

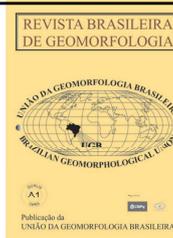


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, nº 1 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i1.1263>



CLASSIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE ELEMENTOS DE RELEVO NO ESTADO DO PARANÁ (BRASIL) POR MEIO DA APLICAÇÃO DA PROPOSTA DOS GEOMORPHONS

AUTOMATED CLASSIFICATION OF LANDFORM ELEMENTS IN THE STATE OF PARANÁ (BRAZIL) APPLYING THE PROPOSAL OF THE GEOMORPHONS

Claudinei Tabora da Silveira

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná
Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, s/n, Curitiba, Paraná. CEP: 81531-980. Brasil
Email: claudineits@ufpr.br*

Ricardo Michael Pinheiro Silveira

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná
Av. Coronel Francisco Heráclito dos Santos, s/n, Curitiba, Paraná. CEP: 81531-980. Brasil
Email: ricardomichaelps@gmail.com*

Romario Trentin

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima, 1000, Santa Maria, Rio Grande do Sul. CEP: 97105-900. Brasil
Email: romario.trentin@gmail.com*

Luís Eduardo de Souza Robaina

*Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima, 1000, Santa Maria, Rio Grande do Sul. CEP: 97105-900. Brasil
Email: lesrobaina@yahoo.com.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
11/08/2017
Aceito (Accepted):
19/09/2017

Palavras-chave:

Geomorfometria; *Geomorphon*;
Mapeamento de Formas de
Relevo; Mapeamento Geomor-
fológico do Estado do Paraná.

Keywords:

Geomorphometry; *Geomorphon*;
Landform Elements Mapping;
Geomorphological Mapping of
the State of Paraná.

Resumo:

A abordagem quantitativa no tratamento das formas do relevo, designada de geomorfometria, tem sido favorecida pela disponibilidade cada vez maior dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs), avanço no desenvolvimento de *softwares* e *hardwares* que alicerçam o processamento em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e pela contribuição metodológica para a análise e mapeamento do relevo. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a classificação automatizada dos elementos de relevo no estado do Paraná, Brasil, por meio da aplicação da proposta dos *geomorphons*, avaliar sua distribuição nas subunidades morfoesculturais cartografadas no Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná e avaliar a representatividade dos elementos de relevo apoiado no reconhecimento de campo. O método empregado, amparado nos *geomorphons*, analisa a similaridade textural de um MDE, considerando a variação dos níveis de cinza entre uma célula central e as células vizinhas a partir de ferramentas de visão computacional ao invés da geometria diferencial, por

combinação de variáveis calculadas do MDE. O MDE utilizado foi dos dados altimétricos oferecidos pelo projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), versão 4, com resolução espacial de 3 arcos de segundo reamostrados para 90 metros. Foram obtidos 9 elementos de relevo distribuídos no estado do Paraná: 1) áreas planas, 2) picos, 3) cristas, 4) ressaltos, 5) cristas secundárias 6) encostas, 7) escavado, 8) base de encostas, 9) vales e fossos. Na análise individualizada por grandes compartimentos, as subunidades morfoesculturais da Serra do Mar foram caracterizadas por relevo dissecado com ausência de elementos planos e pela expressiva ocorrência de elementos como crista, encostas e vales. No Primeiro Planalto Paranaense, a distinção mais perceptível aparece na elevada representação de áreas planas e base de encostas para as subunidades Planalto de Castro e do Alto Iguaçu, enquanto as demais são marcadas por um relevo ondulado constituído majoritariamente por elementos de vales, encostas e cristas. As subunidades morfoesculturais dos Segundo e Terceiro Planaltos Paranaense apresentam distinta distribuição dos elementos de relevo em seu interior e as subunidades de Planície Litorânea e Fluviomarinhas e a Planície Fluvial foram representadas pelo elemento plano. Verificou-se limitação na representação do *geomorphon* 9 (vales e fossos) na região noroeste e oeste do Paraná, localizada no Terceiro Planalto Paranaense, com o agrupamento na classe de áreas planas das subunidades morfoesculturais de Planícies Fluviais com os interflúvios das vertentes contidas nos Planaltos de Paranaíba e Foz do Iguaçu. De modo geral, a aplicação da proposta dos *geomorphons* para classificação automatizada de elementos de relevo se mostrou representativa no Paraná. Quando analisado sob o ponto de vista regional, o agrupamento dos elementos identificados permitiu a visualização de compartimentos geomorfológicos homogêneos, e quando analisados sob a perspectiva local, os elementos de relevo demonstraram relação fidedigna com a verificação de campo, exceto no caso mencionado anteriormente da região noroeste do estado.

Abstract:

The quantitative approach for landforms treatment, called geomorphometry, has been favored by the increasing availability of Digital Elevation Models (DEMs), by the advances in the development of *software* and *hardware* that base the processing in Geographic Information System (GIS) and the methodological contribution to the analysis and mapping of the landforms. In this context, the objective of this study is to carry out the automated classification of landscape elements in the state of Paraná, Brazil, through the implementation of the Geomorphons proposition, to evaluate its distribution in the morpho-sculptural subunits mapped in the Geomorphological Mapping of the State of Paraná, and to evaluate the representativeness of the landform elements supported by field recognition. The applied method, based on the geomorphons concept, analyzes the textural similarity of a DEM, considering the gray level variation between a central cell and neighboring cells from computational vision tools rather than differential geometry, by combining DEM's calculated variables. The DEM used was the one from elevation data provided by the project *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), Version 4, with spatial resolution of 3 arcs of second resampled to 90 meters. Nine landform elements distributed throughout the state were found: 1) flats, 2) peaks, 3) ridges, 4) shoulders, 5) spurs, 6) slopes, 7) hollows, 8) footslopes, 9) valley and spits. In the large compartments individualized analysis, the morpho-sculptural subunits of Serra do Mar were characterized by dissected landforms with no flat elements and by the expressive occurrence of elements such as ridges, slopes and valleys. In the Paraná's First Plateau, the most noticeable distinction appears on the high representation of flat areas and footslopes for the subunits of Castro and Alto Iguaçu Plateaus, while the others are characterized by an undulating landform mostly constituted by valleys, slopes and ridges elements. The morpho-sculptural subunits of the Second and Third Plateaus have a distinct distribution of the landform elements in their interior and the subunits of Coastal Plain, Fluvial-Marine Plains, and the River Plains were represented by the flat element. There was a limitation in the representation of Geomorphon 9 (valleys and pits) in the northwest and west of Paraná, located in the Third Plateau; with the grouping in the class of flat areas of the River Plains morpho-sculptural subunits with the interfluvials of the slopes contained in Paranaíba and Foz do Iguaçu Plateaus. In general, the geomorphons proposition implementation for automated classification of landform elements proved to be representative in the state of Paraná. When analyzed from the regional point of view, the identified elements grouping has allowed the visualization of homogeneous geomorphological compartments, and when examined from the local perspective, landform elements showed a reliable relation with the field verification, except in the aforementioned case of the Northwest region of the state.

Introdução

A cartografia geomorfológica praticada no início do século XXI tem como identidade de destaque o uso predominante de técnicas de modelagem digital, com abordagem quantitativa e computacional, empregadas na classificação do relevo nas diversas escalas.

A abordagem quantitativa no tratamento das formas do relevo é designada de geomorfometria, entendida como a ciência da análise quantitativa da superfície terrestre, uma abordagem interdisciplinar da geomorfologia que envolve além das geociências, a matemática e, mais recentemente, a ciência da computação (PIKE *et al.*, 2009). Compreende um moderno estudo cartográfico-analítico para representação da superfície da Terra por meio da manipulação computacional de valores de elevação do terreno (TOBLER, 2000).

O emprego da geomorfometria tem sido impulsionado pelo avanço no campo da informática e das geotecnologias, com contribuição do emprego dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) na análise espacial do relevo e pela disseminação dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) com recobrimento global, com destaque para os dados altimétricos oferecidos pelo projeto *Shuttle Radar Topographic Mission*, com abreviação popular de SRTM.

As operações fundamentais em geomorfometria fazem a obtenção de parâmetros e objetos a partir de MDEs (PIKE *et al.*, 2009). A parametrização das formas do relevo por meio de SIG é o processo de extração de variáveis quantitativas de um MDE (HENGL, 2003). É designada como modelagem do terreno (LI *et al.*, 2005), análise do terreno (WILSON; GALLANT, 2000), ciência da topografia (MARK; SMITH, 2004) e análise digital do relevo (SILVEIRA, 2010; SILVEIRA *et al.*, 2012 e SILVEIRA; SILVEIRA, 2016).

Na literatura são enaltecidas, por diversos autores, as vantagens do uso da classificação digital empregada na identificação do relevo, visto que diminui a subjetividade na classificação manual, favorece a análise dos resultados derivados de diferentes conjuntos de dados e pela redução do tempo de delimitação das unidades (WOOD, 1996; MACMILLAN *et al.*, 2000; WILSON; GALLANT, 2000; ROMSTAD, 2001; VALERIANO, 2004; DRAGUT; BLASCHKE, 2006; IWAHASHI; PIKE, 2007; KLINGSEISEN *et al.*, 2007; GROHMANN *et al.*, 2008; SAADAT *et al.*, 2008;

WILSON, 2012; SILVEIRA *et al.*, 2012; SILVEIRA; SILVEIRA, 2016; 2017).

Os métodos supervisionados de classificação requerem o entendimento prévio dos processos e reconhecimento das feições para estabelecer os limiares das variáveis que podem ser utilizadas no reconhecimento do relevo, enquanto que os métodos não-supervisionados são baseados em estatística, com o propósito da detecção da menor área com valores geomorfométricos homogêneos (MIHAI, 2012).

Como exemplo de métodos automatizados empregados na classificação do relevo se destacam algumas proposições, tal como, a de Weiss (2001), que apresenta o índice de posição topográfica para a identificação de 10 classes de formas de relevo. Aplicações dessa técnica foram empregadas na classificação morfológica da República do Uruguai por Silveira e Silveira (2014), no território brasileiro foi empregado no mapeamento geomorfométrico de uma bacia hidrográfica situada no município de Blumenau/SC por Lange e Silveira (2015), por Silveira (2015) na região central da Serra do Mar Paranaense e por Silveira e Silveira (2017) para todo território do estado do Paraná.

Iwahashi e Pike (2007) trazem outra proposta de classificação não-supervisionada de formas do terreno. Utilizam uma árvore de decisões com base em três variáveis morfológicas, que é aplicada em três escalas: a) o distrito de Shimukappu, localizado no Japão, com um MDE de 55m; b) Japão, com MDE de 270m; c) Toda a extensão continental do planeta Terra. No Brasil essa proposição foi empregada por Silveira *et al.* (2014) em todo território do Paraná e por Trentin *et al.* (2015) em uma bacia hidrográfica situada no oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Outro método, adaptado e aplicado em ambiente informatizado por Dikau (1991; 1995), posteriormente automatizado em ambiente SIG por Reuter (2009), consiste num sistema de classificação em três níveis hierárquicos resultante da combinação de atributos topográficos. No país foi utilizado na classificação automatizada de formas do relevo no Paraná por Silveira e Silveira (2015), na região central da Serra do Mar Paranaense por Silveira (2015) e Silveira e Silveira (2016) e na classificação de padrões de formas semelhantes do relevo no planalto de Poços de Caldas/MG realizada por Tinós *et al.* (2014).

Vasconcelos *et al.* (2012) propuseram também um método de classificação geomorfométrica automatizada que consiste em um sistema de classificação baseado em uma arquitetura com duas etapas sequenciais, sendo que na primeira, é realizada a classificação por árvore de decisão dos dados de altitude e de declividade e na segunda, é feita a subdivisão de classes anteriores pelo classificador espectral *Spectral Angle Mapper (SAM)*. Essa classificação utiliza os atributos topográficos de curvaturas e seu experimento foi aplicado no Parque Nacional Serra da Canastra/MG.

MacMillan e Shary (2009) destacam que todos os métodos de predição automática de classes de entidades espaciais geomórficas são baseados na criação de regras para o estabelecimento de relações preditivas entre as variáveis de entrada e as classes resultantes. No entanto, distinguindo-se das propostas anteriormente apresentadas, Jasiewicz e Stepinski (2013) estabeleceram um método de classificação para identificar elementos de relevo, compreendidos como

geomorphons, por analogia ao *textons* (JULESZ, 1981), que são entendidos como microestruturas fundamentais em uma imagem e constituem os elementos básicos de percepção visual (JULESZ, 1984). Similar a essa concepção, na abordagem da geomorfologia os *geomorphons* são compreendidos como microestruturas fundamentais do relevo.

Na proposição de Jasiewicz e Stepinski (2013), os autores demonstram o método de classificação automatizada com os 10 elementos de relevo que mais comumente são identificados (figura 1): 1) áreas planas (*flat*), 2) picos (*peak*), 3) crista (*ridge*), 4) ressaltos (*shoulder*), 5) crista secundária (*spur*), 6) encosta (*slope*), 7) escavado (*hollow*), 8) base de encosta (*footslope*), 9) vales (*valley*) e 10) fosso (*pit*). A proposta foi aplicada no Brasil por Robaina *et al.* (2016) para a definição de compartimentos geomorfológicos no Rio Grande do Sul e por Robaina *et al.* (2017) em Tocantins, ambos utilizaram a distribuição e predomínio dos *geomorphons* para a definição de unidades de relevo.

