

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RICARDO MICHAEL PINHEIRO SILVEIRA

CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DO RELEVO OBTIDA DE VARIÁVEIS
GEOMORFOMÉTRICAS E ÁRVORE DE DECISÃO

CURITIBA

2012

RICARDO MICHAEL PINHEIRO SILVEIRA

CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DO RELEVO OBTIDA DE VARIÁVEIS
GEOMORFOMÉTRICAS E ÁRVORE DE DECISÃO

Monografia apresentada à disciplina
Trabalho de Conclusão de Curso –
Bacharelado II como requisito parcial à
conclusão do curso de Geografia
(bacharelado), Setor de Ciências da Terra,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Profº Dr. Claudinei Taborda da
Silveira.

CURITIBA

2012

*Dedico à minha tríade materna, unidade morfoestrutural
elementar, e à família Bassi, por manter a “História Viva”.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná por propiciar o ambiente de formação e pela excelência acadêmica;

Ao Profº Dr. Claudinei Taborda da Silveira, pela orientação, dedicação, amizade e por todas as oportunidades confiadas durante a graduação.

A todos os professores do curso de Geografia que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho: aos mestres com carinho.

Ao Laboratório de Pesquisas Aplicadas em Geomorfologia e Geotecnologias (LAGEO) e a todos os participantes envolvidos, pelo auxílio, ensinamentos e experiências compartilhadas;

Ao Projeto Expedições Geográficas, em especial à Profª Elaine de Cacia de Lima Frick, pelo primeiro contato com o ensino, a pesquisa e a extensão de maneira aplicada, além da vivência geográfica *in loco*.

À minha família, pelo incentivo constante e pela motivação de seguir trilhando novos caminhos;

Aos minigeógrafos Caio, Klaus e Clara, pela inspiração e alegria;

Ao amigo Julio, pelas reflexões, apoio, trilhas sonoras e, sobretudo, por ser um grande irmão sempre presente desde o tempo dos *kokiris*.

Aos amigos Wagner e Dieiny, pelo apoio, confiança e amizade cultivada;

Aos amigos: Alisson, Allem, Altieri, Antonio, Clotilde, Filipe, Heckley, Josemar, Nataniel, Renato, Roseli e Tassiane, por todos os bons momentos compartilhados.

À coragem, à força e à sabedoria: virtudes intrínsecas ao êxito.

“E lançou um olhar, ao seu redor, no planeta do geógrafo. Nunca havia visto planeta tão majestoso.

- O seu planeta é muito bonito. Há oceanos nele?

- Não sei te dizer - disse o geógrafo.

- Ah! (O príncipezinho estava decepcionado). E montanhas?

- Não sei te dizer - disse o geógrafo.

- E cidades, e rios, e desertos?

- Também não sei te dizer - disse o geógrafo pela terceira vez.

- Mas o senhor é geógrafo!

- É verdade - disse o geógrafo. - Mas não sou explorador. Faltam-me exploradores! Não é o geógrafo que vai contar as cidades, os rios, as montanhas, os mares, os oceanos, os desertos. O geógrafo é muito importante para estar passeando. Nunca abandona a sua escrivaninha. Mas recebe os exploradores, interroga-os, e anota seus relatos de viagem. E quando algum lhe parece mais interessante, o geógrafo faz um inquérito sobre a moral do explorador.

- Por quê?

- Porque um explorador que mentisse produziria catástrofes nos livros de geografia.”

(“O Pequeno Príncipe”, Antoine de Saint Exupéry)

RESUMO

O reconhecimento, compreensão e delimitação das múltiplas variáveis que compõe o meio físico-natural são de grande importância para alicerçar ações de planejamento e gestão ambiental e territorial, sendo o mapeamento geomorfológico um importante instrumento de apoio. A demanda de cartografia geomorfológica é crescente, no entanto o método convencional é um processo oneroso e caro, pois envolve extensos trabalhos de campo. Face essa questão é necessário o avanço de técnicas de inferência espacial para identificação de distintas unidades do relevo, apoiada no avanço das geotecnologias e informática. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo identificar unidades morfológicas do relevo apoiando-se na análise digital dos atributos topográficos derivados do MDE SRTM90 no estado do Paraná. Os atributos topográficos empregados foram: declividade, convexidade e acumulação do fluxo. Essas variáveis são a base da proposta de mapeamento automatizado de Iwahashi e Pike (2006), que consiste na classificação não-supervisionada das formas do terreno utilizando uma árvore de decisões com base nos valores médios. Após o particionamento dos atributos topográficos pelas médias, as combinações que resultam nas distintas formas do terreno foram realizadas pelo processo de álgebra de mapas. Assim, foram obtidas 18 classes, agrupadas em quatro séries de terreno que variam em função do grau de declividade. A validação da proposta de mapeamento automatizado se consolidou em duas etapas principais: verificação em campo com 36 pontos de controle e comparação com o Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná pautada na quantificação dos resultados obtidos, que evidenciaram a possibilidade de avançar na questão de taxonomia do relevo utilizando o modelo como referência. A proposta se mostrou eficaz, exequível e com grande aplicabilidade, constatando o potencial de aplicação dos dados SRTM90 e seus subprodutos, aliado às técnicas de SIG e geoprocessamento na identificação de formas do relevo.

Palavras-chave: geomorfometria; Mapeamento Geomorfológico; MDE SRTM90.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 JUSTIFICATIVA	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 GEOMORFOLOGIA	4
2.2 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO	6
2.3 GEOMORFOMETRIA	10
2.4 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DO PARANÁ	13
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
7 ANEXOS	51

1 INTRODUÇÃO

O estudo das formas do relevo adquiriu novas proporções nas últimas décadas, sobretudo devido à atriutosa relação entre as sociedades humanas e a ocupação desordenada do espaço. As análises puramente descritivas de outrora dão lugar a estudos integrados que consideram a complexidade da superfície terrestre, pois as discussões e demandas que emergem do conhecimento geomorfológico atualmente são mais específicas, visando aplicabilidade e melhor compreensão dos processos e fenômenos correlacionados.

Segundo Silveira (2010), o reconhecimento, compreensão e delineação das múltiplas variáveis que compõe o meio físico-natural são de grande importância para alicerçar ações de planejamento e gestão ambiental e territorial. Uma dessas variáveis é o mapeamento geomorfológico, pois auxilia em todos os âmbitos na ocupação e uso da terra.

Nessa perspectiva, os mapas geomorfológicos surgem como complexos documentos de síntese. No entanto, são várias as limitações na aquisição de informações topográficas, somado no Brasil à grande extensão de áreas a serem mapeadas e a dificuldade de acesso em alguns lugares, elevado custo dos levantamentos, carência de base cartográfica de qualidade e em escala adequada, ausência de levantamentos aerofotogramétricos entre outros.

Um fator importante a favorecer a inclusão do relevo na identificação e na análise de sistemas terrestres advém de recentes coletas de dados topográficos por técnicas de sensoriamento remoto (VALERIANO, 2005). Associado a isso estão o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e novas técnicas de geoprocessamento, que configuram um cenário favorável à modelização do relevo, bem como de produtos derivados, em ambiente informatizado.

Frente ao exposto, o presente trabalho propõe a aplicação de um método com parâmetros predeterminados, a partir da análise digital do relevo e com o apoio de atributos topográficos obtidos de um Modelo Digital de Elevação (MDE), visando identificar unidades que apresentam morfologia de relevo semelhante e com isso desenvolver técnicas que ofereçam suporte aos

trabalhos de mapeamento geomorfológico com maior rapidez e reduzam os custos dos levantamentos.

1.1 OBJETIVO GERAL

- Pesquisar, desenvolver e aplicar técnicas paramétricas para mapeamento de unidades que apresentam morfologia de relevo semelhante apoiadas em classificação não-supervisionada de variáveis geomorfométricas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento bibliográfico sobre os conceitos e métodos utilizados para a proposta de mapeamento automatizado do relevo;
- Aquisição do Modelo Digital de Elevação (MDE) e obtenção de atributos topográficos do relevo derivados;
- Combinação dos atributos topográficos por álgebra de mapas;
- Controle de campo e validação das classes mapeadas;
- Comparação com os mapeamentos pré-existentes da área de estudo;
- Elaboração de um mapa geomorfológico com a síntese dos resultados obtidos na escala 1:100.000.

1.3 JUSTIFICATIVA

Atualmente, os recorrentes problemas ambientais agravados pela ocupação desordenada do espaço, por um lado, e a urgência de políticas no sentido de prescrição e predição de desastres, aliado à carência de mapeamentos de base em escala de detalhe no Brasil, de outro, evidenciam a necessidade da busca por novas metodologias que auxiliem estudos sobre o relevo com os recursos técnicos e operacionais disponíveis no momento.

Segundo Guerra e Cunha (1994), o grande potencial na aplicação de mapeamentos geomorfológicos está no seu interfaceamento com os projetos

de planejamento da ocupação humana, com vistas à economia dos recursos investidos, mediante a prevenção de problemas futuros.

Nesse contexto, a cartografia do relevo emerge como importante mapeamento temático auxiliar para o planejamento físico-ambiental, já que a espacialização e localização dos fatos permitem representar e compreender as formas do relevo e a dinâmica dos processos. Porém, como lembra Valeriano (2004), a identificação de formas de terreno é tradicionalmente feita, na maioria dos trabalhos, sempre por julgamentos em termos qualitativos que são baseados nas descrições obtidas na fase de interpretação, o que torna a análise subjetiva.

Os atuais avanços e desenvolvimento no campo da informática potencializam o emprego de técnicas digitais em trabalhos de mapeamento e modelagem de dados espaciais em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Aliado a essa questão, recentes coletas de dados topográficos obtidos por sensores orbitais favorece a obtenção de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em escala mundial. Segundo Vidal-Torrado *et al.* (2005) os MDEs possibilitam a análise topográfica de uma zona de interesse, assim como o cálculo automatizado de uma série de variáveis relacionadas.

Métodos paramétricos são também possíveis e de grande interesse, pois fornecem uma base mais objetiva e uniforme para a identificação de sistemas terrestres. Estes requerem a medição e o mapeamento de variáveis do relevo como altitude, declividade, curvaturas vertical e horizontal, orientação de vertentes etc., que são combinados para identificar elementos de terreno, que são por sua vez combinados em padrões de terreno (VALERIANO, 2004).

Devido ao desenvolvimento das geotecnologias nas últimas décadas, faz-se necessário buscar novas alternativas que deem suporte à identificação e caracterização de unidades homogêneas do relevo apoiadas em técnicas de inferência espacial. Assim, o presente trabalho propõe a aplicação de uma metodologia, com base no MDE SRTM90, disponível gratuitamente na rede mundial de computadores, como alternativa para mapeamentos automatizados, com parâmetros definidos e com baixo custo operacional.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GEOMORFOLOGIA

A Geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo. As formas representam a expressão espacial de uma superfície, compondo as diferentes configurações da paisagem morfológica. É o seu aspecto visível, a sua configuração, que caracteriza o modelado topográfico de uma área (Christofoletti, 1980).

Coltrinari (2011), por sua vez, define Geomorfologia como o estudo das formas da superfície terrestre, sua distribuição e suas relações mútuas, sua origem e sua evolução passada e atual. De acordo com a autora, estudos geomorfológicos não se preocupam especificamente com a forma do planeta, mas com aquelas que identificamos em sua superfície, seja esta subaérea ou submarina, das placas litosféricas às crateras modeladas pelas gotas de chuva, indo daquelas que permanecem por milhões de anos às que duram menos de um segundo.

Quanto à evolução do conhecimento geomorfológico, Guerra e Cunha (1994) citam que as concepções filosóficas e religiosas, vigentes durante as primeiras épocas da história, influíram de modo marcante nas explicações para os fatos observados pelo homem.

Os gregos, por exemplo, cuja filosofia estimulava a busca do saber, lançaram bases racionais para investigar a natureza e, em particular, as formas do relevo, tais como o tempo infinito e a existência da denudação (TINKLER, 1985). Os romanos, por sua vez, agregaram conhecimentos práticos. Leonardo da Vinci, já no período renascentista, lança os princípios sobre a erosão e deposição fluvial (GUERRA E CUNHA, 1994). Mas só no século XVIII, no entanto, com o escocês James Hutton, que se pode considerar o nascimento da Geologia moderna e, por consequência, da Geomorfologia. As teorias de Hutton defendiam que a redução do relevo e o arrasamento de montanhas se explicam por ações observáveis na superfície terrestre, sendo considerada a primeira tentativa científica de uma história natural da Terra (AMARAL, 1967).

Com o desenvolvimento do conhecimento científico de modo mais sistemático no século XIX, as ciências modernas tiveram grande expansão e a

Geomorfologia, não obstante, passou a ganhar corpo teórico e se fortaleceu como importante campo de estudo na zona limítrofe entre geologia e geografia.

No final deste século, Davis (1899) inicia uma sistematização da ciência geomorfológica, fundamentada no conceito de ciclo (*Geographical Cycle*) e no evolucionismo, pela influência do darwinismo. Segundo a teoria do Ciclo Geográfico, o relevo é função da estrutura geológica, dos processos atuantes e do tempo. Dessa forma, durante o ciclo o relevo passaria pelas fases denominadas: juventude, maturidade e senilidade (FLORENZANO, 2008).

Abreu (2003) lembra que a corrente de linha epistemológica anglo-americana, com base no paradigma proposto por Davis, caracteriza-se por ter se apoiado até praticamente a Segunda Guerra Mundial. O autor cita ainda que o sucesso da postura davisiana foi grande e rápido no mundo de língua inglesa e francesa.

A escola anglo-americana pós-davisiana foi marcada por uma tendência fundamentada na Teoria Geral de Sistemas e no processo de quantificação, destacando-se os trabalhos de Strahler (1950; 1952), King (1955), Hack (1960) e, no Brasil, Christofolletti (1979).

Da linhagem epistemológica alemã surgem os trabalhos de Walther Penck, que segundo Florenzano (2008) defendeu a concepção integrada dos elementos que compõem a superfície terrestre e valorizou o estudo dos processos, desenvolvendo o conceito de depósitos correlativos e a articulação com a Climatologia e Biogeografia.

A postura *penckiana*, tendo como referência a obra *Die morphologische analyse*, preocupava-se essencialmente com três elementos: os processos endogenéticos e exogenéticos, e os produtos resultantes de ambos, que correspondem às formações superficiais e às feições geomorfológicas. seguida por pesquisadores como Mescerjakov (1968) e Gerassimov e Mescherikov (1968), que a utilizaram como base conceitual para análise e classificação do relevo (IBGE, 2009).

Florenzano (2008) destaca ainda a surgimento da Teoria Geológica da Tectônica de Placas, na década de 1960, com contribuições efetivas para o entendimento das formas do relevo. Além disso, na mesma década, a autora evidencia a importância da escola francesa (com Tricart, por exemplo), influenciada pela corrente anglo-americana, para o desenvolvimento da

geomorfologia brasileira. Sobre os trabalhos brasileiros de influência germânica, cita Ab'Saber (1969) como maior contribuição à teoria geomorfológica.

Seguidamente, o limiar da segunda metade do século XX trouxe outras perspectivas para a Geomorfologia. O desenvolvimento científico e tecnológico possibilitou a utilização de novos meios – mapas topográficos mais precisos, fotografias aéreas, instrumentos e equipamentos mais sofisticados para trabalhos de campo e laboratório – assim como assimilar os avanços alcançados em outros campos do conhecimento humano, que direta ou indiretamente poderiam ser relacionados ao seu objeto de estudo (GUERRA E CUNHA, 1994).

No Brasil, Marques (1998) destaca alguns pontos essenciais para o desenvolvimento da Geomorfologia, tal como: contribuições de naturalistas e especialistas estrangeiros no século XIX e dos primeiros geólogos brasileiros na década de 1940; criação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na década de 1950; o XVIII Congresso Internacional de Geografia da União Geográfica Internacional (UGI), realizado em 1956 no Rio de Janeiro; trabalhos pioneiros de Aziz Ab'Saber e Bigarella, que influenciaram estudos do exterior, como a Teoria da Pediplanação, do geomorfólogo sulafricano Lester King; a incorporação dos conceitos da Teoria Geral dos Sistemas e das ideias relativas ao equilíbrio dinâmico, com obras de Christofolletti (1974) e Penteadó (1974); o Projeto Radambrasil e a criação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); e também a expansão dos programas de pós-graduação em geografia e em geologia (MARQUES, 1998).

Sobre a importância do conhecimento geomorfológico, Guerra e Marçal (2006) destacam o estudo integrado da paisagem, podendo, através de metodologias adequadas como o mapeamento geomorfológico, contribuir de forma sistemática para os estudos de planejamento ambiental.

2.2 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO

Tricart (1965) faz uma constatação importante quando diz que o mapa geomorfológico refere-se à base da pesquisa e não à concretização gráfica da pesquisa realizada, o que demonstra seu significado para melhor compreensão

das relações espaciais, sintetizadas através dos compartimentos, permitindo abordagens de interesse geográfico como a vulnerabilidade e a potencialidade dos recursos do relevo.

