



Universidade de Brasília

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS

GERVÁSIO BARBOSA SOARES NETO

**MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO SEMIAUTOMÁTICO
DAS UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO EM
REGIÕES TROPICAIS**

Tese de Doutorado

Nº 23

BRASÍLIA -DF

2015



Universidade de Brasília

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS

GERVÁSIO BARBOSA SOARES NETO

**MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO SEMIAUTOMÁTICO
DAS UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO EM
REGIÕES TROPICAIS**

Tese de Doutorado

Tese apresentada à Universidade de Brasília, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, para a obtenção do título de Doutor.

Área de concentração: *Geoprocessamento e Análise Ambiental*

Orientador: Prof. Dr. Éder de Souza Martins

BRASÍLIA - DF

2015

MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO SEMIAUTOMÁTICO DAS UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO EM REGIÕES TROPICAIS

GERVÁSIO BARBOSA SOARES NETO

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Éder de Souza Martins - Orientador
(EMPRAPA/IG-UnB)

Prof. Dr. Rogério Elias Soares Uagoda – Examinador Externo
(GEA-UnB)

Prof. Dr. Valdir Adilson Steinke – Examinador Externo
(GEA-UnB)

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig – Examinador Interno
(IG-UnB)

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista – Examinador Interno
(IG-UnB)

BRASÍLIA

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Soares Neto, Gervásio B.

Método de classificação semiautomático das unidades básicas de relevo em regiões tropicais / Gervásio Barbosa Soares Neto; orientação de Éder de Souza Martins. Brasília, 2015.

103p.

Tese de Doutorado (D) – Universidade de Brasília / Instituto de Geociências, 2015.

1. Cartografia digital; 2. Fatores da Paisagem; 3. Verdade geográfica; 4. Curvas de regressão; 5. Unidade de mapeamento.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gervásio Barbosa Soares Neto

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Método de classificação semiautomático das unidades básicas de relevo em regiões tropicais

GRAU: Doutor

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Esse direito poderá ocorrer somente após a publicação dos artigos contidos no documento. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Gervásio Barbosa Soares Neto
gervasio.neto@etfbsb.edu.br

“à minha esposa Fabíola, por todo o seu amor, carinho e suavidade e à minha eterna SAUDADE.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Grande Arquiteto do Universo por todas as oportunidades que Ele tem concedido a minha vida. A realização desse trabalho não poderia ter sido concluída sem a participação de inúmeras pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para a conclusão do mesmo.

Agradeço ao meu mestre, amigo e orientador *Prof. Dr. Éder de Souza Martins* pela grande amizade e confiança desenvolvida nesse período e por toda a orientação prestada. A conclusão de todas as etapas do trabalho não poderiam ter sido tão bem sucedidas sem a tutela do mesmo. A ele os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço também aos mestres, professores e grandes amigos *Henrique Llacer Roig, Paulo Roberto Meneses e Tati de Almeida*, pelos ensinamentos e oportunidades dentro do Instituto de Geociências. A toda equipe do laboratório de Sensoriamento Remoto do Instituto de Geociências, em especial ao *Serjão* (grande amigo). A equipe da secretaria do IG.

Aos meus amigos de pós-graduação pela convivência e aprendizado juntos nessa jornada, em especial: *Cesar Pavão (Jaaames)*, **Paulo Henrique (PH)**, *Adriana Panhol* (e *Marcelo* seu marido).

Aos meus fraternais amigos que são parte integrante do todas as minhas conquistas: **Karla, Adriana, Thiago, Custódio, Victor** (Lobinho), **Diego, PH, , Bellinati, Simone, Welson, Luiz Cícero** (Lulinha) e **Miola**.

Aos meus familiares pela compreensão e paciência em especial : ao meu grande primo *Charles (Jeová)*, pelo carinho e nas fundamentais ajudas nos softwares de matemática, ao **Tio Abdias, Tia Lourdes**, a **Roseta**, a **Tia Dijé**, aos meus queridos cunhados Fabrício, Clarisa, Flávio e Maiara, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram nessa jornada.

Obrigado ao CNPq pelo auxílio e fomento da pesquisa.

Finalmente agradeço à *Fabiola*, minha amada e linda esposa, aos meus amados pais, *Laudicéia* e *Osmar*. Em especial os meus queridos e amados irmãos *Protásio, Ricardo* e *Lara*.

E se...

RESUMO

SOARES NETO, G.B. **Método de classificação semiautomático das unidades básicas de relevo em regiões tropicais**. 2015. 103f. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) – Instituto de Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

O mapa é uma das formas mais antigas de expressão cultural, acompanhando o processo evolutivo do ser humano. Ultimamente, os mapas digitais de representação da superfície terrestre tomaram o lugar dos formatos físicos. A representação digital do relevo permite o desenvolvimento de modelos de classificação a partir de dados morfométricos. Neste contexto, o objetivo geral dessa Tese é o desenvolvimento de um método de mapeamento de unidades básicas de relevo (UBR) a partir de métricas hipsométricas e clinográficas. A metodologia desenvolvida baseia-se na integração booleana de classes de amplitude altimétrica e de declividade de um modelo digital de elevação. A escolha desses dois parâmetros morfométricos relaciona-se com a primeira percepção da superfície terrestre, que define padrões altimétricos e de inclinação da paisagem. Os intervalos hipsométricos e de declividade são definidos a partir das curvas que relacionam as amplitudes altimétricas e as variações de declividade com a frequência em área de ocorrência dessas variáveis. Os pontos de inflexão e de máxima hipsométricas (H_{if} e H_{max}) e inflexão clinográfica (C_{if} e C_{max}) destas curvas determinam os limites dos intervalos. Os resultados obtidos mostram que as bacias testadas em diferentes regiões do Brasil com diferentes padrões de relevo apresentam UBR que se relacionam com características estruturais da paisagem. A escala do mapa de UBR depende da ordem da bacia e da resolução do dado de entrada. Os estudos mostraram que a escala de 1:100.000 foi obtida com o nível 5 de otobacia para os dados SRTM-90. O estudo de caso mostrou a coerência das UBR na bacia do São Bartolomeu, no Planalto Central, com o mapa geomorfológico da Empresa Brasileira de Agropecuária (Embrapa) disponível nessa escala. O nível 4 de otobacia testado para a Depressão Periférica e o Mar de Morros do estado de São Paulo, além da Planície do Pantanal Matogrossense, mostraram coerência com os mapas geomorfológicos na escala 1:500.000 do Programa Geodiversidade do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). O método proposto de delimitação das UBR, além de simples e replicável, aumenta a capacidade de realizar mapeamentos em larga escala e de forma mais rápida. A obtenção do mapa de UBR para a bacia do São Bartolomeu necessitou apenas duas horas de trabalho, enquanto que o método da interpretação da composição colorida do relevo utilizado no mapa da Embrapa obrigou um trabalho de centenas de horas do analista, sempre com a desvantagem da subjetividade. Dessa forma, o método proposto tem o potencial de ser utilizado amplamente em regiões tropicais como uma das etapas de mapeamentos geomorfológicos sistemáticos.

Palavras-chave: cartografia digital; fatores da paisagem; verdade geográfica; curvas de regressão; unidade de mapeamento

ABSTRACT

SOARES NETO, G.B. **Semi-automatic method of landform main units classification in tropical regions**. 2015. 103f. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) – Instituto de Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

The map is one of the oldest forms of cultural expression, following the human evolutionary process. Recently, digital map representation of the earth's surface have replaced the physical formats. The landform digital representation allows the development of classification models from morphometric data. In this context, the general objective of this thesis is the development of a mapping method of landform main units (LMU) from hypsometric and clinographic metrics. The methodology is based on Boolean integration altimetry and slope range classes of a digital elevation model. The choice of these two morphometric parameters is related to our first perception of the earth's surface defining altimetry patterns and landscape slope. The hypsometric and slope intervals are defined from the curves that relate the altimetric amplitude and slope variations with the frequency area of these variables occurrence. The turning points and maximum hypsometric (H_{if} and H_{max}) and clinographic inflection (C_{if} and C_{max}) of these curves determine the limits of the range classes. The results show that the basins tested in different regions of Brazil with different relief patterns have LMU that relate to structural features of the landscape. The scale of LMU map depends on the basin order and the resolution of the input data. Studies have shown that the scale of 1:100,000 was obtained with 5 level ottobasin for SRTM-90 data. The case study showed the consistency of LMU in the São Bartolomeu basin in the Central Plateau, with the geomorphological map of Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa) available on this scale. The 4 level ottobasin tested for Peripheral Depression, the Sea Hills of São Paulo and the Mato Grosso Pantanal Plain, were consistent with the geomorphological maps at 1:500,000 from the Geodiversity Program of Brazilian Geological Survey (CPRM). The proposed method of LMU delimitation as well as simple and replicable increases the ability to perform faster and large-scale geomorphological mapping. The LMU map of the São Bartolomeu basin needed only two hours work, while the method of color composite landform interpretation used in the map of Embrapa required hundreds hours work, always with of the subjectivity disadvantage. Thus, the proposed method has the potential to be used widely in tropical regions as one-step of systematic geomorphological mappings.