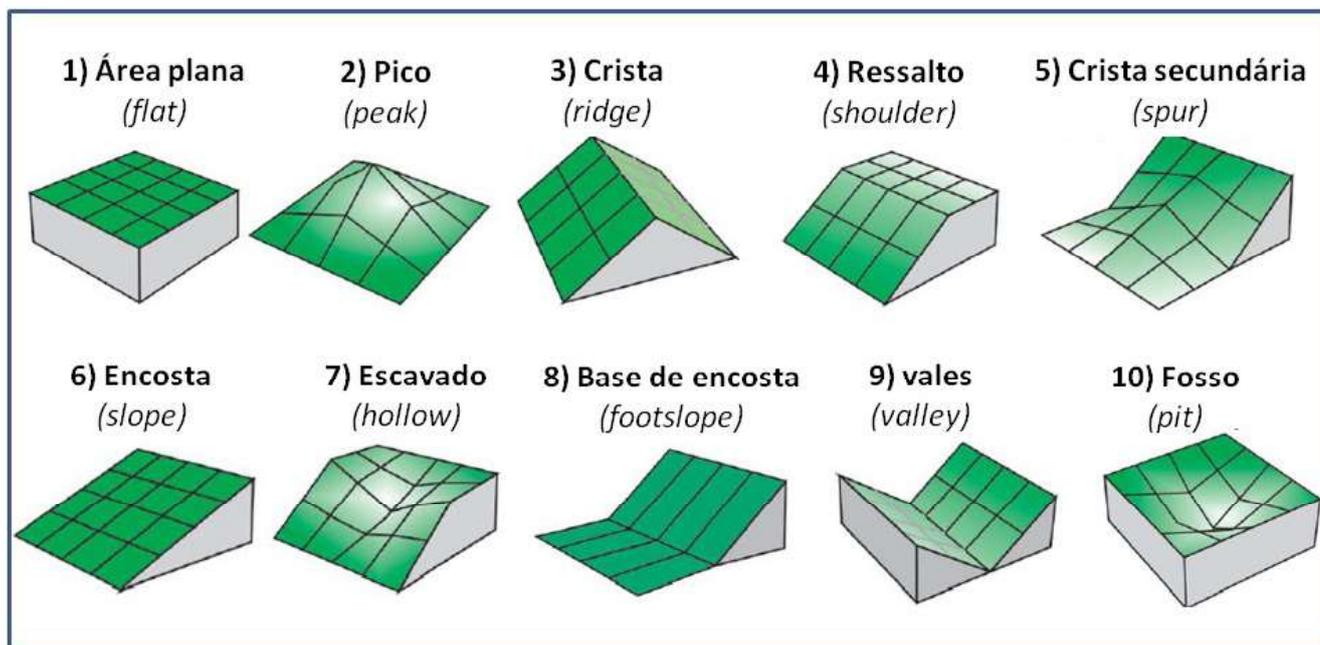


Figura 1 - Elementos de relevo obtidos dos geomorphons.

Fonte: modificado de Jasiewicz e Stepinski (2013) e Robaina *et al.* (2016)

Apoiado nesses preceitos, o presente trabalho tem como objetivos: 1) realizar a classificação automatizada dos elementos de relevo no estado do Paraná, Brasil, por meio da aplicação da proposta dos *geomorphons*; 2) utilizar a classificação para verificar, com base no predomínio e na relação dos elementos de relevo, se

a distribuição das classes configuram compartimentos com padrões morfológicos em escala regional, utilizando para isso a comparação com as subunidades morfoesculturais delimitadas por Santos *et al.* (2006) e Oka-Fiori *et al.* (2006) no Mapa Geomorfológico do Estado do Paraná; 3) avaliar a representatividade dos

elementos de relevô com base no reconhecimento de campo em áreas amostrais, uma vez que não se dispõe de mapas geomorfológicos que represente as formas de relevô em escala de detalhe compatível.

Área de estudo

O território paranaense está localizado na porção Meridional do Brasil e tem como limites ao norte 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. Possui área de 199.575km².

É caracterizado por um relevô predominantemente planáltico, onde são reconhecidas, cinco distintas unidades naturais na paisagem: Planície Litorânea, Serra do Mar, Primeiro, Segundo e Terceiro Planaltos (MAACK, 1968). Esses grandes compartimentos foram corroborados e descritos com unidades morfoesculturais por Santos *et al.* (2006) e Oka-Fiori *et al.* (2006), com seu detalhamento em cinquenta subunidades.

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 relevô 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, cortados por diques de pegmatitos e de diabásio, as elevações médias variam entre 850 a 950m, com relevô suavemente ondulado e a presença de áreas planas ao longo dos principais rios, associado a 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

cratônica 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.*, *ibid*).

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 a 1200m, até seu limite oeste, no sopé do *front* da escarpa Triássico-Jurássico (ou Serra Geral), com altitudes que variam entre 400 e 500m.

O Terceiro Planalto tem seu relevô majoritariamente desenvolvido sobre as rochas eruptivas mesozoicas da Formação Serra Geral, exceto na porção noroeste, que se apresenta sobre as rochas areníticas da Formação Caiuá do Grupo Bauru. O relevô do Terceiro Planalto predomina em extensão no Paraná, as elevações médias de cimeira são entre 1100 e 1250m, no reverso da escarpa da Serra da Esperança, decaindo para as altitudes entre 220 e 300m próximo da calha do rio Paraná (SANTOS, *op. cit.*).

Materiais e Método

Materiais

Os materiais utilizados correspondem às bases de dados, *software* empregado, câmeras fotográficas para tomada de fotos em nível do solo, equipamento de GPS de navegação modelo Garmin GPSmap 76CSx e drone

modelo *Phantom 3* para imageamento aéreo.

As bases foram o Modelo Digital de Elevação (MDE) SRTM versão 4, disponibilizado pelo *United States Geological Survey* (USGS), com resolução espacial de 3 segundos de arco (90 metros) e arquivos em formato digital na estrutura vetorial que correspondem aos polígonos do mapeamento geomorfológico do Paraná.

O software empregado no trabalho para manipulação e integração dos dados foi o *ArcGIS* versão 10.1 com a extensão *Spatial Analyst* (ESRI, 2013) e um navegador de internet para a execução da aplicação *online* que realizou a classificação dos *geomorphons*.

Método

O método empregado na identificação automatizada dos elementos de relevo utilizou a proposta dos *geomorphons* apresentada por Jasiewicz e Stepinski (2013), que analisa a similaridade textural de um

Modelo Digital de Elevação (MDE), considerando a variação dos níveis de cinza entre uma célula central e as células vizinhas, considerando que se a célula central for maior, assume o valor positivo “+”, se é menor, valor negativo “-” e se for igual seu valor é zero “0”. A primeira leitura e símbolo, atribuído na janela móvel de leitura, corresponde ao vizinho a leste e os subsequentes, correspondem aos vizinhos no sentido anti-horário.

A figura 2 representa a operação para identificação dos *geomorphons*, com o conjunto de leitura na janela de interesse do MDE (figura 2-A), com análise da relação entre a célula de interesse e os seus vizinhos, detectando se possui valor maior, menor ou igual (figura 2-B), representação dos valores de leitura da vizinhança (positivos, negativos e zero) que resulta em um *geomorphon* (figura 2-C). A combinação dos padrões ternários locais possibilita a identificação de até 498 *geomorphons*, porém são 10 os que mais comumente são identificados (figura 2-D) e foram esses os detectados e classificados no Paraná.

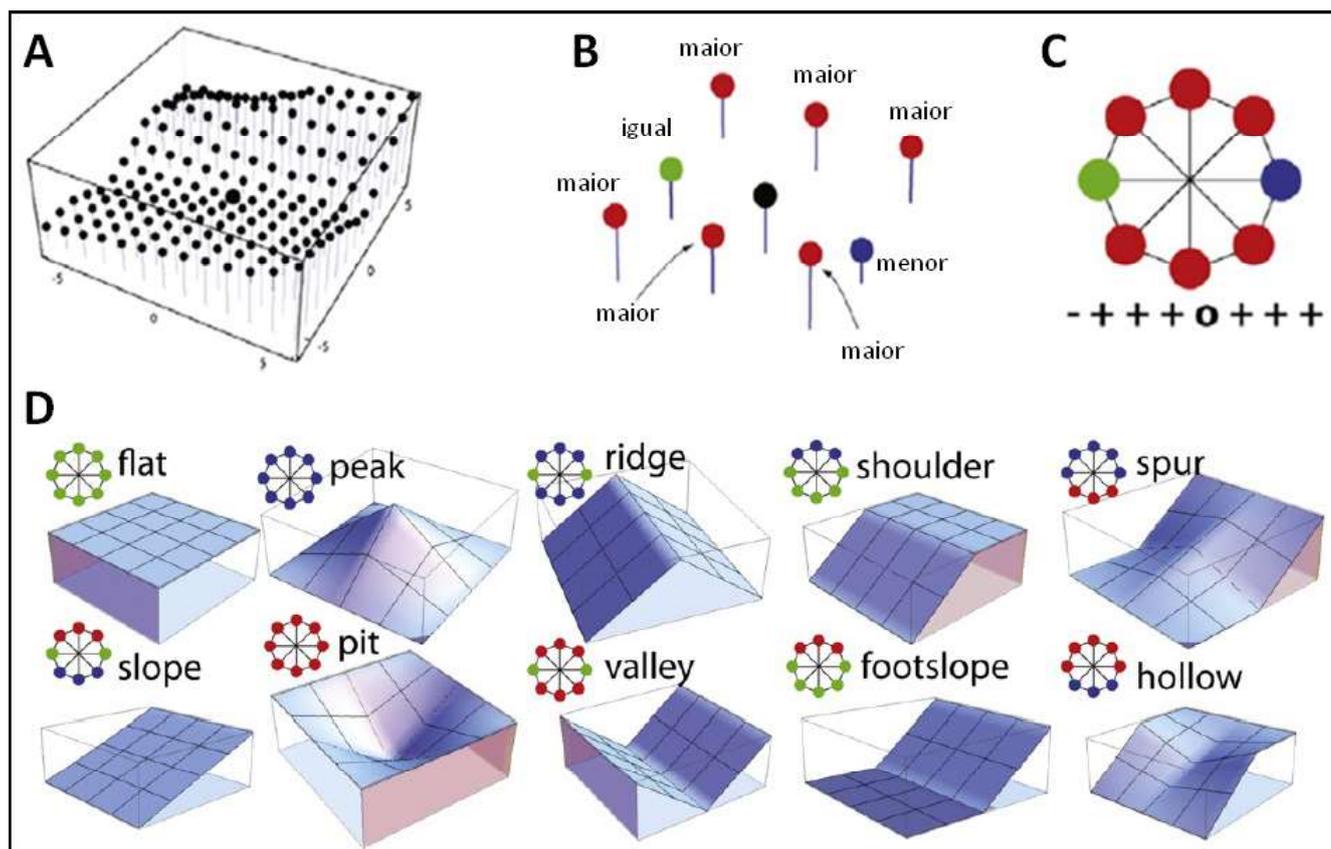


Figura 2 - Aplicação dos *geomorphons* na classificação de elementos de relevo. (A) MDE em torno da janela de leitura da célula de interesse; (B) leitura entre a célula de interesse e os seus vizinhos; (C) identificação de um tipo de *geomorphon*; (D) identificação dos *geomorphons* correspondentes para os 10 elementos de relevo mais comuns.

Fonte: Modificado de Jasiewicz e Stepinski (2013).

Para caracterizar a superfície do relevo, em acordo com Jasiewicz e Stepinski (2013), é necessário também definir a distância e o ângulo de direção dos pontos vizinhos em relação à célula central (ângulos zênite e nadir). Para esse cálculo, são traçados perfis para as principais direções a partir da célula central “*lookupdistance*” (L), extraídos do MDE.

Um ângulo de elevação é um ângulo entre o plano horizontal e a linha que liga a célula central com o ponto no perfil. Em uma elevação com ângulo negativo, o ponto no perfil é mais baixo que o central. Para cada perfil, é calculado o ângulo de elevação “DSL”, com “D” e “L” demonstrando a dependência da direção (D) e da distância (L).

O ângulo zênite do perfil é definido por “ $D\phi L=90^\circ-D\beta L$ ”, onde “ $D\beta L$ ” é o ângulo máximo de elevação “DSL”. O ângulo nadir do perfil é definido como “ $D\psi L=90^\circ-D\delta L$ ”, onde “ $D\delta L$ ” é o ângulo mínimo de elevação “DSL”. Assim, o ângulo zênite é um ângulo entre o zênite e a “*line-of-sight*”, e o ângulo nadir é um ângulo entre o nadir e uma hipotética “*line-of-sight*”, que resulta da reflexão do perfil da elevação em relação ao plano horizontal. Ambos são positivos e definidos entre 0° a 180° .

Classificação dos *geomorphons*

Para a classificação dos *geomorphons* utilizou-se da aplicação *online*, disponibilizada no endereço eletrônico <<<http://sil.uc.edu/geom/app>>>. Essa operação limita o número de 1.500.000 células do MDE para possibilitar seu processamento, por isso foi necessário fazer a compartimentação da área de estudo em 20 partes, que posteriormente foram agrupadas. O código da aplicação também está disponível em: <http://sil.uc.edu/>, podendo ser implementado no ambiente do *software* GRASS.

A aplicação exige um conjunto de dados matriciais e dois valores escalares, livres, como parâmetros. O arquivo de entrada para a varredura é um MDE. Os dois parâmetros livres são *lookup* “L” (distância em metros ou célula unidades) e *threshold* (nivelamento em graus). Para os parâmetros livres, aplicou-se valor de “L” igual a 20 pixels, que equivale a 1.800 metros e “t” igual a 2 graus. Os mesmos valores dos parâmetros foram empregados por Robaina *et al.* (2016) no estado

do Rio Grande do Sul, que possui relevo assemelhado ao do Paraná, também com os mesmos valores em outra aplicação de Robaina *et al.* (2017) no estado do Tocantins.