De acordo com Casseti (2006), o mapeamento geomorfológico se constitui em importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos, permitindo representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e processos, bem como com a própria dinâmica dos processos, considerando suas particularidades.

Nos trabalhos de mapeamento, a representação cartográfica emerge como difícil tarefa, e isso certamente se deve à complexidade de informações necessárias que devem ser relatadas em uma base cartográfica. O fato de o relevo ser um recurso imaterial talvez possa justificar toda a dificuldade e complexidade metodológica de representação do mesmo (GUERRA e MARÇAL, 2006).

Além disso, como cita Florenzano (2008), devido a essa complexidade e variedade dos objetos estudados pela Geomorfologia, não há um método unificado internacional de mapeamento geomorfológico como ocorre com as cartas geológicas. Para a autora o mapa geomorfológico é, ao mesmo tempo, fonte de informação e um instrumento dela. É, portanto, um instrumento de análise e síntese.

Coltrinari (2011), contextualizando a evolução da cartografia geomorfológica, cita que há séculos existem os mapas topográficos, que permitem diferenciar atributos morfológicos e morfográficos do relevo, entretanto os princípios básicos dos mapas geomorfológicos, com o acréscimo de informações referentes aos processos de evolução e idade das formas cartografadas, só começam a ganhar forma no início do século XX, com a proposta de Siegfried Passarge, em 1912. As ideias do autor tiveram pouca repercussão entre os geógrafos da época, que continuaram limitando-se a descrições literárias de formas e tipos de relevo (COLTRINARI, 2011).

Nas décadas seguintes o panorama permaneceu sem significativas mudanças, porém após o término da Segunda Guerra Mundial a cartografia geomorfológica ganha importância e surgem trabalhos, em escalas 1:50.000 ou maiores, com o auxílio de fotografias aéreas para estudos detalhados do relevo e as relações entre geologia, clima e gênese das formas observadas. Coltrinari

(2011) destaca as publicações de Boesch (1945), Klimaszewski (1950, 1953) e Tricart (1954) nesse período de transição.

A autora enfatiza a importância dos Congressos Internacionais da União Geográfica Internacional (UGI), em 1956 e 1960, no Rio de Janeiro e Estocolmo respectivamente, com o reconhecimento da importância das cartas geomorfológicas detalhadas e criação de uma Subcomissão de Cartografia Geomorfológica, no âmbito da Comissão de Geomorfologia Aplicada, presidida por Klimaszewski e com o intuito de desenvolver a metodologia, adotar um sistema uniforme e oferecer subsídios para o conhecimento do ambiente geográfico e seu uso racional por meio de mapas geomorfológicos (COLTRINARI, 2011).

Com base nas recomendações da Sub-Comissão de Cartas Geomorfológicas da UGI, as cartas geomorfológicas de detalhe, em escala grande, devem comportar quatro tipos de dados: morfométricos, morfográficos, morfogenéticos e cronológicos (TRICART, 1965). Porém, como lembra Florenzano (2008), mesmo após as contribuições do Congresso, o mapeamento geomorfológico seguiu caminhos distintos em diversos países, seja em face à ênfase dada pelos seus geomorfólogos ou pela diversidade de formas de relevo encontradas nesses países.

Nesse contexto surgem os primeiros trabalhos sobre taxonomia e classificação do relevo, como Cailleux e Tricart (1956) e Tricart (1965), com a concepção de escalas têmporo-espaciais em geomorfologia; Demek (1967), que propõe a utilização de três unidades taxonômicas básicas nas cartas geomorfológicas, representadas pelas superfícies geneticamente homogêneas, formas do relevo e tipos de relevo; Mescerjakov (1968) e Gerassimov e Mescherikov (1968), com os conceitos de morfotectura, morfoestrutura e morfoescultura, fundamentados no resultado de interação das forças endógenas e exógenas, como um novo instrumento de análise geomorfológica.

Ross (1992), com base nos autores supracitados, propõe seis níveis taxonômicos (figura 1). O primeiro constitui o domínio morfoestrutural, que é definido pelo agrupamento de fatos geomorfológicos provenientes de amplos aspectos geológicos. O segundo representa o subdomínio morfoestrutural, que se caracteriza por uma compartimentação reconhecida regionalmente. O terceiro é representado pelas unidades de relevo e refere-se aos

compartimentos bastante individualizados. O quarto táxon, o qual foi aplicado a pesquisa, refere-se às formas de relevo individualizadas na unidade de padrão de formas semelhantes. Podem ser: as planícies fluviais ou marinhas, terraços fluviais ou marinhos, ou de denudação, como colinas, morros e cristas. O quinto táxon refere-se às partes das vertentes ou setores das vertentes de cada uma das formas do relevo. O sexto corresponde às pequenas formas de relevo que se desenvolvem por interferência antrópica direta ou indireta, como ravinas, voçorocas, assoreamentos (ROSS, 1992).

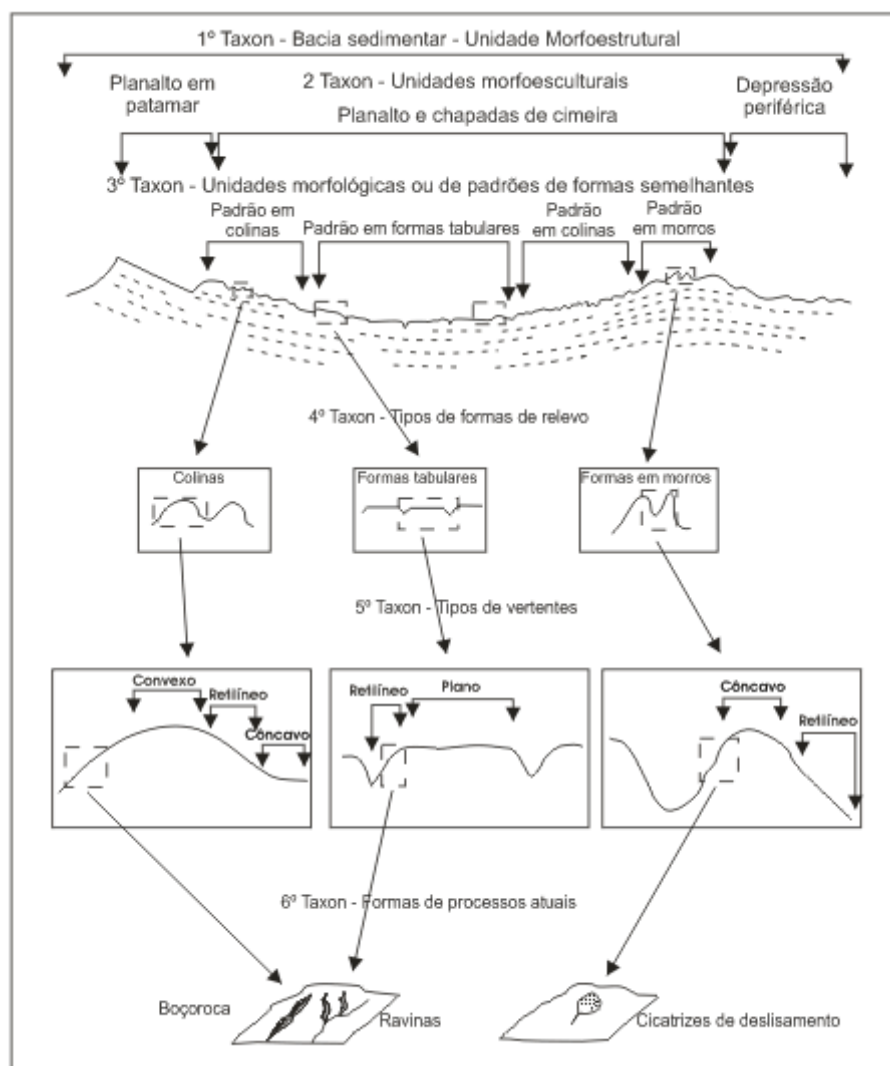


Figura 1 – Representação esquemática das Unidades Taxonômicas proposta por Ross (1992).

Mais recentemente, a proposta taxonômica do IBGE (2009) tem como princípio básico o ordenamento dos fatos geomorfológicos de acordo com uma classificação temporal e espacial, na qual se distinguem os modelados como

unidade básica e seus grupamentos hierarquicamente relacionados. Para a individualização destes conjuntos de feições, são considerados como parâmetros fatores causais, de natureza estrutural, litológica, pedológica, climática e morfodinâmica, responsáveis pela evolução das formas do relevo e pela composição da paisagem no decorrer do tempo geológico. De acordo com a ordem decrescente de grandeza são identificados: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas (IBGE, 2009).

Além destas propostas, Silva (2010) cita outras metodologias no âmbito de mapeamentos geomorfológicos de destaque elaboradas no Brasil, como o do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que resultou no Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo na década de 1980, e o Projeto Radambrasil, de abrangência nacional.

O Projeto Radambrasil foi elaborado na década de 1970 e 1980 pelo governo federal mediante o Ministério de Minas e Energia e buscou mapear os recursos naturais do país, apoiando-se, principalmente, no sensoriamento remoto para a coleta de dados de todos os componentes da paisagem – geologia, geomorfologia, solos, recursos hídricos e vegetação. Especificadamente para o estudo do relevo, elaborou procedimentos próprios para a cartografia dos fatos geomorfológicos, permitindo informações detalhadas de diversos modelados em território brasileiro (SILVA, 2011).

2.3 GEOMORFOMETRIA

Conforme já discutido, a geomorfometria não é um campo novo na geomorfologia. Porém, atualmente, com o desenvolvimento da informática e das geotecnologias, há uma retomada dessa abordagem quantitativa, pautada em critérios e parâmetros predeterminados, que apresenta novos métodos e técnicas, apoiado em ambiente informatizado, a partir de modelagem do relevo.

A geomorfometria é definida como a ciência da análise quantitativa da superfície terrestre (PIKE, 2000), uma moderna abordagem analítico-cartográfica para representar a topografia da Terra (TOBLER, 2000) e também

um campo interdisciplinar que envolve a matemática, as geociências e, mais recentemente, a ciência da computação (PIKE *et al.*, 2008).

Para Evans (1972), a geomorfometria pode ser dividida em: a) geomorfometria específica, que se ocupa das geoformas com características particulares, como canais de córregos ou colinas, que podem ser separadas das geoformas adjacentes e estão estreitamente vinculadas a processos específicos; b) geomorfometria geral, que trata da medição e análise das geoformas comuns a qualquer superfície rugosa contínua, em que todas suas variáveis podem ser definidas a partir da altitude.

Com o desenvolvimento de métodos de geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) é possível a representação da superfície terrestre na forma de Modelos Digitais Numéricos (MDN), denominado também de Modelos Digitais do Terreno (MDT) ou Modelos Digitais de Elevação (MDE), os quais possibilitam análise topográfica de uma zona de interesse, assim como o cálculo automatizado de uma série de variáveis relacionadas (VIDAL-TORRADO *et al.*, 2005). A parametrização da morfologia do relevo por meio de SIG é o processo de extração de atributos quantitativos da topografia de um MDT (HENGL, 2003).

Segundo Wood (1996), a parametrização do relevo refere-se à representação quantitativa das características morfológicas da paisagem descritas de forma contínua.

De acordo com Franklin e Peddle (1987), cinco parâmetros básicos pertencem à parametrização do relevo: i) elevação, cujo gradiente topográfico representa a taxa de mudança da altitude com relação aos eixos X (linhas) e Y (colunas), ii) declividade, sendo um ponto do terreno definido através do ângulo entre o vetor normal a uma superfície e um na vertical no mesmo ponto, iii) orientação, formada por um ângulo existente entre o vetor direcionado ao norte e outro projetado horizontalmente na superfície do mesmo ponto, iv) curvatura, define-se como a taxa de mudança de declividade num determinado ponto derivada da altitude, ou seja, é a mudança de declividade entorno de um ponto, representada pela concavidade/convexidade do relevo, v) rugosidade, distinguindo áreas uniformes de terrenos rugosos, há diversos métodos para obter medidas de rugosidade, sendo aconselhável obter-se de forma independente dos outros parâmetros, assim reduz-se informação redundante.

Nessa perspectiva, a utilização de MDEs em geomorfologia permite o cálculo de variáveis associadas ao relevo com rapidez e precisão (GROHMANN *et al.*, 2008). Em escala global, o MDE derivado dos dados *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), resultado de uma missão espacial da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), DLR (Agência Espacial Alemã) e ASI (Agência Espacial Italiana), originalmente com resolução espacial de 90m, é o mais difundido por ser de domínio público e encontrado gratuitamente na *web*, sendo base para muitas pesquisas na última década.

As imagens SRTM facilitam a construção de mapeamentos fisiográficos do relevo, uma vez que com a imagem pronta já georreferenciada e todos os dados postos, não é necessário digitalizar os pontos cotados e curvas de nível.

Além disso, como bem enfatiza Valeriano (2004), a utilização dos Modelos Digitais de Elevação obtidos por sensores orbitais representa uma alternativa de grande interesse para suprir a carência de mapeamentos, sobretudo na África, Oceania e América do Sul. Por este aspecto, a resolução de 90m dos dados SRTM representa um avanço importante em relação às alternativas até então disponíveis.

Atualmente, portanto, diversas outras áreas estão relacionadas à geomorfometria de maneira auxiliar. Para os estudos voltados à modelagem do relevo, mais especificamente, destacam-se o Sensoriamento Remoto, os SIGs e o geoprocessamento, de um lado, bem como contribuições da geoestatística, matemática e programação, de outro.

Segundo Novo (2008), Sensoriamento Remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

Dadas as diversas definições de um SIG, Miranda (2005) enfatiza a importância da análise espacial que pode ser realizada com um SIG e se concentra na análise e modelagem na qual SIG é visto mais como uma ciência de informação espacial do que uma tecnologia. Embora os sistemas atuais

possuam funcionalidade limitada para análise espacial, esta é uma área de maior desenvolvimento. O autor ainda cita que essa abordagem parece ser a mais aceita genericamente pela comunidade SIG e já pode ser usada para diferenciar o SIG de outros sistemas de informação e dados espaciais.

Quanto ao processo de álgebra de mapas e modelagem cartográfica, destacam-se os trabalhos pioneiros de Berry (1987) e Tomlin (1990; 1991), que deram origem a um programa de computador experimental cujas ideias foram concretizadas no SIG conhecido como *Map Analysis Package* (MAP).

A álgebra de mapas como é processo constituído por um conjunto de operações algébricas que podem ser aplicadas sobre um conjunto de mapas organizados segundo camadas de informações pertencentes a uma mesma delimitação de lugar (TOMLIN, 1990).

Em SIG, “modelagem” é parte de um processo analítico para descobrir, descrever e prever fenômenos espaciais (Miranda, 2005). Tomlin (1990) separa os modelos cartográficos em descritivos (a exemplo do que aconteceria com a estatística descritiva) e prescritivos (algo relacionado às técnicas de inferência estatística). Entretanto, não há uma distinção clara evidente entre modelos prescritivos e descritivos, uma vez que durante o desenvolvimento de um modelo prescritivo, uma descrição das condições existentes deve existir.

2.4 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DO PARANÁ

Desde os estudos pioneiros sobre o relevo paranaense na década de 1940, com as contribuições de Ruellan (1945) e principalmente Maack (1981) por propor a primeira divisão do estado em unidades naturais (Litoral, Serra do Mar, Primeiro, Segundo e Terceiro Planalto), por muitas décadas a discussão sobre cartografia geomorfológica do Paraná permaneceu sem novas propostas de detalhamento ou classificações desses grandes compartimentos.

Assim, no sentido de avançar e dar continuidade a esses estudos, foi produzido o mapeamento geomorfológico (morfoestrutural/morfoescultural) do Paraná, nas escalas 1:250.000 e 1:600.000, num convênio entre o departamento de Geografia da UFPR e a MINEROPAR. O mapeamento de escala 1:250.000 segue a sistemática da divisão em Folhas do IBGE e é

apresentado em vinte e uma cartas, cobrindo todo o território do estado em unidades e sub-unidades morfológicas, enquanto que o mapeamento na escala 1:600.000 fornece uma ideia de conjunto das mesmas.

O mapeamento constitui-se num marco fundamental para o estudo geomorfológico, pois foi o primeiro trabalho de cartografia sistemático realizado para todo o Estado. Os resultados foram publicados por Oka-Fiori *et al* (2006) e Santos *et al.* (2006).

As unidades mapeadas foram delimitadas a partir do agrupamento de formas do relevo que caracterizam áreas geomorfológicas homogêneas. Os procedimentos metodológicos utilizados fundamentaram-se no conceito de morfoestrutura e morfoescultura definidos nos trabalhos de Ross (1996) sobre classificação e taxonomia do relevo desenvolvidos para o Estado de São Paulo, enquanto que a metodologia de interpretação das imagens baseou-se em Soares e Fiori (1976) e de mapeamento em Oka-Fiori (2002).

Dos seis níveis taxonômicos propostos por Ross (1992), devido à escala adotada para o trabalho apenas os três primeiros foram contemplados pelo mapeamento. Dessa forma, foram identificadas três unidades morfoestruturais (1º taxon), cinco unidades morfoesculturais (2º táxon) e cinquenta subunidades morfoesculturais (3º táxon).