Keywords: digital cartography; landscape factors; geographical truth; regression curves; mapping unit

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -Mapa geomorfológico do Brasil usando o critério de classificação do relevo proposto por Azevedo. Fonte: Azevedo, 1949.....	29
Figura 2.2 - Mapa geomorfológico do Brasil usando o critério de classificação do relevo proposto por Ab'Sáber. Fonte: Ab'Sáber, 1964.....	30
Figura 2.3 – Processo de cartografia temática a partir de unidades homólogas definidas pela interpretação de padrões da imagem de radar. Fonte: Relatório RADAMBRASIL, 1982.....	31
Figura 2.4 – Estrutura da Geomorfologia adotada pelo RADAMBRASIL. Fonte: IBGE, 2009.....	33
Figura 2.5 – Unidades de classificação do relevo, segundo taxonomia proposta por Ross (1992).....	35
Figura 2.1 - Mapa Geomorfológico do Brasil segundo a proposta metodológica de Ross. Fonte Ross, 1997.....	37
Figura 2.2 - Mapa de Unidades de Relevo do Brasil. Fonte: IBGE, 2009.....	38
Figura 2.8 – Formas do relevo do Estado de São Paulo. Fonte: CPRM, 2010.....	40
Figura 2.9 – Bacia do São Bartolomeu (DF e GO) - Composição colorida do relevo formada pela integração dos canais RGB, respectivamente a altitude (vermelho), a declividade (verde), declividade) com a curvatura mínima (A) e com aspecto (B) no azul. Fonte: Sena-Souza et al. (2013).....	41
Figura 2.10 – Definição das unidades geomorfológicas a partir da composição colorida do relevo.....	42
Figura 2.11 – Exemplo de aplicação do ICR Global segundo Sampaio e Augustin (2014).....	42
Figura 3.1 - Representação de uma bacia hidrográfica na extração das razões de altitude e área.....	51
Figura 3.2 – Gráfica da correlação topográfica e delimitação dos intervalos de amplitude pela inflexão hipsométrica e pela máxima hipsométrica.....	52

Figura 3.3 – Gráfica de frequência da declividade e delimitação dos intervalos pela inflexão clinográfica e pela máxima clinográfica.....	53
Figura 3.4 – Representação da soma dos dados matriciais para determinação das unidades de relevo.....	55
Figura 3.5 – Etapas para obtenção das unidades básicas de relevo e definição da representação geomorfológica.....	56
Figura 3.6 – Mapa de localização e unidades federativas com bacias hidrográficas de abrangência da área de aplicação.....	57
Figura 3.7 – Correlação entre amplitude altimétrica (A) e declividade (B) determinando as classes das unidades básicas de relevo (C).....	58
Figura 3.8 – Comparação entre dois modelos geomorfológicos de métodos de obtenção distintos.....	60
Figura 3.9 – Comparação entre dois modelos geomorfológicos de métodos de obtenção distintos e ampliação para observação de suas singularidades.....	62
Figura 4.1 – Mapa de localização das áreas testes.....	66
Figura 4.2 – Correlação entre amplitude altimétrica (A) e declividade (B) determinando as classes das unidades básicas de relevo (C).....	68
Figura 4.3 – Comparação entre dois modelos geomorfológicos de métodos de obtenção distintos e ampliação para observação de suas singularidades.....	70
Figura 4.4 – Correlação entre amplitude altimétrica (A) e declividade (B) determinando as classes das unidades básicas de relevo (C).....	73
Figura 4.5 – Comparação entre dois modelos geomorfológicos de métodos de obtenção distintos e ampliação para observação de suas singularidades.....	74
Figura A1 – Fluxo para delimitação de bacias hidrográficas e o nível de subdivisão determinado pela base de dado de entrada.....	87
Figura B1 – Perfil topográfico hipotético.....	89
Figura B2 – Modelo tridimensional de uma bacia hidrográfica representada por sua amplitude altimétrica.....	90
Figura C1 - Representação matemática da declividade.....	91

Figura C2 - Representação de dado <i>raster</i> com identificação por célula.....	92
Figura D1 – Comparação no nível de delimitação das classes de amplitude altimétrica.....	93
Figura E1 – Grau de detalhamento da bacia definido pelo nível de representação das ottobacias.....	94
Figura E2 – Grau de delineamento das UBR definido pelo nível de ottobacia.....	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Ordem taxonômica adotada pelo RADAMBRASIL.....	32
Quadro 2.2 – Ordem taxonômica adotada pelo IPT.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores hipotéticos determinados para a amplitude e declividade quando correlacionados possibilitam a representação das unidades básicas de relevo.....	54
Tabela 3.2 – Tabela de similaridade entre modelos geomorfológicos de métodos de obtenção distintos.....	61

LISTA DE SIGLAS

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

UGI – União Geográfica Internacional

GPS – Sistema de Posicionamento Global

MDE – Modelos Digitais de Elevação

LIDAR – *Light Detection And Ranging*

RADAM – Radar na Amazônia

MIR – Mapa Índice de Referência

IBGE – Brasileiro de Geografia e Estatística

GEMS – *Goodyear Mapping System*

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

CSIRO – *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

ICR – Índice de Concentração de Rugosidade

MGD – Mapeamento geomorfológico digital

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

Hi – Integral Hipsométrica

Tc – Correlação Topográfica

Hif – Inflexão hipsométrica

Hmax – Máxima Hipsométrica

Cif – Inflexão Clinográfica

Cmax – Máxima Clinográfica

UBR – Unidade Básica de Relevo

ANA – Agência Nacional de Águas

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	17
<i>CAPÍTULO 1- APRESENTAÇÃO GERAL</i>	18
1.1. INTRODUÇÃO	18
1.2. PERGUNTAS CHAVE	20
1.3. HIPÓTESE	20
1.4. JUSTIFICATIVA	20
1.5. OBJETIVOS	20
1.5.1. Objetivo Geral	20
1.5.2. Objetivos Específicos.....	21
<i>CAPÍTULO 2 – TEORIAS E PARADIGMAS DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA</i>	22
2.1. INTRODUÇÃO	22
2.2. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA MUNDIAL	23
2.3. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA BRASILEIRA	28
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
<i>CAPÍTULO 3 – MÉTODO SEMIAUTOMÁTICO DE DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU (DF/GO)</i>	45
3.1. INTRODUÇÃO	45
3.2. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO	46
3.2.1. Determinação da escala de representação e unidade básica de análise.....	46

3.2.2. Dados Geomorfométricos.....	49
3.3. DETERMINAÇÃO DOS INTERVALOS (AMPLITUDE E DECLIVIDADE) E DEFINIÇÃO DAS UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO: PROCESSO DE OBTENÇÃO, EXEMPLOS E APLICAÇÕES.....	50
3.3.1. Determinação dos intervalos de amplitude.....	50
3.3.2. Determinação dos intervalos de declividade.....	53
3.3.3 Unidades Básicas de Relevo (UBR).....	54
3.3.4 Exemplos e Aplicações.....	56
3.4. CONCLUSÕES.....	63
<i>CAPÍTULO 4 – TESTES DO METODO SEMIAUTOMÁTICO DE DELIMITAÇÃO DE UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO EM REGIÕES TROPICAIS EM ÁREAS DE FEIÇÕES DISTINTAS.....</i>	<i>65</i>
4.1. INTRODUÇÃO.....	65
4.2. ÁREAS- TESTE.....	66
4.2.1. Bacia do Rio Negro (B1).....	67
4.2.2. Bacia do Alto-médio Tietê (B2).....	71
4.3. CONCLUSÃO.....	75
<i>CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</i>	<i>77</i>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
<i>APÊNDICE – A (Escala de representação e proposta de delimitação de bacias hidrográficas).....</i>	<i>84</i>
<i>APÊNDICE – B (Amplitude altimétrica).....</i>	<i>89</i>
<i>APÊNDICE – C (Declividade).....</i>	<i>91</i>

<i>APÊNDICE –D (Derivadas da curva de regressão)</i>	93
APÊNDICE – E (Relação do nível de delimitação das a subdivisão das bacias hidrográficas)	94
APÊNDICE – F (Tutorial do Método)	96

APRESENTAÇÃO

A presente tese de doutorado, realizada no âmbito do Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geociências Aplicadas na área de concentração em Geoprocessamento e Análise Ambiental, segue o estilo de tese em formato de artigos científicos e foi organizada na seguinte forma: 1) Introdução – consta uma descrição geral do tema tratado na tese, a problematização, apresentada em forma de questões científicas, bem como a hipótese e os objetivos; 2) Desenvolvimento da tese – estrutura em três artigos, resultados da pesquisa, os quais buscam responder as perguntas que norteiam essa tese; 3) Considerações Gerais – são integrados os resultados obtidos no desenvolvimento da tese; 4) Apêndice – consta princípios teóricos e testes com a rotina metodológica proposta.

