



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

## **APLICAÇÃO DE TÉCNICAS GEOMORFOMÉTRICAS PARA CLASSIFICAÇÃO DE FORMAS DO RELEVO EM CAMPO LARGO, ESTADO DO PARANÁ - BRASIL**

### ***APPLICATION OF GEOMORFOMETRIC TECHNIQUES FOR CLASSIFICATION OF LANDFORMS IN CAMPO LARGO, PARANÁ STATE - BRAZIL***

(Recebido em 21-11-2017; Aceito em 31-05-2018)

**Soraia Maria Alves Gomes**

Graduanda em Geografia pela Universidade Federal do Paraná  
soraiamag95@gmail.com

**Ricardo Michael Pinheiro Silveira**

Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Paraná  
ricardomichaelps@gmail.com

**Claudinei Taborda da Silveira**

Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná  
Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná  
claudineits@ufpr.br

#### **Resumo**

A geomorfometria serve como base a mapeamentos geomorfológicos através dos Modelos Digitais do Terreno (MDTs) e seus derivados, os atributos topográficos, que são atualmente as principais variáveis para a compartimentação de relevo e identificação de unidades morfológicas. Assim, este estudo busca identificar, distinguir e caracterizar tipos de formas de relevo adequado ao 4º nível taxonômico (ROSS, 1992), compreendendo a escala 1:100.000, através de atributos topográficos derivados do MDT. Foi selecionado como recorte geográfico a folha topográfica MI 2841-4, denominada Campo Largo, localizada na transição entre o Primeiro Planalto Paranaense e o Segundo Planalto Paranaense. O MDT gerado da área possui resolução espacial de 10 metros, e deste derivou-se os atributos topográficos declividade, amplitude altimétrica e relevo sombreado, utilizando o software de SIG ArcGis 10.1 (ESRI, 2012). Através de técnica de classificação do relevo, amparados pela análise de valores de classes obtidas com combinação por meio de álgebra de mapas e interpretação dos dados quantitativos condizentes com a realidade em campo, chegou-se a cinco unidades morfológicas distintas. Após análise e interpretação destas, foram encontrados seis tipos de formas de relevo ao todo: colinas, colinas onduladas, morrotes, morros, morros declivosos, cornija de cuesta e

tálus cuestiforme. As formas de relevo predominante são os morrotes perfazendo 27,91% da área, seguido das colinas com 24,75% e as com menor ocorrência são cornija de cuesta e tálus cuestiforme, encontradas apenas no entorno da escarpa. O método utilizado demonstrou ser eficiente e aplicável, possibilitou discernir formas de relevo, bem como destacou o potencial para classificações geomorfológicas.

**Palavras-chave:** Geomorfometria; Atributos topográficos; Modelo Digital do Terreno; Mapeamento Geomorfológico.

### **Abstract**

*Geomorphometry serve as a basis for geomorphological mapping through the Digital Terrain Models (DTMs) and their derivatives, the topographic attributes, which are currently the main variables for landforms compartmentation and identification of morphological units. Thereby, this study seeks to identify, distinguish and characterize types of relief forms up to the fourth taxonomic level (ROSS, 1992), appropriate to scale 1: 100,000, from topographic attributes derived from DTM. The topographic letter MI 2841-4, called Campo Largo, selected as the geographic cut, is located at the transition between the First Plateau Paranaense and the Second Plateau Paranaense. The generated DTM of the area has spatial resolution of 10 meters, from which the topographical attributes derived: slope, altimetric amplitude and hillshade, using the ArcGis 10.1 SIG software (ESRI, 2012). Through technique of classification of the relief, supported by the analysis of class values obtained with combination by map algebra and interpretation of quantitative data consistent with the reality in the field, it was reached five different morphometric units. After analysis and interpretation of these, six types of landforms it were found: hills, rolling hills, morrotes, mounds, sloping mounds and hillsides of cuesta and talus questiforme. The predominant relief form is the morrotes making up 27.91% of the area, followed by the hills with 24.75% and the form with less occurrence is hillside of cuesta and talus questiforme, found only around the escarpment. The method used proved to be efficient and applicable, allowed to discern landforms, as well as highlighted the potential for geomorphometric classifications.*

**Keywords:** Geomorphometry; Topographic attributes; Digital Terrain Model. Geomorphological mapping.

### **Introdução**

A geomorfologia utiliza representações cartográficas para espacializar seu objeto de estudo e assim melhor visualizar as formas e os processos, buscando elementos que auxiliem na melhor compreensão da evolução e dinâmica do relevo (AUGUSTIN *et al*, 2011). O mapa geomorfológico é uma importante ferramenta na pesquisa do relevo, contribuindo de modo fundamental em estudos de diagnósticos e prognósticos tanto para áreas urbanas como rurais (NUNES *et al.*, 2006), além de apresentar grande potencial para a utilização no planejamento ambiental (ROSS, 1990).

No estado do Paraná um marco dos estudos geomorfológicos é o Mapeamento Geomorfológico do Paraná na escala 1:250.000 (SANTOS *et al.*, 2006), que se fundamenta no conceito de morfoestrutura e morfoescultura, onde o relevo é subdividido em seis classes taxonômicas definidos por Ross (1992, 1997). Devido à escala adotada, o estudo abrangeu apenas os três primeiros táxons, apresentando grande generalização de dados.

Com base nas geotecnologias, inseridas no contexto da análise digital do relevo em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) (SILVEIRA; SILVEIRA, 2015), que estão em constante avanços tecnológicos, é possível utilizar a geomorfometria para a obtenção de um mapeamento geomorfológico de escala maior, que auxilie na representação das formas do relevo e na interpretação dos processos que envolvem tais formas. Dessa forma, a análise digital do relevo permite uma compartimentação geomorfométrica que pode servir como base para a identificação de unidades morfológicas.

Geomorfometria é a prática de quantificação da superfície terrestre (PIKE, 2000; PIKE *et al* 2009) e trata-se de um campo interdisciplinar que envolve a combinação da matemática, das ciências da Terra e também da ciência da computação (PIKE *et al.*, 2009). Esta representação numérica do relevo tornou-se parte integrante da geografia e da geomorfologia (PIKE, 2000), centrando-se na extração de medidas descritivas (parâmetros) e de feições da superfície terrestre (objetos) (WILSON, 2012).

A geomorfometria foi revolucionada pela manipulação dos Modelos Digitais (PIKE, 2002), sendo que as aplicações que exploram a geomorfologia quantitativa geralmente dependem desses modelos para representar a superfície. cada vez maior e mais sofisticada gama de técnicas de análise topográfica e de visualização (WILSON, *op cit.*), proporcionando a descrição sobre a superfície e a visualização tridimensional de dados geográficos.

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs), Modelos Digitais do Terreno (MDTs) e os Modelos Digitais Numéricos (MDNs) são modelos de representação da superfície terrestre que permitem extrair variáveis que representam a morfologia do relevo. Neste trabalho utilizou-se a conceituação de El-Sheimy *et al.* (2005), onde Modelos Digitais do Terreno (MDTs) são os valores altimétricos do terreno desconsiderando quaisquer objetos na superfície (como árvores ou construções) e Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são os valores altimétricos contemplando os objetos existentes na superfície (SILVEIRA, 2015; SILVEIRA e SILVEIRA, 2016a). Sendo assim, o termo Modelo Digital do Terreno foi o adotado no presente estudo.

A modelagem digital do relevo tem como grande desafio suprir a falta de precisão e objetividade dos mapeamentos geomorfológicos tradicionais (MINAR; EVANS, 2008), proporcionando uma variedade de medidas, mensurações e objetos que podem ser derivados pela análise automatizada dos dados de elevação (HENGL; MACMILLAN, 2009). Segundo Grohmann *et al.* (2008), a utilização de Modelos Digitais em geomorfologia permite o cálculo de variáveis associadas ao relevo com rapidez e precisão.