O 1º táxon, denominado de unidades morfoestruturais, é representado pelo Cinturão Orogênico do Atlântico, pela Bacia Sedimentar do Paraná e pelas Bacias Sedimentares Cenozóicas e Depressões Tectônicas. Já o 2º táxon, que compreende as unidades morfoesculturais, é representado pela Serra do Mar e Morros Isolados, os três Planaltos Paranaenses e Planícies contidas em cada uma das unidades morfoestruturais. A compartimentação desse nível taxonômico é a que mais se aproxima da divisão proposta por Maack na década de 1940. Quanto ao 3º táxon, o último nível abordado no trabalho, as cinquenta subunidades morfoesculturais são representadas pela figura 2.

Além do produto cartográfico, no mapeamento constam importantes informações morfométricas tabeladas, com os seguintes parâmetros: área das unidades mapeadas; comprimento de todos os canais hidrográficos; densidade de drenagem (horizontal e vertical); gradiente altitudinal e classes de declividade (em valor de área km² e proporção %) para cada unidade. Essa

quantificação, como menciona Santos *et al.* (2006), visa fornecer subsídios para futuros trabalhos de planejamento do uso e ocupação do solo.

3 METODOLOGIA

A proposta de mapeamento morfológico automatizado segue a proposta de Iwahashi e Pike (2007), que consiste, de maneira geral, numa classificação não-supervisionada de formas do terreno por uma árvore de decisões com base nos valores médios (geral, da metade inferior e do quarto inferior) de três variáveis morfométricas a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas propriedades estatísticas. Esta abordagem empírica trata a topografia como uma superfície contínua aleatória, independente de qualquer ordem espacial ou morfológica imposta por processos geomórficos. O método extrai as classes de terreno que refletem diretamente propriedades estatísticas do MDE de entrada.

O método se apoia no conceito de assinatura geométrica, que de acordo com Pike (1988) é um conjunto de medidas que descrevem formas topográficas bem o suficiente para distinguir paisagens geomorfologicamente distintas. Para discriminar efetivamente as formas da superfície e tipos de terreno, os constituintes de uma assinatura devem descrever importantes atributos das formas topográficas e utilizar diferentes valores como parâmetro em toda a gama de feições da superfície observadas.

Para a aplicação da proposta metodológica, após extensa revisão bibliográfica e organização da base de dados disponível foi feita a aquisição do MDE para a área que contempla todo o Estado do Paraná, optando-se pelas imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) originais com resolução espacial de 3 arcos de grau (aproximadamente 90 metros).

As etapas posteriores contaram com auxílio de técnicas de geoprocessamento em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), divididas em quatro momentos principais: a) mosaicagem e correção do MDE; b) geração de atributos topográficos do relevo; c) cálculo dos valores médios, reclassificação e álgebra de mapas; d) organização e quantificação dos resultados obtidos pela matriz. Todos os procedimentos foram realizados no *software* ArcGIS 10 (ESRI, 2010).

Os cuidados iniciais em relação às propriedades do MDE original se justificam pelos erros nos valores altimétricos, sobretudo em áreas próximas a corpos hídricos, que alteram significativamente o produto final. Após a correção

do MDE, com a aplicação do filtro majoritário em janelas móveis 3x3 e comparação com curvas de nível e pontos cotados de cartas topográficas, foram gerados os atributos topográficos do relevo. São três as variáveis morfométricas empregadas por Iwahashi e Pike (2007) na proposta de mapeamento automatizado: declividade, convexidade e acumulação do fluxo.

A declividade é definida como um plano tangente à superfície, que corresponde à inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, expresso como a mudança de elevação sobre certa distância (BURROUGH, 1986). A convexidade refere-se ao caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno, com importante emprego para caracterizar processos relacionados ao transporte de sedimentos, pois demonstra a propensão da água convergir ou divergir sobre as vertentes (WILSON e GALLANTTI, 2000). Já a acumulação do fluxo é usada para caracterizar a distribuição espacial de zonas de saturação superficial, demonstrando os efeitos do relevo nas áreas de acumulação de água (MOORE *et al.*, 1993).

A etapa seguinte consistiu em calcular os respectivos valores dos três atributos topográficos: média geral, média da metade inferior e média do quarto inferior. Esses valores são fundamentais para determinar as distintas classes do terreno, uma vez que representem as zonas limítrofes do particionamento de cada variável que, combinadas, resultam em matrizes de 8, 12 ou 16 classes.

Esse processo é feito por uma árvore de decisões, onde cada um dos três limiares determina as possibilidades de particionamento (figura 3). Se apenas a média geral for considerada, a matriz resultante será particionada em 8 classes; se além da média geral a média da metade inferior for ponderada, o particionamento é feito em 12 classes; e, por fim, se além destas duas a média do quarto inferior também for considerada, o resultado é uma matriz com 16 classes.

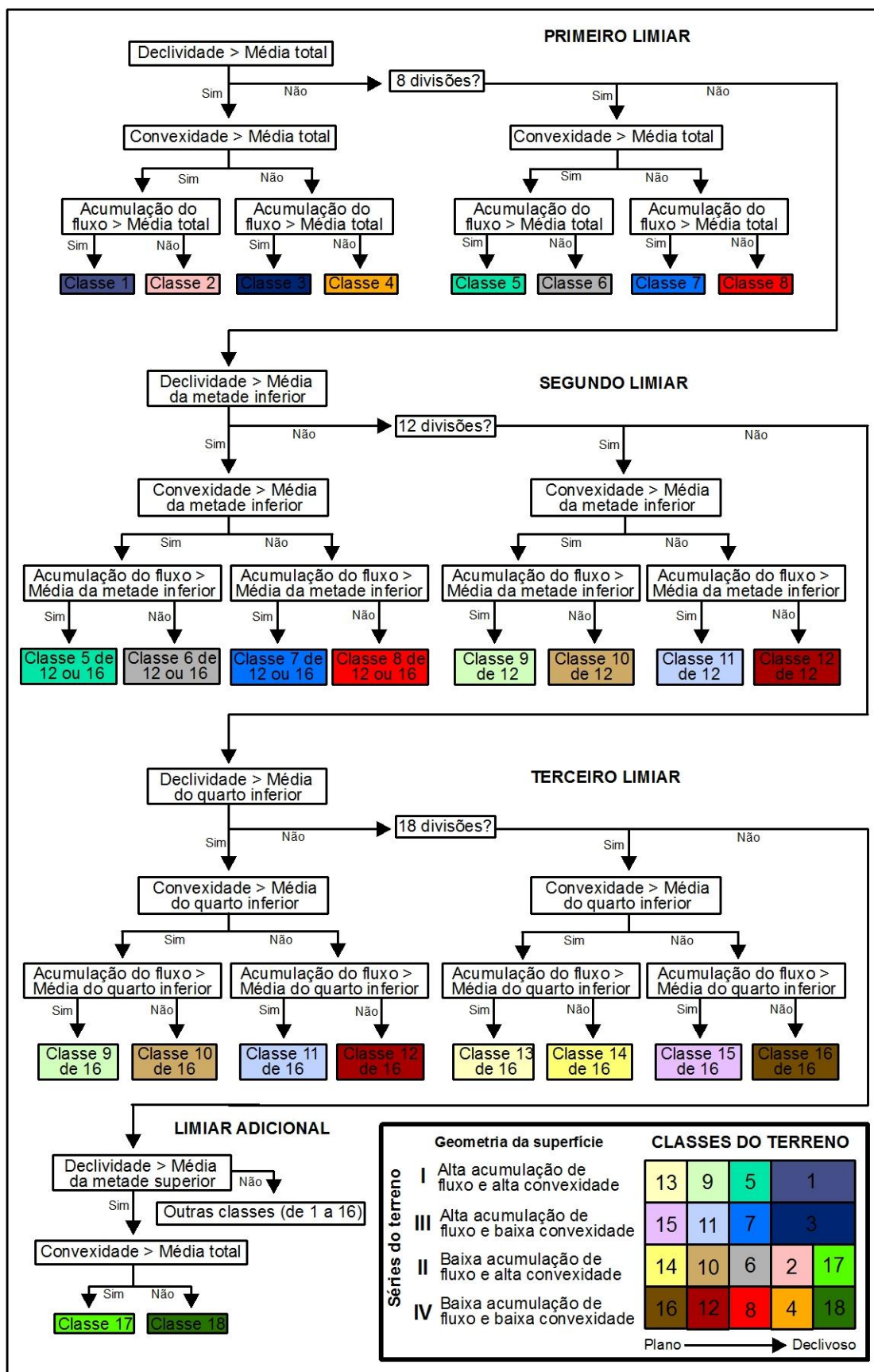


Figura 3 – Árvore de decisões empregada na definição de distintas classes do terreno.

Originalmente a proposta de Iwahashi e Pike (2007) considera apenas 8, 12 ou 16 classes no resultado final. Porém, dadas as especificidades do relevo paranaense, unicamente para a declividade também foi calculado o valor da média superior com o intuito de evidenciar as rupturas de declive de importantes unidades geomorfológicas paranaenses, como a Serra do Mar, cuja declividade apresenta transição abrupta entre o terço superior (corpos graníticos mais resistentes) e o terço médio (depósito de talus) das vertentes, e as escarpas, zona limítrofe entre os planaltos do estado. Esse acréscimo resultou em duas classes adicionais de relevo, considerando, portanto, apenas o valor da média superior da declividade (com base na unidade geomorfológica Serra do Mar), a média geral da convexidade e valores acima da média do quarto inferior da acumulação de fluxo.

Com base nesses parâmetros os atributos topográficos foram reclassificados em quatro (convexidade e acumulação de fluxo) ou cinco (declividade) partes (figura 4), referente aos valores médios, e combinados pela técnica de álgebra de mapas, que segundo Tomlin (1983) representa o conjunto de procedimentos de análise espacial em geoprocessamento que produz novos dados a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais níveis de informação. O processo resultou em 80 combinações distintas ($4 \times 4 \times 5$), que foram reagrupadas de acordo com a proposta de particionamento do relevo em 18 classes.

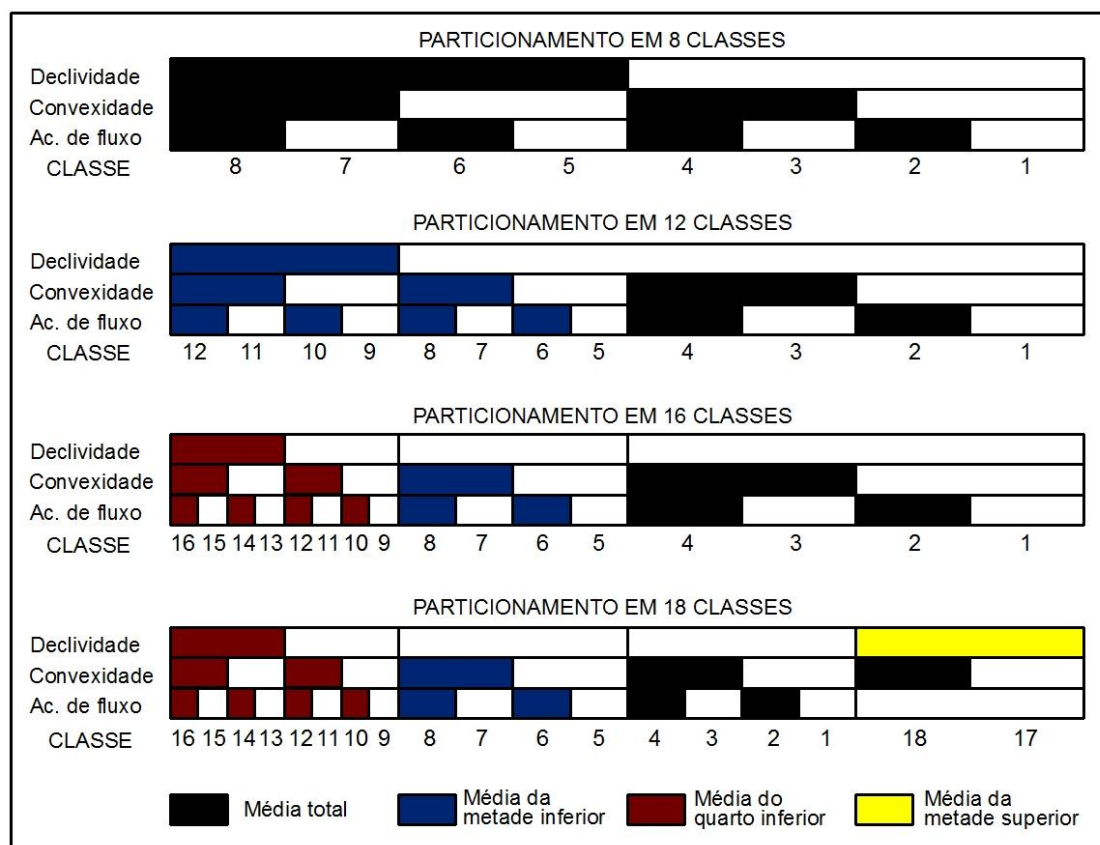


Figura 4 – Esquema simplificado dos particionamentos e classes resultantes.

Após a combinação dos atributos topográficos, a etapa posterior se pautou nas questões referentes à simbologia, legendas e representação cartográfica dos resultados obtidos. Originalmente Iwahashi e Pike (2007) propuseram cores específicas para cada classe mapeada com base no trabalho pioneiro de Hammond (1964). Porém, devido às diferenças dos valores médios entre as duas áreas, foi constatado que as cores predeterminadas dificultam a leitura do produto final, sendo necessário analisar cada série do terreno individualmente para definir a simbologia das classes de relevo.

Na matriz de 18 classes, as respectivas cores foram definidas com base nos seguintes critérios: a) distinção visual, apoiada nos conceitos de semiologia gráfica, com a escolha de cores que proporcionem rápida assimilação dos diferentes elementos; b) interpretação das classes de terreno de acordo com suas características geométricas; c) proposta de cores de mapeamentos geomorfológicos que compreendem a área de estudo. A figura 5 traz uma

comparação entre a representação original e a proposta modificada para o presente trabalho.

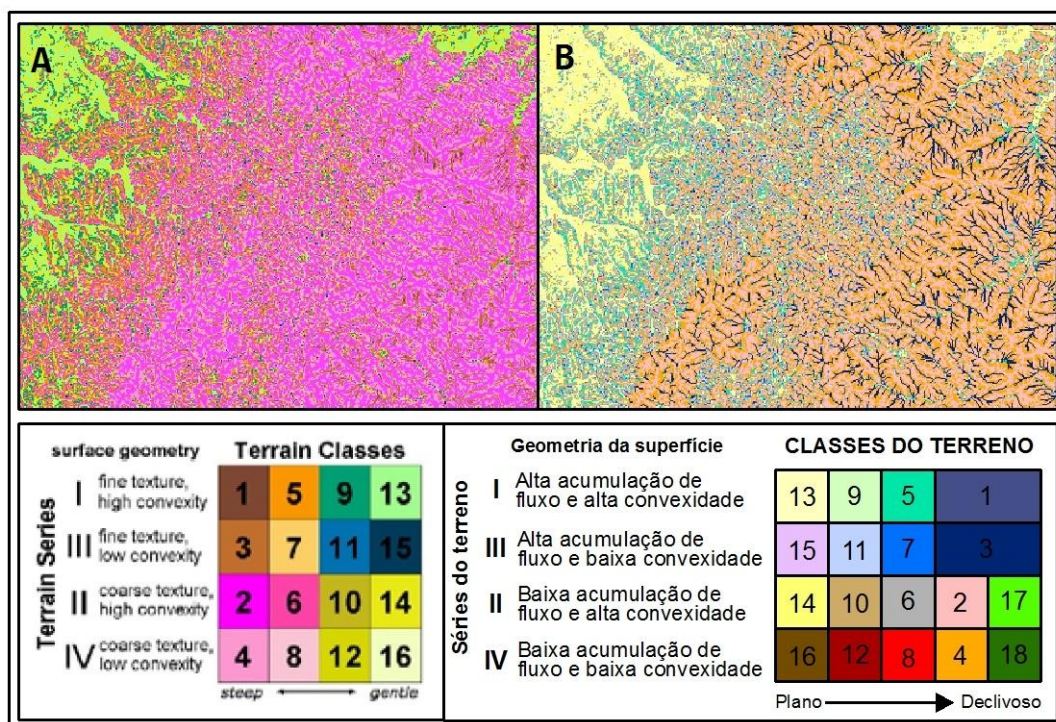


Figura 5 – Comparação entre a proposta de simbologia original (A) e a modificada (B).

Com o intuito de avaliar o mapeamento resultante, o controle de campo surge como importante etapa de apoio à identificação das limitações e potencialidades do modelo. Ao todo foram registrados 36 pontos de controle em todos os grandes compartimentos geomorfológicos do estado, com predominância na Planície Litorânea, Serra do Mar e Primeiro Planalto. Os pontos foram coletados por um receptor GPS (Sistema de Posicionamento Global).