A revisão de literatura, os procedimentos metodológicos, resultados e as discussões constam nos artigos, elaborados de forma integrada e sequencial.

O primeiro artigo – **TEORIAS E PARADIGMAS DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA** – foi elaborado buscando uma revisão de literatura dos princípios e dos atuais métodos e rotinas metodológicas, no mundo e no Brasil, da representação geomorfológica, possibilitando responder as causas que dificultam parametrização da representação geomorfológica.

O segundo artigo – **SEMI AUTOMAÇÃO NA DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO** – desenvolvido objetivando apresentar e fundamentar um método que possa nortear os princípios da parametrização da representação geomorfológica, bem como apresentar parâmetros geomorfométricos que servem de parâmetros para delimitar unidades geomorfológicas similares.

O terceiro artigo – **TESTES DO METODO SEMI AUTOMÁTICO DE DELIMITAÇÃO DE UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO EM REGIÕES TROPICAIS EM ÁREAS DE FEIÇÕES DISTINTAS** – baseado em testes de áreas de feições distintas sobre o território brasileiro, com o intuito de fundamentar a eficácia do método desenvolvido para delimitação de unidades básicas de relevo.

CAPÍTULO 1- APRESENTAÇÃO GERAL

1.1. INTRODUÇÃO

O mapa é uma das formas mais antigas de expressão cultural, acompanhando o processo evolutivo do ser humano desde as suas manifestações mais rudimentares (Gomes, 2004; Harley, 2009). Embora não dominassem a escrita, muitos povos primitivos desenvolveram habilidades para traçar mapas ou cartas para se orientar. A partir da evolução da navegação e os consequentes descobrimentos nos séculos XV e XVI, a cartografia evoluiu paulatinamente até a primeira metade do século XX. Desde então, comandada pelo progresso científico e tecnológico, teve um desenvolvimento considerável; primeiro com a progressiva substituição de operações manuais por mecânicas e depois pelo uso de equipamentos eletrônicos. Nas duas últimas décadas, observou-se uma substituição cada vez maior dos métodos convencionais de mapeamento, no qual o produto final - mapas ou cartas em papel - deram lugar aos diversos formatos digitais de representação da superfície terrestre (Robinson *et al.*, 1995).

Florenzano (2008), aponta que a cartografia é utilizada em Geomorfologia como meio de representação gráfica e espacial dos objetos e fenômenos estudados. O mapa, com respectiva legenda, expressa o resultado da análise e interpretação geomorfológica.

Mesmo com o advento e a utilização de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permitem a visualização de camadas de agrupamento, e a representação em tridimensional dos acidentes geográficos (Smith e Clark, 2005), a densidade gráfica dos mapas geomorfológicos não melhorou e isso pode representar uma barreira para usuários que não são treinados como geomorfólogos. Isso representa um grande desafio para a divulgação e ampliação da comunidade de usuários (Smith *et al.*, 2011).

Mapas geomorfológicos partilham muitas semelhanças com mapas geológicos e pedológicos. No entanto, a importância econômica da geomorfologia raramente tem sido explorada por usuários governamentais e comerciais, em comparação com o desenvolvimento de geologia e pedologia (AGI, 2004).

O processo de padronização dos critérios de mapeamento não foi totalmente desenvolvido pela geomorfologia, embora tenham sido feitos esforços (Demek, 1972, Gustavsson *et al.*, 2006).

Ross (1990) relata que o mais problemático é a questão relativa à padronização ou uniformização da representação cartográfica, pois ao contrário de outros tipos de mapas temáticos, não se conseguiu chegar a um modelo de representação que satisfizesse os diferentes interesses dos estudos geomorfológicos.

Para Smith *et al.* (2011) a juventude da disciplina de Geomorfologia explicaria a dificuldade em determinar um padrão mundial na classificação da morfologia terrestre. Já Florenzano (2008) aponta que a complexidade e variedade dos objetos estudados pela Geomorfologia são causa de uma falta de padronização em sua representação cartográfica.

Barsch e Mausbacher (1979) afirmam que é muito comum que um usuário em potencial tenha dificuldades para apreciar as informações fornecidas por um mapa geomorfológico, porque ele não é capaz de encontrar o seu caminho através da multiplicidade dos horizontes diferentes de dados apresentados. Já Griffiths e Abraão (2008) afirmam que um mapa geomorfológico criado por geomorfólogos acadêmicos, para fins de aplicação, pode ser um documento complexo, que exige interpretação e simplificação se for para atender aos requisitos dos usuários finais. Assim é evidente que a complexidade e o nível de detalhamento das cartas geomorfológicas estão associadas ao seu objetivo e acesso a base dados para sua elaboração.

Faz-se necessário o reconhecimento e entendimentos dos fatores determinantes que dificultam a padronização da cartografia geomorfológica. Nesse contexto, mostram-se fundamentais o desenvolvimento de procedimentos que facilitem o processo de padronização e automação da representação da geomorfologia no âmbito cartográfico e o desenvolvimento de um roteiro metodológico padrão que atenda os diversos tipos de usuários.

1.2. PERGUNTAS CHAVE

- Os métodos utilizados para classificação do relevo e para elaboração de uma cartografia geomorfológica permitem uma padronização em sua classificação e elaboração?
- É possível a identificação e interpretação das diversas formas do modelado terrestre nos mapas geomorfológicos atuais?
- Quais as limitações para padronizar a cartografia geomorfológica?
- O uso de dados geomorfométricos como parâmetro para classificação do modelado terrestre possibilitaria a padronização da classificação do relevo?
- Partindo da geomorfometria do terreno seria possível a representação de outros elementos geomorfológicos como morfogênese, morfocronologia e morfodinâmica?

1.3. HIPÓTESE

A classificação do relevo e a automação de sua cartografia podem ser feitas a partir de dados geomorfométricos que possibilitam a determinação da unidade base de classificação do modelado terrestre para posterior inserção de outros parâmetros geomorfológicos (morfocronologia, morfogênese e morfodinâmica).

1.4. JUSTIFICATIVA

O uso de dados geomorfométricos como base para determinação da unidade básica de classificação e representação do relevo conduz a uma quebra de um paradigma, em que a representação do modelado terrestre precede as interpretações morfogenéticas. Essa mudança possibilita uma classificação e representação mais empirista do relevo, permitindo a automação e, por consequência, a sua padronização em sua representação cartográfica.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo Geral

Desenvolver um método semiautomático de mapeamento de unidades básicas de relevo a partir de métricas hipsométricas e clinográficas.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar os métodos de classificação e representação geomorfológica no Mundo e no Brasil;
- Definir os parâmetros geomorfométricos a serem usados para classificação das unidades básicas de relevo;
- Desenvolver procedimento semiautomático para elaborar mapas geomorfológicos em regiões tropicais.

CAPÍTULO 2 – TEORIAS E PARADIGMAS DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA

2.1. INTRODUÇÃO

A cartografia geomorfológica se faz fundamental nos estudos geomorfológicos, pois representa a materialização da análise e a melhor interpretação do modelado terrestre. Cabe ressaltar que os mapas geomorfológicos não podem ser entendidos como resultados finais de um estudo, mas como material para embasamento teórico dos diversos tipos de análise e pesquisa. Segundo Tricart (1965) 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.

Para Klimaszewski (1982), a primeira ideia de cartografia geomorfológica foi fundamentada por Passarge em 1914, estruturado na forma de um Atlas Geomorfológico. Já os mapas geomorfológicos nos moldes atuais tiveram início na Polônia, onde eles têm sido utilizados, desde a década de 1950, como suporte ao planejamento econômico (Florenzano, 2008). Gustavsson (2006) relata que outros países atribuem para os mapas geomorfológicos, além do estudo teórico da paisagem, subsídios ao zoneamento agrícola, ecológico e econômico, como no suporte ao planejamento agrícola, urbano e regional, e na elaboração de obras de engenharia.

Mesmo com a importância da cartografia geomorfológica tanto para o melhor conhecimento do modelado terrestre como para embasar outras áreas do conhecimento, não existe um método unificado internacional de mapeamento geomorfológico. Para Smith *et al.* (2011) a juventude da disciplina de Geomorfologia explicaria a dificuldade em determinar um padrão mundial na classificação da morfologia terrestre. Já Florenzano (2008) aponta que a complexidade e variedade dos objetos estudados pela Geomorfologia são causa de uma falta de padronização em sua representação cartográfica.