Na classificação final os *geomorphons* definidos como vales e fossos (9 e 10, respectivamente) foram agrupados devido ao baixo número de células identificadas por este último *geomorphon*. Além disso, aplicou-se um filtro para remoção de agrupamentos inferiores a 4 células em toda a matriz resultante.

Distribuição dos *geomorphons* nas subunidades morfo-esculturais

A classificação dos *geomorphons* foi utilizada para verificar, em escala regional, se sua distribuição espacial no Paraná corresponde a distintos arranjos com potencial de compartimentação de padrões morfológicos.

Distintamente de Robaina *et al.* (2016; 2017) não foi realizada a delimitação de compartimentos do relevo com base no padrão de distribuição, pois se optou pela utilização das subunidades morfoesculturais já estabelecidas por Santos *et al.* (2006) e Oka-Fiori *et al.* (2006), no Mapa Geomorfológico do Estado do Paraná, escala 1:250.000 (Figura 3), para verificar se o arranjo dos *geomorphons* coincidem com unidades de relevo do território paranaense.

A análise da distribuição dos *geomorphons* para cada uma das 50 subunidades morfoesculturais é condizente com o 3º nível hierárquico da proposta taxonômica de Ross (1992), desse modo, não trata da individualização dos elementos de relevo, mas sim, da composição de padrões de agrupamento.

A análise foi realizada por meio do cálculo do percentual de ocorrência das 9 classes de elementos de relevo para cada uma das 50 subunidades. Portanto, para facilitar sua exposição, optou-se por apresentá-las agrupadas nas cinco unidades morfoesculturais do Paraná: Serra do Mar, Planícies, Primeiro, Segundo e Terceiro Planaltos Paranaense.

Os valores percentuais de representação dos *geomorphons* sobre as unidades e subunidades morfoesculturais, foram organizados na forma de gráficos e tabelas, visando favorecer sua apresentação e análise.

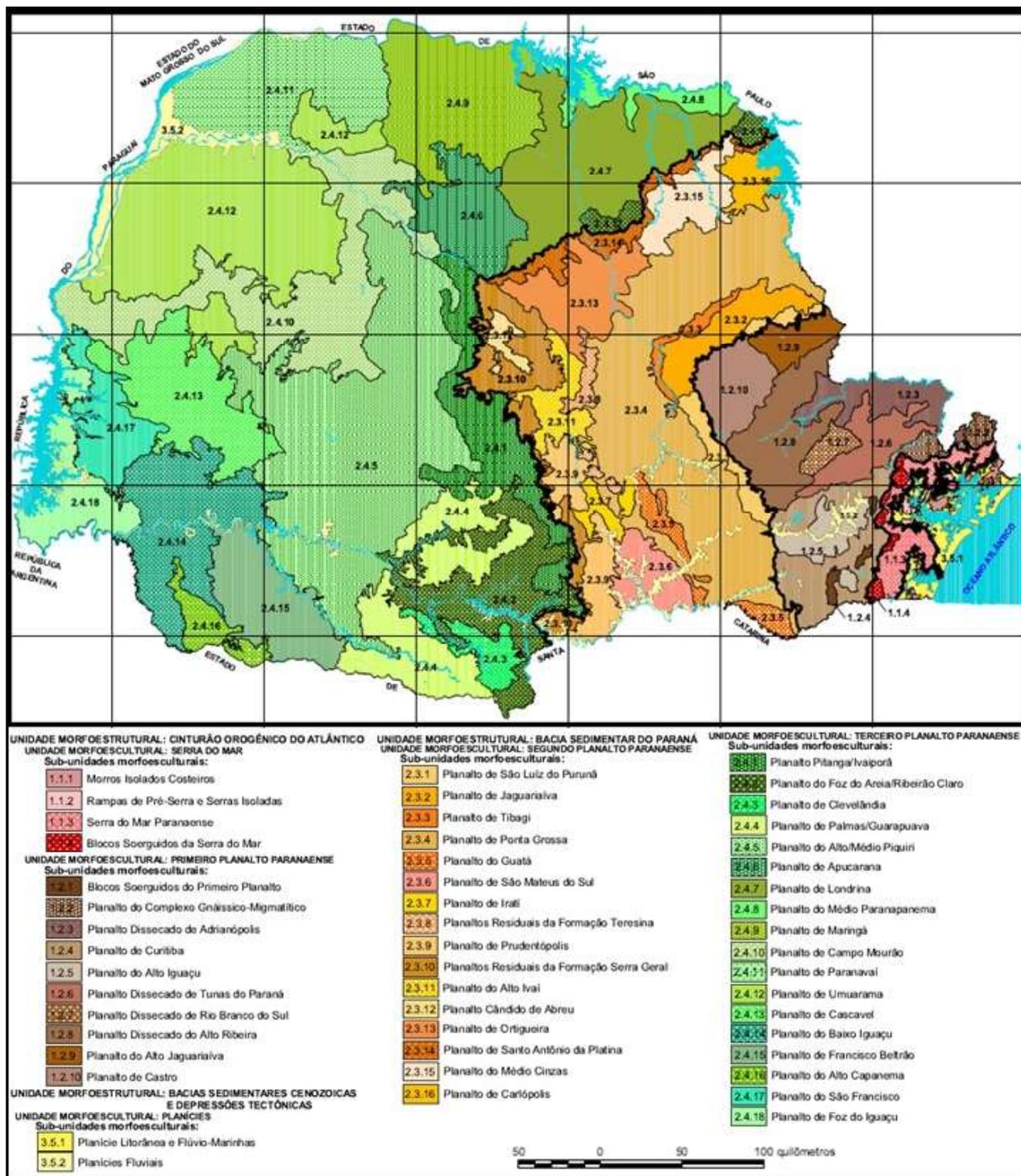


Figura 3 - unidades de relevo cartografadas do mapa geomorfológico do Paraná.

Fonte: modificado de Santos et al. (2006).

Avaliação dos geomorphons em campo

Por último, a avaliação da representatividade dos elementos de relevo foi realizada por meio de controle de campo em recortes de áreas amostrais distribuídos

no território paranaense. O emprego desse recurso para a verificação dos resultados visou suprir a ausência de mapas geomorfológicos em escala de detalhe compatíveis com a representação do relevo em nível dos geomorphons.

Três dos recortes de análise em campo foram selecionados pela sua representatividade, visto que contemplam diferentes unidades morfoesculturais e possuem diversidade morfológica. Outros dois foram selecionados visando demonstrar a região que demonstrou limitação na representação do *geomorphon* classe 9.

Durante as campanhas de campo foram coletadas fotos representativas do relevo. Todas as fotos obtidas no nível do solo foram georreferenciadas com uso de um GPS de navegação. Também foram realizados voos com um *drone* para imageamento das áreas.

Nas áreas amostrais eleitas para serem discutidas ao longo do trabalho foi estabelecida a dimensão de 10km de lado no sentido N-S e E-W. A análise desses recortes permitiu sua verificação em maior detalhe e possibilitou avaliar a representatividade dos *geomorphons* em escala local.

Resultados e Discussões

Classificação dos *geomorphons* e sua distribuição nas subunidades morfoesculturais

Foram obtidas nove classes de elementos de relevo no estado do Paraná: 1) áreas planas, 2) picos, 3) cristas, 4) ressaltos, 5) cristas secundárias 6) encostas, 7) escavado, 8) base de encostas, 9) vales e fossos (Figura 4).

A figura 4 possibilitou detectar em escala regional que os limites preexistentes das subunidades morfoesculturais paranaenses configuram distintos padrões de agrupamento dos *geomorphons*, cujos arranjos e predomínio de tipos de elementos de relevo permitem a distinção de unidades de relevo.

Em situação análoga, por meio da classificação dos *geomorphons*, Robaina *et al.* (2016; 2017) delimitaram diferentes compartimentos de formas de relevo nos estados do Rio Grande do Sul e Tocantins, respectivamente, com distintas e peculiares características que correspondem a unidades geomorfologicamente reconhecidas. Por isso, esses autores expressaram eficiência no emprego do método na classificação do relevo.

Destarte, no contexto regional paranaense, o agrupamento dos *geomorphons* corrobora com os limites estabelecidos pelas unidades de relevo do Mapeamento Geomorfológico do Paraná (SANTOS

et al., 2006; OKA-FIORI *et al.*, 2006), o que denota que sua distribuição configurou distintos padrões morfológicos, coincidentes com os já estabelecidos (Figura 4).

A tabela 1 apresenta a distribuição dos *geomorphons* sobre as subunidades morfoesculturais com seu percentual de ocorrência. Ao avaliar esses percentuais de distribuição dos *geomorphons*, verifica-se que apresentam diferente distribuição e representação em cada uma das unidades de relevo, compondo arranjos que as distingue e permite sua identificação.

Nas subunidades morfoesculturais da Serra do Mar destaca-se a baixa representação dos *geomorphons*: 1) área plana, 4) ressalto e 8) base de encosta, exceção do último para a unidade de Rampas de Pré-Serra e Serras isoladas (Figura 5). As áreas planas são de fato pouco presentes no relevo da Serra do Mar, os ressaltos do modo expresso no *geomorphon* 4 também são incomuns nesse ambiente, no entanto o *geomorphon* 8 era esperado aparecer com maior frequência, demonstrando dificuldade de representação desses elementos de relevo por meio da técnica empregado nesse ambiente.

A Serra do Mar está caracterizada por relevo dissecado com ausência de elementos planos e pela ocorrência de elementos como crista, encostas e vales. Corrobora com os resultados obtidos pelos *geomorphons* as formas de relevo classificadas por Silveira *et al.* (2017), que com o uso de outro método de classificação, o Índice de Posição Topográfica (IPT), evidenciaram também, nesse ambiente, a baixa representatividade das áreas planas e a presença expressiva de relevo dissecado com ocorrência de fundos de vales dotados de forte incisão da drenagem; interflúvios elevados ou em forma de cristas elevadas e topos elevados; cristas e interflúvios intermediários.

As subunidades de Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas, são caracterizadas por elementos de vale e maior presença, relativa, de elementos planos e de base de encosta. As demais subunidades apresentam bastante semelhança em relação a distribuição dos elementos de *geomorphons*, entretanto, pode-se dizer que a subunidade de Blocos é marcada pela, relativa, maior presença de elementos de crista; a subunidade Serra é caracterizada por elementos que marcam entalhamentos como escavado e vales; e por fim, a subunidade de Morros tem os elementos de picos e base de encosta como os mais característicos.

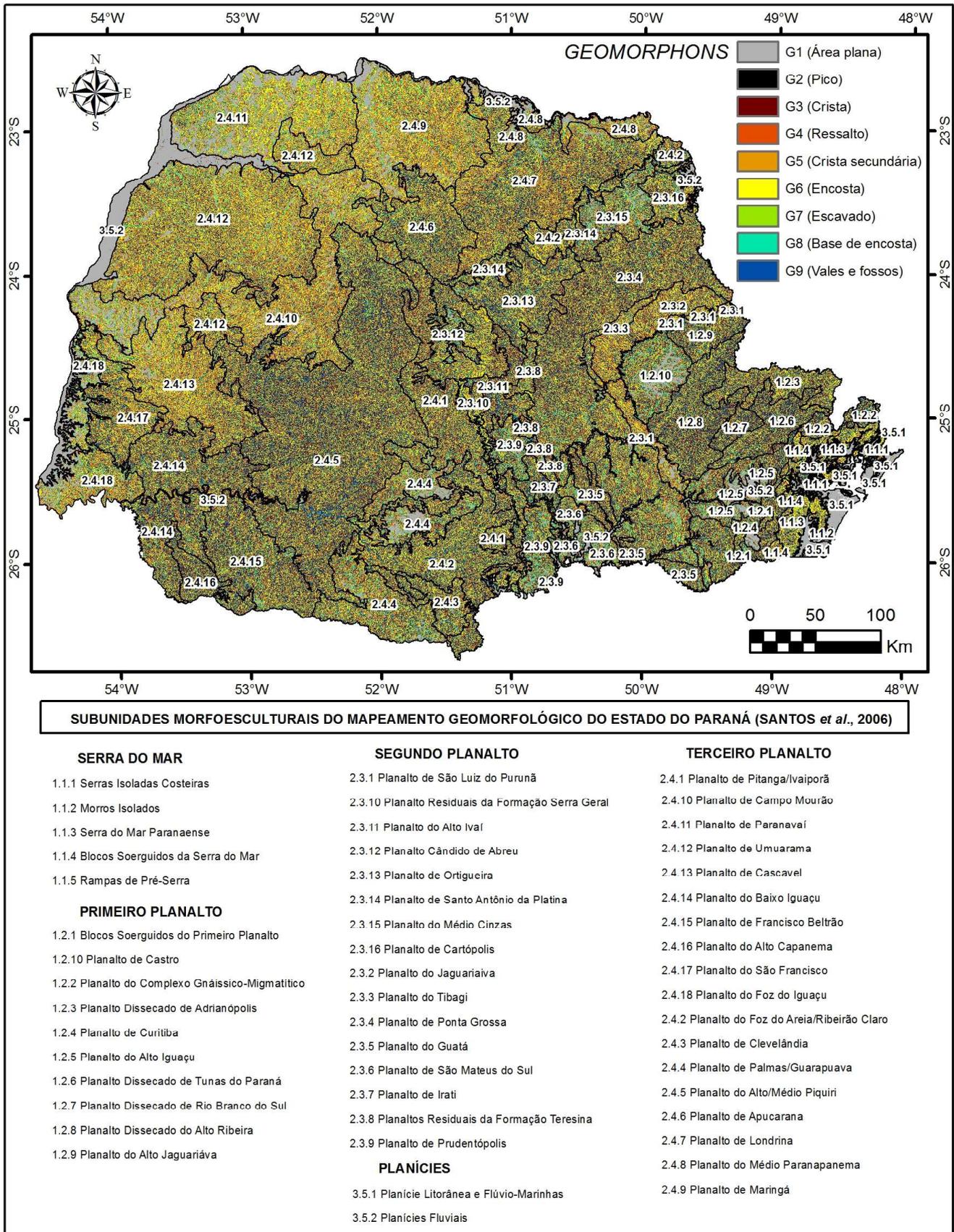


Figura 4 - Classificação dos geomorphons no Paraná e distribuição nas subunidades morfoesculturais.