A descrição do relevo a partir do MDT é feito mediante um conjunto de medidas que definem características geomorfométricas do terreno a diferentes escalas, processo conhecido como “parametrização do relevo” (CARVALHO; BAYER, 2008). Para que essas descrições sejam satisfatórias, o tamanho da resolução horizontal (*pixel*) do MDT contém grande importância. Smith *et al.* (2006) avaliaram o impacto da resolução dos MDTs e chegaram à conclusão de que nem sempre os modelos digitais com melhor resolução são os que produzem a melhor acurácia. Como isso, o cálculo do tamanho do *pixel* é fundamental para que a resolução ofereça resultados que cumpram com a finalidade de representação das formas de relevo na escala adotada.

Derivados dos modelos digitais, os atributos topográficos (SCHMIDT; DIKAU, 1999) ou variáveis geomorfométricas (SHARY *et al.*, 2002) são comumente utilizados como variáveis auxiliares na predição espacial dos padrões solo-paisagem e contribuem para o aperfeiçoamento do mapeamento (PINHEIRO, 2012), descrevendo de modo quantitativo as formas do relevo (SILVEIRA *et al.*, 2013).

Assim, o uso de MDTs e seus derivados, os atributos topográficos, atualmente são as principais variáveis para a compartimentação de relevo e identificação de unidades morfológicas, podendo contribuir significativamente e dar suporte em trabalhos de cartografia geomorfológica (SILVEIRA; SILVEIRA, 2016b).

O presente estudo tem por objetivo identificar, distinguir e caracterizar tipos de formas de relevo condizentes ao 4º nível taxonômico proposto por Ross (1992) a partir de atributos topográficos derivados de MDT e de aplicações de técnicas geomorfométricas, que sejam representativas na escala 1:100.000, buscando um maior detalhamento da representação dos fatos geomorfológicos da área de estudo com intuito de que essa técnica geomorfométrica seja utilizada como suporte e ferramenta para estudos geomorfológicos posteriores. A carta Campo Largo apresenta uma transição entre as unidades morfoestruturais Primeiro Planalto Paranaense e Segundo Planalto Paranaense, onde a gênese são distintas, apresentando feições morfológicas de destaque na paisagem, como a escarpa de São Luiz do Purunã.

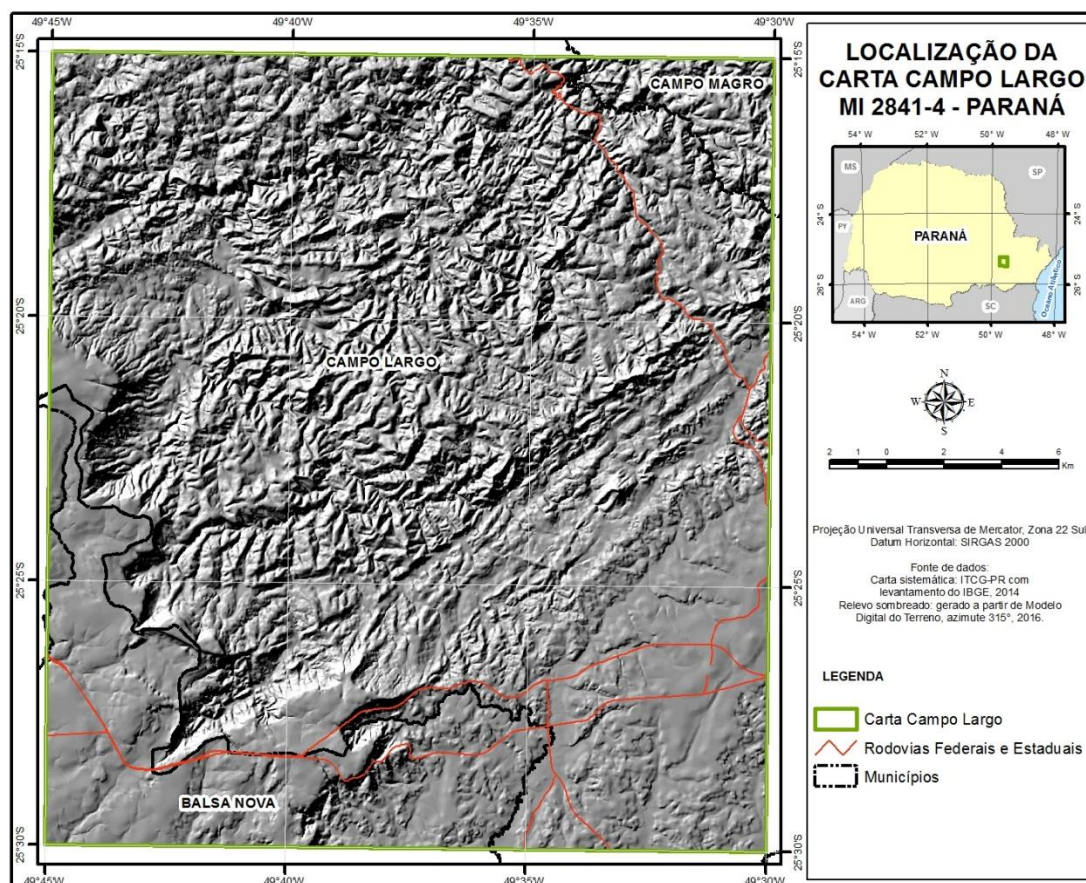
### **Caracterização da área de estudo**

O objeto deste estudo é a carta topográfica de escala 1:50.000 MI 2841-4 Carta Campo Largo (Figura 01), adquirida do acervo do Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG-PR) com levantamentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sua área é de 696,5 km², localizando-se na porção leste do estado do Paraná. Nela estão incluídos os municípios de Campo Largo – majoritariamente em área, Campo Magro, Balsa Nova e Palmeira. Destaca-se no relevo da



região a escarpa de São Luiz do Purunã, local de transição do Primeiro Planalto Paranaense para o Segundo Planalto Paranaense.

Figura 01: Localização da área de estudo



Fonte: Os autores, 2017.

A geologia da área é diversificada, abrangendo rochas do Grupo Açungui, Formação Votuverava e Formação Capiu, ambos do Proterozóico Superior, do Grupo Itararé do Carbonífero, Grupo Paraná, Formação Furnas do Devoniano e do Grupo Setuva, Formação Água Clara e Formação Perau do Proterozóico Médio.

Conforme o mapeamento geomorfológico do estado do Paraná (SANTOS, *et al.*, 2006) que seguiu a taxonomia proposta por Ross (1992), no 1º Táxon (Unidades Morfoestruturais), a área está inserida no Cinturão Orogênico do Atlântico e na Bacia Sedimentar do Paraná (SANTOS *et al.*, 2006). No 2º táxon (Unidades Morfoesculturais) estão presentes o Primeiro Planalto Paranaense e o Segundo Planalto Paranaense.

O Cinturão Orogênico do Atlântico tem natureza poliorogênica e a sua gênese vincula-se a vários ciclos geotectônicos acompanhados de sedimentação, metamorfismo regional, falhamentos,