A compreensão da dificuldade de padronização no processo de cartografar a geomorfologia passa pelo entendimento do histórico da construção da cartografia geomorfológica e sua base conceitual. Essa compreensão epistemológica permite definir quais padrões metodológicos foram seguidos como referência e que tais procedimentos,

possivelmente, levaram a dificuldade de padronização da cartografia geomorfológica. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo identificar quais elementos nos métodos de representação geomorfológicas dificultaram - e dificultam - a sua padronização e representação e apontar uma linha epistemológica a ser seguida, facilitando assim a resolução de tais óbices.

2.2. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA MUNDIAL

Do século XIX até início do século XX a representação cartográfica da geomorfologia foi dominada pela abordagem presente da época, ou seja, uma visão fisiográfica estática e descritiva do relevo. A paisagem era descrita por relatórios acompanhados de blocos diagramas para ilustrar as perspectivas do pesquisador. Embora estes diagramas muitas vezes fossem excelentes ilustrações da geomorfologia, tendiam a ser uma idealização qualitativa de seus autores (Hayden, 1986).

A 2ª Guerra Mundial representa uma divisão fundamental tanto na teoria como na técnica da cartografia geomorfológica. Avanços foram feitos no uso e na interpretação de fotografias aéreas, permitindo uma melhor descrição e análise do modelado terrestre. Com uso e disseminação dessa nova técnica, geomorfólogos, principalmente da Europa, passaram a ter uma perspectiva de análise regional do relevo, levando em consideração vários aspectos e características da paisagem.

A busca pela representação, interpretação e interação entre os vários aspectos paisagísticos (gênese das formas do relevo, vegetação, hidrologia, etc) acarretou em um novo paradigma na geomorfologia em que as descrições qualitativas com abordagens fisiográficas acreditava-se não mais responder à complexidade inerente ao relevo terrestre. Nas Décadas de 1950 e 1960 a geomorfologia tornou-se, segundo Fairbridge (1968), a fisiografia analítica da superfície terrestre. Assim a representação da geomorfologia analítica moderna passou a se desenvolver em torno de cinco conceitos fundamentais da paisagem: *Morfografia* – descrição qualitativa do relevo em uma perspectiva descritiva; *Morfometria* – caracterização do relevo levando em consideração variáveis quantitativas (altitude, declividade, amplitude, direção, curvatura, densidade etc.); *Morfogênese* – remissão à origem e aos agentes de formação do relevo identificando os processos de formação (endógenos e exógenos);

Morfocronologia – representação cronológica do relevo por idade absoluta ou relativa e os processos relacionados à sua formação; e **Morfodinâmica** –representação dos processos ativos atuantes na forma do relevo.

Para Hayden (1986), a representação gráfica desses cinco conceitos envolve um conjunto complexo e muitas vezes difícil de procedimentos analíticos e cartográficos. O desenvolvimento teórico, os procedimentos metodológicos e a criação de uma legenda padrão na cartografia geomorfológica exigindo uma grande quantidade de tempo e esforço dos geomorfólogos nos últimos 60 anos. Embora exista uma concordância quanto à necessidade de mapas geomorfológicos contendo um grande número de informações, existe uma discordância quanto ao procedimento e o seu método de construção.

Em 1958 a União Geográfica Internacional (UGI) criou uma Subcomissão para o mapeamento geomorfológico que teve como objetivos: introduzir e desenvolver a metodologia de mapeamento geomorfológico; adotar um sistema uniforme para o mapeamento geomorfológico que garanta uma compatibilidade entre as diversidades de territórios; e demonstrar as aplicações de mapeamento geomorfológico local e regional, a fim de facilitar a utilização racional da superfície da Terra. Nesse mesmo período, um grupo de países europeus criou um conjunto de oito diretrizes para elaboração de mapas geomorfológicos:

1 – O trabalho de campo como uma necessidade básica e a fotografias aéreas como uma ferramenta recomendada;

2 – Em mapeamentos em escalas 1:10.000 e 1:100.000 características do relevo e suas peculiaridades devem ser representadas;

3 – Mapeamento de todos os aspectos do relevo, incluindo morfografia, morfometria, morfogênese e morfocronologia, de modo que o desenvolvimento passado, presente e futuro do relevo possam ser entendidos;

4 – O uso de cores e símbolos para transmitir informações;

5 – O estabelecimento de ordem cronológica no desenvolvimento das formas do relevo;

6 – A inclusão de dados litológicos;

7 – O arranjo da legenda numa ordem cronológica genética;

8 – O reconhecimento de que detalhados mapas geomorfológicos são essenciais para o desenvolvimento futuro da geomorfologia.

Apesar das colaborações da UGI e do grupo Europeu, ainda existe um desacordo sobre a natureza dos mapas geomorfológicos e de seus conteúdos. O número de mapas, de diferentes abordagens e metodologias, tem se proliferado.

A inserção de uma nova tecnologia (fotos áreas) como auxílio para construção da cartografia geomorfológica representou não somente a quebra de paradigma na construção dessas cartas como possivelmente a ruptura em sua base conceitual – a representação das formas do relevo. A necessidade de uma representação mais ampla que abrangesse os cinco conceitos básicos de análise do modelado terrestre acarretou em uma possível perda, gradativa, de um parâmetro de referência na construção de uma unidade básica de relevo.

A busca pela compreensão do processo evolutivo do relevo e de sua dinâmica fez com que o mapeamento geomorfológico se aproximasse cada vez mais de uma representação fisiográfica das unidades geológicas do que da definição e descrição da morfologia do relevo. O avanço do sensoriamento remoto, tanto no uso de fotos áreas como na evolução e aperfeiçoamento das imagens de satélites, permitiu um aprimoramento da representação e do entendimento da geologia e geomorfologia terrestre. A exata delimitação do objeto de estudo e manutenção do seu foco fez com que a geologia usasse dessa nova tecnologia para aprimorar e padronizar seu processo de representação, ao contrário da geomorfologia que, com leque informações, possibilitadas pelo sensoriamento remoto, perdeu seu foco em seu principal objeto de estudo, a descrição das formas do relevo.

Como afirma Onge (1981) um mapa geomorfológico ideal não deve apenas descrever e explicar as paisagens baseadas na morfogênese de relevos individuais, mas também, acima de tudo, a explicação deve basear-se na relação entre as várias formas de relevo afetados a vários graus por vários processos.

Evans (2011), em seu artigo – *Geomorphometry and landform mapping: What is a landform?* – retoma o conceito de geomorfologia na busca de concluir que a definição de formas de relevo de vários tipos é a parte essencial do mapeamento geomorfológico, ideia essa que ao longo evolução da representação geomorfológica foi se perdendo na tentativa de uma representação cada vez mais complexa do relevo terrestre.

As pesquisas concentram-se, cada vez mais, no entendimento e na descrição dos processos, da estrutura e da cronologia do relevo, mas a forma em sua perspectiva morfométrica continua a ser o ponto de convergência da geomorfologia. O uso de novas tecnologias ajudam e podem melhorar a capacidade de representação do modelado terrestre. Para Smith *et al.* (2011), os recentes avanços na tecnologia de satélites e da capacidade dos modernos computadores pessoais para gerenciar grandes volumes de dados digitais introduziram mudanças radicais no mapeamento geomorfológico, proporcionando uma solução positiva para alguns problemas “clássicos” da abordagem cartográfica “tradicional”. Nesse contexto é de grande relevância o papel do Sistema de Posicionamento Global (GPS), do sensoriamento remoto, dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) e do Sistema de Informações Geográficas (Oguchi *et al.*, 2011).

Dentre as tecnologias supracitadas, destacam-se os MDE's, pois representa a possibilidade de um ganho na busca do foco geomorfológico – a representação do relevo – quando averiguados os dados obtidos de seus processamentos.

O MDE é a imagem digital em que cada pixel da matriz tem um valor correspondente à sua altitude acima do nível do mar, podendo ser obtido por digitalização de dados de elevação a partir de mapas topográficos ou diretamente a partir de imagens estereoscópicas, radar interferométrico de abertura sintética ou de propriedades da luz refletida de modo a obter a distância (Dikau, 1989, 1992). Estes modelos fornecem em 3D (LIDAR - *Light Detection And Ranging*; SRTM) a representação da área de investigação, permitindo observações a partir de diferentes pontos de vista e com diferentes escalas verticais (Teeuw, 2007). Além disso, os dados morfométricos, tais como gradientes altimétricos, aspecto, declividade, rugosidade superficial, curvatura e outros, podem ser extraídas automaticamente do MDE.