Geomorphons: 1) áreas planas, 2) picos, 3) cristas, 4) ressaltos, 5) cristas secundárias 6) encostas, 7) escavado, 8) base de encostas, 9) vales e fossos.

Tabela 1: Distribuição em porcentagem dos *geomorphons* sobre as subunidades morfoesculturais.

SUBUNIDADE MORFOESCULTURAL		PORCENTAGEM RELATIVA								
		G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9
Serra do Mar	Morros Isolados Costeiros	0.18	4.16	15.73	0.06	21.28	27.98	15.88	1.16	13.57
	Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas	4.34	5.98	13.68	0.71	9.19	14.64	9.25	8.47	33.74
	Serra do Mar Paranaense	0.01	3.22	12.83	0.00	19.55	27.02	18.91	0.06	18.40
	Blocos Soerguidos da Serra do Mar	0.00	3.37	15.01	0.00	23.00	27.00	16.51	0.00	15.10
Primeiro Planalto Paranaense	Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto Paranaense	0.23	4.07	16.67	0.23	18.07	22.62	14.05	0.98	23.09
	Planalto de Castro	15.30	1.36	14.48	8.05	9.10	17.07	6.26	10.55	17.83
	Planalto do Complexo Gnáissico-Migmatítico	0.71	7.14	18.14	1.08	12.51	15.93	10.63	2.30	31.58
	Planalto Dissecado de Adrianópolis	0.00	4.74	18.02	0.00	18.66	19.10	14.41	0.00	25.06
	Planalto de Curitiba	3.05	2.89	19.94	5.11	11.10	17.79	8.60	5.76	25.75
	Planalto do Alto Iguaçu	29.75	0.47	11.20	15.03	3.45	11.46	2.20	16.31	10.14
	Planalto Dissecado de Tunas do Paraná	0.08	6.69	20.61	0.13	14.31	15.35	11.32	0.51	31.01
	Planalto Dissecado de Rio Branco do Sul	0.00	6.98	21.01	0.00	14.66	14.19	11.35	0.00	31.80
	Planalto Dissecado do Alto Ribeira	0.03	6.12	20.44	0.16	14.54	15.73	11.76	0.16	31.05
	Planalto do Alto Jaguariaíva	0.14	4.15	19.30	0.48	14.93	18.97	11.35	0.60	30.08
Segundo Planalto Paranaense	Planalto de São Luiz do Purunã	8.04	0.71	14.21	13.48	15.57	24.04	7.56	2.82	13.58
	Planaltos Residuais da Formação Serra Geral	0.05	2.87	16.01	0.19	19.50	22.40	13.95	0.47	24.55
	Planalto do Alto Ivaí	0.12	3.62	19.89	0.51	15.79	17.49	11.45	0.64	30.48
	Planalto de Cândido de Abreu	5.58	1.65	14.18	2.75	11.39	20.51	9.18	8.79	25.97
	Planalto de Ortigueira	0.28	3.53	18.79	0.66	15.21	20.48	11.67	1.03	28.36
	Planalto de Santo Antônio da Platina	0.17	2.99	15.93	0.38	19.82	22.93	13.64	0.70	23.44
	Planalto do Médio Cinzas	8.46	1.39	15.88	8.64	9.06	18.48	6.52	10.98	20.59
	Planalto de Carlópolis	1.94	2.26	18.02	5.18	14.85	23.25	10.07	3.72	20.71
	Planalto de Jaguariaíva	0.63	0.97	18.83	4.92	19.52	25.46	9.83	0.69	19.16
	Planalto de Tibagi	3.82	0.67	16.94	7.56	13.52	23.05	7.78	5.84	20.82
Terceiro Planalto Paranaense	Planalto de Ponta Grossa	1.49	2.11	20.12	2.70	14.81	20.21	10.41	3.00	25.13
	Planalto de Guatá	0.61	2.65	23.61	1.52	14.07	18.29	9.98	2.09	27.18
	Planalto de São Mateus do Sul	10.13	1.22	15.96	11.34	6.73	18.28	5.00	15.37	15.97
	Planalto de Irati	0.63	3.14	19.99	2.56	12.42	19.43	9.84	4.44	27.55
	Planaltos Residuais da Formação Teresina	1.08	2.97	19.36	5.37	16.52	23.01	10.52	3.64	17.52
	Planalto de Prudentópolis	6.99	1.89	16.30	5.87	9.89	18.88	7.38	11.23	21.56
	Planalto Pitanga/Ivaiporã	0.66	2.05	21.44	3.64	15.84	21.10	10.36	1.80	23.10
	Planalto de Campo Mourão	14.19	0.14	8.04	17.94	9.76	25.76	5.13	5.82	13.22
	Planalto de Paranavaí	26.22	0.07	3.28	18.42	5.53	26.23	2.57	11.44	6.24
	Planalto de Umuarama	5.03	0.18	12.64	12.59	13.53	26.90	7.64	6.01	15.48
Planícies	Planalto de Cascavel	6.00	0.41	11.45	13.36	13.40	27.41	8.42	2.70	16.85
	Planalto do Baixo Iguaçu	0.21	2.88	20.37	1.54	14.99	18.64	11.93	0.89	28.55
	Planalto de Francisco Beltrão	0.49	3.03	20.16	1.44	14.55	18.54	11.54	1.36	28.90
	Planalto do Alto Capanema	0.11	4.01	21.16	1.09	15.62	16.86	12.19	0.14	28.82
	Planalto do São Francisco	0.77	1.47	17.73	4.07	16.17	24.07	11.73	1.16	22.85
	Planalto de Foz do Iguaçu	23.09	0.35	6.71	17.44	5.71	21.01	4.31	10.86	10.52
	Planalto de Foz do Areia	0.08	3.21	18.23	0.86	18.09	20.70	12.86	0.18	25.79
	Planalto de Clevelândia	1.22	3.62	18.06	2.55	16.36	19.67	11.95	1.88	24.69
	Planalto de Palmas/Guarapuava	12.19	1.15	13.90	12.19	9.46	19.78	6.97	8.56	15.81
	Planalto do Alto/Médio Piquiri	0.09	3.86	21.00	0.78	15.58	17.20	11.58	0.44	29.48
Planícies	Planalto de Apucarana	0.33	2.48	18.09	1.89	16.08	21.25	12.49	0.76	26.63
	Planalto de Londrina	1.90	1.68	18.09	5.56	15.43	22.30	10.48	1.98	22.58
	Planalto do Médio Paranapanema	20.50	0.29	7.87	19.34	6.73	22.40	4.02	8.16	10.70
	Planalto de Maringá	14.94	0.12	7.28	16.01	10.54	27.52	5.68	5.76	12.15
Planícies	Planície Litorânea e Planícies Fluvio-Marinhas	69.72	0.39	1.16	1.11	1.36	3.62	2.24	8.13	12.27
	Planícies Fluviais	77.05	0.09	0.91	1.50	0.86	2.76	0.82	8.69	7.32

Legenda: G1) áreas planas, G2) picos, G3) cristas, G4) ressaltos, G5) cristas secundárias, G6) encostas, G7) escavado, G8) base de encostas e G9) vales e fossos.

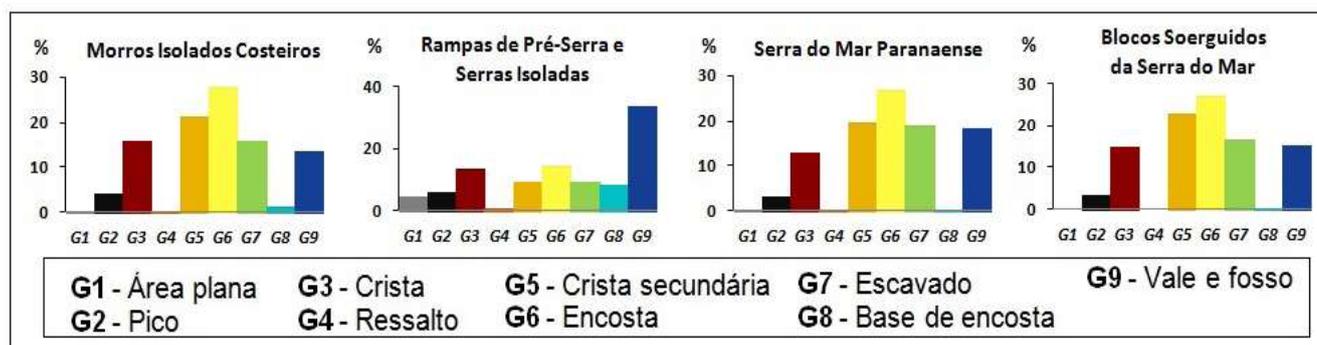


Figura 5 - Distribuição dos geomorphons na Serra do Mar Paranaense.

Nas subunidades morfoesculturais do Primeiro Planalto Paranaense a distinção mais perceptível aparece na elevada representação de áreas planas para as subunidades morfoesculturais Planalto de Castro e do Alto Iguaçu (Figura 6). Ambas têm representação fidedigna conforme apresentado na Figura 7, onde se verifica a expressiva ocorrência do *geomorphon* 1 para ambas subunidades e a representação das fotos A e B ilustrando-a na paisagem. O mesmo destaque representativo das áreas planas nessas subunidades foi observado por Silveira *et al.* (2017), ao fazer uso do IPT na detecção de distintas formas de relevo; também por Silveira e Silveira (2015) ao empregar método de classificação hierárquica automatizada no qual as áreas planas aparecem em destaque nos três níveis representados, ambos empregados no estado do Paraná.

As subunidades que compõem o Primeiro Planalto Paranaense são marcadas por relevo ondulado constituído por elementos de vales, encostas e cristas, exceto a subunidade Planalto do Castro com elemento plano representativo e a subunidade Alto Iguaçu que apresenta um relevo suave com significativa presença do elemento plano e base de encosta.

Nas subunidades Blocos Soerguidos e o Planalto Dissecado de Adrianópolis apresentam um relevo muito semelhante com base nos elementos de *geomorphons*, com predomínio de elementos de vale e encosta. Entretanto, na primeira o elemento encosta é, relativamente, mais significativo e na segunda o elemento crista. O Planalto de Curitiba, também apresenta semelhança, mas é caracterizado por maior ocorrência, relativa, dos elementos plano e base de encosta, representando um relevo mais suave, com ressaltos na meia encosta, associados a substrato rochosos mais resistente.

O Planalto do Complexo Gnaissico-Migmatítico, o Planalto Dissecado de Tunas do Paraná, Planalto Dissecado de Rio Branco do Sul, Planalto Dissecado do Alto Ribeira e o Planalto Dissecado do Jaguariaíva apresentam os elementos de vales e cristas compondo, praticamente 50% dos *geomorphons* presentes. As diferenças se caracterizam no Complexo Gnaissico-Migmatítico por elementos que marcam um relevo, relativamente, mais suave como plano e base de encosta. Na subunidade Jaguariaíva elementos de relevo picos são menos presentes e de encosta mais comuns. Nas outras três subunidades as diferenças dos *geomorphons* são muito pouco representativas para marcar alguma característica específica.

O Segundo Planalto Paranaense é dividido em 16 subunidades que podem ser caracterizadas por seus elementos *geomorphons* presentes.

A subunidade Planalto São Luiz do Purunã, Jaguariaíva e Planalto Residuais da Formação Teresina se caracteriza pelo predomínio de elementos de encosta com topo formando cristas e cristas secundárias associadas a vales encaixados. Como elementos diferenciadores observa-se os elementos de ressaltos na meia-encosta no Planalto São Luiz do Purunã e a, relativamente, maior ocorrência de cristas secundárias no Planalto Jaguariaíva.

As subunidades Planalto Carlópolis, Tibagi, São Mateus do Sul, também, o elemento predominante é representado pela encosta que se associa aos vales, mas os elementos de crista e crista secundária ocorrem secundariamente. Entre essas subunidades os ressaltos são mais comuns nas duas últimas subunidades e o Planalto São Mateus do Sul pode ser diferenciado por uma ocorrência importante de área planas.