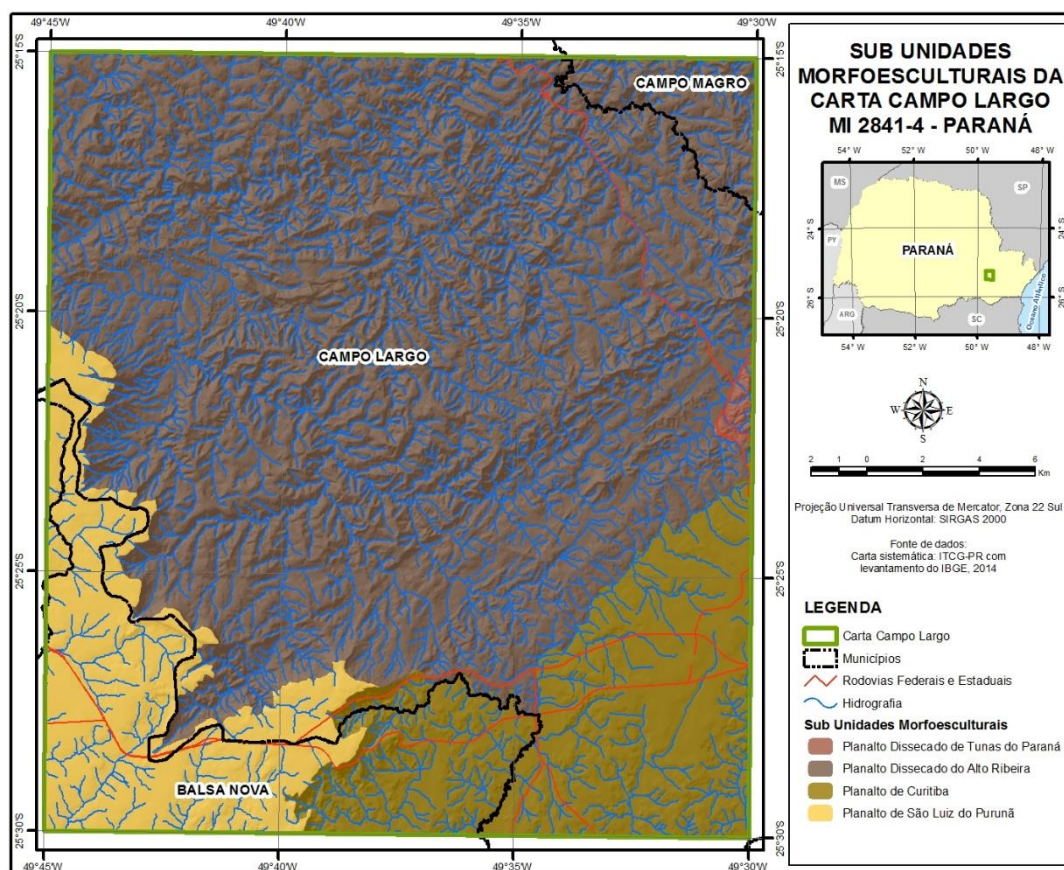
dobramentos e extensas intrusões magmáticas (SANTOS *et al.*, 2006). A Bacia Sedimentar do Paraná está inserida na Plataforma Sul-Americana e, segundo Santos *et al.* (2006), é constituída principalmente de rochas cristalinas Pré-Cambrianas.

De acordo com Mineropar; UFPR (2006), o Primeiro Planalto Paranaense é relativamente uniforme, esculpida em rochas cristalinas, tais como xistos metamórficos e gnaisses, cortados por diques de pegmatitos e intrusões graníticas, com elevação variável de 850 a 950 metros acima do nível do mar. Já o Segundo Planalto Paranaense encontra-se na faixa de rochas Paleozóicas e apresenta-se como um planalto modelado em estruturas monoclinais, sub-horizontais. Tem seus limites entre a escarpa Devoniana a leste e a oeste com a escarpa arenito-basáltica ou Triássico-Jurássica (SANTOS *et al.*, 2006).

No 3º Táxon (Unidades Morfológicas ou dos Padrões de Formas Semelhantes) (Figura 02), a área pertence às seguintes Subunidades Morfoesculturais (MINEROPAR; UFPR, 2006):

- Planalto de Curitiba: apresentando topos alongados e aplainados, vertentes convexas e vales em “V”. A direção geral de morfologia é N-S, modelada em rochas do Complexo Gnáissico Migmatítico;
- Planalto Dissecado de Tunas do Paraná: possui topos alongados e em cristas, vertentes retilíneas e vales em “V” encaixado. A direção geral da morfologia varia entre NW-SE e NE-SW, modelada em rochas da Formação Capiuru;
- Planalto Dissecado do Alto Ribeira: os topos e as vertentes possuem formas predominantes semelhantes ao Planalto Dissecado de Tunas do Paraná e;
- Planalto de São Luís do Purunã: as formas predominantes são topos aplainados, vertentes convexas e vales em calha muito encaixados, modeladas em rochas da Formação Furnas.

Figura 02: Subunidades morfoesculturais na área de estudo

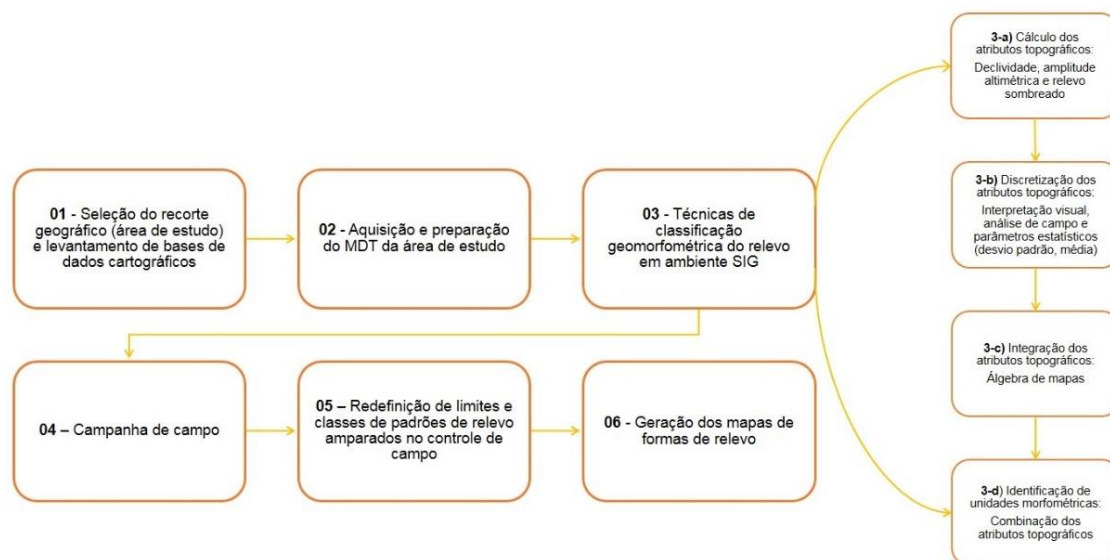


Fonte: Os autores, 2017.

## Materiais e métodos

Todos os cálculos e operações foram realizadas em ambiente SIG, utilizando o software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2012) assim como suas ferramentas e extensões. Para a classificação de tipos de formas do relevo foram definidas as seguintes etapas apresentadas na figura 03.

**Figura 03:** Fluxograma metodológico: etapas para a classificação de tipos de formas do relevo



Fonte: Os autores, 2017.

### Aquisição do Modelo Digital do Terreno

O MDT foi gerado pelo algoritmo ANUDEM do software ArcGIS 10.1, baseado na proposta de Hutchinson (1988) a partir de dados planialtimétricos vetoriais, como pontos cotados, curvas de nível e hidrografia, extraídos da carta topográfica 2841-4, de escala 1:50.000. Para o cálculo e definição da resolução horizontal (*pixel*) do MDT utilizou-se o modelo proposto por Hengl (2006). Neste modelo, é possível definir a resolução espacial a partir de duas abordagens. A primeira é a abordagem cartográfica, que leva em consideração a escala original da carta topográfica para gerar *pixels* máximos, mínimos e recomendados (equação 1) a partir dos cálculos:

-Tamanho do *pixel* recomendável:

$$= EN \times 0,0005$$

(Equação 1)

Onde:

EN = Escala numérica.

A segunda abordagem aplicada é a que contempla as características topográficas locais, com base na complexidade do relevo. Neste método, o *pixel* é estimado através de um cálculo matemático que relaciona as curvas de nível e a área. A equação 2 é a equação que serve para identificar o tamanho máximo do *pixel*, que considera a média de distribuição do relevo de toda a área de estudo:



$$p = A/(2 \times \sum l)$$

(Equação 2)

Onde:

A = Área total;

$\sum l$  = Somatório do comprimento de todas as curvas de nível

O emprego da equação acima para os 5% de área com maior densidade de curvas de nível irá definir o tamanho do *pixel* recomendável considerando a amostragem da área com maior declividade, ou seja, o tamanho mínimo. Aplicar nestes 5% é importante para levar em consideração a rugosidade do terreno. Assim, foram encontrados os valores de 25 metros de acordo com a abordagem cartográfica, de 108 metros em toda a área de estudo a partir da segunda abordagem e de 5 metros e 7 metros em diferentes lugares como valores recomendados, a partir da aplicação da segunda abordagem em 5% da área. Pela análise desses valores, foi definido a resolução espacial para 10 metros.

### Classificação geomorfométrica do relevo

Com base na análise de valores de intervalos propostos neste estudo, foi aplicada a técnica de álgebra de mapas por combinação de atributos topográficos para identificação e classificação de tipos de formas do relevo. Desse modo, esta etapa está dividida em 4 sub-etapas: a) cálculo dos atributos topográficos; b) discretização dos atributos topográficos; c) integração dos atributos topográficos e; d) identificação de unidades morfométricas.