A obtenção e o desenvolvimento dessa e de outras tecnologias, junto a sua popularização no meio científico, não determinou grandes mudanças nos métodos cartográficos de representação da geomorfologia. É certo que houve e ainda há um acréscimo significativo nos resultados obtidos quanto ao nível de detalhamento da geomorfologia, mas os geomorfólogos ainda persistem em uma representação que valoriza a morfoestrutura, dificultando a identificação das formas do relevo em seus mapas. Pois como relata Smith e Clark (2005), o advento e a utilização de SIG permitem a visualização de camadas de agrupamento, e a representação em 3D dos

acidentes geográficos não melhorou a densidade significativa gráfica de mapas geomorfológicos, e isso pode representar uma barreira para usuários que não são treinados como geomorfólogos.

Na última década vem ocorrendo uma retomada na representação geomorfológica em que o cerne de sua classificação é a sua morfografia e morfometria. Não necessariamente representa uma mudança completa dos parâmetros atuais mais aponta as perspectivas que possivelmente nortearão uma classificação do relevo de moda mais congruente. A representação do relevo baseado em sua fisiografia é uma forma de resgate do princípio geomorfológico que é o de representar a FORMA do modelado terrestre e indica os parâmetros mais consistentes para sua classificação e de definir uma padronização para sua representação.

Drăgut e Eisank (2011) afirmam que a classificação e o mapeamento do relevo desenvolveram-se como uma das áreas mais ativas da morfometria. Seijmonsbergen *et al.* (2011) corrobora com esse princípio ao propor um método semiautomática de identificação de feições geomorfológicas em que a base de representação são modelos digitais de elevações (MDE) e suas variáveis geomorfométricas.

Hengl e MacMillan (2008) apontam que uso MDE e a diversidade de variáveis geomorfométricas que podem ser extraídas automaticamente favorecem o uso desses dados como parâmetro o para mapeamento e modelagem de paisagens. O uso desses parâmetros vem se consolidando ao longo da modernização e evolução de seus estudos, como pode ser notado já na década de 1980 quando Pike (1988) introduziu o conceito de análise de dados digitais de elevação para estabelecer o que ele chamou de uma assinatura geométrica definida como um conjunto de medidas que descreve formas topográficas bem o suficiente para distinguir paisagens geomorfologicamente díspares. Já Weibel e Heller (1990) elucidaram um quadro de classificação de relevo automatizado utilizando dados digitais de elevação.

Hengl e Reuter (2008) concluem que os primeiros estudos geomorfológicos estavam preocupados com o desenvolvimento de procedimentos de detecção automática de pontos específicos da superfície (depressões, picos, canais, sulcos etc.), pesquisas geomorfológicas subsequentes, indicam novos parâmetros para incluir como entrada principal para classificar acidentes geográficos, possibilitando a aplicação de métodos automatizados de classificação a partir de MDEs, tornando a extração automatizada de

classificação cada vez mais sofisticada com reconhecimento de entidades da paisagem das mais sutis às mais complexas.

Bishop *et al.* (2012) torna evidente a tendência de que, cada vez mais, as classificações do modelado terrestre referenciam-se em parâmetros métricos ao afirmar em seu trabalho que a geomorfometria pode ser utilizadas para produzir informações relacionadas ao mapeamento geomorfológico evidenciando as formas do relevo e o relacionamentos desses dados a abordagens geocomputacionais, permitindo pesquisadores da área irem muito além dos tradicionais mapeamentos, possibilitando a caracterização quantitativa da morfologia da paisagem e a integração, posteriormente, de várias informações temáticas da paisagem.

Recentemente, o mapeamento das formas de terreno é uma das vertentes que mais se desenvolveram com diversas propostas metodológicas para estudar a organização das curvaturas na paisagem. Wood (1996) foi o primeiro a propor um algoritmo para mapear a distribuição das formas de terreno. A combinação de curvaturas em cada pixel em assinaturas geomorfométricas, no sentido definido por Pike (2009), foi a estratégia adotada por Vasconcelos *et al.* (2012) para mapear tipos de padrões de curvaturas, que podem ser interpretados em diversas classificações geomorfométricas. As formas de terreno se relacionam principalmente com os aspectos dinâmicos do relevo, em especial com o comportamento da água e a distribuição de solos na paisagem .

2.3. FUNDAMENTAÇÕES TEÓRICO-METODOLÓGICAS DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA BRASILEIRA

A cartografia geomorfológica é relativamente recente, quando se trata de representação e da sistematização de todo o território brasileiro. Uma das primeiras representações do relevo brasileiro surge na década de 1949, com a representação espacial da classificação do relevo feita por Aroldo de Azevedo. Sua classificação baseou-se na morfometria em que usou apenas dados altimétricos para discernir duas classes para o relevo: Planaltos (superfícies com altitude superior a 200m) e Planícies (superfícies com altitude inferior a 200m). A **Figura 2.1** traz a representação cartográfica da geomorfologia do Brasil usando o critério de classificação do relevo proposto por Azevedo.



Figura 2.1 -Mapa geomorfológico do Brasil usando o critério de classificação do relevo proposto por Azevedo.

Fonte: Azevedo, 1949.

Cabe ressaltar que outras propostas de classificações e de mapeamento de parte do território brasileiro foram realizadas antes de Azevedo (1949). O geógrafo francês Francis Rullen introduziu métodos mais objetivos de cartografia geomorfológica, como o emprego de fotografias aéreas (Ab'Saber, 1969).

Na busca de uma classificação mais detalhada do relevo, Aziz Nacib Ab'Sáber propõe, em 1964, duas classes geomorfológicas para o território. Incorporando uma abordagem morfoclimática com conotação morfogenética este autor divide o território em duas classes: Planaltos (superfícies em que a degradação seria superior a agração) e Planícies (superfícies em que a agração seria superior a degradação). A **Figura 2.2** apresenta a representação espacial das classes propostas por Ab'Sáber.



Figura 2.3 – Processo de cartografia temática a partir de unidades homólogas definidas pela interpretação de padrões da imagem de radar. Fonte: Relatório RADAMBRASIL, 1982.

A plataforma utilizada nos dois projetos foi o avião Caravelle. A altitude média do levantamento foi de 12 km e a velocidade média da aeronave, 690 km/h. O sistema de imagens utilizado foi o GEMS (*Goodyear Mapping System 1000*), que opera na banda X (comprimentos de onda próximos a 3 cm e frequência entre 8 e 12,5 GHz), obtendo mosaicos de abrangência de 1° de latitude e 1°30' de longitude (18.000 km²) com sobreposição lateral de 25%, permitindo a obtenção de pares estereoscópios. Após análise e interpretação das informações obtidas com as imagens os resultados eram validados com trabalhos de campo.

Torres *et al.* (2012) propõem a explicação das fases que compuseram a evolução metodológica para cartografia do relevo desenvolvida pelo RADAM em 4 momentos:

Primeiro Momento – Determinado por uma série de rotinas metodológicas, como a delimitação, fixação e descrição das formas de relevo e estabelecimento da legenda em que a morfologia foi descrita com uso de variáveis como cores, símbolos e letras. As letras maiúsculas são representativas das grandes categorias de formas (Ex.: **S** - morfologias estruturais, **E** – superfícies erosivas, **A** – superfícies de acumulação). Já as letras minúsculas representam os registros das formas. (Ex.: **a** – formas aguçadas, **f** – formas tabulares, **g** – formas convexas);

Segundo Momento – Atribuição de cores sépias, que representam, pelas variações de tonalidades, as formas conservadas e dissecadas em suas posições altimétricas relativas. Também se deu a simplificação dos modelados de dissecção, que passam a compor três formas básicas: colinas, cristas e interflúvios tabulares, aos quais foram acrescidos dois dígitos de 1 a 5, em que o primeiro se refere à extensão da forma e o segundo à profundidade da drenagem;

Terceiro Momento – Caracterização dos relevos dissecados por suas formas aguçadas, convexas e tabulares, e no que se refere-se à legenda, usou-se policromia, com as cores passando a representar as unidades geomorfológicas;

Quarto Momento – Adoção de um ordenamento dos fatos geomorfológicos em uma taxonomia capaz de estabelecer uma hierarquia coerente.

Nesta hierarquia foram adotadas as seguintes grandezas:

1 – Domínios – correspondente às unidades morfoestruturais condicionadas às estruturas geológicas;

2 – Região Geomorfológica – unidades geomorfológicas regionais de esculturação influenciada pelos fatores climáticos regionais;

3 – Unidades Geomorfológicas – formas semelhantes do relevo associadas à mesma morfogênese;

4 – Modelados – representam os modelados referentes ao tipo relevo associados padrões topográficos e similaridade em sua geometria.

O **Quadro 2.1** sintetiza o padrão metodológico adotado pelo RADAMBRASIL referente ao arranjo taxonômico empregado.