Classificação Automatizada de Elementos de Relevo no Estado do Paraná (Brasil)

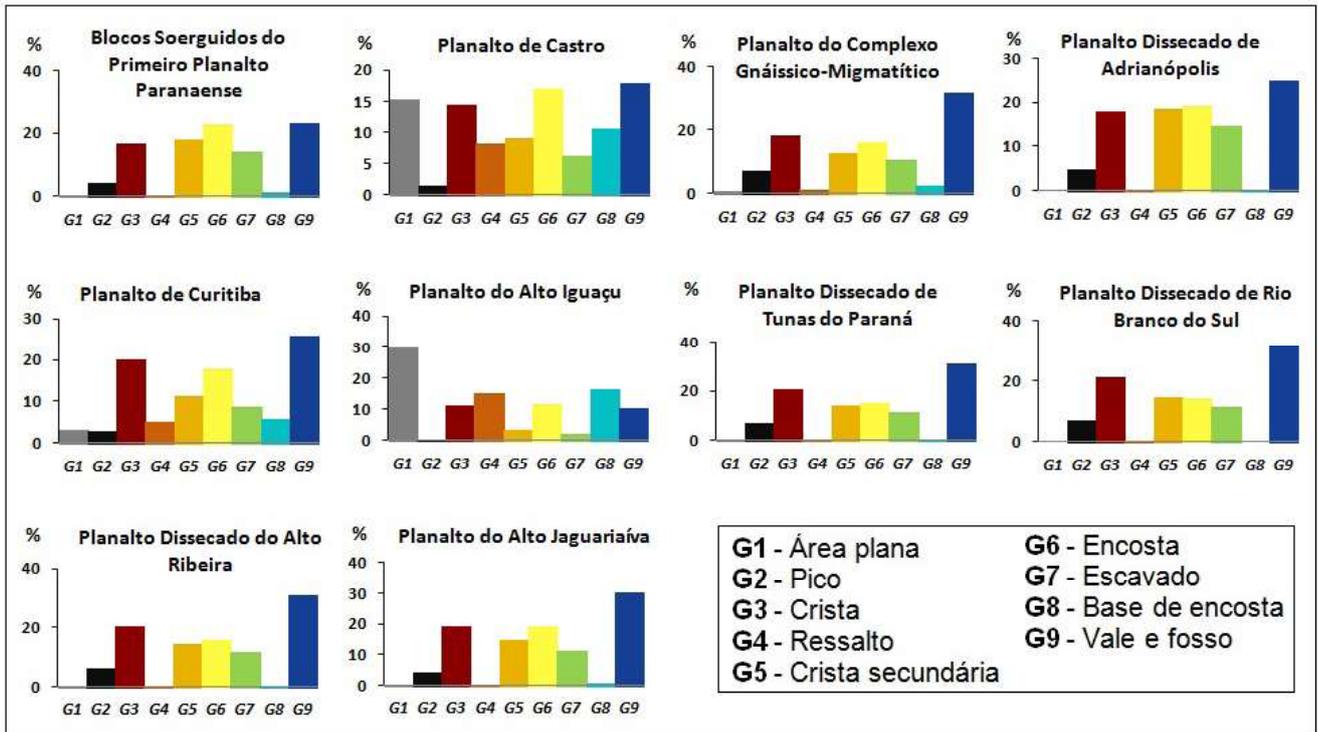


Figura 6 - Distribuição dos geomorphons no Primeiro Planalto Paranaense.

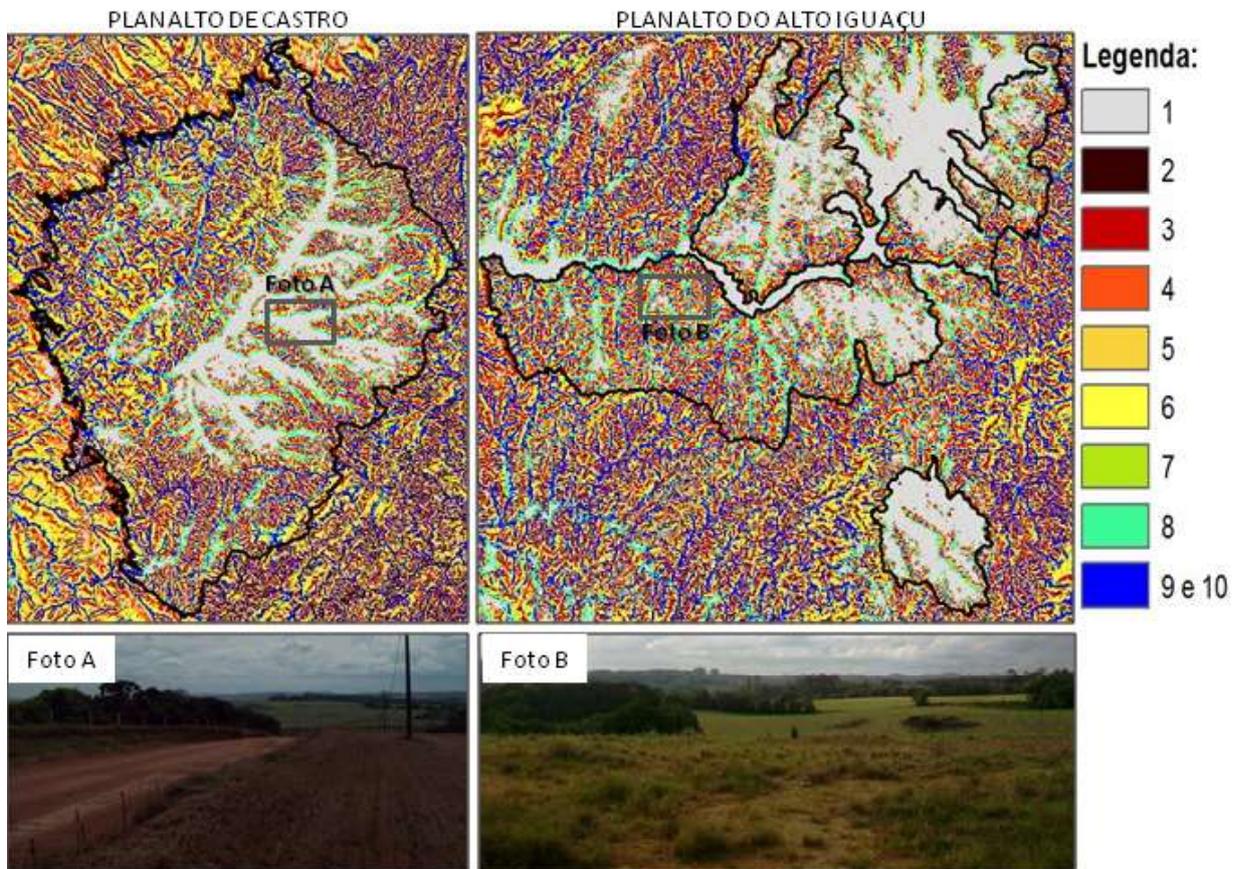


Figura 7 - Geomorphons no Planalto de Castro e do Alto Iguaçu. A foto A) representa área plana no primeiro e a foto B) representa área plana no segundo. Geomorphons: 1) áreas planas, 2) picos, 3) cristas, 4) ressaltos, 5) cristas secundárias 6) encostas, 7) escavado, 8) base de encostas, 9) vales e fossos.

Nas subunidades Planalto Residuais da Formação Serra Geral, Alto Ivaí, Cândido de Abreu, Ortigueira, Santo Antônio da Platina e Ponta Grossa os vales são amplos, predominando como elemento de *geomorphon*, e se associam a encostas com cristas e cristas secundárias constituindo os topos. Na primeira subunidade um elemento marcante, em relação às demais, é o escavado identificado como canais entalhados na encosta. No Alto do Ivaí predomina o elemento vale, que é o mais representativo de todas as subunidades, e os picos são elementos significativos. No Planalto da Ortigueira elementos de picos e escavados são, relativamente, mais comuns, formando relevo movimentado e no Planalto Santo Antônio da Platina as cristas secundárias são características.

As subunidades Planalto Médio Cinzas e Prudentópolis, também apresentam os vales como elementos predominantes associados a encostas e cristas, mas diferentes das subunidades anteriores o elemento de base de encosta é significativo. Em relação as duas subunidades, a diferenciação se dá por um relevo, relativamente, menos movimentado no segundo, identificado pela maior ocorrência de elementos de base de encosta e áreas planas.

As subunidades Planalto Guatá e do Irati os vales amplos, também são elemento predominante, mas se diferenciam pela ocorrência mais significativa do elemento de crista em relação à encosta, por constituírem topos de encosta mais largos. Entre os dois Planaltos a presença mais significativa de picos no Planalto do Irati é a principal diferença.

O terceiro Planalto Paranaense é dividido em 18 subunidades que são avaliadas e caracterizadas por seus elementos *geomorphons* presentes.

As subunidades Planalto Pitanga/Ivorá, Baixo Iguaçu, Francisco Beltrão, Alto Capanema e Alto/Médio Piquiri apresentam como elementos predominantes vales amplos e cristas associados a encostas com cristas secundárias. Na primeira subunidade os elementos de crista e crista secundária são característicos. Nas demais subunidades o elemento que constitui os picos é marcante, especialmente no Alto Capanema, que ainda é caracterizado pela ocorrência de elementos escavados que são identificados por ravinas na meia-encosta. As três últimas unidades se diferenciam pela quantidade,

relativa, de picos e vales. Esses elementos são mais abundantes no Planalto Alto/Médio Piquiri, diminuem no Planalto Francisco Beltrão e são, relativamente, menos abundantes no Baixo Iguaçu.

As subunidades do Planalto Campo Mourão, Paranaíba, Foz do Iguaçu, Médio Paranapanema e Maringá são identificadas por encostas amplas, mais ou menos ressaltos formando pequenas *cornijas* na meia-encosta e áreas planas associadas. Nos Planaltos Campo Mourão, Médio Paranapanema e Maringá o elemento de vale é característico, sendo a diferença entre as unidades determinado por um relevo menos movimentado no Médio-Paranapanema, seguindo pelo Planalto de Maringá e Campo Morão, pela maior ocorrência de áreas planas. Nas outras duas unidades, Paranaíba e Foz do Iguaçu elementos que marcam relevo pouco movimentado como base de encosta e áreas planas são característicos, especialmente no Planalto de Foz de Iguaçu.

As subunidades Planalto de Uruarama, Cascavel, São Francisco, Foz do Areia, Clevelândia, Palmas/Guarapuava, Apucarana e Londrina se caracterizam por uma associação de elementos de encosta, vales e cristas. Os Planaltos de Uruarama e Cascavel se diferenciam dos demais pela importância dos elementos que formam ressaltos na meia-encosta e entre eles pela maior ocorrência de elementos de base de encosta no Uruarama. O Planalto de Palmas/Guarapuava se diferencia pela importância do elemento plano. As demais subunidades são semelhantes em termos de *geomorphons*, entretanto Foz de Areia e Apucarana o elemento escavado que marca o entalhamento das drenagens secundárias é significativo, especialmente, no primeiro.

As subunidades morfoesculturais dos Segundo e Terceiro Planaltos Paranaense apresentam distinta distribuição dos elementos de relevo em seu interior, que pode ser verificado nos gráficos de distribuição dos *geomorphons* nas unidades de relevo (Figuras 8 e 9).

As subunidades de Planície Litorânea e Fluvio-marinhas e a Planície Fluvial estão representadas pelo elemento plano. A Planície Fluvial apresenta, relativamente, uma maior quantidade do elemento plano, enquanto a Planície Litorânea elementos que indicam processos mais significativos de entalhamento como escavados e vales são mais importantes.

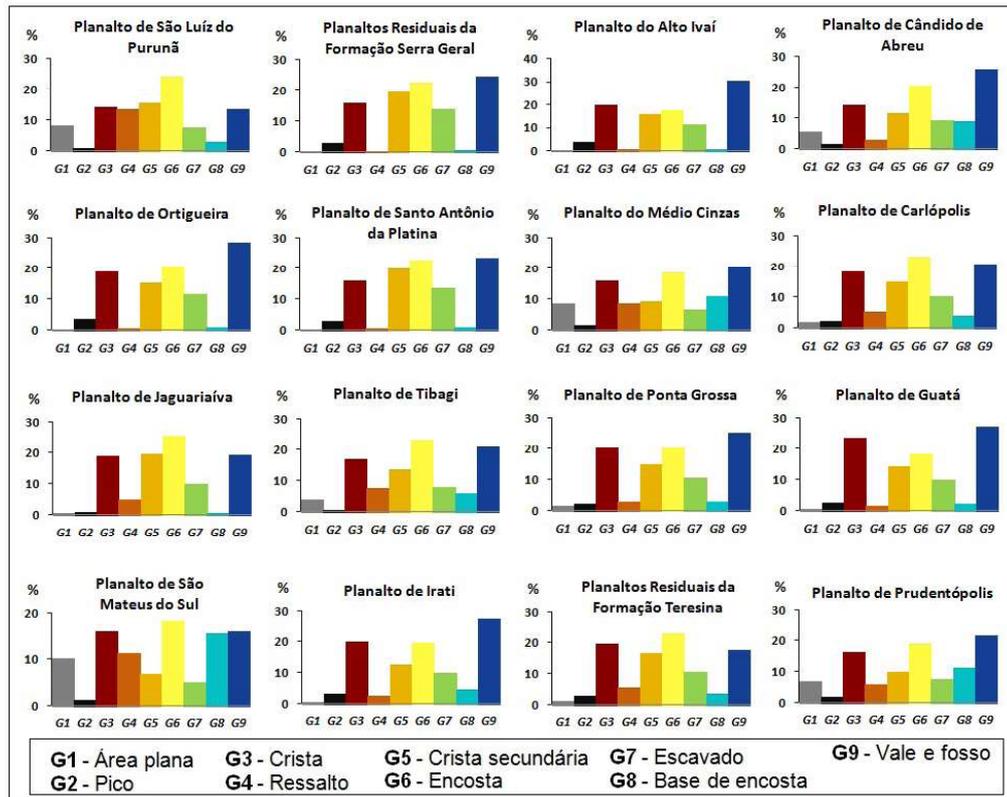


Figura 8 - Distribuição dos geomorpons no Segundo Planalto Paranaense.