Os atributos topográficos calculados foram declividade, amplitude altimétrica e relevo sombreado, pois estes representam características morfométricas básicas.

Com o cálculo do comprimento médio das vertentes da área de estudo, que foram mensurados dos divisores de água até os fundos de vale através de medidas retiradas por meio digital a partir das curvas de níveis da carta topográfica e que resultou em aproximadamente 400 metros de comprimento, foi definido um raio circular de 40 *pixels* (400m). Este raio circular foi utilizado no cálculo da amplitude altimétrica, considerando-se as duas faces da vertente.

A declividade foi calculada por janelas móveis de 3x3 *pixels* e posteriormente submetida a um cálculo de análise de vizinha a partir da média do entorno com raio circular de 40 *pixels*, resultando na variável denominada neste trabalho de declividade média. A lógica aplicada para a determinação do valor do raio foi a mesma adotada à amplitude altimétrica.

Os dois atributos topográficos foram discretizados e depois reclassificados, conforme a Figura 04. A amplitude altimétrica resultou em 4 classes sendo que seus parâmetros de discretização foram

definidos a partir de interpretação visual da variável geomorfológica relevo sombreado e de descrições e caracterizações realizadas em campo:

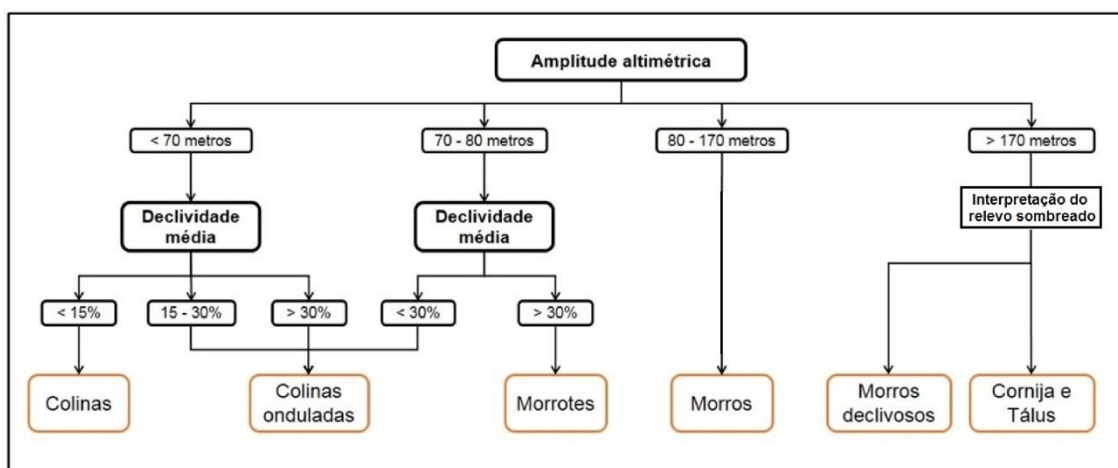
- Classe 1: abaixo do valor do desvio padrão (70)
- Classe 2: do desvio padrão até o valor 80
- Classe 3: valor 80 até o valor da média (170)
- Classe 4: acima do valor da média

A declividade média foi discretizada em três classes distintas:

- Classe 1: abaixo do valor do desvio padrão (15)
- Classe 2: entre o valor do desvio padrão e valor da média (30)
- Classe 3: acima do valor da média

Assim, a integração das variáveis geomorfológicas declividade média (3 classes) e amplitude altimétrica (4 classes), se deu através de combinação por técnica de álgebra de mapas, resultando em 12 combinações distintas (4x3). Estas foram reagrupadas em novas classes (figura 4), que resultou na identificação de cinco unidades morfométricas. Por fim, com a junção dos dados coletados em campo e das análises em escritório, foram definidos os tipos de forma de relevo.

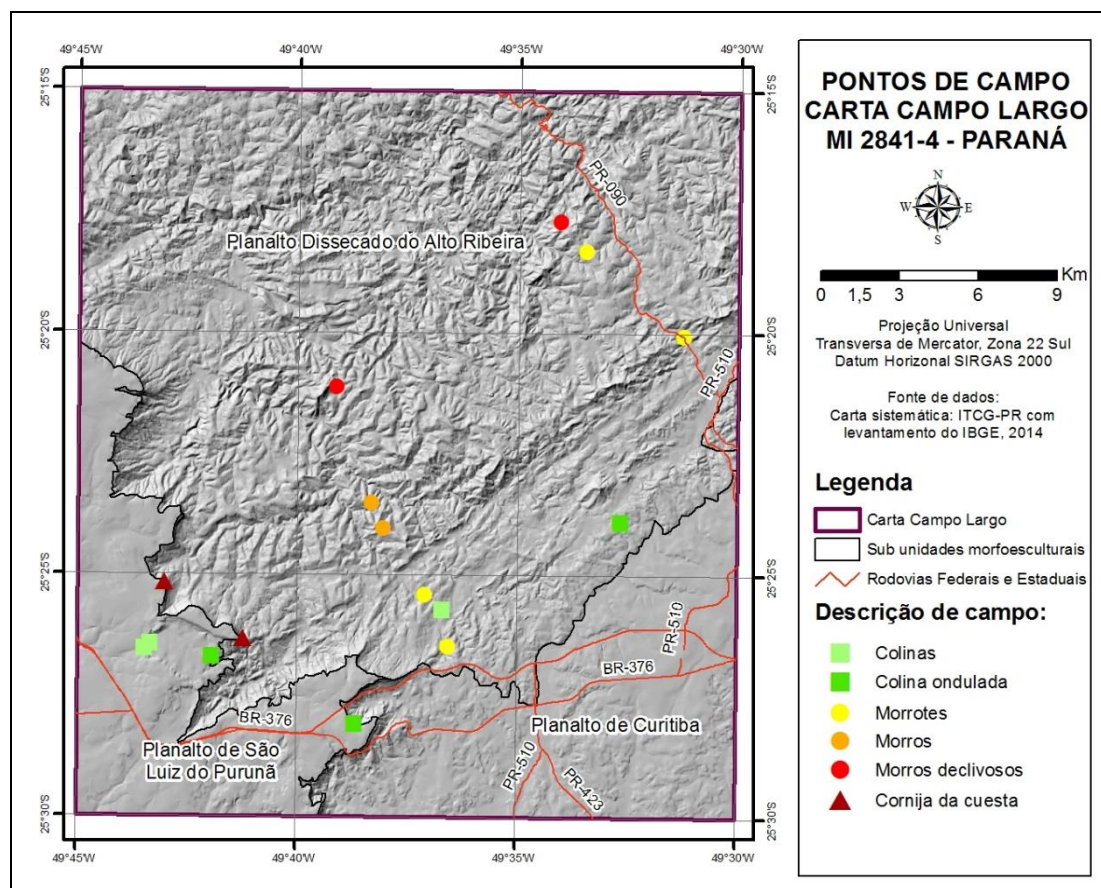
**Figura 04:** Combinação de informações dos atributos topográficos



**Fonte:** Os autores, 2017.

Na campanha de campo foram analisados 16 pontos amostrais (figura 05) e suas respectivas descrições de paisagem e relevo. Com estes dados, foram definidos os parâmetros condizentes com a realidade de campo e os dados cartográficos obtidos por meio digital.

Figura 05: Pontos obtidos na campanha de campo na área de estudo



Fonte: Os autores, 2017.

## Resultados e discussões

A combinação das classes dos atributos topográficos por meio de álgebra de mapas resultou em 5 unidades morfométricas distintas. A classe 1 representa as áreas com amplitude altimétrica menor que 70 metros e declividade média menor que 15%, sendo interpretada como um padrão de forma de relevo com pouca declividade e mais suave. A classe 2 representa as áreas com amplitude altimétrica entre 70 a 80 metros e declividade média de 15% a menor que 30%, sendo assim, interpretada como um padrão com declividade mediana, caracterizando um relevo ondulado, porém com pouca variação altimétrica. A classe 3 difere da classe 2 por possuir declividade acima de 30%, assim, a variação de declividade é bem mais acentuada nesta classe.

