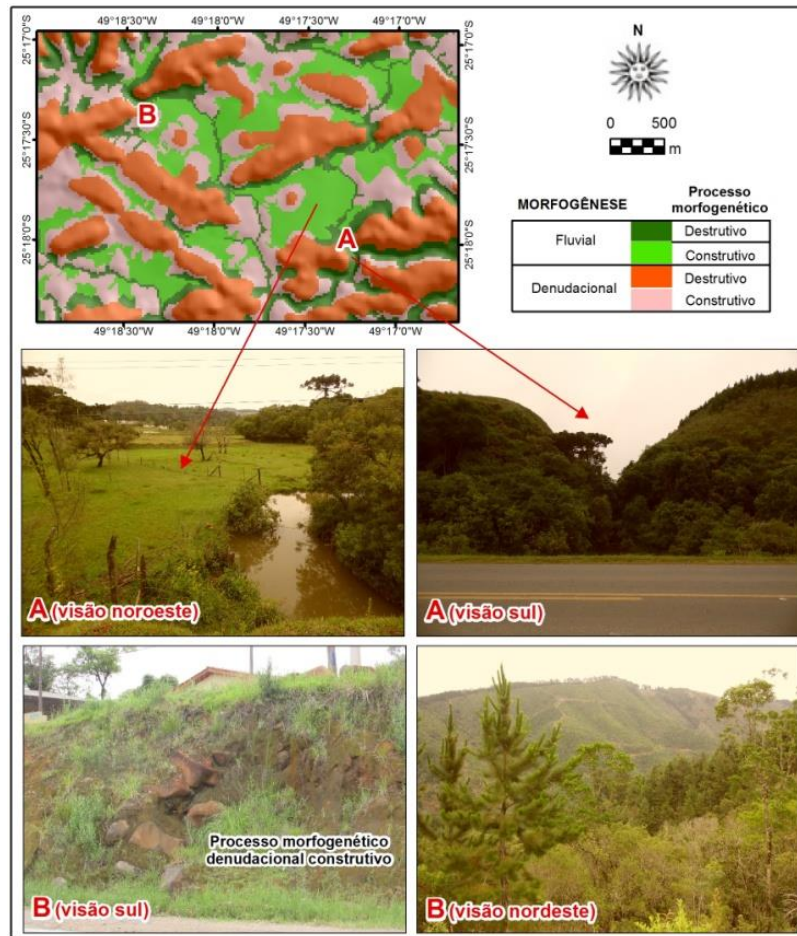
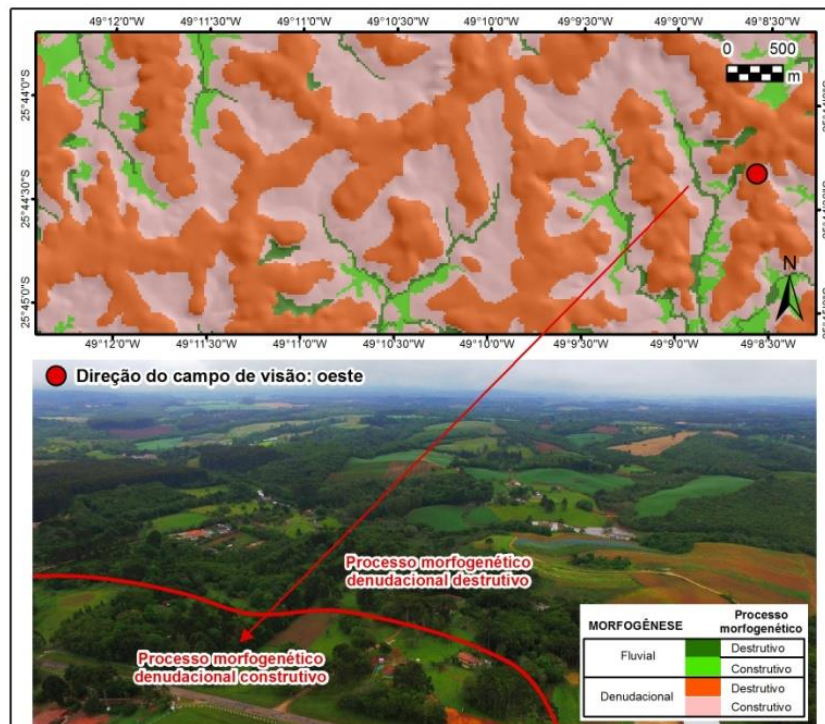


Figura 4 - Exemplo dos resultados da modelagem na porção sul do Primeiro Planalto





Em aspectos quantitativos, a fragmentação da morfogênese fluvial demonstrou que as regras de modelagem conseguiram discernir áreas em contextos distintos: na bacia do rio Ribeira, foram mapeados 95,4% de áreas fluviais com processo morfogênético destrutivo e 4,6% com processo construtivo; na bacia do rio Iguaçu, os valores foram de 36% para o processo morfogênético fluvial destrutivo e 64% para o construtivo. Esses resultados, associados às características dos vales, reforçam o padrão degradacional a norte e agradacional a sul.