A comparação foi feita por uma tabela que contém informações referentes à localização dos pontos de controle, às classes de relevo (particionamento de 18 classes) e à verificação realizada *in loco*. Dada a subjetividade da análise visual para definir precisamente as características geométricas de determinada feição observada, em campo cada atributo topográfico foi analisado separadamente com três opções de equiparação aos valores obtidos pelo modelo: alta, média e baixa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Obtiveram-se resultados de matrizes de 8, 12, 16 e 18 classes de relevo, sendo esta última, conforme discutido adiante, a opção mais adequada para um mapeamento de detalhe por distinguir feições passíveis de correlação com mapeamentos convencionais e de validação em campo.

A delimitação de oito classes, que considera apenas os valores médios gerais, mostrou-se pouco representativo devido à classificação “metade-metade” dos atributos topográficos (figura 6). Embora os fundos de vale estejam bem evidenciados na matriz, as formas de vertente, associadas aos valores de convexidade, não obtiveram representação satisfatória, com muitos *pixels* esparsos que dificultam a leitura, análise e quantificação do produto final.

No que se refere à dissecação do relevo, destacam-se dois grandes grupos, vinculados à média da declividade: uma com as áreas de maior dissecação, representado sobretudo pelas classes 2 e 4, e outra com áreas menos dissecadas, enfatizadas pelas classes 6 e 8. Esse é um fator limitante do particionamento em 8 classes, pois o modelo não permite identificar planícies, topos, escarpas e demais discontinuidades significativas de aclive.

Já na classificação em doze classes, a discretização dos valores médios da metade inferior, gerando quatro classes adicionais, conferiu ao produto final maior eficácia frente aos objetivos propostos (figura 7). Esse acréscimo permitiu identificar as grandes planícies do estado do Paraná, apesar dos limites imprecisos. Quanto aos talwegues e formas de vertente, a combinação proporcionou a distinção entre o grau de entalhamento dos fundos de vale, bem como melhor visualização de vertentes convergentes ou divergentes. Constatou-se que para escalas regionais ou caracterizações geomorfológicas preliminares, com número reduzido de variáveis e informações, o particionamento em doze classes apresentou resultados satisfatórios, apesar da omissão ou generalização de importantes feições do relevo.

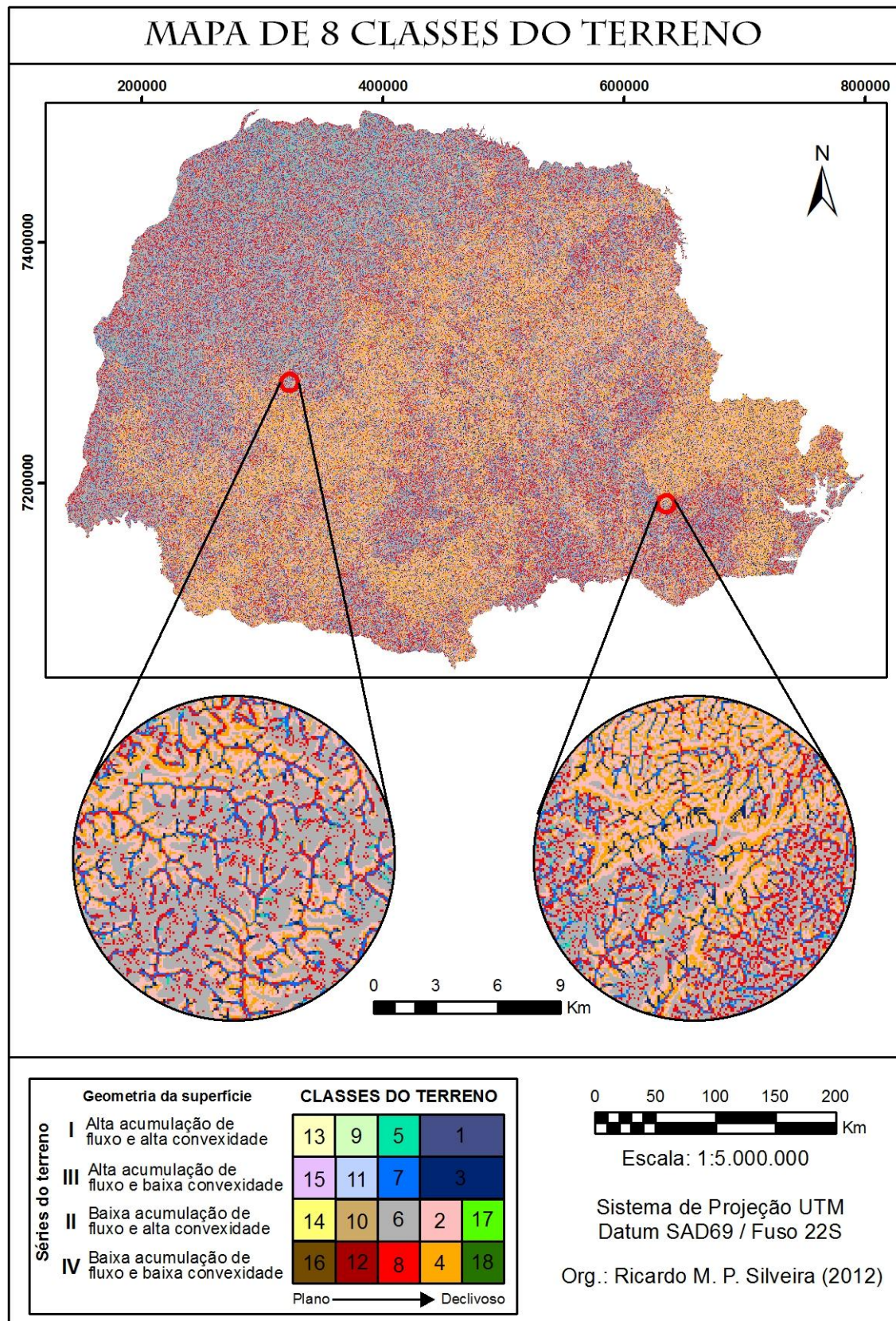


Figura 6 – Matriz resultante do particionamento em 8 classes.

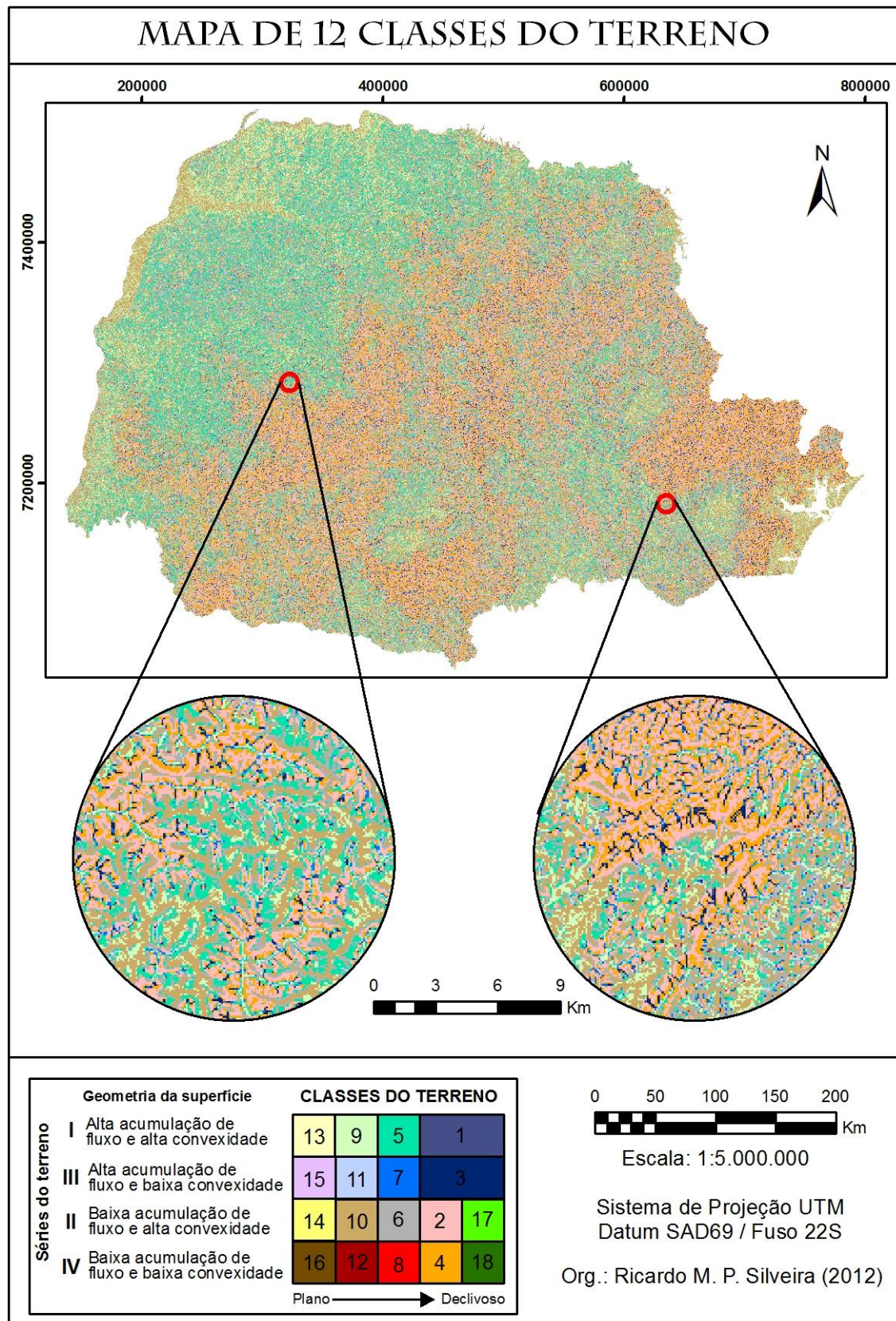


Figura 7 – Matriz resultante do particionamento em 12 classes.

Com o acréscimo das classes discretizadas dos valores médios do quarto inferior de cada atributo topográfico, caracterizando o particionamento em dezesseis classes, a matriz resultante obteve êxito ao conciliar detalhamento de feições do relevo e representatividade cartográfica (figura 8). Diferentemente das outras duas possibilidades, nessa classificação as áreas de planície, os divisores d'água e as zonas de interflúvios, somado aos pontos positivos já apresentados dos demais, se destacam pela caracterização pormenorizada. Entretanto, áreas com ruptura de declive mais acentuadas, os compartimentos compostos pelos maciços rochosos da Serra do Mar e as escarpas não foram contemplados na distinção.

Assim, a delimitação de dezoito classes (figura 9) se mostrou mais adequada, frente aos resultados das três alternativas anteriores. Dadas as características dos atributos topográficos, verificou-se que apenas o acréscimo da média superior da declividade foi suficiente para distinguir as formas de vertente nas porções mais elevadas, uma vez que a convexidade e acumulação de fluxo já apresentem classificação detalhada de acordo com sua assinatura geométrica. As duas classes adicionais, portanto, fazem referência às áreas com declividade superior a 28%, sendo divergentes (classe 17) ou planares e convergentes (classe 18), ambas com valor de acumulação do fluxo superior à média do quarto inferior.

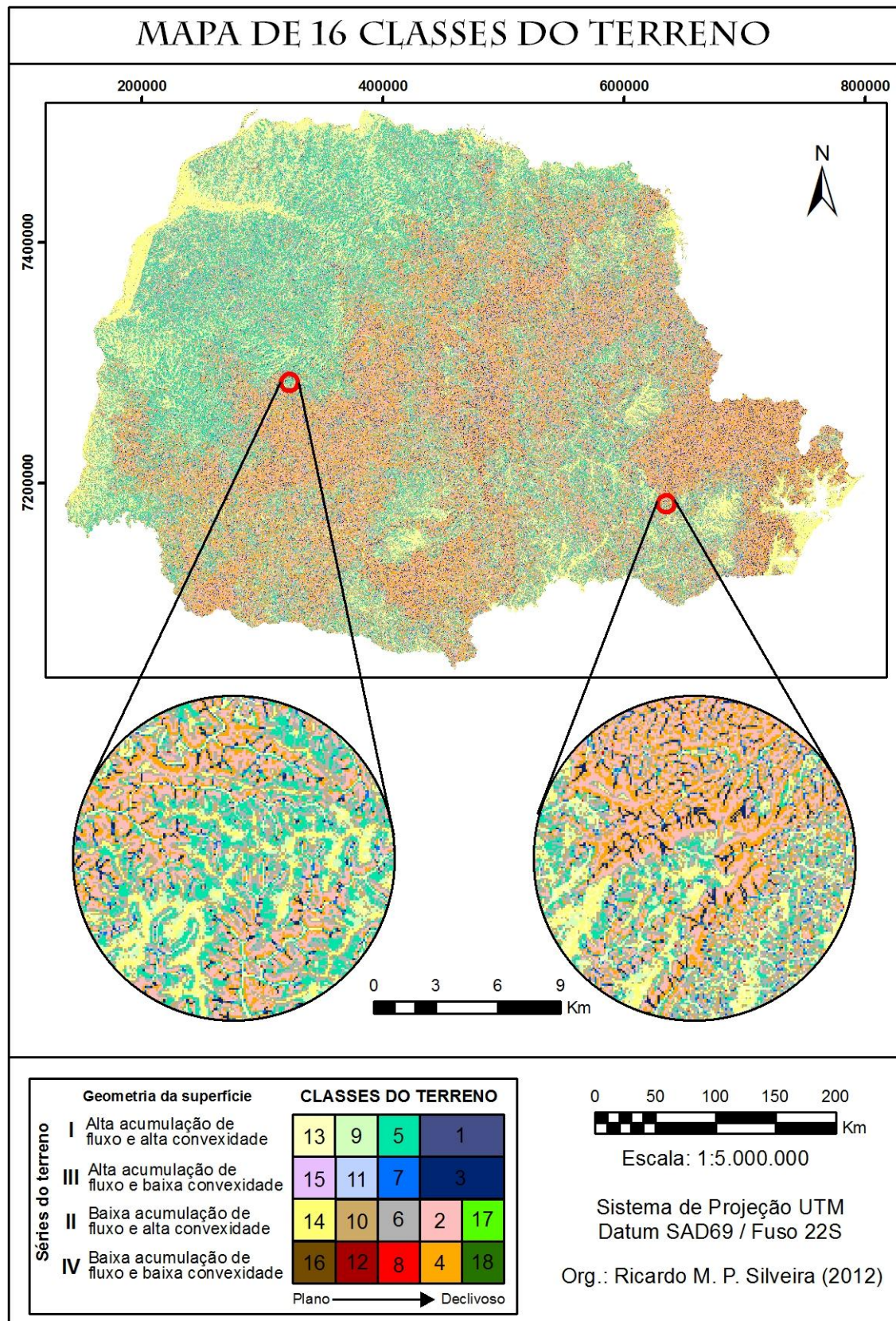


Figura 8 – Matriz resultante do particionamento em 16 classes.

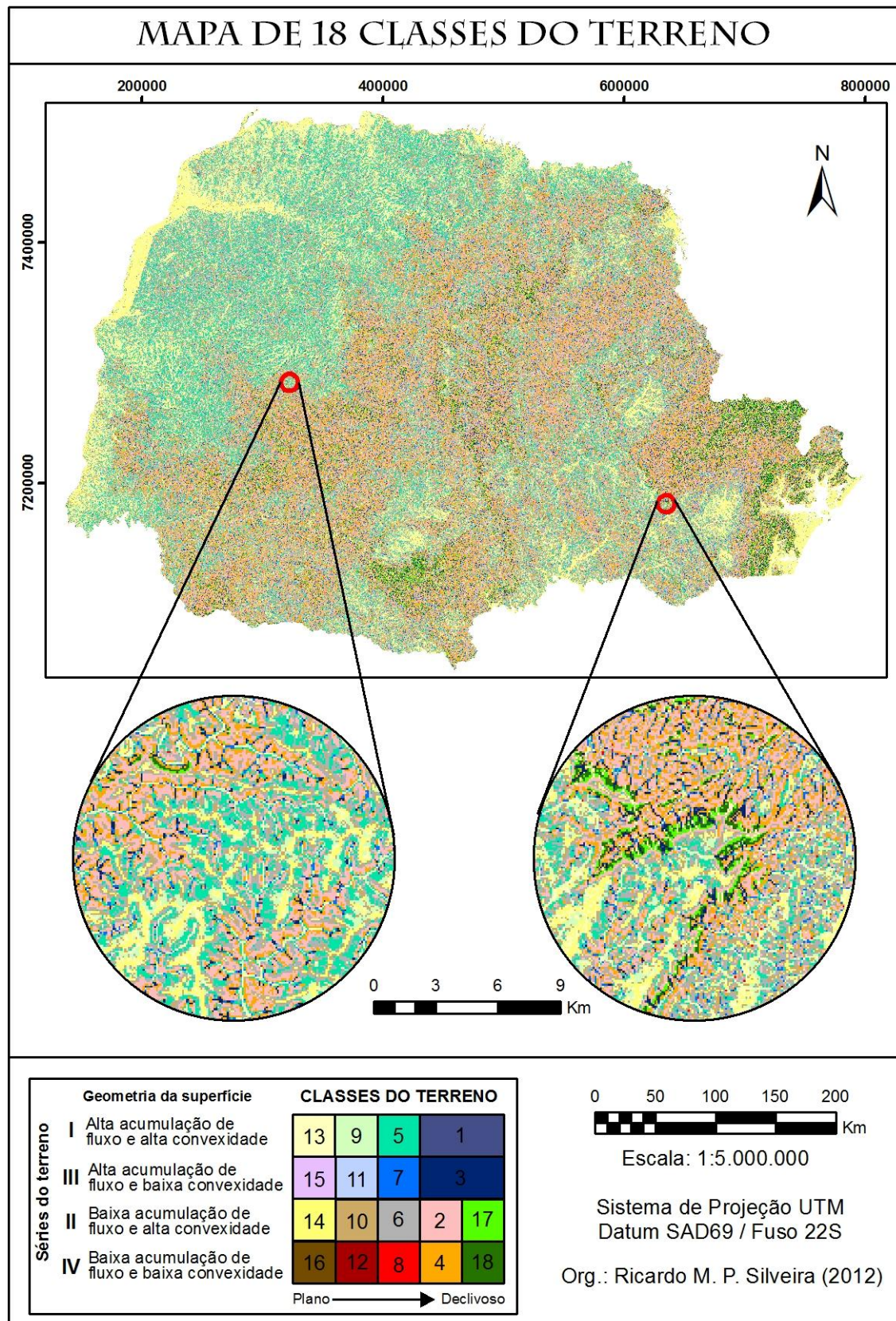


Figura 9 – Matriz resultante do particionamento em 18 classes.