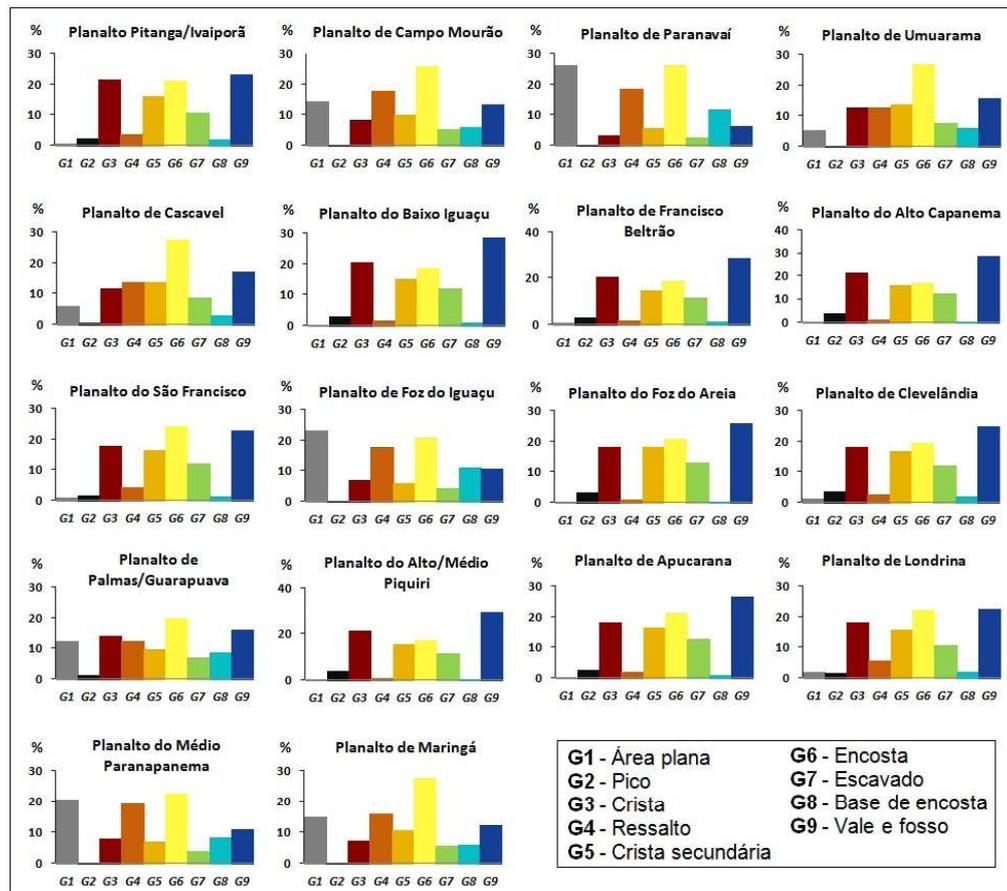


Figura 9 - Distribuição dos geomorpons no Terceiro Planalto Paranaense.

Avaliação da representatividade dos *geomorphons*

Foram eleitos, como exemplos representativos, três distintos recortes geográficos distribuídos no Paraná (Figura 4), cada um deles com dimensão de 10km de lado no sentido N-S e E-W. A análise dessas áreas possibilitou avaliar a representatividade das unidades de relevo em escala local, apoiados no reconhecimento de campo e fotografias obtidas.

O recorte da área 1 representa o relevo da Serra do Mar Paranaense. Essa região possui as maiores variações altimétricas do estado. Sua evolução é poligenética, com influência de ciclos erosivos que resultaram em superfícies aplainadas e que atualmente estão escalonadas na paisagem, conformando as superfícies de erosão (ou aplainamento), identificadas por Ab'Sáber e Bigarella (1961) e Bigarella *et al.*

(1978), designadas de Pd3 ou Superfície Purunã, Pd2 ou Superfície Alto Iguaçu e Pd1 ou Superfície Curitiba.

O relevo dessa região foi também influenciado por eventos tectônicos, dissecação regressiva do *front* na face oriental e erosão diferencial pela presença de litologia de maior resistência que sustentam as elevações de maior destaque (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998). Nascimento *et al.* (2013) atribuem ainda o condicionamento morfotectônico na evolução do relevo e atividade neotectônica na sua conformação.

A figura 10-A apresenta os *geomorphons* que foram classificados na Serra do Mar e a figura 10-B o relevo sombreado no mesmo recorte. Nessa área foram obtidas 3 fotos representativas do relevo, que permitem a identificação dos *geomorphons* (Figura 11).

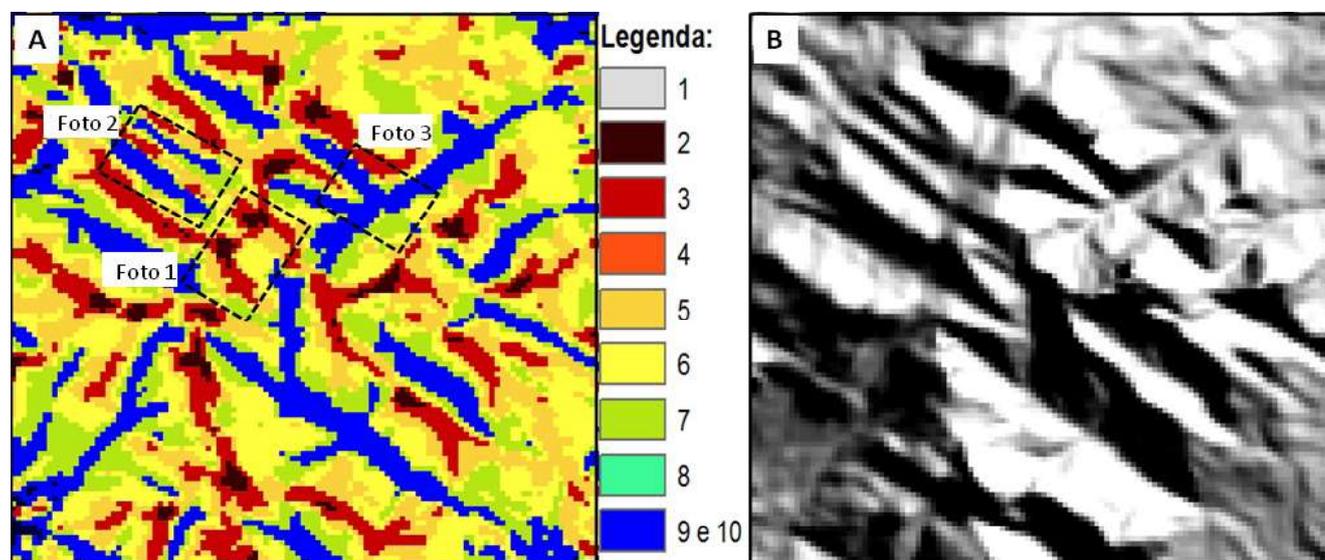


Figura 10 – Área 1, situada na Serra do Mar Paranaense. A) *Geomorphons*: 1) áreas planas, 2) picos, 3) cristas, 4) ressaltos, 5) cristas secundárias 6) encostas, 7) escavado, 8) base de encostas, 9) vales e fossos. B) Relevo Sombreado.

A foto A da figura 11 demonstra a paisagem que detém as maiores elevações do Paraná. Nessa área os *geomorphons* 2, 3, 5 e 7 representaram respectivamente os elementos de relevo: picos, que constituem os cumes elevados; cristas, que fazem a ligação entre os picos; cristas secundárias, que correspondem aos interflúvios com posição altimétrica inferior às cristas e aos picos, e escavados, que representam os fundos de vales com forte entalhamento vertical.

A foto B, situada a NW da anterior, contempla vales orientados a NW que acompanham a orientação de estruturas geológicas com cristas secundárias que representam os divisores de água, também a presença

do *geomorphon* escavado representou adequadamente os vales entalhados situados nos terços médio e superior das vertentes.

A foto C representa em destaque um vale fluvial encaixado que acompanha estruturas geológicas com direção NE, adequadamente classificado como *geomorphon* 9 (vales). Essa foto contempla ainda a presença de interflúvios principais, secundários e vales situado nas posições superiores das vertentes, representado na classificação pelos elementos de relevo designados de crista, crista secundária e escavado, respectivamente, todos frequentes e representativos na paisagem da Serra do Mar Paranaense.

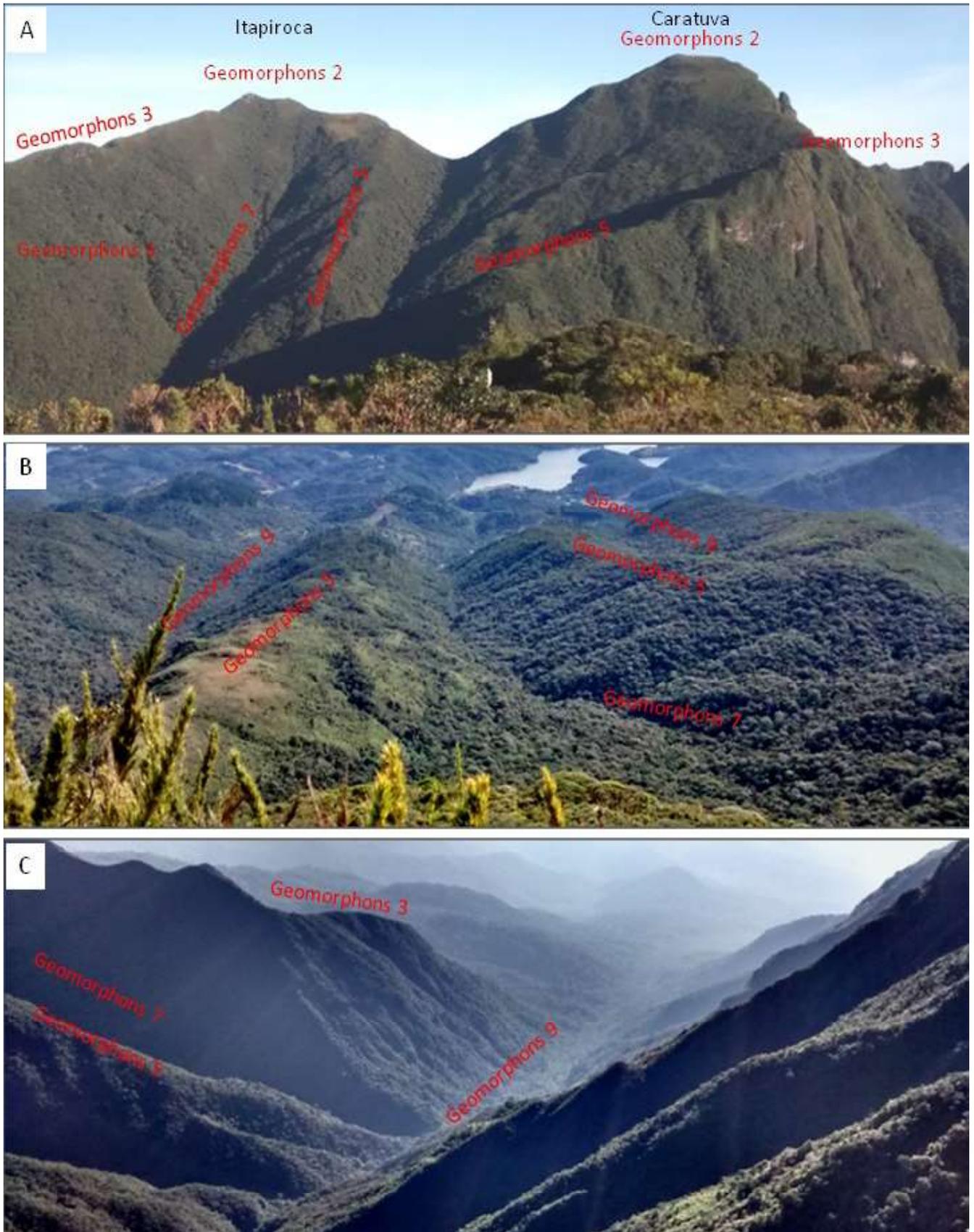


Figura 11 – Identificação dos geomorphons na Serra do Mar Paranaense.

A classificação nesse ambiente foi bem sucedida, pois os picos corresponderam aos blocos montanhosos controlados pelo Cinturão Granitóide Costeiro do Estado do Paraná (ALMEIDA; CARNEIRO, *op. cit.*) e conjuntamente com as cristas são os remanescentes da superfície Pd3 de Bigarella *et al.* (*op. cit.*). Esses elementos de relevo são sustentados na paisagem pela resistência erosiva dos corpos graníticos que constituem os altos topográficos.

As cristas secundárias constituem igualmente áreas elevadas e são associadas à superfície Pd2 e/ou Pd1 (BIGARELLA *et al.*, *ibid.*), enquanto os escavados correspondem aos fundos de vale dos cursos de drenagem, que nessa região tem controle de falhas, fraturas e diques.

A área 2 constitui a passagem do Primeiro para o Segundo Planalto Paranaense. O limite entre esses planaltos coincide com a borda periférica a leste da Bacia Sedimentar do Paraná, cuja base ali

exposta, é representada pela Formação Furnas, de idade devoniana, composta por uma sucessão de arenitos quartzosos brancos, de médios e grossos, caulíníticos e estratificação cruzada, com ocorrência de conglomerados esbranquiçados (MILANI *et al.* 2007). Sobre o Primeiro Planalto ocorrem rochas metafóricas do Grupo Açungui, do Proterozóico Superior, com litologia predominante de filitos, mármore e quartzitos (FIORI; GASPARG, 1993).