A classe 4 tem amplitude altimétrica de 80 metros a 170 metros, com isso, independente da declividade que ela apresente, esta classe é caracterizada como um relevo de grande variação. E por

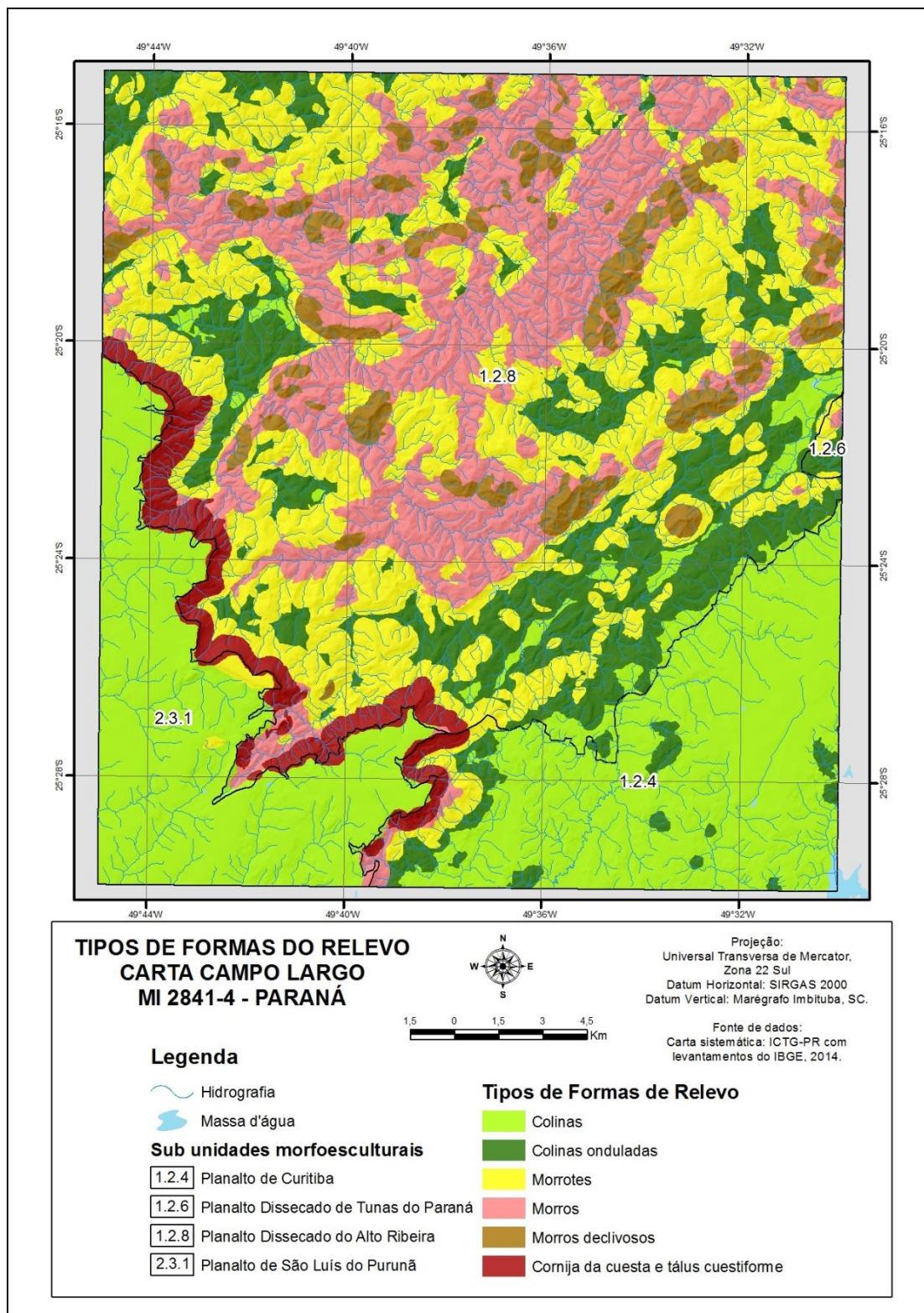
fim, a classe 5 representa todos os dados quantitativos resultantes de álgebra de mapas que quando combinados pela árvore de decisões possuem amplitude alimétrica superior a 170 metros.

A análise das classes obtidas, resultou em seis tipos distintos de tipos de formas ao todo (figura 06): 1 - colinas, 2 - colinas onduladas, 3 - morrotes, 4 - morros, 5 - morros declivosos e 6 - cornija de cuesta e tálus cuestiforme. A definição da 6ª forma de relevo se deu através de interpretação visual do atributo relevo sombreado e das observações realizadas durante a campanha de campo. Seus parâmetros resultam em características quantitativas semelhantes à classe de morros declivosos, porém suas características na paisagem observadas em campo e na textura (relevo sombreado) apresentam formas de relevo claramente distintas e identificáveis na escala final de 1:100.000.

Conforme a tabela 01, nota-se que a forma de relevo predominante na área de estudo são os Morrotes perfazendo 27,91% da área, seguido das Colinas com 24,75%. Os Morros declivosos são menos representativos, possuindo 5,44% da área, porém a forma de relevo com menor ocorrência é a Cornija de cuesta e tálus cuestiforme, encontradas apenas no entorno da escarpa.



**Figura 06:** Tipos de formas do relevo da Carta Campo Largo



Fonte: Os autores, 2017



**Tabela 01:** Total da área de cada tipo de forma de relevo

Formas de relevo	Área	
	%	km <sup>2</sup>
<b>Colinas</b>	24,75	172,41
<b>Colinas onduladas</b>	17,64	122,88
<b>Morrotes</b>	27,91	194,38
<b>Morros</b>	20,39	142,02
<b>Morros declivosos</b>	5,44	37,87
<b>Cornija e tálus cuestiforme</b>	3,87	26,96

**Fonte:** Os autores, 2017.

Através destas formas de relevo, chegou-se ao 4º nível taxonômico denominado Tipos de Formas do Relevo (Quadro 01) da carta Campo Largo, facilitando a interpretação das formas características de cada Subunidade Morfoescultural (referente ao 3º nível taxonômico) presente na carta.

Percebe-se que em relação às formas de relevo, o Planalto de Curitiba e o Planalto de São Luís do Purunã são semelhantes, pois apresentam majoritariamente o padrão de relevo de colinas. O Planalto Dissecado de Tunas do Paraná apresenta o relevo mais representativo, pois é o que possui a maior área incluída no limite da carta Campo Largo e a Subunidade Morfoescultural que apresenta todos os seis tipos de formas do relevo. Nesta subunidade, as áreas de Morrotes e Morros são bem destacadas, refletindo em um relevo característico ondulado e dissecado.

**Quadro 01:** 1º, 2º, 3º e 4º Táxons presentes na área de estudo

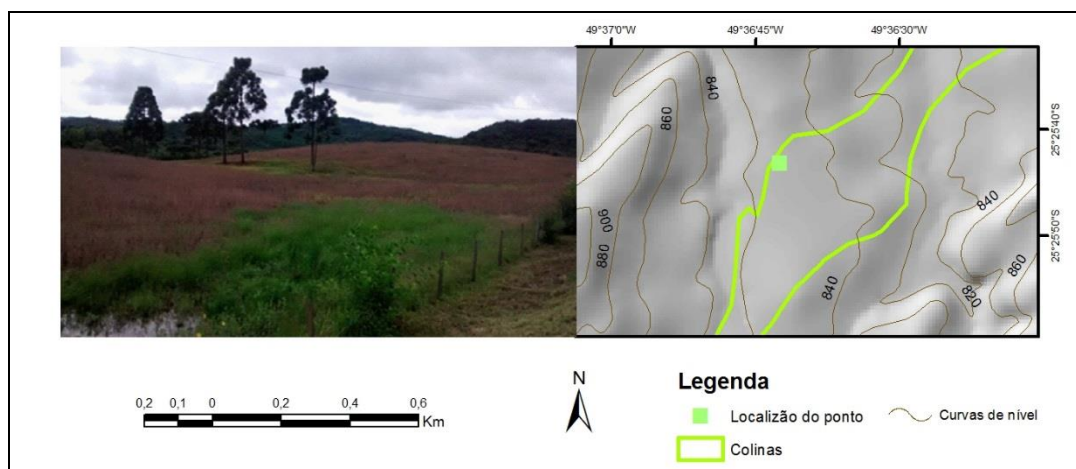
1º TÁXON: UNIDADE MORFOESTRUTURAL	2º TÁXON: UNIDADE MORFOESCULTURAL	3º TÁXON: SUBUNIDADES MORFOESCULTURAIS	4º TÁXON: FORMAS DO RELEVO
Cinturão Orogênico do Atlântico	Primeiro Planalto Paranaense	1.2.4 Planalto de Curitiba	Colinas Colinas onduladas Morrotes Morros Cornija da cuesta e talos cuestiforme
		1.2.6 Planalto Dissecado de Tunas do Paraná	Colinas onduladas Morrotes Morros
		1.2.8 Planalto Dissecado do Alto Ribeira	Colinas Colinas onduladas Morrotes Morros Morros declivosos Cornija da cuesta e talos cuestiforme
Bacia Sedimentar do Paraná	Segundo Planalto Paranaense	2.3.1 Planalto de São Luís do Purunã	Colinas Colinas onduladas Morrotes Cornija da cuesta e tálus cuestiforme