A análise isolada das variáveis empregadas possibilitou a compreensão do papel de cada uma delas no modelo empregado. Verificou-se que a declividade foi o atributo topográfico que apresentou maior potencial para distinguir unidades de relevo e unidades geomorfológicas homogêneas, cujas divisões referentes aos valores médios foram satisfatórias. A média do quarto inferior (0-3,1%) evidenciou, sobretudo, as áreas de planície, enquanto a média da metade inferior (3,1-5,1%) caracterizou as áreas de transição para porções mais declivosas, ocasionando limites detalhados e acurados. O intervalo que representa a média geral (5,1-9,6%) é predominante nos planaltos, caracterizando relevo suave ondulado. Já o intervalo entre a média geral e a média da metade superior (9,6 - 28%), além de possuir o maior intervalo entre todas as divisões também ocupou maior área, distribuída em todos os grandes compartimentos geomorfológicos. Por fim, a divisão adicional exclusiva para a declividade, que considera os valores maiores que a média da metade superior (>28%), se restringe às porções mais dissecadas do relevo paranaense, como os grandes blocos soerguidos da Serra do Mar, as bordas de planalto representadas pelas escarpas, morros isolados localizados no interior dos planaltos e demais feições com alta declividade.

A convexidade, relacionada ao plano de curvatura, por sua vez, foi uma importante variável que permitiu detalhar o modelo, uma vez que represente formas de vertentes. Os valores negativos representam uma superfície convergente, os valores positivos uma superfície divergente e quanto mais próximo de 0 (zero) a superfície é planar. Após o cálculo de seus valores médios, verificou-se que as partições do quarto inferior (-5 a -0,2), da metade inferior (-0,2 a -0,1) e da média geral (-0,1 a -0,02) são todas vertentes côncavas com diferentes níveis de concavidade, enquanto a porção com valores superiores à média geral (-0,02 a 5,9) representam, portanto, vertentes retilíneas e convexas. Embora desproporcional, a vantagem da classificação pormenorizada dos valores negativos é o detalhamento dessas importantes propriedades do relevo, uma vez que muitos processos geomórficos (leitos de drenagem, deslizamentos, transporte de sedimentos etc) ocorram em superfícies com essas características.

Já o atributo topográfico denominado acumulação de fluxo acrescentou importantes informações referentes à concentração do escoamento,

possibilitando a identificação de canais de drenagem. Quanto maior seu valor, maior será a área de contribuição. Nessa perspectiva, o quarto inferior do particionamento (0 - 0,3) representa os divisores d'água, que associados à convexidade podem definir os tipos de topos (tabular, aguçado etc), por exemplo. Os intervalos alusivos à metade inferior (0,3 - 1,6) e geral (1,6 - 10,1) são as zonas intermediárias, enquanto os valores superiores (10,1 - 7321) evidenciam os fundos de vale. Estes, associado à declividade, por exemplo, podem caracterizar canais de drenagem. Entretanto é importante salientar que essa variável morfométrica se mostrou eficaz em áreas com grandes amplitudes altimétricas como a Serra do Mar, porém não obteve a mesma confiabilidade em áreas planas e com pouca variação da hipsometria, que resultou em pixels isolados no modelo.

As figuras 10 e 11 representam, de maneira esquematizada e espacializada, respectivamente, os valores médios obtidos pelos atributos topográficos.

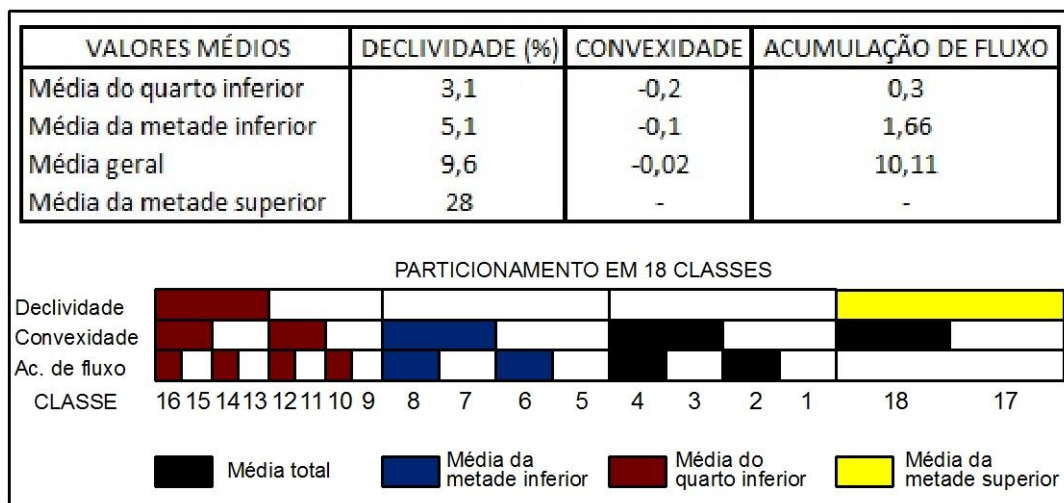


Figura 10 – Valores médios obtidos para a definição das distintas classes do terreno.

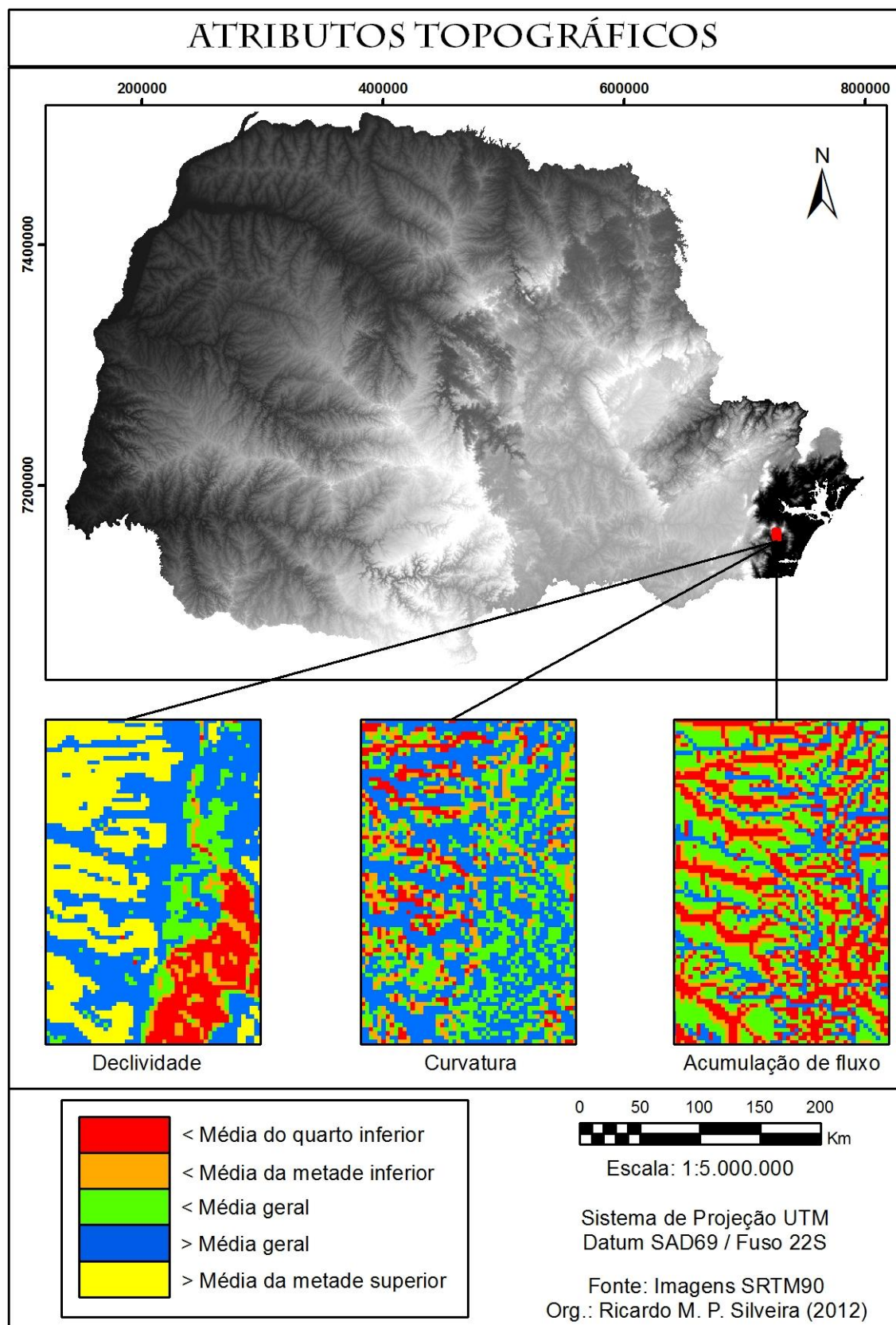


Figura 11 – Espacialização dos atributos topográficos derivados do MDE com os valores médios discretizados.

Uma importante questão a ser destacada é a escala de representação do produto cartográfico (figura 12).

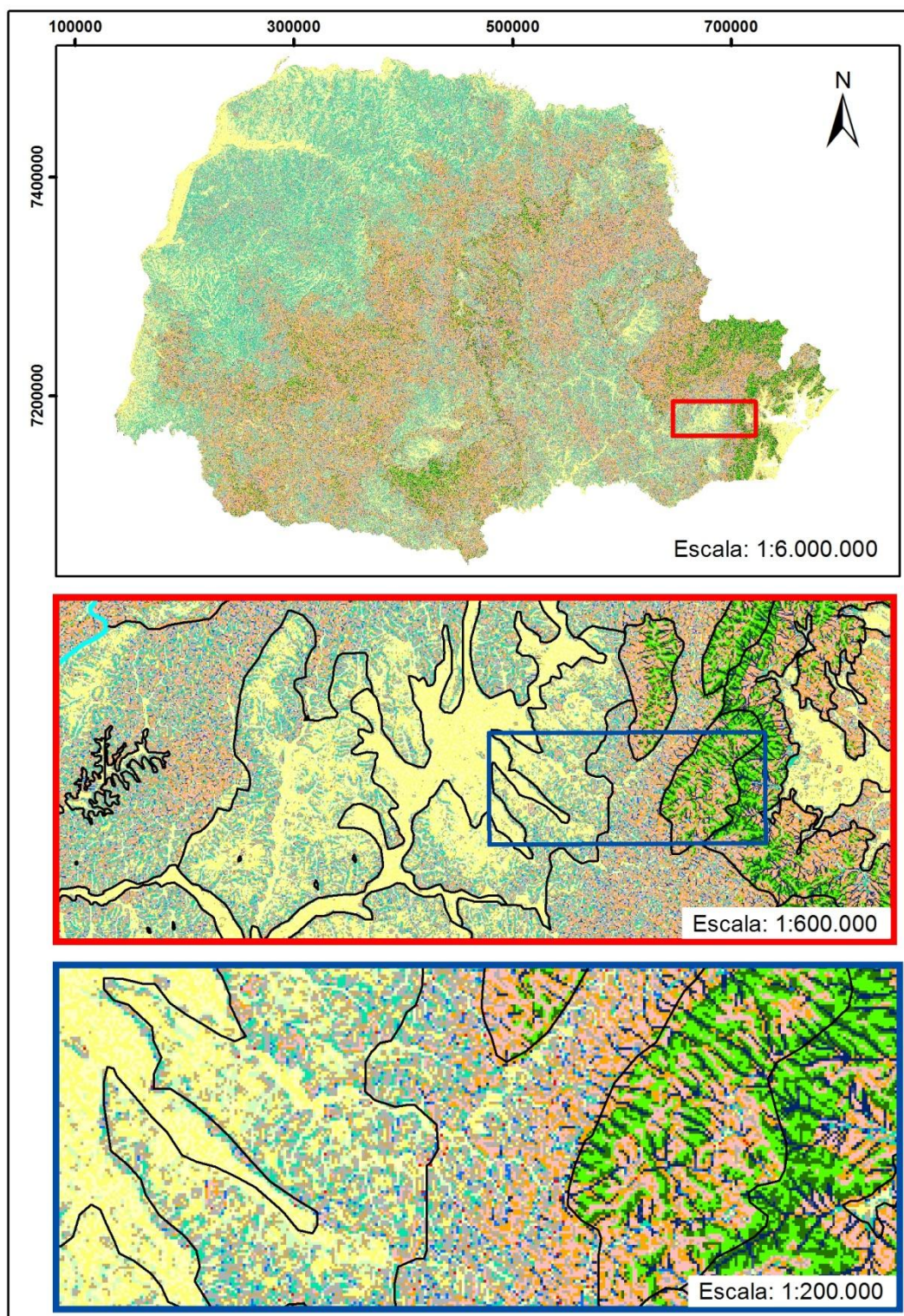


Figura 12 – Correlação visual das classes mapeadas em diferentes escalas cartográficas.

Quando visualizado em escalas superiores a 1:3.000.000, verificou-se que devido à predominância de determinadas classes, que formam “manchas” com semelhança na rugosidade, foi possível distinguir, com pouca precisão, grandes unidades morfológicas. Da mesma forma, mas em escala mais detalhada (aproximadamente 1:600.000), as unidades morfológicas homólogas são passíveis de identificação. Contudo a potencialidade dessa proposta de mapeamento de forma de relevo automatizado é evidenciada em escalas de ainda mais detalhe, entre 1:100.000 e 1:200.000, devido à combinação das três variáveis que resultam em até dezoito classes distintas com características minudenciadas das formas de relevo.

No âmbito da discussão sobre a taxonomia do relevo, constatou-se que esse intervalo (1:100.000 e 1:200.000) apresenta potencial para alcançar o 4º nível taxonômico de acordo com a proposta de Ross (1992). Segundo o autor:

As formas de relevo desta categoria tanto podem ser as de agradação tais como as planícies fluviais, terraços fluviais ou marinhos, planícies marinhas, planícies lacustres entre outros ou as de denudação resultantes do desgaste erosivo, como colinas, morros, cristas, enfim, formas com topos planos, aguçados ou convexos (ROSS, 1992, p. 19).

Embora a proposta tenha potencial para alcançar resultados no 5º nível taxonômico, sobretudo pelas variáveis empregadas e número de classes resultantes, o conflito com a resolução espacial do MDE não permite tal refinamento. Segundo Ross (1992), o 5º táxon são as vertentes ou setores das vertentes pertencentes a cada uma das formas individualizadas do relevo. Como exemplo, tornando-se a forma de uma colina ou de um morro, os diversos setores apresentam características geométricas, genéticas e dinâmicas bem distintas. O topo e a parte superior da vertente podem, por exemplo, ter formato retilíneo e a base côncava. Ao mesmo tempo esses setores podem apresentar inclinações diversas que também ajudam a definir as suas características. Ou seja, o atributo topográfico convexidade, subdividido em quatro segmentos, é o principal responsável pela distinção de tais características.

Na fase de controle de campo, dos 36 pontos de controle (figura 13), 29 apresentaram concordância com as unidades mapeadas no modelo, resultando

em 81% de acerto. Esse índice demonstra satisfatoriamente que o mapeamento automatizado é capaz distinguir feições do relevo em nível local e nos mais diversos terrenos (tabela 1).