As formações devonianas conformaram uma linha de cuestras de relativa expressão morfológica, no contexto das Regiões de circundesnudação pós-cretácea no Planalto Brasileiro (AB'SABER, 1949), que regionalmente recebe a denominação de Escarpa Devoniana ou Purunã.

Na avaliação da representatividade dos *geomorphons* nessa área (Figura 12) foram eleitas quatro porções com fotos obtidas em campo (Figura 13).

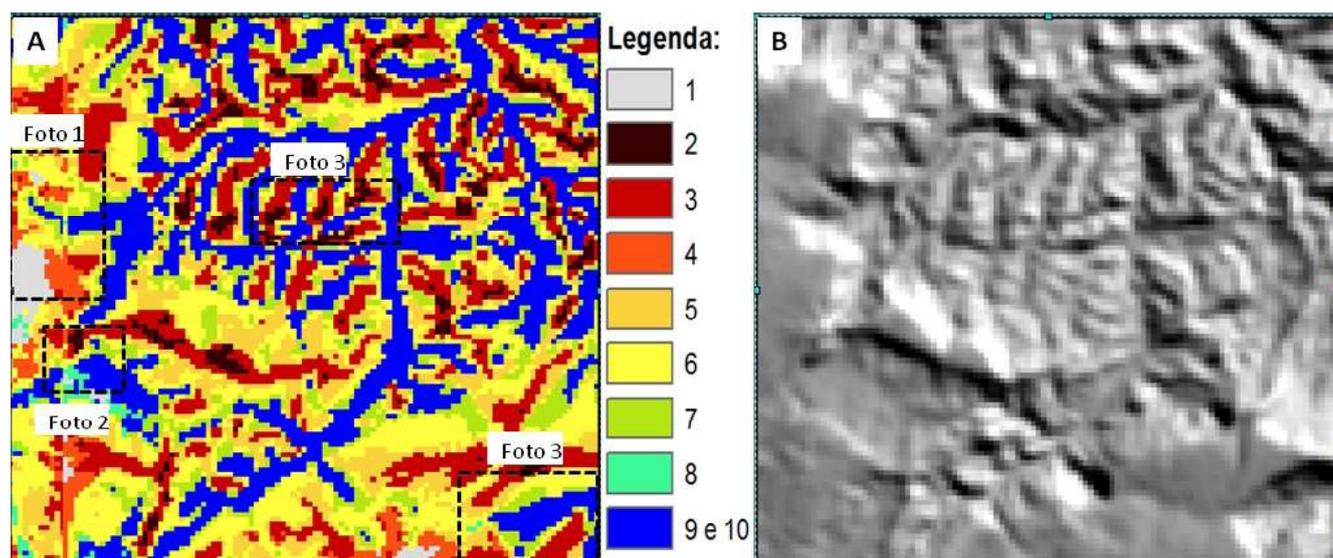


Figura 12 - Área 2, situada na passagem limite entre o Primeiro e o Segundo Planaltos Paranaense. A) Geomorphons: 1) áreas planas, 2) picos, 3) cristas, 4) ressaltos, 5) cristas secundárias 6) encostas, 7) escavado, 8) base de encostas, 9) vales e fossos. B) Relevo Sombreado.

A foto A da figura 13 configura o limite de transição entre o Primeiro e Segundo Planalto Paranaense, que representa um típico relevo de cuestra. Na imagem o *geomorphon* 1 representa área plana situada no Segundo Planalto, constituída pelo reverso proximal da *cuestra*. O *geomorphon* 4 expressa o elemento do relevo ressaltado, que configura o *front* da *cuestra*, na forma de uma escarpa erosiva, incorporando sua porção superior. O *geomorphon* 6, encosta, configura o terço inferior,

constituído pelos *tálus* do recuo erosivo. O *geomorphon* 7, escavado, expressa os vales dos rios obsequentes.

As áreas planas, *geomorphon* 1, que estão situadas no reverso da *cuestra* constituem a superfície de aplanamento Pd3, também denominada de superfície do Purunã (BIGARELLA, 2003). Os relictos equivalentes a essa superfície encontram-se falhados e basculados na região da Serra do Mar, porém no contexto da área amostral 1 foi representada pelos *geomorphons* 2 e 3.

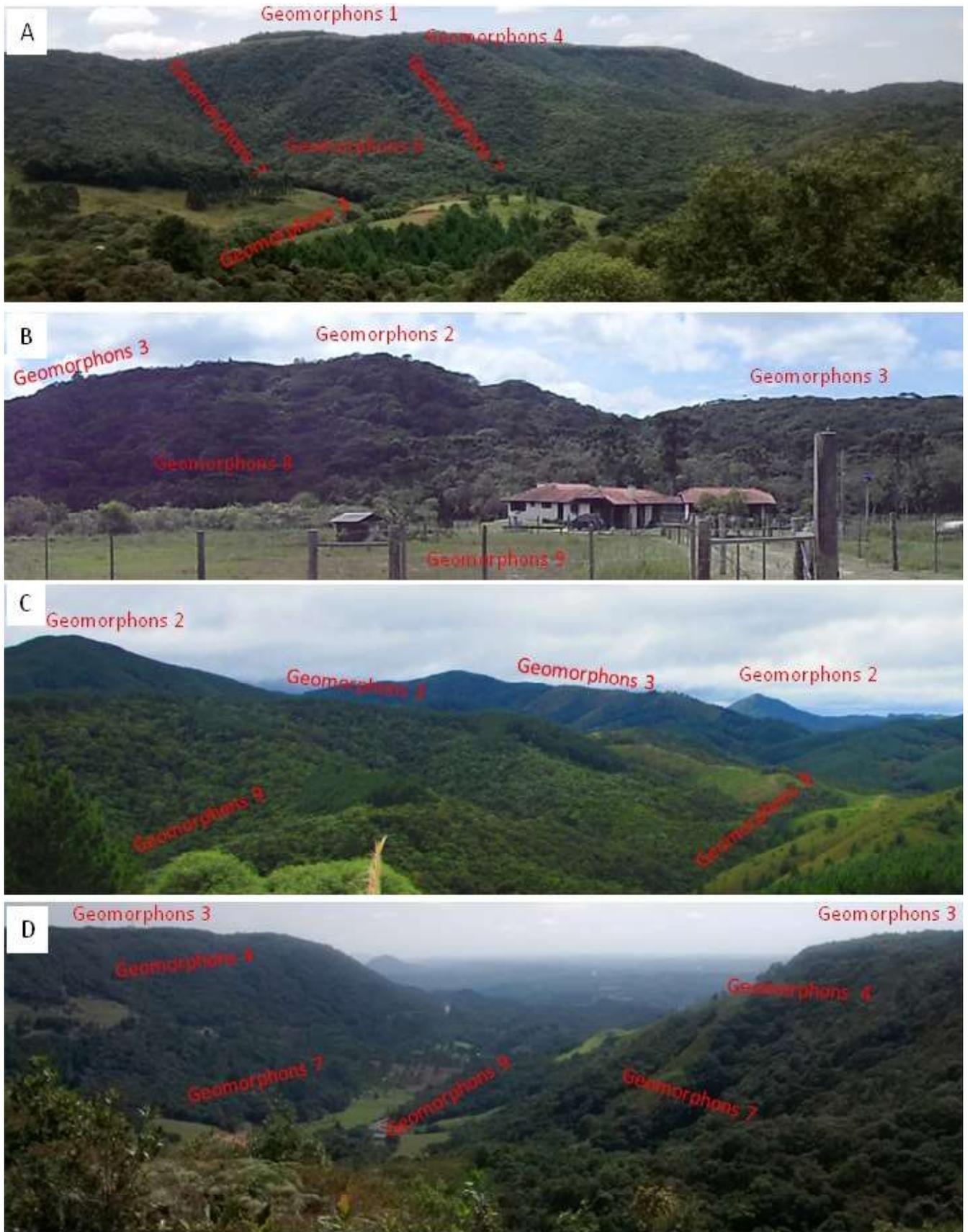


Figura 13 - Identificação dos geomorphons na transição do Primeiro para o Segundo Planalto Paranaense.

A foto B expressa um alto topográfico representado por um morro residual do recuo erosivo da *cuesta*, que foi expresso na classificação como *geomorphons* 3, 2 e 8, respectivos elementos de relevo designados de crista, pico e base da encosta. A representação é adequada ao relevo encontrado na área, exceto no patamar inferior, que configura uma área plana e foi classificado com o *geomorphon* 9 (vales e fossos).

A foto C se refere ao relevo de morros do Planalto Dissecado do Alto Ribeira. Nessa área o controle dos distintos litotipos associados às estruturas tectônicas confere cristas e rede hidrográfica, ambas orientadas com controle geológico. A classificação dos *geomorphons* na área representou de modo adequado com elementos de relevo de cristas, topos e vales.

As classes *geomorphons* 3 e 2, quando situadas no Primeiro Planalto, *front* da *cuesta*, situa-se nas posições de cimeiras, como topos e interflúvios elevados, que constituem relevos residuais ressaltados durante as fases de aplanamento subsequente (BIGARELLA, *ibid*). Esses interflúvios e topos alcançam cotas entre 900 e 940m, que para Stefanello (2011) estariam relacionadas ao Pd1 na região, enquanto que para Bigarella (*op. cit.*) o relevo de cristas residuais situado na borda do Primeiro Planalto é relativo ao Pd2.

A foto D representa o vale de um rio obsequente, que constitui uma reentrância na linha *cuesta*, que é resultado do recuo erosivo da escarpa. Os altos topográficos constituem o reverso da *cuesta*, sustentados pelas rochas da Formação Furnas, da Bacia Sedimentar do Paraná, que representa o contato do Primeiro Planalto com o Segundo Planalto Paranaense. A área foi adequadamente representada na classificação com os *geomorphons* 9, 7, 4 e 3, que constituem os elementos de relevo: vales, escavado, ressalto e cristas.

A classificação dos *geomorphons* na área 2 foi fidedigna com os tipos distintos de relevo observados em campo. Esse e o primeiro recorte amostral, tiveram sucesso na separação de formas de relevo distintas por meio de método automatizado de classificação com o emprego do índice de posição topográfico por Silveira e Silveira (2017).

A área do recorte 3 representa o relevo do Terceiro Planalto Paranaense. Na avaliação dos *geomorphons* nessa área (Figura 14) foram selecionadas duas porções com fotos obtidas em campo (Figura 15).

Figura 14 - Área 3, situada no Terceiro Planalto Paranaense. A) *Geomorphons*: 1) áreas planas, 2) picos, 3) cristas, 4) ressaltos, 5) cristas secundárias 6) encostas, 7) escavado, 8) base de encostas, 9) vales e fossos. B) Relevo Sombreado.

A foto A da figura 15 configura um padrão de relevo identificado por Bortolini *et al.* (2017) como de morros declivosos, que apresenta declividades mais acentuadas e um alto grau de dissecação. Constitui morros residuais situados próximos à planície do rio Chopim, localizado no Terceiro Planalto Paranaense. Essa feição de relevo aparece, frequentemente, em situações próximas ao nível de base de rios de grandes dimensões, com grande competência erosiva. Na imagem o *geomorphon* 2 representa as posições mais elevadas com topos arredondados que são descritos como picos. O *geomorphon* 3 expressa como crista os topos de morros alongados. O *geomorphon* 6, encosta, configura o terço inferior dos morros. O *geomorphon* 8, configura a base de encostas dos morros e o *geomorphon* 9 (vales e fossos) que abrange a extensão da planície aluvial e o corpo hídrico.

A foto B representa um padrão de relevo de colinas, presente em grande extensão na região sudeste do Paraná, no Terceiro Planalto Paranaense (BORTOLINI *et al.*, *op cit.*). Os *geomorphons* classificados nessa área são: 3, 9 e 6, que corresponde, respectivamente, nos elementos de relevo designados como: crista, que configura topos alongados associados aos interflúvios; vale, situado na posição de jusante, incorporando às planícies aluviais; encosta, que abrange a extensão que vai do topo ao fundo do vale. A representação das fotos da Figura 16 se mostram compatíveis ao relevo da área.

Apesar dos exemplos anteriormente apresentados terem evidenciado que os *geomorphons* classificados constituem distintas formas de relevo nas áreas 1, 2 e 3, verificou-se limitação na representação da classe 9, áreas planas, na região noroeste e oeste do Paraná.

O relevo dessa região compreende colinas alongadas com topos abaulados, com dissecação homogênea (COSTA *et al.*, 2005). Os interflúvios e terço superior das vertentes nessas áreas foram agrupados na classificação automática junto com as Planícies Fluviais (Figura 16). Sob a perspectiva da declividade os dois ambientes apresentam semelhanças, pois têm valores inferiores a 5%, mas constituem modelados de relevo distintos.



Figura 15 - Identificação dos geomorphons no Terceiro Planalto Paranaense, região SW.

A Figura 17 representa a paisagem típica encontrada na região noroeste do Paraná, desenvolvida sobre os arenitos da Formação Caiuá, composta por colinas com extensas encostas com topos e interflúvios suavemente convexos com baixa declividade (Figura 16-B), que configura a subunidade morfoescultural

Planalto de Paranaíba. Essas feições do terço superior das encostas, por apresentarem baixa declividade foram agrupadas na classificação com as planícies fluviais (Figura 16-A), que também configuram extensas áreas planas, porém situadas em fundos de vale em ambiente agradacional.