Fonte: Os autores, 2017.

Os tipos de formas de relevo identificados e classificados são descritos a seguir:

1. Colinas (Figura 07): caracterizadas por possuírem vertentes alongadas, com pouca variação na declividade. Trata-se de vales muito abertos, relevo arredondado e com ondulação suave. A área que ocupa é igual a 172,41km². Na carta Campo Largo, esta forma de relevo está inserida como a que predomina nas Subunidades Planalto de Curitiba e o Planalto de São Luís do Purunã, onde ultrapassa 1.210 metros de altitude, sendo assim, encontram-se colinas tanto em regiões mais elevadas altimetricamente, quanto em regiões mais baixas. A declividade média é de 6,87%.

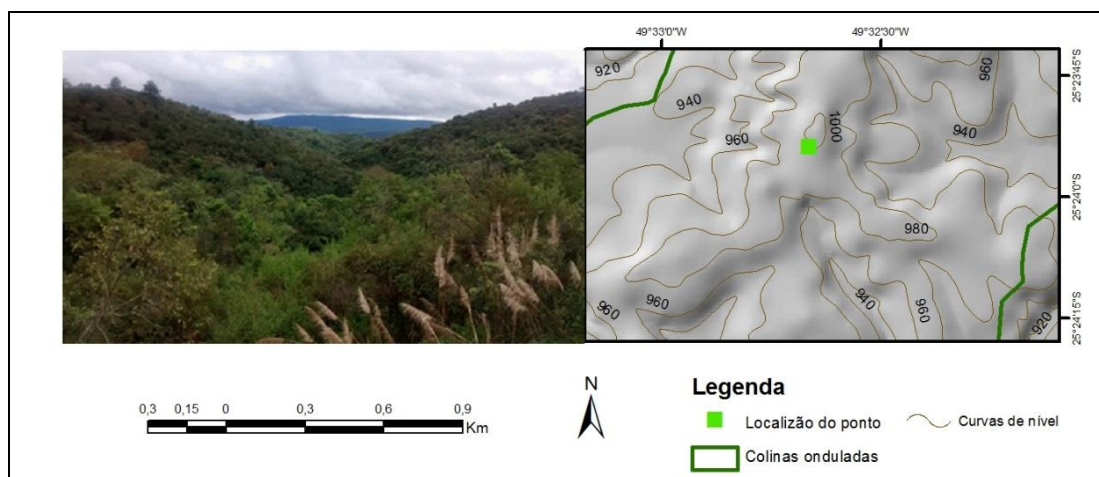
**Figura 07:** Forma de relevo Colinas. Sentido da fotografia: Leste



Fonte: Os autores, 2017.

2. Colinas onduladas (Figura 08): caracterizam-se por possuir maior dissecação que as Colinas, com vales mais encaixados e uma ondulação mais marcante, com um padrão arredondado e uma maior variação da declividade. A declividade média encontrada neste tipo de forma é de 16,9%. Possui 122,88 km<sup>2</sup> de área. Encontra-se principalmente em regiões de transição entre Colinas e Morrotes. O valor mais elevado de altitude é de 1.224 metros, dado ao fato de também estar presente no Planalto de São Luís do Purunã, na região de planalto no reverso da escarpa.

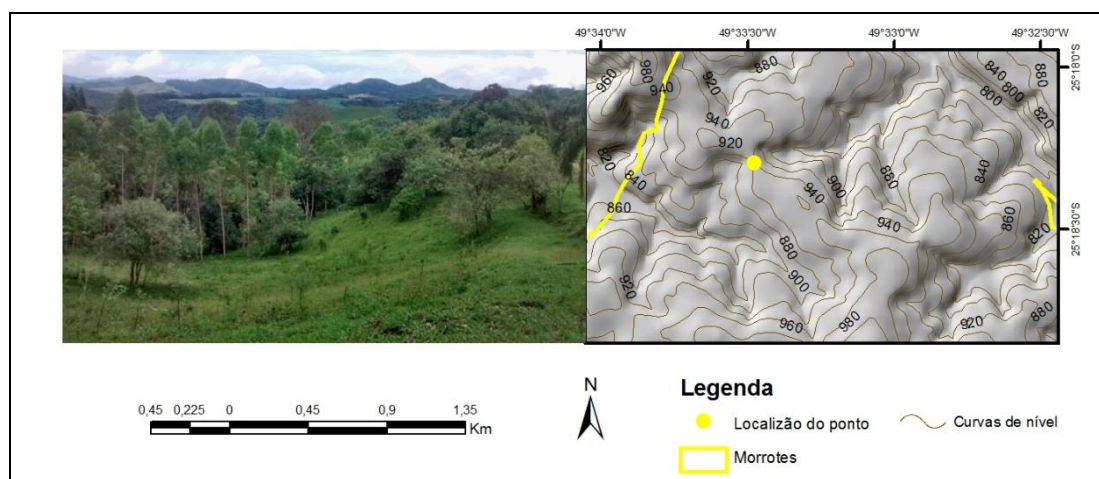
**Figura 08:** Forma de relevo Colinas Onduladas. Sentido da fotografia: Sul



Fonte: Os autores, 2017.

3. Morrotes (Figura 09): possuem um nível de dissecação e entalhamento das vertentes mais acentuado do que as Colinas onduladas, porém ainda em caráter médio. Trata-se de uma forma de transição, com vertentes longas e topos mais declivosos com forma arredondada, semelhante a pequenos morros. A área que essa unidade ocupa é de 194,38 km<sup>2</sup>, sendo, portanto, a forma de relevo mais representativa da área de estudo. Chega a ter 1.202 metros de altitude e possui declividade média de 26,13%.

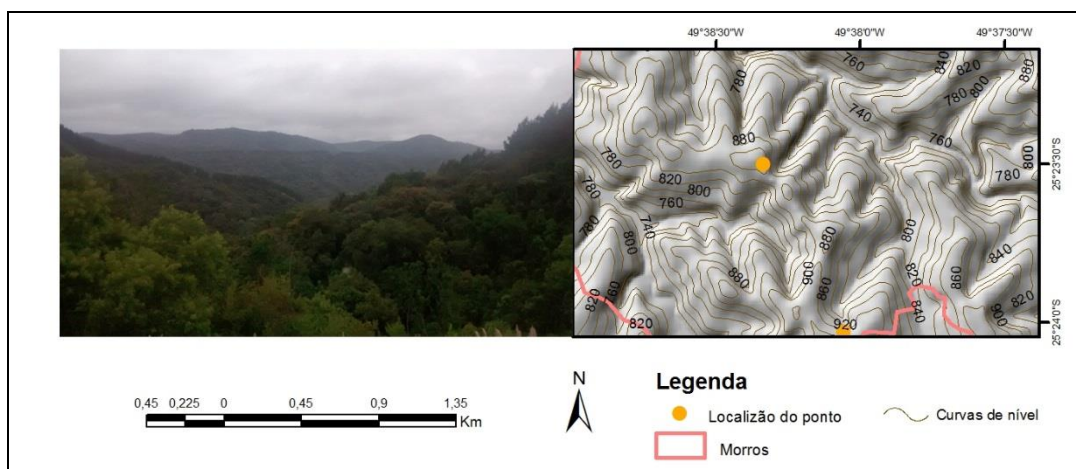
**Figura 09:** Forma de relevo Morrotes. Sentido da fotografia: Leste



**Fonte:** Os autores, 2017.

4. Morros (Figura 10): são caracterizados por possuírem vales acentuados e um relevo dissecado bem evoluído. As vertentes são mais curtas e não apresenta áreas semelhantes às Colinas onduladas, diferente dos Morrotes. A declividade média encontrada é de 37,37% e possui 142,02 km<sup>2</sup> de área total. Pelo seu formato característico, que lembra uma meia laranja, com topos arredondados, esses morros ficaram conhecidos como morros mamelonares pertencentes ao “Mares de Morros”, abordados por Ab’Sáber (2003). A maior altitude encontrada neste tipo de forma do relevo é de 1.219 metros.