A morfogênese denudacional, por sua vez, indicou a segmentação das vertentes a partir do predomínio de processos atuantes para sua elaboração. Em áreas com relevo mais dissecado, constatou-se maior abrangência do processo morfogênético destrutivo, nos quais as porções denudacionais construtivas foram mapeadas de modo mais restrito nos terços inferiores das vertentes. Em campo, como apontado na figura 3B, verificou-se que essas porções normalmente estão associadas à presença de depósitos coluvionares, favorecida pela ruptura de declive e transporte de material intemperizado a montante por processos gravitacionais.

Em áreas com relevo suave ondulado (figura 4), ou seja, declividades inferiores a 8%, verificou-se que as áreas mapeadas como processo morfogênético construtivo preponderaram, devido à maior extensão das vertentes e menor densidade de drenagem. Nesse caso, as porções denudacionais destrutivas se concentraram nas adjacências dos divisores de águas locais.

4. CONCLUSÃO

A modelagem realizada permitiu diferenciar os aspectos e processos morfogênicos de três compartimentos geomorfológicos distintos (Planície litorânea, Serra do Mar e o Primeiro Planalto paranaense), com parâmetros unificados, cujos resultados foram condizentes à realidade observada em campo. Considera-se que os limites dos processos morfogênicos podem ser, em alguns casos, uma representação aproximada. Como o mapeamento adotou uma perspectiva *booleana*, deve-se considerar, na interpretação, a tenuidade entre as classes.



Quanto ao cálculo dos atributos geomorfométricos, observou-se, primeiramente, que o tamanho da célula (para atributos de cálculo local) e o tamanho da janela móvel ou raio de análise de vizinhança (para atributos de cálculo regional) influi diretamente nos resultados. De modo geral, todavia, a modelagem foi exitosa. Ressalta-se que isso se deve ao rigor metodológico, à qualidade do MDT e ao controle durante as etapas operacionais.

5. AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado obtida por meio do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPR; ao CNPq, pelo financiamento do Projeto "Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná apoiado em análise digital do relevo", Processo 456244/2014-0; e ao Laboratório de Pesquisas Aplicadas em Geomorfologia e Geotecnologias (LAGEO/UFPR).

6. REFERÊNCIAS

ANGULO, J. A. Mapa do cenozóico do litoral do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 55, p. 25-42, 2004.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J., A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin** 24 (1), 43–69, 1979.

BISHOP, M. P.; JAMES, A.; SHRODER, J. F.; WALSH, S. J. Geospatial technologies and geomorphological mapping: concepts, issues and research directions. **Geomorphology** 137, p. 5–26, 2012.

BOCCO, G.; MENDOZA, M.; VELÁZQUEZ, A. Remote sensing and GIS-base regional geomorphological mapping: a tool for land use planning in developing countries. **Geomorphology** 39, p. 211-219, 2001.

BOLONGARO-CREVENNA, A.; TORRES-RODRÍGUEZ, V.; SORANI, V.; FRAME, D.; ORTIZ, M. A. Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico. **Geomorphology** 67 (3-4), p. 407-422, 2005.

DEMEK, J. **Generalization of Geomorphological Maps**. In DEMEK, J. (ed.) Progress made in geomorphological mapping. Brno, Proceedings of the IGU Commission on Applied Geomorphology, Sub-commission of Geomorphological Mapping. p. 36-72, 1967.

DRAGUT, L.; EISANK, C. Object representations at multiple scales from digital elevation models. **Geomorphology** 129, p. 183–189, 2011.

EVANS, I. S.; HENGL, T.; GORSEVSKI, P. Applications in Geomorphology. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry - Concepts, Software,**



Applications, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, pp. 497-526, 2009.

HORN, B. K. P. Hill shading and the reflectance map. **Proceedings of the IEEE**, n. 69, v.01, p. 14-47, 1981.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, 106, p. 211-272, 1989.

KLIMASZEWSKI, M. Landform list and signs used in the detailed geomorphological map. **Geographical Studies**, n. 46 (Problems of geomorphological mapping), p. 139-177, 1963a.

KLIMASZEWSKI, M. The principles of the geomorphological map of Poland. **Geographical Studies**, n. 46 (Problems of geomorphological mapping), p. 67-72, 1963b.

LESER, H.; STÄBLEIN, G. (eds.). **Geomorphologische Kartierung. Richtlinien zur Herstellung geomorphologischer Karten 1:25000**. Berliner Geogr. Abh., Sonderheft: 25 S.; Berlin, 1975.

MAACK, R. R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: Ed. Olympio, 1981.

MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. Landform and landform elements in geomorphometry. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, pp. 227-254, 2009.

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**, n. 2, p. 3-12, 2006.

SEIJMONSBERGEN, A. C.; HENGL, T.; ANDERS, N. S. **Semi-automated extraction of geomorphological features using DEMs**. In: SMITH, M. J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J. eds. **Geomorphological Mapping: Methods and Applications**, Developments in Earth Surface Processes vol 15, Elsevier, 2011.

SILVEIRA, R. M. P. **Proposta metodológica para mapeamento geomorfológico com uso da análise digital do relevo no estado do Paraná**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

TARBOTON, D. G. A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models. **Water Resources Research**, **33(2)**: 309-319, 1997.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.