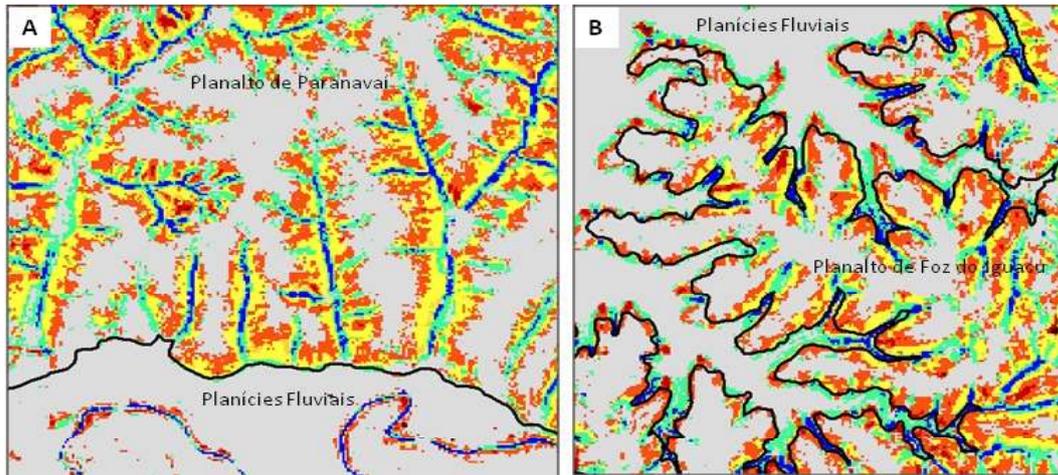


Figura 16 - Áreas que exemplificam a limitação na representação do relevo apoiado na classificação dos geomorphons.
Legenda: 1) áreas planas, 2) picos, 3) cristas, 4) ressaltos, 5) cristas secundárias 6) encostas, 7) escavado, 8) base de encostas, 9) vales e fossos.

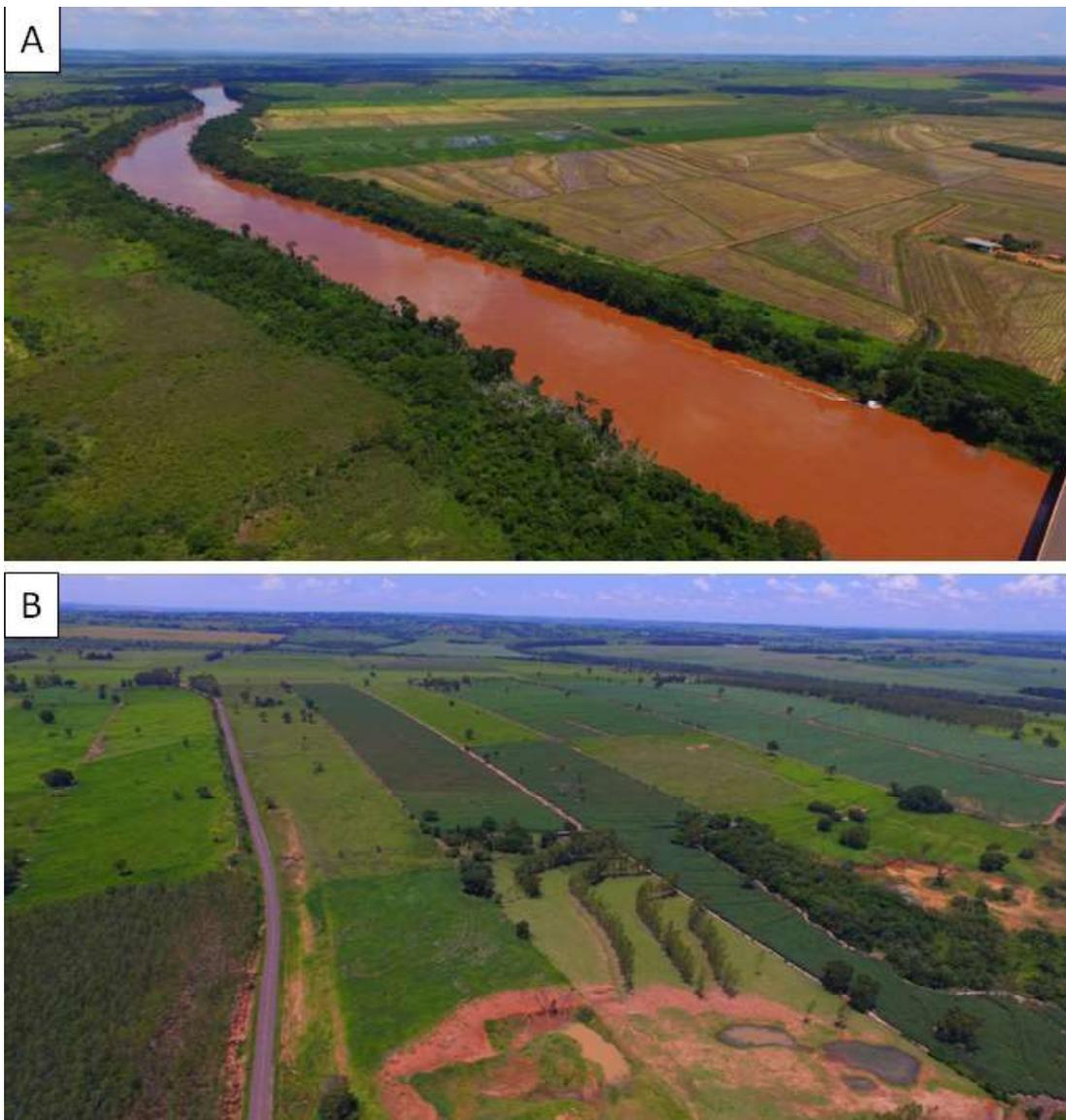


Figura 17 - Paisagens presentes na região noroeste do Paraná: A) planícies fluviais; B) colinas com extensas encostas com topos e interflúvios suavemente convexos com baixa declividade. Fotos obtidas em voo com uso de um drone modelo Phantom 3.

Situação semelhante a essa foi verificada no relevo de colinas de baixa declividade, sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, situado na região oeste do Paraná. Nele a classificação dos interflúvios, situados no Planalto de Foz do Iguaçu, foram agrupados às planícies Fluviais e resultaram no *geomorphon* 9, áreas planas (Figura 16-B).

A dificuldade de separação entre os elementos de relevo que configuram topos e posição superior das encostas de baixa declividade com as extensas áreas de planícies na região noroeste e oeste do Paraná, também foi detectado por Silveira e Silveira (2017), quando empregaram o Índice de Posição Topográfico como técnica de classificação automática de formas de relevo.

Conclusões

A aplicação da proposta dos *geomorphons* foi devidamente empregada na classificação automática de elementos de relevo no estado do Paraná demonstrando exequibilidade, em acordo com os objetivos estabelecidos.

Quando analisado sob o ponto de vista regional, o agrupamento dos elementos permitiu a distinção de compartimentos com padrões morfológicos predominantes, corroborado por meio da comparação com os limites pré-existent das subunidades morfoesculturais. Assim, evidenciou-se que arranjos de tipos de elementos de relevo compartimentam distintas unidades.

Sob a perspectiva local, os *geomorphons* também demonstraram relação fidedigna com a individualização de formas de relevo que foram observadas por meio da análise de campo em três áreas amostrais representativas.

Como limitação da proposta, foi detectado no controle de campo a inconsistência da classe *geomorphon* 9 na região noroeste e oeste do Paraná. Nesse caso, ocorreu o agrupamento das áreas planas que representam as Planícies Fluviais com as áreas de baixa declividade que constituem os interflúvios e terço superior das vertentes nos Planaltos de Paranavaí e Foz do Iguaçu.

Destarte, ficou evidente que o método de classificação automática empregado foi mais eficiente em áreas com relevos mais complexos, com maiores amplitudes altimétricas, maior diversidade morfológica e maiores declividades, em relação a relevos mais suavizados e homogêneos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela disponibilização de recursos, que possibilitou os levantamentos de campo, por meio do Projeto de Mapeamento do Estado do Paraná apoiado em análise digital do relevo, Processo 456244/2014-0.

Referências Bibliográficas

- AB'SABER, A.N. Regiões de circundesnudação pós-cretácea, no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 1, p.1-21, 1949.
- AB'SABER, A.N.; BIGARELLA, J.J. Considerações sobre a geomorfogênese da Serra do Mar no Paraná. **Boletim Paranaense de Geografia**, v. 4/5, p. 94-110, 1961.
- 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.
- 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.
- BIGARELLA, J. J. **Estruturação e origem das paisagens tropicais e subtropicais – volume 03**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2003.
- 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 Temático de Geomorfologia, 131-150, 2017. DOI: 10.5380/raega.v41i0.51724
- 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.
- 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.
- 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.
- 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
- FIORI, A. P.; GASPAR, L. A. Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (Proterozóico Superior), Paraná, sul do Brasil. **Bol. IG-USP, Sér. Cient.**, n. 24, p. 1-19, 1993.
- GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geografia Acadêmica**, v.2 n.2, p. 73-83, 2008.
- HENGL, T. **Pedometric mapping: bridging the gaps between conventional and pedometric approaches**. Wageningen University, Enschede, 2003. 233p. PhD thesis.
- IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology** v. 86(3-4), p. 409-440, 2007. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.09.012
- 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
- JULESZ, B. Textons, the Elements of Texture Perception, and Their Interactions. **Nature**, v. 290, p. 91-97, 1981.
- JULESZ, B. A Brief Outline of the Texton Theory of Human Vision. **Trends in Neuroscience**, v. 7, p. 41–45, 1984.
- KLINGSEISEN, B.; METTERNICHT, G.; PAULUS, G. Geomorphometric landscape analysis using a semi-automated GIS-approach. **Environmental Modelling & Software**, p. 1-13, 2007. DOI: 10.1016/j.envsoft.2007.05.007
- LANGE, G. F.; SILVEIRA, C. T. da. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Zendron, Blumenau - SC. In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, Teresina - PI, p. 854-862, 2015.
- LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology**. Boca Raton: CRC Press, 2005.
- LIAO, W. H. Region Description Using Extended Local Ternary Patterns. **20th International Conference on Pattern Recognition**, p. 1003–1006. 2010.
- 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** 113, p. 81–109, 2000.
- 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, p. 227-254, 2009.
- MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v.15. n.2, p. 265-287, 2007.
- MARK, D. M., SMITH, B. A science of topography: from qualitative ontology to digital representations. In: Bishop, M.P., Shroder, J.F. (Eds.), **Geographic Information Science and Mountain Geomorphology**. Springer–Praxis, Chichester, England, p. 75-97, 2004.
- MIHAI, N. Geomorphometric techniques for landform analysis for pedologic characterization of terrain. **Annals of the University of Craiova – Agriculture, Montanology, Cadastre Series**. Vol. XLII-2012/1, p. 454-460, 2012.
- NASCIMENTO, E. R.; SALAMUNI, E.; QUEIROZ, G. L.; SILVA, P. A. H.; FIORI, A. P. Evidências de determinação morfotectônica e neotectônica no relevo da Serra do Mar no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.3, p. 287-299, 2013. DOI: 10.20502/rbg.v14i3.402
- 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.
- 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, MINEROPAR, 2006. 59p.
- 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, p. 3-30, 2009.
- REUTER, H. I. **ArcGis Geomorphometry Toolbox: Version 1.0.2**. Gisxperts GBR, Germany, 2009.
- ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de *geomorphons* obtidos em classificação topográfica automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v.17, n.2, p.287-298, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i2.857
- ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R.; CRISTO, S. S. V.; SCCOTI, A. A. V. Application of the geomorphons to the landform classification in Tocantins state, Brazil. **Revista Ra'e Ga**, v. 41

- Temático de Geomorfologia, 37-48, 2017. DOI: 10.5380/raega.v41i0.48724
- 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.
- 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
- 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**. v. 7, n.2, p. 3-12, 2006. DOI: 10.20502/rbg.v7i2.74
- SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná (Programa de Pós-Graduação em Geografia). Curitiba. 152 p.
- SILVEIRA, R. M. P. **Análise digital do relevo como apoio para a cartografia geomorfológica da porção central da Serra do Mar Paranaense**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná (Programa de Pós-Graduação em Geografia). Curitiba, 2015. 123 p.
- SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Clasificación morfológica del relieve uruguayo basada en modelos digitales de elevación y técnicas morfométricas. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica**. (GESIG-UNLU, Luján). Año 6, n. 6, Sección I: p. 19-36, 2014.
- 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
- 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.
- 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, n° 4, 615-629, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i4.1063
- SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. Índice de Posição Topográfica (IPT) para classificação geomorfométrica das formas de relevo no estado do Paraná - Brasil. **Revista Ra'e Ga**, v. 41 Temático de Geomorfologia, p. 98-130, 2017. DOI: 10.5380/raega.v41i0.51674
- TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; SILVEIRA, C. T. Compartimentação geomorfométrica da bacia Hidrográfica do rio Itú/RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.16, n.2, p.219-237, 2015. DOI: 10.20502/rbg.v16i2.460
- TOBLER, W. R. The development of analytical cartography — a personal note. **Cartography and Geographic Information Science**. n. 27, v. 3, p.189-194, 2000.
- 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.
- VASCONCELOS, V.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. COUTO JUNIOR, A. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional Serra da Canastra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 171-186, 2012. DOI: 10.20502/rbg.v13i2.248
- WEISS, A. **Topographic Position and Landforms Analysis**. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA, 2001.
- WILSON, J. P. Digital terrain modelling. **Geomorphology**. v. 137, p. 107-121, 2012. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.03.012
- WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.
- 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>.