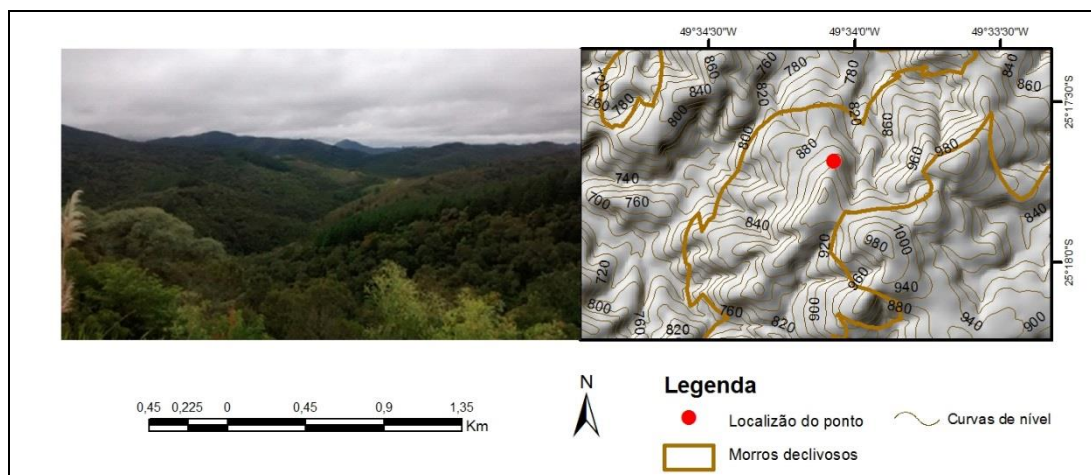
**Figura 10:** Forma de relevo Morros. Sentido da fotografia: Nordeste



Fonte: Os autores, 2017.

5. Morros declivosos (Figura 11): as formas em geral são semelhantes ao padrão de Morros, entretanto as declividades são bem mais acentuadas, com vales entalhados e um padrão de relevo com alto grau de dissecação. A área que ocupam é igual a 37,87 km<sup>2</sup>. Essa forma de relevo é pouco abundante na carta Campo Largo, com baixo grau de representatividade. Chega até 1.204,9 metros de altitude e a declividade média é de 42,82%.

**Figura 11:** Forma de relevo Morros declivosos. Sentido da fotografia: Sudeste

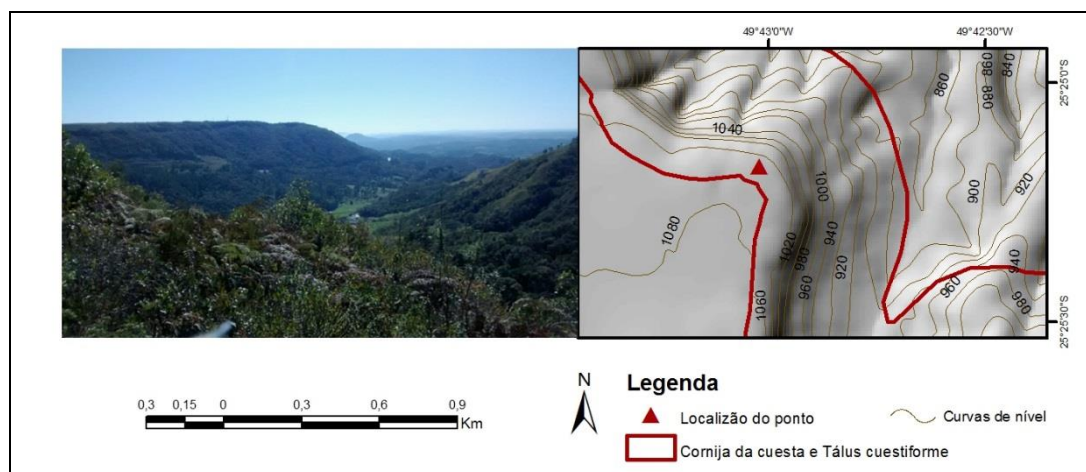


Fonte: Os autores, 2017.



6. Cornija da cuesta e tálus cuestiforme (Figura 12): Apesar de apresentar somente 3,87% da área total, com 26,96 km<sup>2</sup>, esta forma de relevo foi separada dos Morros declivosos, que possuem dados quantitativos semelhantes, destacando-se na paisagem como componente da escarpa. Chega até 1.215,8 metros de altitude e a declividade média é de 40,28%.

**Figura 12:** Forma de relevo Cornija da cuesta e tálus cuestiforme. Sentido da fotografia: Norte



**Fonte:** Os autores, 2017.

Após as campanhas de campo e a coleta de informações qualitativas da área de estudo, os resultados iniciais possibilitaram discernir as formas de relevo presentes, contudo, alguns ajustes foram indispensáveis, devido ao fato de que os limites de algumas unidades classificadas preliminarmente se mostraram discordantes com os dados de campo, conforme os dois exemplos apresentados da figura 13. Um dos ajustes aplicados ocorreu onde a técnica de classificação resultou em uma faixa contínua das formas de relevo “colinas onduladas” e “morrotes” na porção proximal da cuesta. Este ajuste se deu pois havia uma distinção entre as formas de relevo resultante e o contexto em que estão inseridos, no caso do reverso da cuesta, indicando a necessidade de converter para a forma de relevo “colinas”. Vale ressaltar que estes ajustes não desconsideram o método, pois este foi satisfatório e cumpriu o objetivo proposto. Os dados foram utilizados na redefinição dos parâmetros de discretização dos atributos topográficos. Foram realizados em laboratório dois ajustes distintos: redefinição dos parâmetros de discretização dos atributos topográficos de acordo com a textura e eventuais adequações manuais.

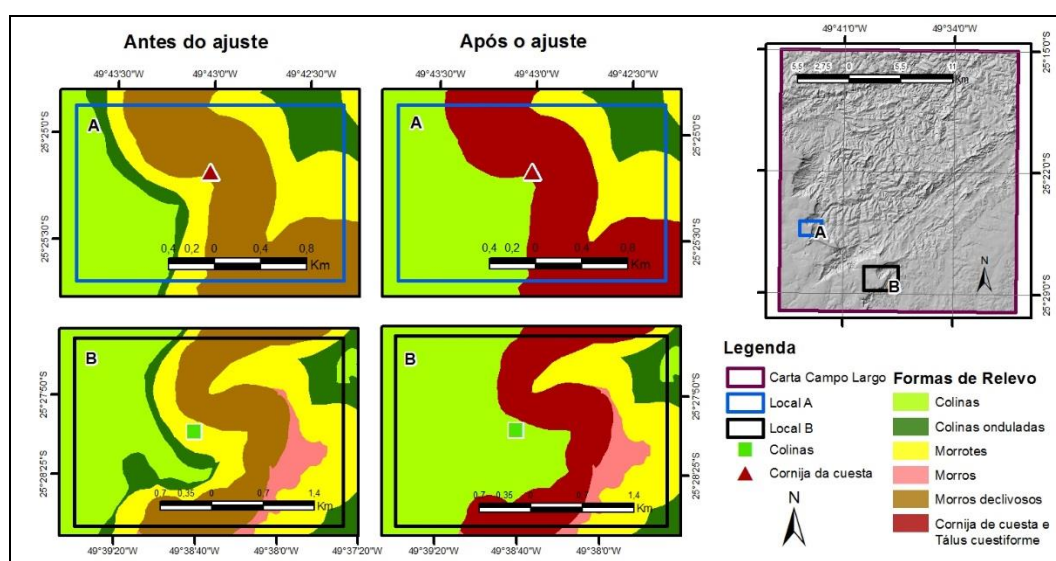
Os ajustes manuais foram realizados em locais onde foram identificadas diferentes unidades de formas de relevo que possuem dados quantitativos semelhantes, como altitude e declividade.