Quadro 2.1 – Ordem taxonômica adotada pelo RADAMBRASIL.

GRANDEZA TAXONÔMICA	GRANDEZAS GEOMORFOLÓGICAS	EXEMPLOS
1º TAXON	Domínios Morfoestruturais	Estruturas Cristalinas
2º TAXON	Região Geomorfológica	Planaltos e Chapadas
3º TAXON	Unidades Geomorfológicas	Superfícies Erosivas Tabulares
4º TAXON	Modelados	Relevo de Forma Convexa

A rotina metodológica adotada pelo RADAMBRASIL fica mais evidente ao analisarmos a **Figura 2.4**, em que descreve de forma sucinta, as quatro grandezas usadas na delimitação da geomorfologia do território brasileiro.

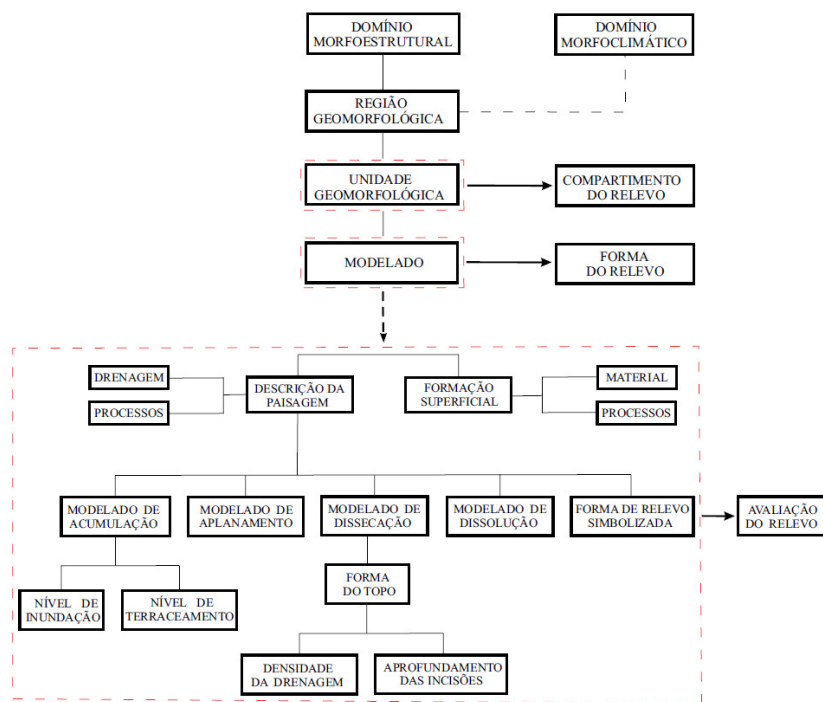


Figura 2.4 – Estrutura da Geomorfologia adotada pelo RADAMBRASIL. Fonte: IBGE, 2009.

Em 1981, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) publica o mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, descrevendo uma nova proposta metodológica a ser aplicada para classificação do relevo. Fundamentado na metodologia desenvolvida pela *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* (CSIRO) da Austrália, definiram-se conjuntos de formas de relevo semelhante, denominados de sistemas de relevo, tendo como variáveis para sua definição a amplitude local das formas de relevo, a declividade das vertentes, forma dos perfis das vertentes, extensão e forma dos topos, densidade e padrão da drenagem.

Para elaboração da carta geomorfológica de São Paulo o IPT (1981) analisou, de forma sistemática, imagens LANDSAT, canais 4, 5, 6 e 7, nas escalas 1:250.000 e 1:500.000, bem como os mosaicos semi-controlados de radar 1:250.000, elaborados

para o Projeto RADAMBRASIL. A delimitação dos sistemas de relevo levou não apenas em consideração a metodologia proposta por CSIRO, mas também o embasamento teórico de Tricart, pois a delimitação dos sistemas de relevo no mapa geomorfológico do IPT usou como base critérios morfoestruturais que levaram em consideração a geologia e as formas de relevo, método esse proposto pelo mesmo autor.

Para determinação das suas classes geomorfológicas, o IPT, iniciou sua classificação a partir da identificação e delimitação em imagens de satélite das províncias geomorfológicas propostas por Almeida (1964, apud IPT, 1981), que tinha como principal critério de delimitação padrões geológicos. Após a delimitação das províncias, essas eram subdivididas em zonas, subzonas e em formas de relevo, determinando um padrão hierárquico na distribuição taxonômica. O **Quadro 2.2** sintetiza as classes geomorfológicas propostas pelo IPT, junto aos seus níveis taxonômicos.

Quadro 2.2 – Ordem taxonômica adotada pelo IPT.

GRANDEZA TAXONÔMICA	GRANDEZAS GEOMORFOLÓGICAS	EXEMPLOS
1º TAXON	Províncias	Província Costeira
2º TAXON	Zona	Serrania Costeira
3º TAXON	Subzona	Serra do Mar
4º TAXON	Sistema de Relevo	Relevo Montanhoso

Na busca de aprimorar a classificação do relevo brasileiro, Ross(1992) apresenta seu pressuposto metodológico referenciados em Demek (1967) e Mescerjakov (1968) valendo-se da experiência metodológica e da base de dados adquiridos no RADAMBRASIL.

Para determinar o método de classificação do relevo, Ross comunga das ideias de Penck (1953) que considera o modelado terrestre e seu processo evolutivo como resultantes de forças antagônicas (endógenas e exógenas) e que ocorrem concomitantemente. Parte também do pressuposto de Gerasimov (1963) que determina o conceito de morfoestrutura e morfoescultura. O sistema metodológico de classificação do relevo de Ross define seis níveis taxonômicos, no qual a unidade básica de

classificação parte de elementos morfoestruturais, como pode ser observado na **Figura 2.5**.

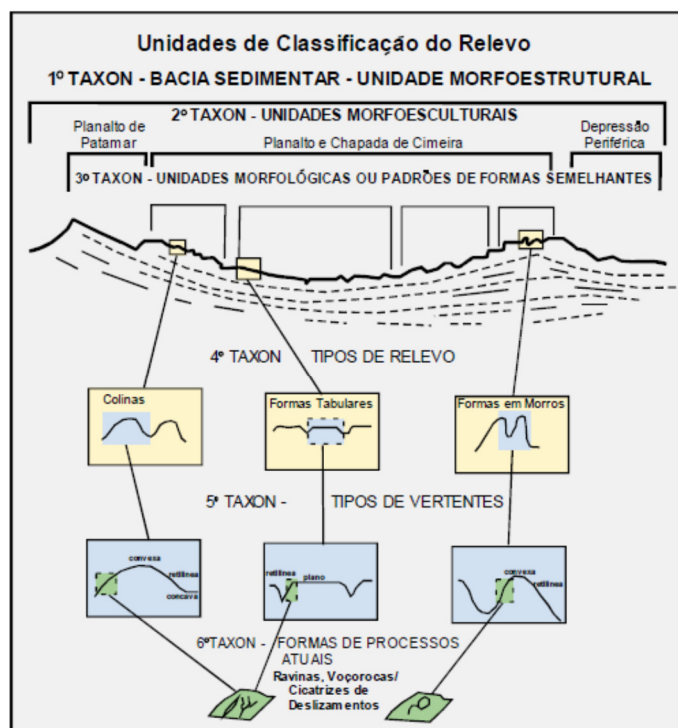


Figura 2.5 – Unidades de classificação do relevo, segundo taxonomia proposta por Ross (1992)

Os seis níveis taxonômicos propostos por Ross podem ser entendidos e descritos conforme Casseti (2005):

1º Táxon - Unidades morfoestruturais que correspondem às grandes macroestruturas, como os escudos antigos, as faixas de dobramentos proterozoicos, as bacias paleomesozoicas e os dobramentos modernos;

2º Táxon - Unidades morfoesculturais, que correspondem aos compartimentos gerados pela ação climática ao longo do tempo geológico, com intervenção dos processos tectogénéticos. As unidades morfoesculturais são caracterizadas pelos planaltos, planícies e depressões, que estão inseridas numa unidade morfoestrutural;

3º Táxon - Unidades morfológicas, correspondentes ao agrupamento de formas relativas aos modelados, que são distinguidas pelas diferenças da rugosidade topográfica ou do índice de dissecação do relevo, bem como pelo formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão;

4º Táxon - Corresponde à unidade de padrão de formas semelhantes. Estas formas podem ser: a) de agradação (acumulação), como as planícies fluviais ou marinhas, terraços; b) de degradação, como colinas, morros e cristas;

5º Táxon - Corresponde aos tipos de vertentes ou setores das vertentes de cada uma das formas do relevo. Cada tipologia de forma de uma vertente é geneticamente distinta; cada um dos setores dessa vertente pode apresentar características geométricas, genéticas e dinâmicas também distintas. Dentre as principais características geométricas das formas das vertentes destacam-se: vertente escarpada, convexa, côncava, retilínea, entre outras;

6º Táxon - Refere-se às formas menores resultantes da ação dos processos erosivos atuais ou dos depósitos atuais. Exemplo: as formas associadas às intervenções antropogênicas como as boçorocas, ravinas, cortes de taludes, entre outros.