PONTO	COORDENADAS (UTM)	CLASSE (MODELO)	CAMPO									
			Declividade			Convexidade			Acumulação de fluxo			
			Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	
1	x 765194 y 7168021	13			X		X			X		✓
2	x 768884 y 7167664	2	X			X				X		✓
3	x 750097 y 7158764	9			X		X		X			✓
4	x 731987 y 7173300	10			X		X			X		✓
5	x 732183 y 7172956	13			X		X		X			✓
6	x 731682 y 7172236	13			X		X			X		✓
7	x 730908 y 7170545	9		X				X	X			✓
8	x 699020 y 7190023	2		X		X					X	✓
9	x 701212 y 7188420	2			X			X		X		✗
10	x 716074 y 7208313	17		X		X				X		✓
11	x 716862 y 7207886	17		X				X	X			✓
12	x 717568 y 7207189	2		X		X					X	✓
13	x 718710 y 7206612	17		X		X					X	✓
14	x 697275 y 7172456	9		X			X			X		✓
15	x 673967 y 7188630	6			X			X	X			✗
16	x 678890 y 7175914	13			X			X	X			✓
17	x 691528 y 7220466	18	X				X				X	✓
18	x 674465 y 7725698	2		X				X	X			✗
19	x 654585 y 7285736	13		X				X		X		✗

Tabela 1 – Controle de campo (parte 1). O símbolo de cor verde representa os acertos e o de cor vermelha os erros.

PONTO	COORDENADAS (UTM)	CLASSE (MODELO)	CAMPO									
			Declividade			Convexidade			Acumulação de fluxo			
			Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	Alta	Média	Baixa	
20	x 601683 y 7432016	13			X		X			X		✓
21	x 616547 y 7202762	7		X				X	X			✓
22	x 585729 y 7213929	14		X				X	X			✗
23	x 630635 y 7147713	2		X		X					X	✓
24	x 546104 y 7127551	14			X		X			X		✓
25	x 547665 y 7122594	13		X			X		X			✓
26	x 492371 y 7101182	17		X		X					X	✓
27	x 376369 y 7152215	10			X			X	X			✗
28	x 543419 y 7183682	6		X		X				X		✓
29	x 234209 y 7250423	10			X		X			X		✓
30	x 376532 y 7318286	2		X		X				X		✓
31	x 598368 y 7296300	10	X			X					X	✓
32	x 523463 y 7298675	2		X		X					X	✓
33	x 330646 y 7479629	17	X			X					X	✓
34	x 480308 y 7200096	18		X		X					X	✗
35	x 398891 y 7186578	2		X		X				X		✓
36	x 331932 y 7721398	4		X			X				X	✓

Tabela 1 – Controle de campo (parte 2). O símbolo de cor verde representa os acertos e o de cor vermelha os erros.

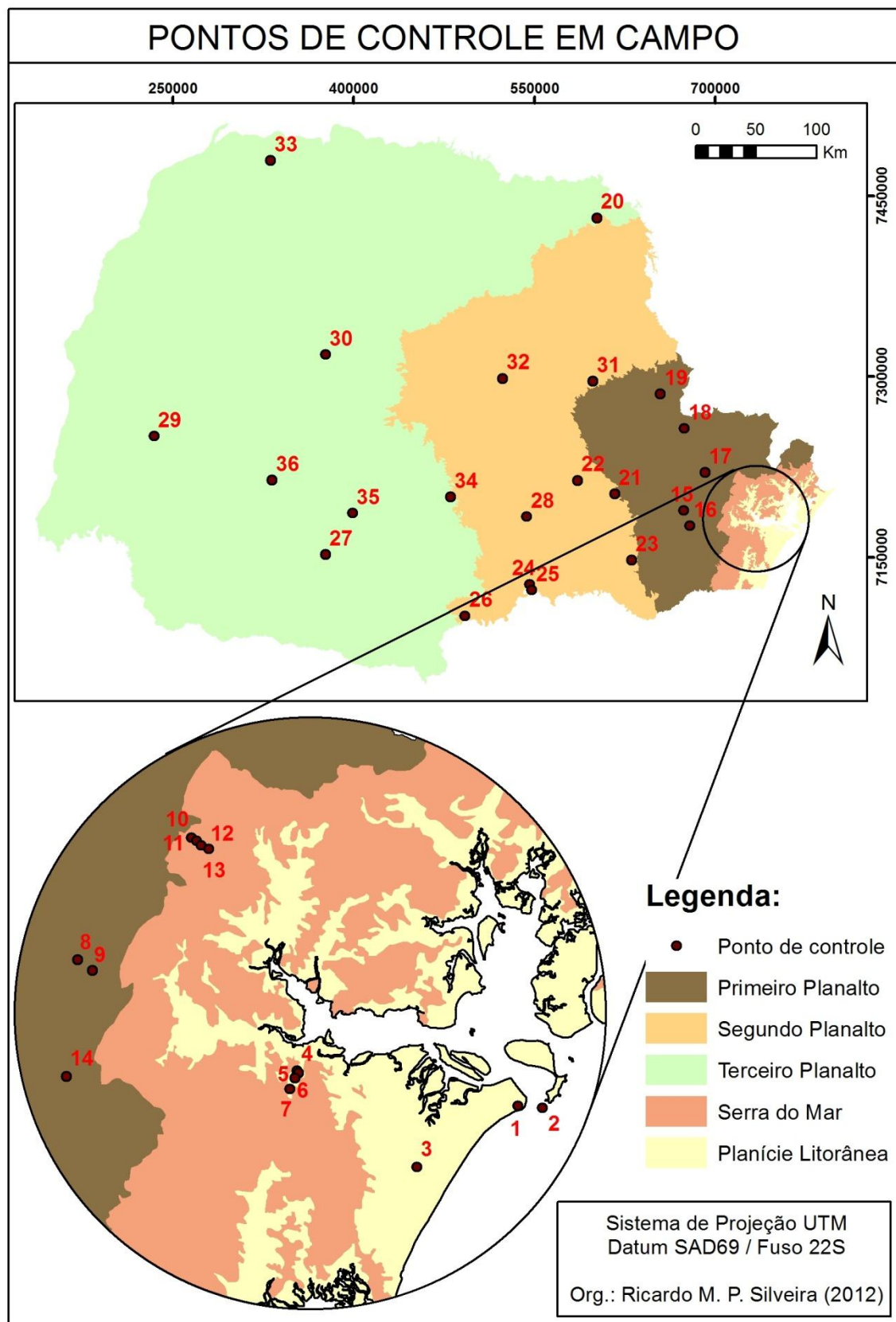


Figura 13 – Localização dos pontos de controle de campo.

Devido à incompatibilidade taxonômica entre o mapeamento automatizado de 18 classes e o Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná (OKA-FIORI *et al.*, 2006 e SANTOS *et al.*, 2006), constatou-se que não foi possível estabelecer comparação direta entre os dois mapas.

Entretanto a quantificação dos resultados obtidos pelo mapeamento automatizado em relação aos limites dos compartimentos geomorfológicos definidos pelo mapeamento tradicional trás importantes informações que podem auxiliar a compreensão e aperfeiçoamento dessas unidades.

Dessa forma, para todas as 50 subunidades morfoesculturais delimitadas pelo Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná foram calculadas as cinco classes predominantes obtidas pelo modelo (tabela 2), com a finalidade de identificar padrões de distribuição das classes mapeadas e caracterizar quantitativamente essas zonas geomorfológicas homólogas.

SUBUNIDADE MORFOESCULTURAL	1º		2º		3º		4º		5º	
	CLASSE	%	CLASSE	%	CLASSE	%	CLASSE	%	CLASSE	%
(0) Morros Isolados Costeiros	17	26,5	18	21,3	2	20,5	4	14,9	3	9,9
(0) Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas	2	22,3	4	21,2	6	11,8	13	9,1	9	7,09
(0) Serra do Mar Paranaense	17	23	2	22	18	18,9	4	17	3	11,1
(0) Blocos Soerguidos da Serra do Mar	17	28,8	18	21,5	2	19	4	13	13	10,4
(1) Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto Paranaense	2	28,3	4	20,3	6	10,9	17	9,65	18	7,67
(1) Planalto de Castro	6	21,6	2	11,8	13	1,15	14	11,3	9	10,7
(1) Planalto do Complexo Gnáissico-Migmatítico	2	27,1	4	21,7	6	12,9	7	6,05	17	4,85
(1) Planalto Dissecado de Adrianópolis	17	25,8	2	21,4	18	19,7	4	14,9	3	9,74
(1) Planalto de Curitiba	6	24	2	17,7	4	12,7	10	8,48	5	8,46
(1) Planalto do Alto Iguaçu	6	20,1	14	17,3	13	16,8	9	16,5	10	12,8
(1) Planalto Dissecado de Tunas do Paraná	2	30,5	4	22,7	17	9,91	6	8,45	18	7,44
(1) Planalto Dissecado de Rio Branco do Sul	2	28,9	4	20,7	17	17,8	18	13	3	7,52
(1) Planalto Dissecado do Alto Ribeira	2	34	4	25	6	9,25	17	6,1	18	4,55
(1) Planalto do Alto Jaguariaíva	2	28,7	4	20	6	17,2	7	6,4	5	4,69
(1) Planalto de São Luiz do Purunã	6	18,7	2	15,7	9	13,2	5	13,1	10	8,86
(2) Planaltos Residuais da Formação Serra Geral	2	32	4	20,9	6	10,6	17	6,88	3	6,37
(2) Planalto do Alto Ivaí	2	28,8	4	20,4	6	12,6	17	5,77	7	5,53
(2) Planalto de Cândido de Abreu	6	24	2	14,9	5	11,2	4	9,6	9	9,36
(2) Planalto de Ortigueira	2	28,4	4	20,6	6	15,4	7	4,81	10	4,14
(2) Planalto de Santo Antônio da Platina	2	30,3	4	19,6	6	10,5	17	8,74	18	6,91
(2) Planalto do Médio Cinzas	6	24	2	12	9	11,9	5	11,5	10	9,99
(2) Planalto de Carlópolis	6	21,6	2	20,6	4	12,9	5	10,5	9	8,31
(2) Planalto de Jaguariaíva	2	27	6	18,3	4	12,6	5	11,4	9	6,59
(2) Planalto de Tibagi	6	23,2	5	17,4	2	14,7	10	8,3	14	7,64
(2) Planalto de Ponta Grossa	2	25,9	6	19,6	4	16	5	9,99	9	6,25
(2) Planalto de Guatá	2	27,5	6	20,5	4	17	10	5,92	9	5,23
(2) Planalto de São Mateus do Sul	6	26,3	9	14,3	5	13,5	10	12	14	10,4
(2) Planalto de Iratí	6	23	2	20,8	4	15,4	5	10,5	9	7,25
(2) Planaltos Residuais da Formação Teresina	2	22,4	6	19,3	4	14	5	9,51	10	7,26
(2) Planalto de Prudentópolis	6	24,5	5	11	2	12,5	9	11	10	9,69
(3) Planalto Pitanga/Ivaiporã	2	23,7	6	19,4	4	14,5	5	10,6	10	6,73
(3) Planalto de Campo Mourão	5	23,6	9	20,1	6	16,3	14	10,5	13	10
(3) Planalto de Paranavaí	9	31,6	5	17,4	13	13,6	6	12,7	10	11,8
(3) Planalto de Umuarama	6	25,8	5	25,7	9	16,1	10	9,72	14	6,55
(3) Planalto de Cascavel	5	25,3	6	19	9	14,2	2	11,4	14	7,68
(3) Planalto do Baixo Iguaçu	2	27,8	4	20,7	6	15,4	5	9,86	9	5,24
(3) Planalto de Francisco Beltrão	2	26,5	4	19,8	6	17,1	5	9,06	9	5,57
(3) Planalto do Alto Capanema	2	34,8	4	23,2	6	7,91	17	7	18	5,99
(3) Planalto do São Francisco	2	25,4	4	16,5	6	16,1	5	14,6	9	6,74
(3) Planalto de Foz do Iguaçu	9	23	5	17,1	6	14,4	14	14,1	13	13,5
(3) Planalto do Foz do Areia	2	30,5	4	21	6	9,46	17	8,17	18	6,22
(3) Planalto de Clevelândia	2	26,3	4	18,7	6	13,3	5	6,17	9	5,38
(3) Planalto de Palmas/Guarapuava	6	19,8	9	14,9	5	12,2	14	10,8	2	10,8
(3) Planalto do Alto/Médio Piquiri	2	31,7	4	22,2	6	12,9	5	6,37	7	4,19
(3) Planalto de Apucarana	2	26,6	4	18,5	6	17,4	5	13,7	9	5,61
(3) Planalto de Londrina	2	22,7	6	19,2	5	14,5	4	13,8	9	7,83
(3) Planalto do Médio Parapanema	5	16,1	6	16,1	9	22	14	12,9	13	11,5
(3) Planalto de Maringá	5	24,4	9	21,6	6	17,4	13	9,8	14	8,96
(4) Planície Litorânea e Planícies Fluvio-Marinhas	14	38,3	13	33,8	9	7,63	4	4,38	10	4,35
(4) Planícies Fluviais	14	41,9	13	39,1	9	5,71	10	3,26	6	3,06

Obs.: (0) Serra do Mar; (1) Primeiro Planalto; (2) Segundo Planalto; (3) Terceiro Planalto; (4) Planícies.

Tabela 2 – Quantificação das cinco classes que apresentaram maior representatividade em cada compartimento definido pelo mapeamento geomorfológico do Paraná.

Essa avaliação qualitativa facilitou a análise das informações que são visualmente perceptíveis no modelo, além de indicar possibilidades de detalhamento para cada um desses compartimentos geomorfológicos.

Nas planícies, por exemplo, as classes 13 e 14, referentes às áreas com declividade inferior a 3% e curvatura horizontal planar, juntas representam em média 75% de sua área total. A classe 9, terceira com maior representatividade, expõe áreas com declividade que variam entre 3 e 5%, sendo os limites externos das planícies. Essa homogeneidade da classificação confere às planícies grande destaque pela acurácia, confiabilidade e representação.

As subunidades morfoesculturais da Serra do Mar, por sua vez, apresentaram predominância das classes que contemplam as porções mais declivosas do relevo, com destaque para as classes 17 e 18, majoritariamente, e secundariamente 2 e 4. Dentre as quatro subunidades desse grande compartimento geomorfológico, a subunidade denominada Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas é a exceção, pois as classes 17 e 18 não constam entre as cinco primeiras justamente por representar áreas de depósitos de talus e colúvios advindos das porções superiores, resultando, portanto, em declives mais suavizados.

A figura 14 ilustra as transições abruptas de declividade características da região, numa comparação entre a realidade observada *in loco*, com uma fotografia registrada em março de 2011, logo após os eventos de movimentos de massa, e o modelo visualizado em três dimensões. Verificou-se que, mesmo em perspectivas aproximadas, o mapeamento automatizado conseguiu distinguir assim como as principais feições geomorfológicas de mais detalhe em nível de vertente.

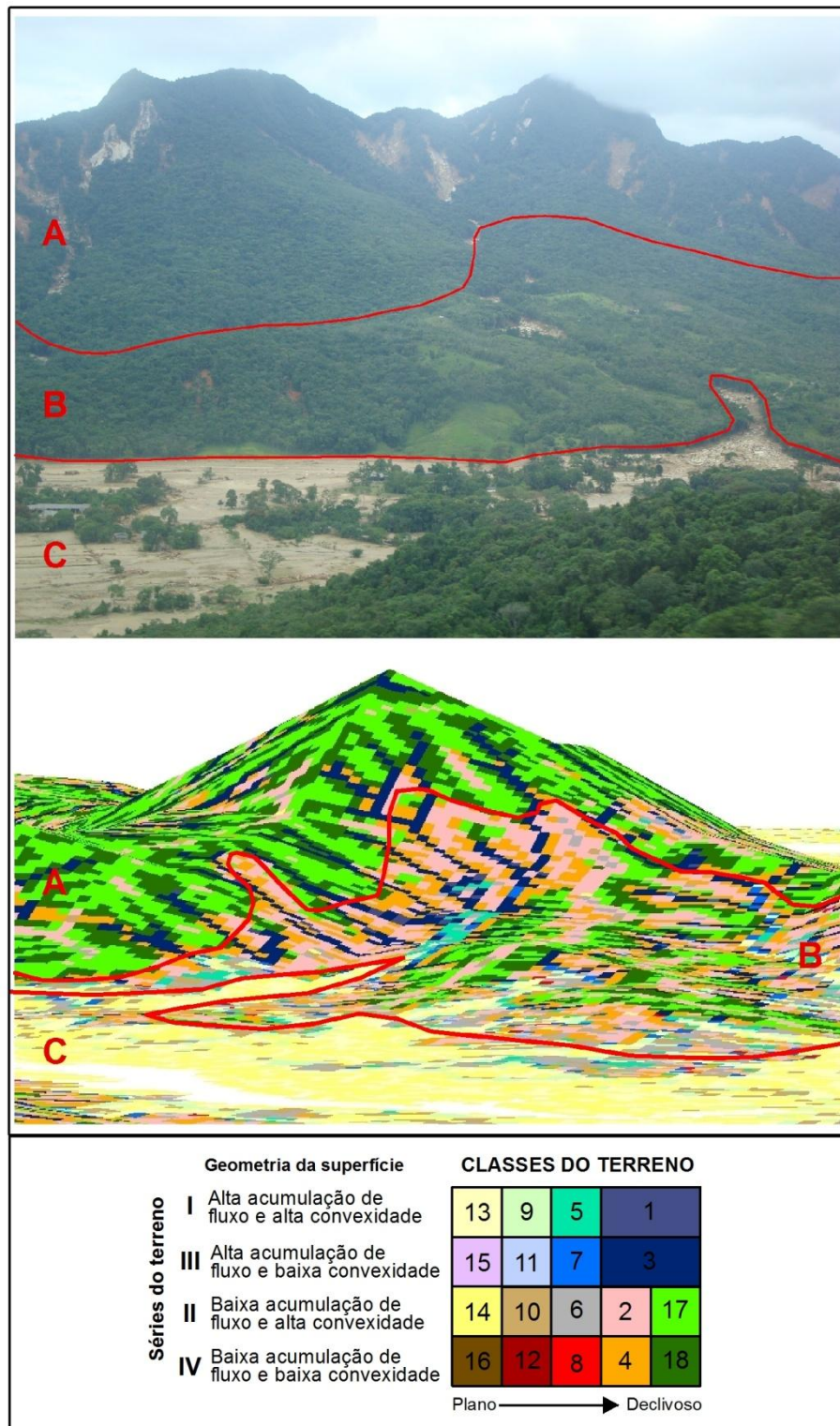


Figura 14 – Comparação aproximada entre uma fotografia e o modelo, na bacia do rio Jacaréi, Serra do Mar paranaense, com destaque para as transições abruptas de declividade.