Nestes casos, utilizou-se o atributo topográfico relevo sombreado para redefinição do limite amparados na textura.

O cálculo do raio que limita as variáveis morfométricas, quando baseado na média dos comprimentos das vertentes resulta na imprecisão dos limites de unidades que possuam vertentes ou muito longas ou muito curtas. Por esta razão, as discordâncias nos limites foram reajustadas.

A classe que sofreu maior alteração foi a classe 5, segregada em 2 tipos de formas de relevo, os morros declivosos e cornija da cuesta e tálus cuestiforme. Ainda que possuam dados quantitativos semelhantes que resultem na mesma classe quando submetida à combinação por álgebra de mapas proposta, as características das formas na paisagem e como se apresentam no relevo são distintas.

**Figura 13:** Ajustes na classificação de formas de relevo



Fonte: Os autores, 2017.

### Considerações finais

Na Carta Campo Largo, área destinada a este estudo, foram identificadas seis formas do relevo que compõem o 4º Táxon caracterizado como Tipos de Formas do Relevo: Colinas, Colinas onduladas, Morrotes, Morros, Morros declivosos e Cornija da cuesta e tálus cuestiforme.

Somente na borda da escarpa, a classificação e o emprego exclusivo de técnicas geomorfométricas foi insuficiente na representação adequada dos tipos de formas de relevo, indicado a necessidade do controle de campo e de readequação de limites pré-estabelecidos com a combinação de atributos topográficos. Contudo, não foi um erro do método, pois ele representou as unidades morfométricas que obtêm as mesmas características quantitativas de modo eficiente, sendo que todas

as demais formas de relevo classificadas chegaram a resultados satisfatórios, enaltecendo a aplicabilidade do método.

A definição da escala foi fundamental para o estabelecimento de critérios e parâmetros capazes de discretizar as variáveis geomorfológicas, refleti-las nos produtos cartográficos finais e validá-los em campo. Por fim, espera-se que este trabalho sirva como suporte para eventuais estudos posteriores na área de estudo.

## Referências

- AB'SÁBER, A. N. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: ateliê Editorial, 2003.
- AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M.; ROCHA, L. C. *Mapeamento geomorfológico da Serra do Espinhaço Meridional: primeira aproximação*. Geonomos, 2011, v.19, nº.2, pp.50-69.
- CARVALHO, T. M. BAYER, M. *Utilização dos produtos da "shuttle radar topography mission" (SRTM) no mapeamento geomorfológico do estado de Goiás*. Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 9, nº1, 2008.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL; IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - 1:25.000*. Ed. 1 (Nota técnica explicativa). Serviço Geológico do Brasil; Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 2014.
- EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. *Digital Terrain Modelling Acquisition, Manipulation and Applications*. Artech House, Inc., Norwood-Massachusetts. 2005.
- ESRI. *ArcGis, Spatial Analyst, 3D Analyst. Versão 10.1*. Environmental Systems Research Institute, 2012.
- GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, A. *Aplicações dos Modelos de Elevação SRTM em Geomorfologia*. Revista Geografia Acadêmica, São Paulo, 2008, v.2, nº2, pp.73-83.
- GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R. *Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Arroio Caverá – RS*. Geo UERJ, Rio de Janeiro, ano 16, 2014, v.1, nº25, pp.183-199.
- HENGL, T. *Finding the right pixel size*. Computers & Geosciences 32, 2006, pp.1283–1298.
- HENGL, T.; MACMILLAN, R. A. *Geomorphometry – A key to landscape mapping and modelling*. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) *Geomorphometry – Concepts, Software, Applications, Series Developments in Soil Science*, Amsterdam: Elsevier, vol. 33, 2009, pp.433-460.
- HUTCHINSON, M. F. *Calculation of hydrologically sound digital elevation models*. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling, Sydney, Australia, 1988.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico em geomorfologia*. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.
- INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG-PR). *Mapeamento sistemático 1:50000, Carta Campo Largo MI 2841-4*. 2014. Disponível em: (<http://www.itcg.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=104>). Data de acesso: 07 de Outubro de 2015.
- 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, 2004, pp.75–97.
- <sup>1</sup>MINAR, J.; EVANS, I. S. *Elementary forms for land surface segmentation: the theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping*. Geomorphology 95, 236–259, 2008.

- MINEROPAR; UFPR - UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. *Atlas geomorfológico do Estado do Paraná: Escala base 1:250.000 modelos reduzidos*. Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.
- NUNES, J.O.R; FREIRE, R.; PEREZ, I. U. *Mapeamento geomorfológico do perímetro urbano do município de Presidente Prudente-SP*. VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Goiânia, 2006.
- PIKE, R. J. *A Bibliography of Terrain Modeling (geomorphometry), the quantitative Representation of Topography – Supplement 4.0*. USGS, 2002.
- PIKE, R. J. *Geomorphometry - diversity in quantitative surface analysis*. Progress in Physical Geography, 2000, v.24, nº1, pp.1–20.
- 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, 2009, pp.3-30.
- PINHEIRO, H. S. K.; CHAGAS, C. S.; JÚNIOR, W. C.; ANJOS, L. H. C. *Modelos de elevação para obtenção de atributos topográficos utilizados em mapeamento digital de solos*. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.47, n.9, 2012, pp.1384-1394.
- ROSS, J. L. S. *Geomorfologia, Ambiente e Planejamento*. São Paulo, Ed. Contexto, 1990.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. Revista do Departamento de Geografia – FFCH/USP, São Paulo, v. 10, 1997, pp.20-32.
- ROSS, J. L. S. *Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo*. Rev. Geografia. São Paulo, IG-USP, 1992.
- SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. *Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná*. Revista Brasileira de Geomorfologia – ano 7, nº2, 2006, pp.03-12.
- SCHMIDT, J.; DIKAU, R. *Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models – semantics, methods, future needs*. In: DIKAU, R; SAURER, H. (Eds.), *GIS for Earth Surface System – Analysis and Modelling of the Natural Environment*. Schweizbaet'sche Verlagsbuchhandlung, 1999, pp.153-173.
- SHARY, P. A.; SHARAYA, L. S.; MITUSOV, A. V. *Fundamental quantitative methods of land surface analysis*. Geoderma. 107, 2002, pp.1-32.
- SMITH, M. P.; ZHU, A.; BURT, J. E.; STILES, C. *The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil survey*. Geoderma v. 137, 2006 p. 58–69.
- SILVEIRA, C. T.; FIORI, A. P.; FERREIRA, A. M; GÓIS, J. R.; MIO, G. de; SILVEIRA, R. M. P; MASSULINI, N. E. B.; LEONARDI, T. M. H. *Emprego de atributos topográficos no mapeamento da susceptibilidade a processos geoambientais na bacia do Rio Jacareí, Paraná*. Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 25, nº3, 2013, pp.623-639.
- SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. *Classificação hierárquica automatizada de formas de relevo no estado do Paraná apoiada na modelagem digital do terreno*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 18, nº 05, 2015, pp.1509-1523.
- 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, nº 1, 2014, pp.87-101.
- SILVEIRA, R. M. P. *Análise do relevo como apoio para a cartografia geomorfológica da porção central da Serra do Mar paranaense*. 2015. Dissertação de Mestrado em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. *Análise comparativa entre modelos digitais de elevação com distintas características de processamento e aquisição*. Boletim de Geografia (Online), v. 33, p. 106-121, 2016a.

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, 2016b.

WILSON, J. P. *Digital terrain modelling*. *Geomorphology*. 137, 2012, pp.107-121.

(Recebido em 21-11-2017; Aceito em: 31-05-2018)