A partir da análise geomorfológica sobre imagens de radar em escala 1:250.000 e 1:100.000 e fotografia aéreas de escalas grandes (1:10.000 e 1:25.000), foi possível a representação do relevo brasileiro levando em consideração os dois primeiros níveis taxonômicos proposto por Ross, conforme representado na **Figura 2.6**.

Unidades do Relevo Brasileiro

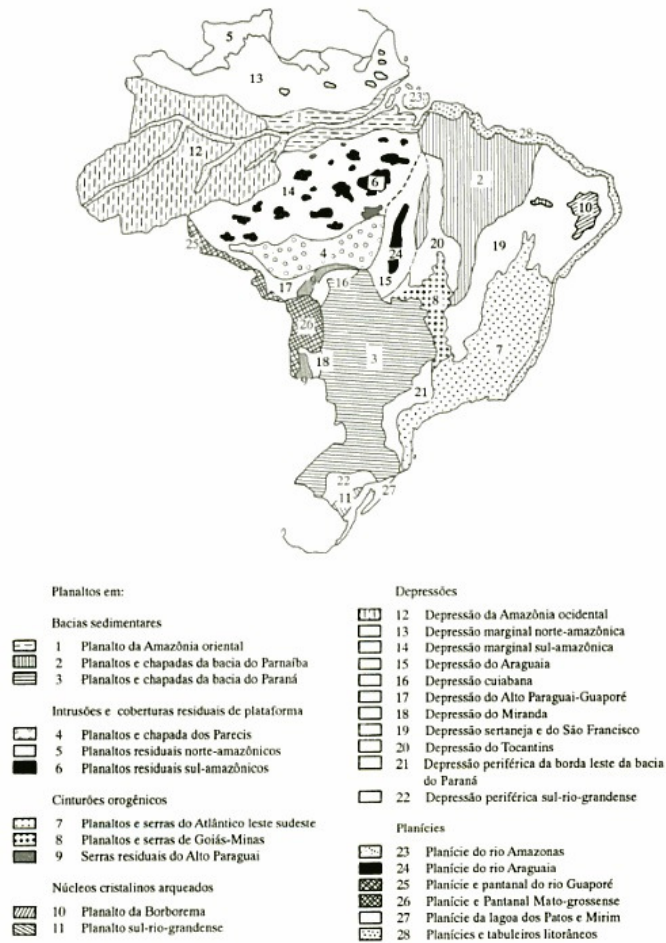


Figura 2.3 - Mapa Geomorfológico do Brasil segundo a proposta metodológica de Ross. Fonte Ross, 1997.

Ross (1992) enfatiza que um fato de grande complexidade é discernir os níveis de representação dos fatos geomórficos em função da dimensão deles e da escala de representação escolhida. É incompatível, por exemplo, a representação espacializada dos setores de vertentes para escalas médias e pequenas. Os setores de vertentes só se tornam passíveis de cartografar em escalas grandes, assim, para a determinação de certos níveis taxonômicos de sua metodologia, deve-se levar em consideração a grandeza de escala a ser usada.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 1991, e com atualização em 1995, lança o Manual Técnico de Geomorfologia com objetivo inicial de uniformizar e definir critérios para os trabalhos realizados pelo próprio Instituto, em âmbito nacional. Posteriormente, visando contribuir para a padronização metodológica disponibiliza o manual também no campo extrainstitucional.

O manual elaborado pelo IBGE leva em consideração a metodologia proposta pelo Projeto RADAMBRASIL (**Figura 2.4**), na busca de padronizar a construção de mapas geomorfológicos no Brasil. Em seu exemplar, a taxonomia do mapeamento geomorfológico é exposta junto a uma proposta de padronização de representação gráfica das variáveis do relevo, acompanhado de uma ficha de campo em que ajudaria da confecção de tais mapas.

Em sua última atualização, o Manual Técnico de Geomorfologia apresenta a proposta de um mapa da Compartimentação do Relevo Brasileiro, levando em consideração o segundo táxon de classificação proposta pelo RADAMBRASIL, como representado na **Figura 2.7**.

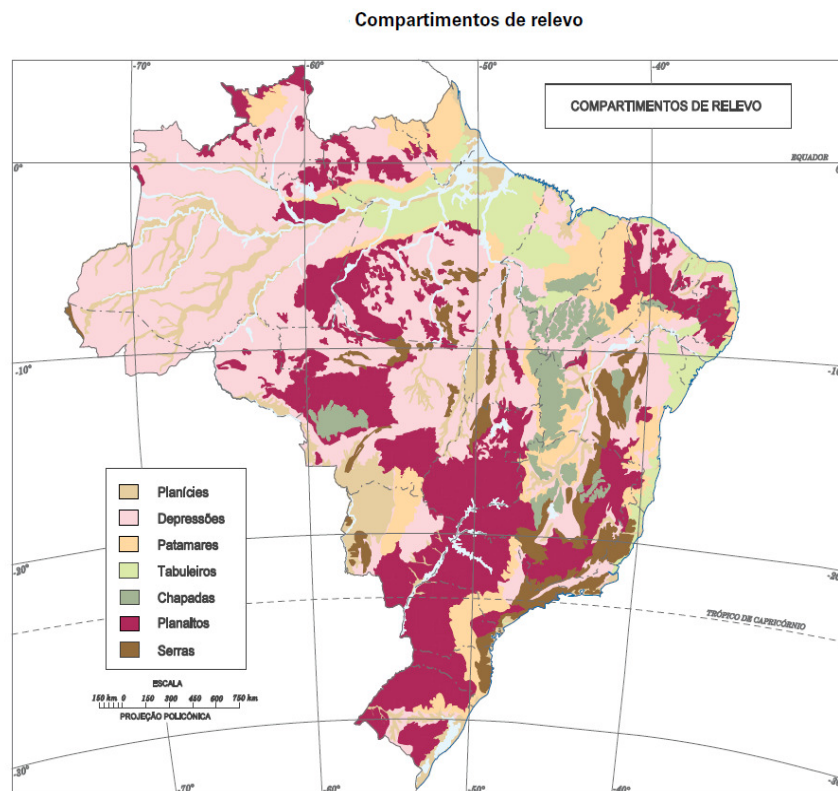


Figura 2.4 - Mapa de Unidades de Relevo do Brasil. Fonte: IBGE, 2009.

A ocorrência de novas classes de relevo não existentes no mapeamento proposto pelo RADAMBRASIL, não representou uma mudança em sua proposta metodológica, e sim um aprimoramento da classificação das classes de relevo, devido ao uso de novas bases de dados como imagens de satélites e fotos aéreas com maior resolução ou cartas topográficas de maior escala.

Porém, o geomorfólogo que mais influenciou a linha teórica metodológica seguida no Brasil foi Jean Tricart. Pode-se apontar em quase todos os mapas geomorfológicos no Brasil, pós década de 1950, características das técnicas adotadas e divulgadas por Tricart. Dentre as características mais evidentes está o uso sistemático de dados estruturais como influenciador da geomorfologia; perceptível em quase todos os roteiros metodológicos acima descritos.

Para Ab'Sáber (1965), a menor unidade taxonômica é a superfície geneticamente homogênea, que resulta de um determinado processo ou de um complexo de processos geomorfológicos, ideia essa que, como no mundo, também se perpetuou no Brasil, e que distancia, cada vez mais, a geomorfologia do seu principal objeto de estudo - a descrição das formas do relevo - levando a representação de uma cartografia geomorfológica mais próxima de uma descrição fisiográfica das unidades geológicas.

Abreu (1982) procurou destacar o problema da classificação dos fatos geomorfológicos “na medida que isto é um dado fundamental para o processo de análise”. Para tal, o autor considera procedente “deslocar o eixo de abordagem do problema da escala para o problema da essência dos fenômenos que interessa ao estudo do georrelevo”. Destaca a “forma” como síntese metodológica, procurando obter dela as informações necessárias para a compreensão da essência de sua dinâmica e das propriedades adquiridas.

Assim, qual seria a forma de um Planalto ou de um Patamar? E o que os diferenciariam? Levando em consideração a classificação do IBGE, Planalto: são conjuntos de relevos planos ou dissecados, de altitude elevadas, onde os processos de erosão superam os de sedimentação; Pantamares: são relevos planos ou ondulados, elaborados em diferentes classes de rochas, constituindo superfícies intermediárias ou degraus entre áreas de relevos mais elevados e áreas topograficamente mais baixas. Referenciado pelos conceitos descritos, seria impossível a percepção de formas se levarmos em consideração a metodologia usada para sua classificação, e assim estar-se-ia distanciando de uma representação da morfologia do relevo.