Já os Planaltos demonstraram grande variedade de classes, cada subunidade com características peculiares e diversas feições do relevo identificadas. De maneira geral verificou-se a predominância da classe 2. A figura 15 demonstra dois exemplos pertinentes do detalhamento proporcionado

pelo modelo, tendo como base duas subunidades morfoesculturais definidas pelo Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. O compartimento A representa o Planalto de Castro e a unidade B representa os limites do Planalto dissecado de Rio Branco do Sul, ambos localizados no Primeiro Planalto.

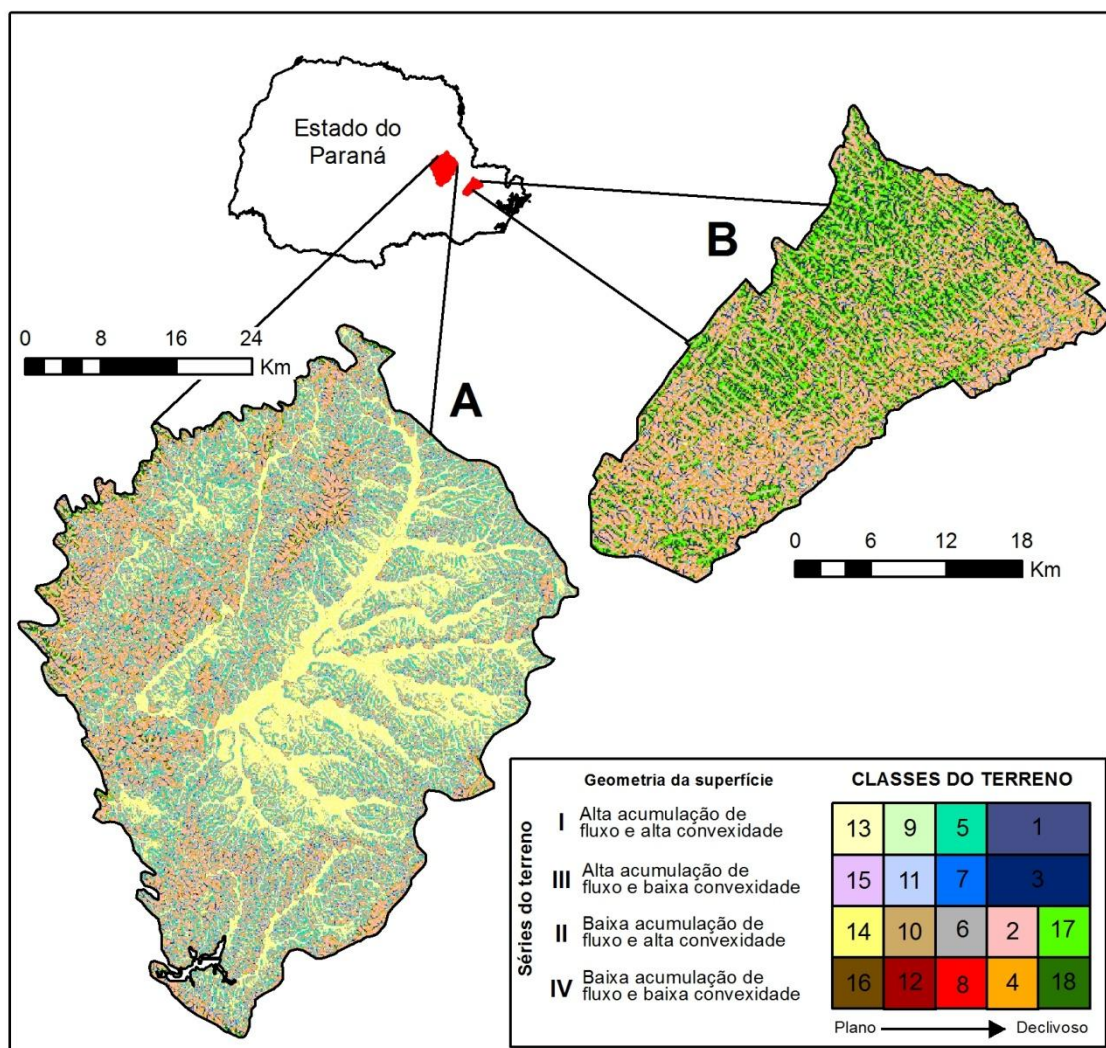


Figura 15 – Exemplos de classes do terreno com o recorte de subunidades morfoesculturais.

No Planalto de Castro (figura 15-A) observa-se que o modelo identificou uma extensa planície de origem fluvial, decorrente do rio Iapó e seus afluentes à leste, cujos limites são bem representados pelas classes 13 e 14. Nas demais áreas verifica-se que o relevo a oeste apresenta maior rugosidade, com predomínio das classes 2, 4 e 6. Ou seja, assim como em muitas outras subunidades morfoesculturais, mesmo a partir de uma análise qualitativa e generalizada é perceptível o progresso do nível taxonômico.

Já no Planalto dissecado de Rio Branco do Sul (figura 15-B) notam-se importantes feições mapeadas que indicam particularidades da região. Devido ao forte controle estrutural exercido pelo enxame de diques, predominantemente de diabásio, do Arco de Ponta Grossa, a região do Vale do Ribeira apresenta um relevo rugoso. Esse enxame de diques subparalelos e orientados para NW foram evidenciados nas classes 17 e 18. Além disso, também há um controle exercido pelos sistemas de falhas Proterozóicas (FIORI e GASPAR, 1993). Onde não há forte controle estrutural, a classe 2 prevalece.

Cabe destacar que devido à área reduzida dos fundos de vale em relação às vertentes e divisores d'água (figura 16), as classes das séries de terreno I e III, que compreendem alta acumulação de fluxo, tiveram pouca representatividade nos cálculos obtidos se comparados às demais classes. Entretanto, mesmo com essa desvantagem, as classes 9 e 13 obtiveram destaque.



Figura 16 – Proporção da área ocupada pelos fundos de vale.

Como possibilidade de refinamento das classes identificadas pelo modelo, a tabela 3 demonstra os valores médios calculados para cada uma das cinco grandes unidades morfoesculturais paranaenses. Essa análise particularizada é importante para avaliar a discrepância em relação aos valores utilizados para todo o estado, além de dar subsídio para mapeamentos de mais detalhe ou para áreas específicas do Paraná. A inclusão dos valores da metade superior para a convexidade e acumulação do fluxo, que não foram

utilizados nessa proposta, também servem como referência para futuros trabalhos.

UNIDADES	DECLIVIDADE (%)				CURVATURA				ACUMULAÇÃO DE FLUXO			
	VALORES MÉDIOS				VALORES MÉDIOS				VALORES MÉDIOS			
	Quarto inferior	Metade inferior	Geral	Metade superior	Quarto inferior	Metade inferior	Geral	Metade superior	Quarto inferior	Metade inferior	Geral	Metade superior
Serra do Mar	8,9	15,2	26,1	39,6	-0,3	-0,2	-0,01	0,2	0,6	2,1	15,7	148
Primeiro Planalto	3,8	6,7	13,6	24,7	-0,31	-0,16	-0,01	0,15	0,3	1,1	7,2	48
Segundo Planalto	3,4	5,7	10,2	17,1	-0,2	-0,11	-0,01	0,09	0,3	1,4	9,3	70,9
Terceiro Planalto	2,9	4,8	8,8	15,8	-0,18	-0,09	-0,01	0,07	0,3	1,8	11,8	98
Planície litorânea	0,8	1,4	3,4	9,9	-0,14	-0,07	-0,02	0,03	0,2	1,1	8,7	63,9
PARANÁ	3,1	5,1	9,6	28	-0,2	-0,1	-0,02	0,07	0,3	1,6	10,1	81,7

Tabela 3 – Valores médios das unidades morfoesculturais do Paraná.

Além disso, em anexo constam quatro cartas na escala 1:100.000 com recortes amostrais de diferentes padrões geomorfológicos do Paraná, evidenciando a potencialidade da classificação de distinguir formas de relevo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho constatou o potencial de aplicação dos dados SRTM90 e seus subprodutos, aliado às técnicas de SIG e geoprocessamento, aos trabalhos de mapeamento geomorfológico. A proposta se mostrou eficaz, exequível e com grande aplicabilidade, além de ser uma alternativa viável e barata para dar subsídios a trabalhos de mapeamento geomorfológico.

A tentativa de estabelecer critérios com parâmetros fixos para mapeamentos morfológicos é importante para avançar na questão da subjetividade, uma vez que a identificação e delimitação das feições geomorfológicas é tradicionalmente feita por julgamentos de ordem qualitativa.

Conforme demonstrado, o mapeamento final só não pode ser representado em escala maior devido à seguinte constatação: a proposta metodológica, pela quantidade de variáveis e possibilidades, é superior à qualidade do MDE. Ou seja, a resolução espacial do MDE não acompanha o nível de detalhamento da matriz resultante.

É válido ressaltar, também, que embora muitos autores evidenciem a necessidade dos mapas geomorfológicos incluírem informações referentes à morfometria, morfografia, morfodinâmica e morfocronologia, a proposta apresentada contempla somente as duas primeiras categorias. O acréscimo de informações temporais exige o conhecimento prévio da área ou mesmo a inserção de variáveis relacionadas, como clima e geologia.

Embora a coincidência entre as classes mapeadas pela proposta da assinatura geométrica e o controle de campo tenha atingido 81% e seja um valor satisfatório, além dos avanços discutidos na questão de taxonomia do relevo, o modelo ainda carece de melhorias. A inserção de outras variáveis, valores, combinações e/ou recortes espaciais individualizados surge como desafio para estudos posteriores.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. **Problemas do mapeamento geomorfológico no Brasil**. Geomorfologia, São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, n. 6, p. 1-16, 1969.

ABREU, A. A. **A Teoria Geomorfológica e sua Edificação**: Análise crítica. Rev. IG, São Paulo, v. 4, n. 1-2, p. 5-23, jan./dez., 1983

AMARAL, I. **Tendências da Geomorfologia**. Revista Portuguesa de Geografia, Centro de Estudos Geográficos, 2(3), pp. 17-38, il., 1967.

BERRY, J. K. **Fundamental operations in computer-assisted map analysis**. *International Journal of Geographic Information Systems*. London, v. 1. n. 2, p. 119-136, 1987.

BOESCH, H. **Morphologische Karten**. Schweizer Geograph., n. 22, p. 56 -65, 1945.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford University Press, Oxford, 194 p., 1986.

CAILLEUX, A.; TRICART, J. **Le problème de la classification des faits géomorphologiques**. Annales de Géographie. N. 3490, LXV, année, p. 162-185, 1956.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. Livro digital (2006). Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/pdf/index.php>>. Acesso em: 15 de jan. 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. Hucitec, São Paulo, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2ªed., 1980.

COLTRINARI, L. **Cartografia geomorfológica detalhada**: a representação gráfica do relevo entre 1950 - 1970. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 12, p. 121-130, 2011.

DAVIS, W. M. **The Geographical Cycle**. Geogr. Journ., London, v. 14, n. 5, p. 481-504, 1899.

DEMEK, J. **Generalization of geomorphological maps**. In: DEMEK, J. (ed.) Progress made in geomorphological mapping. Brno, IGU Commissio, 1967.

ESRI. **ArcGis, Spatial Analyst, 3D Analyst. versão 10**. Environmental Systems Research Institute, 2010.

EVANS, I. S. **General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics**. In: CHORLEY, R. J. (Ed.). Spatial analysis in geomorphology. London: Harper & Row, Publishers, 1972.

FIORI, A. P.; GASPAR, L. A. **Considerações sobre a estratigrafia do Grupo Açungui (Proterozóico Superior), Paraná**. Sul do Brasil, *Bol.JG-USP, SboC;enl.*, 24:1-19, 1993.

FLORENZANO, T. G. (Org.) **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRANKLIN, S.; PEDDLE, D. **Texture analysis of digital image data using spatial co-occurrence**. Computers & Geosciences, 13(3): 293-311p., 1987.

GERASSIMOV, I. P.; MESCHERIKOV, J. L. **Morphostructure**. In: FAIRBRIDGE, R. W. (Ed.). The encyclopedia of geomorphology. New York: Reinhold Book Corp., 1968.

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.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

HACK, J. T. **Interpretation of erosional topography in humid temperate regions**. American Journal of Science 258A, 80-97, 1960.

HAMMOND, E.H. **Analysis of properties in land form geography: an application to broad-scale landform mapping**. Ann. Assoc. Am. Geogr. 54, 11-19, 1964.

HENGL, T. **Pedometric mapping: bridging the gaps between conventional and pedometric approaches**. Wageningen University, Enschede, 2003. 233p. PhD thesis, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico em geomorfologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. **Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature**. *Geomorphology* 86(3-4): 409-440, 2007.

KING, L. C. **A geomorfologia do Brasil Oriental**. *Revista Brasileira de Geografia*, 18:147-265, 1956.

KLIMASZEWSKI, M. **Morphology of the head of the White Water valley in the Tatra Mountains**. *Ochrona Przyrody* n.19/with geomorphological map 1:50000, 1950.

KLIMASZEWSKI, M. **The problem of the geomorphological field mapping of Poland**. *Przeglad Geogr.* v. 25, p. 16-32, 1953.

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

MARQUES, J. S. **Ciência Geomorfológica**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos*. 3º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

MESCERJAKOV, J. P. **Les concepts de morphostruture et de morphosculture**: un nouvel instrument de l'analyse géomorphologique. *Annales de Géographie*, Paris, t. 77, n. 423, p. 539-552, 1968. Disponível em: <http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/issue/geo_00034010_1968_n_423>. Acesso em: 19 mar. 2012.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

MOORE, I. D.; GESSLER, G.A.; PETERSON, G.A. **Soil attribute prediction using terrain analysis**. *Soil Science Society of America Journal*, v.57, p.443-452, 1993.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2008.

OKA-FIORI, C. **Geomorfologia e Dinâmica Têmporo-Espacial da Bacia do Rio Itiquira, Pantanal Matogrossense-MT, MS**. Tese (Doutorado) UNESP. 2002.

OKA-FIORI C.; SANTOS L. J. C.; CANALI N, E.; FIORI A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA J. M. F.; ROSS J. L. S. 2006. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná**: escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000. Curitiba, MINEROPAR, 2006.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1974.

PIKE, R. J. **The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models**. Math. Geol. 20, 491–511, 1988.

PIKE, R. J. **Geomorphometry - diversity in quantitative surface analysis**. Progress in Physical Geography 24 (1), 1–20., 2000.

PIKE, R.J.; EVANS, I., HENGL, T. **Geomorphometry: A Brief Guide**. In: Geomorphometry - Concepts, Software, Applications, Hengl, T. and Hannes I. Reuter (eds.), Series Developments in Soil Science vol. 33, Elsevier, pp. 3-30, 2008.

ROSS, J. S. **Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. Rev. Geografia. São Paulo, IG-USP, 1992.

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, p. 20-32., 1996.

RUELLAN, F. **Tertúlia Geográfica realizada no Conselho Nacional de Geografia** – Boletim Geográfico, nº 27, 1945.

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.

SILVA, J. M. F. **Caracterização e mapeamento das unidades geomorfológicas da Bacia do Rio Pequeno, Antonina – PR**. Dissertação de Mestrado. UFPR, Curitiba, 2010.

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. UFPR. Curitiba, 2010.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. **Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia**. Not. Geomorfológica, Campinas, v. 16, n. 32, p. 71-104, 1976.

STRAHLER, A. N. **Dynamic basis of geomorphology**. Geological Society of America Bulletin, 63(9), 923-938, 1952.

TINKLER, K. J. **A short history of geomorphology**. Londres: Croom Helm, 1985.

TOBLER, W.R. The **development of analytical cartography — a personal note**. Cartography and Geographic Information Science 27 (3), 189–194., 2000.

TOMLIN, C. D. **A map algebra**. In Proceedings of the 1983 Harvard computer graphics conference, Cambridge, Massachusetts (vol. 2, pp. 127–150), 1983.

TOMLIN, C. D. Cartographic modeling. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. (Ed.). **Geographical information systems: principles and applications** (p.361-364). London: Longman, 1991.

TOMLIN, C. D. **Geographic information systems and cartographic modeling**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1990.

TRICART, J. **Un complement des cartes géologiques: les cartes géomorphologiques**. Bull. Soc. Géol.France, v. 6, p. 739-750, 1954.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. **Introduction a la géomorphologie climatique**. Paris: SEDES, 1965.

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.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. **Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas**. In: Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. IV, p.145-192, 2005.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Eds.). **Terrain Analysis: Principles and applications**. New York: John Wiley, p.51-85, 2000.

WOOD, J. **The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models.** PhD Thesis - University of Leicester. Disponível em: <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd>. Leicester, UK, 1996.



**MAPA
GEOMORFOLÓGICO**
ÁREA AMOSTRAL 1

Localização



Legenda:

- Hidrografia
- Limites municipais
- Rodovias

CLASSES DO TERRENO					
I	13	9	5	1	
III	15	11	7	3	
II	14	10	6	2	17
IV	16	12	8	4	18

Plano → Declivoso

Geometria da superfície	
I	Alta acumulação de fluxo e alta convexidade
III	Alta acumulação de fluxo e baixa convexidade
II	Baixa acumulação de fluxo e alta convexidade
IV	Baixa acumulação de fluxo e baixa convexidade



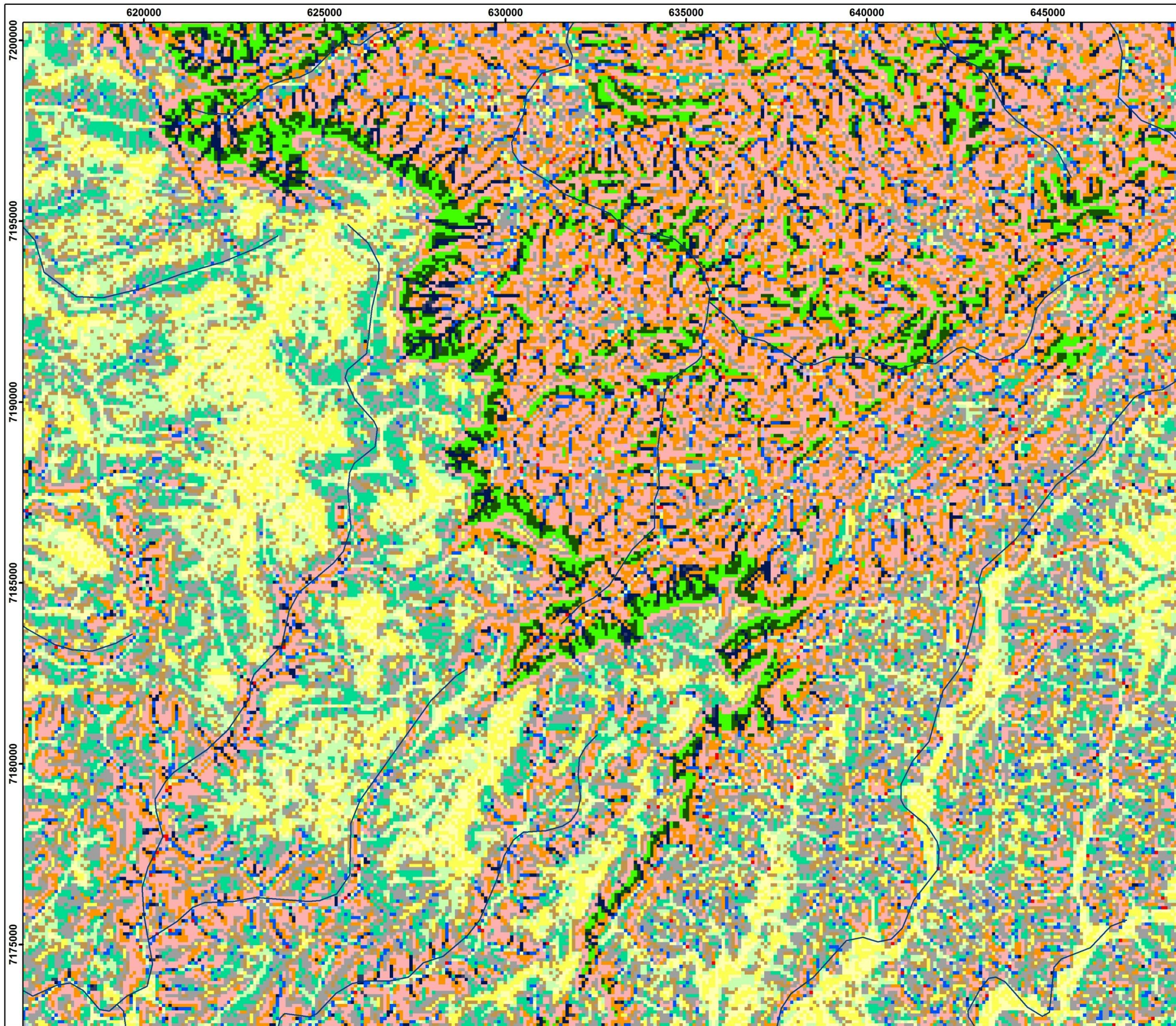
Escala: 1:100.000



Sistema de Projeção UTM
Datum SAD69 / Fuso 22S

Fonte: Modelização do relevo – Imagens SRTM;
Base cartográfica (hidrografia, limites municipais
e rodovias) – IBGE, escala 1:250.000.

Elaboração:
Ricardo M. P. Silveira (2012)



MAPA GEOMORFOLÓGICO

ÁREA AMOSTRAL 2

Localização

Legenda:

- Hidrografia
- Limites municipais
- Rodovias

CLASSES DO TERRENO				
I	13	9	5	1
III	15	11	7	3
II	14	10	6	2
IV	16	12	8	4

Plano → Declivoso

Geometria da superfície

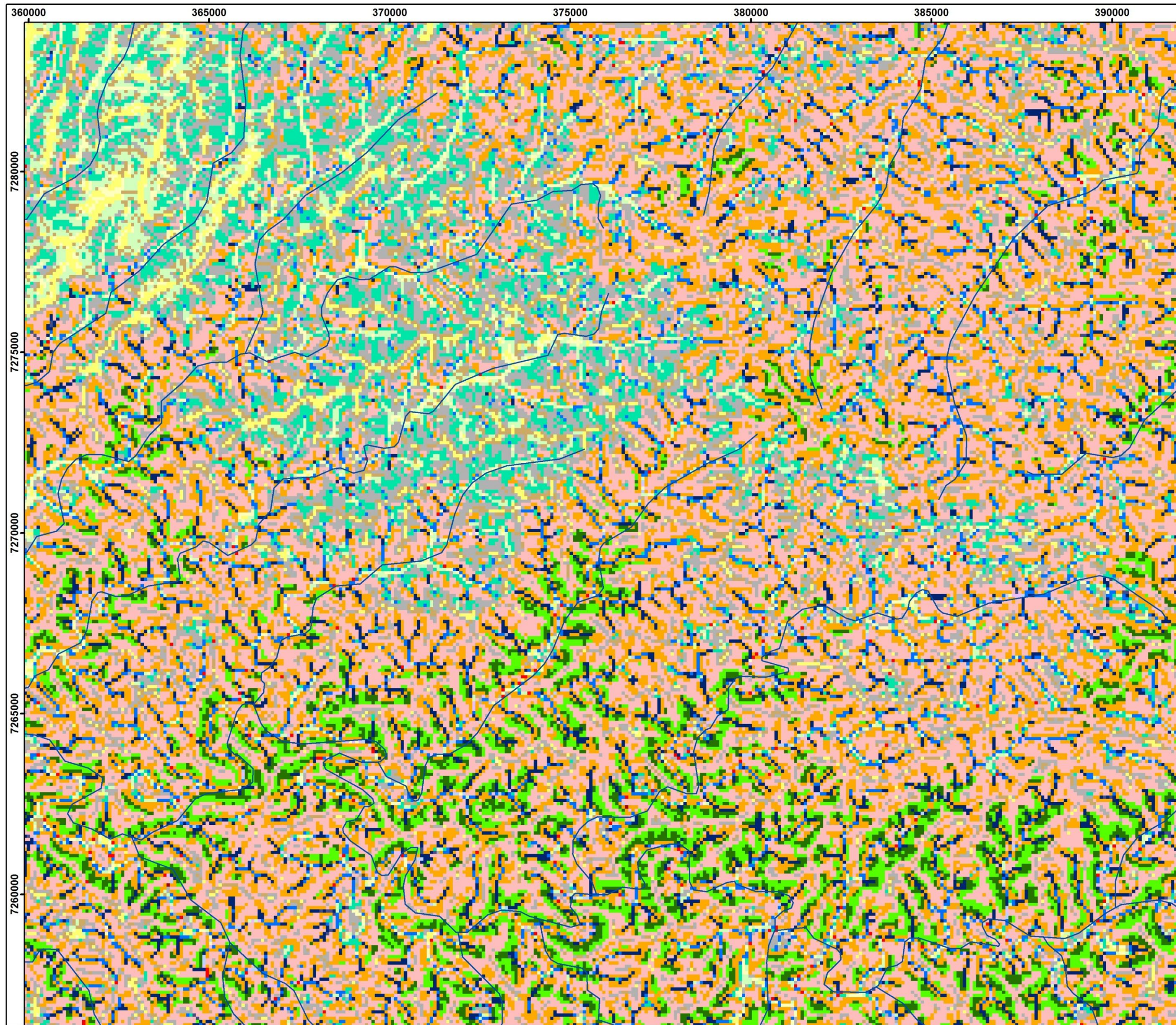
Séries do terreno	I	Alta acumulação de fluxo e alta convexidade
	III	Alta acumulação de fluxo e baixa convexidade
	II	Baixa acumulação de fluxo e alta convexidade
	IV	Baixa acumulação de fluxo e baixa convexidade

Escala: 1:100.000

Sistema de Projeção UTM
Datum SAD69 / Fuso 22S

Fonte: Modelização do relevo – Imagens SRTM;
Base cartográfica (hidrografia, limites municipais e rodovias) – IBGE, escala 1:250.000.

Elaboração:
Ricardo M. P. Silveira (2012)



MAPA GEOMORFOLÓGICO

ÁREA AMOSTRAL 3

Localização

Estado do Paraná

Roncador
PR-239
Rio Dourado
Rio Mato Rico
Mato Rico
Rio Juquim
Guarapuava

Legenda:

- Hidrografia
- Limites municipais
- Rodovias

CLASSES DO TERRENO					
I	13	9	5	1	
III	15	11	7	3	
II	14	10	6	2	17
IV	16	12	8	4	18

Plano → Declivoso

Geometria da superfície

Séries do terreno	Alta acumulação de fluxo e alta convexidade	Alta acumulação de fluxo e baixa convexidade	Baixa acumulação de fluxo e alta convexidade	Baixa acumulação de fluxo e baixa convexidade
I				
III				
II				
IV				

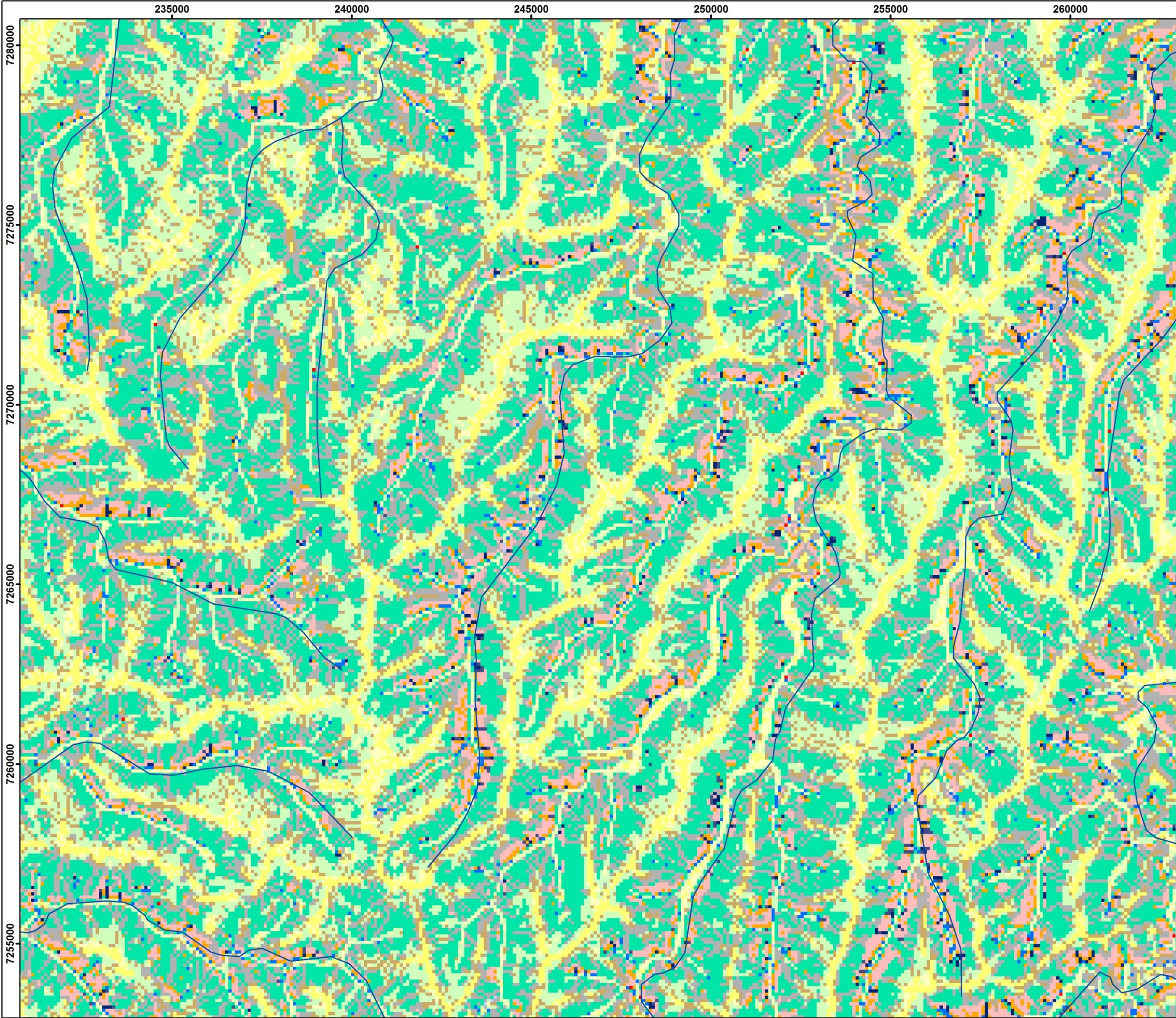
0 1 2 3 4 Km

Escala: 1:100.000

Sistema de Projeção UTM
Datum SAD69 / Fuso 22S

Fonte: Modelização do relevo – Imagens SRTM;
Base cartográfica (hidrografia, limites municipais
e rodovias) – IBGE, escala 1:250.000.

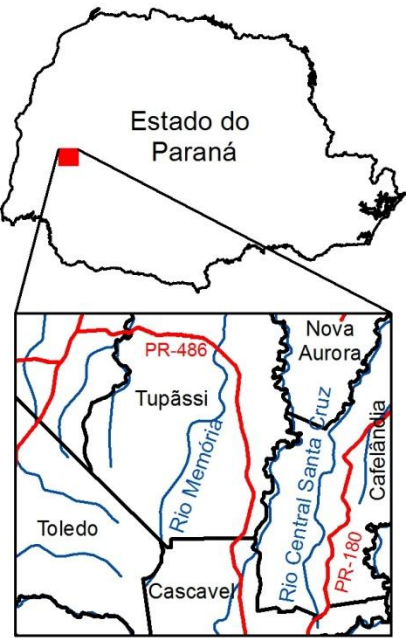
Elaboração:
Ricardo M. P. Silveira (2012)



MAPA GEOMORFOLÓGICO

ÁREA AMOSTRAL 4

Localização



Legenda:

- Hidrografia
- Limites municipais
- Rodovias

CLASSES DO TERRENO					
I	13	9	5	1	
III	15	11	7	3	
II	14	10	6	2	17
IV	16	12	8	4	18

Plano → Declivoso

Séries do terreno

I Alta acumulação de fluxo e alta convexidade

III Alta acumulação de fluxo e baixa convexidade

II Baixa acumulação de fluxo e alta convexidade

IV Baixa acumulação de fluxo e baixa convexidade



Escala: 1:100.000



Sistema de Projeção UTM
Datum SAD69 / Fuso 22S

Fonte: Modelização do relevo – Imagens SRTM;
Base cartográfica (hidrografia, limites municipais
e rodovias) – IBGE, escala 1:250.000.

Elaboração:
Ricardo M. P. Silveira (2012)