Recentes trabalhos do Serviço Geológico do Brasil (CPRM) sistematiza o mapeamento geomorfológico do país no Programa de Geodiversidade (CPRM, 2010), em escalas de análise reduzidas (1:500.000 a 1:1.000.000), preocupando-se em identificar os grandes conjuntos morfológicos passíveis de serem delimitados em tal tipo de escala, sem muitas preocupações quanto à gênese e evolução morfodinâmica das

unidades em análise, assim como aos processos geomorfológicos atuantes (**Figura 2.8**). O método sugerido levou em consideração para classificação e delimitação dos tipos de relevo dados geomorfométrico como declividade e amplitude, diferenciando-se dos métodos tradicionais e apontando, também, um princípio de mudança nos paradigmas metodológicos adotados nos trabalhos brasileiros.

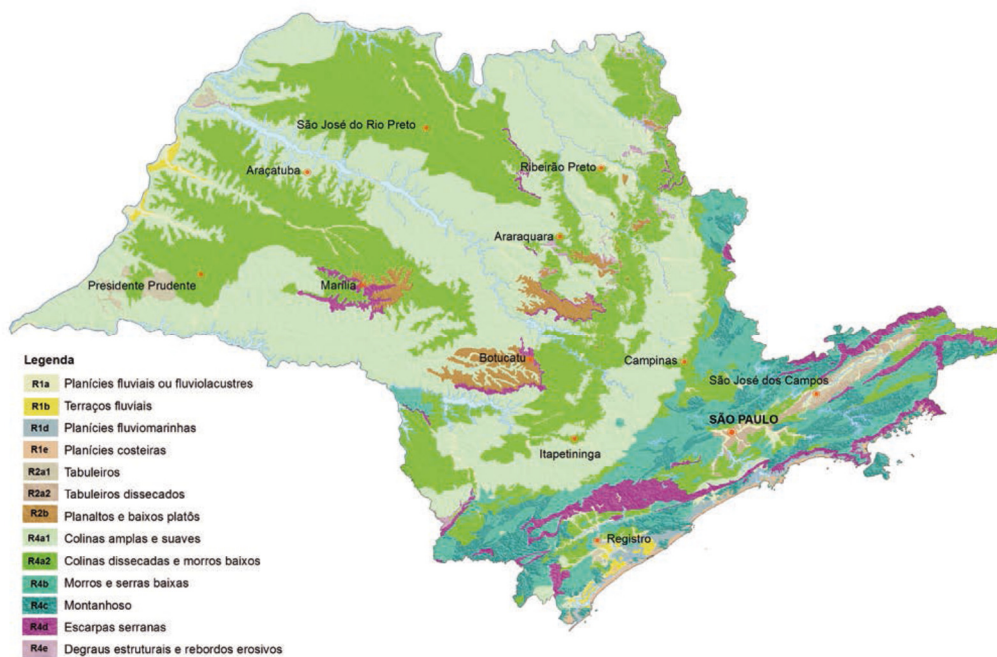


Figura 2.8 – Formas do relevo do Estado de São Paulo. Fonte: CPRM, 2010.

Outra abordagem de classificação do relevo é a partir da composição colorida do relevo (Hermuche et al., 2002, 2003). Este método considera a altitude, a declividade e outra variável morfométrica obtida pela segunda derivada da altitude para a confecção da imagem do relevo (**Figura 2.9**). Cada uma destas variáveis é colocada, respectivamente, nos canais R (vermelho), G (verde) e B (azul), em programas de tratamentos de imagens de satélite, como o ENVI (Hermuche *et al.*, 2002). A imagem resultante é utilizada para a interpretação e delimitação das unidades de relevo. Apesar da subjetividade da interpretação da composição colorida, este método é empregado em mapeamentos geomorfológicos sistemáticos desenvolvidos pela Embrapa e a UnB

(Borges *et al.*, 2007; Castro *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2009; Passo *et al.*, 2010; Sena-Souza *et al.*, 2013).

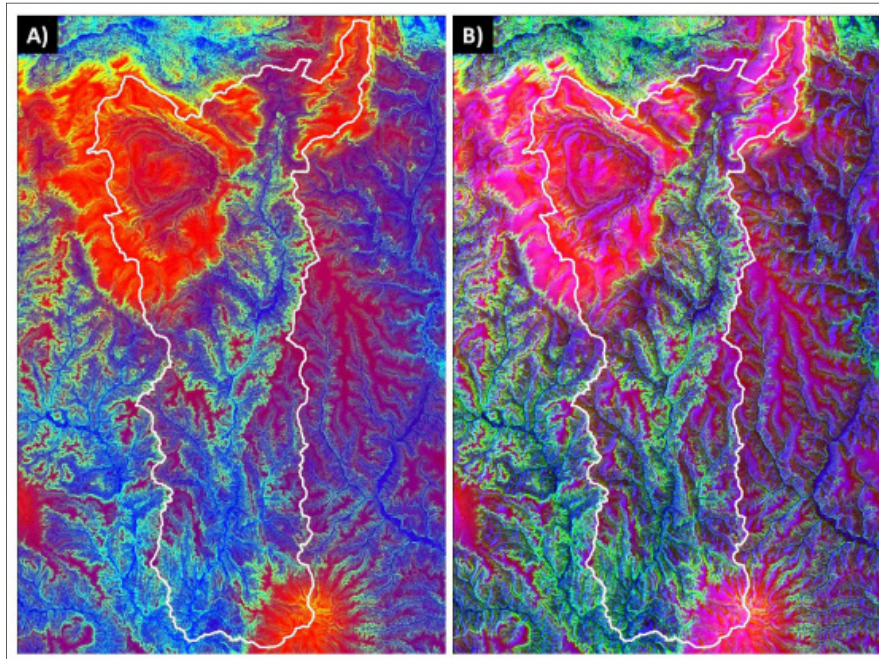


Figura 2.9 – Bacia do São Bartolomeu (DF e GO) - Composição colorida do relevo formada pela integração dos canais RGB, respectivamente a altitude (vermelho), a declividade (verde), declividade) com a curvatura mínima (A) e com aspecto (B) no azul. Fonte: Sena-Souza et al. (2013).

Este método da composição da composição colorida do relevo mostrou-se eficiente para delimitar as unidades geomorfológicas, no Terceiro Nível de Classificação do relevo conforme IBGE (2009), quando aplicados aos dados SRTM-90, compatível com a escala de 1:100.000 (p.ex, Sena-Souza, 2013). O mapa geomorfológico produzido permite integrar aspectos morfométricos e genéticos (**Figura 2.10**).

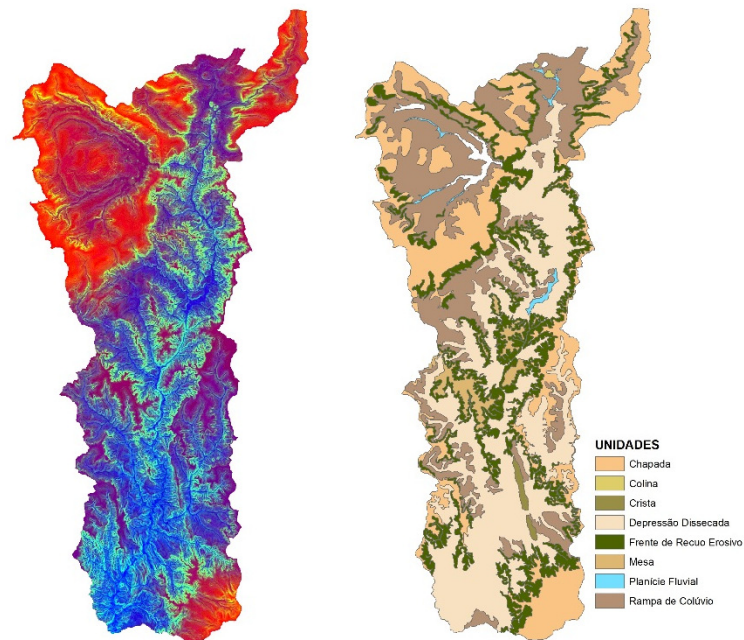


Figura 2.10 – Definição das unidades geomorfológicas a partir da composição colorida do relevo.

Acompanhando a linha do uso de parâmetros métricos para a classificação do relevo, Sampaio e Augustin (2014) apresentam um método de classificação do índice de concentração de rugosidade (ICR) objetivando, entre outros, a redução do grau de subjetividade na obtenção de unidades morfológicas possibilitando um nível de padronização em suas aquisições (**Figura 2.11**).

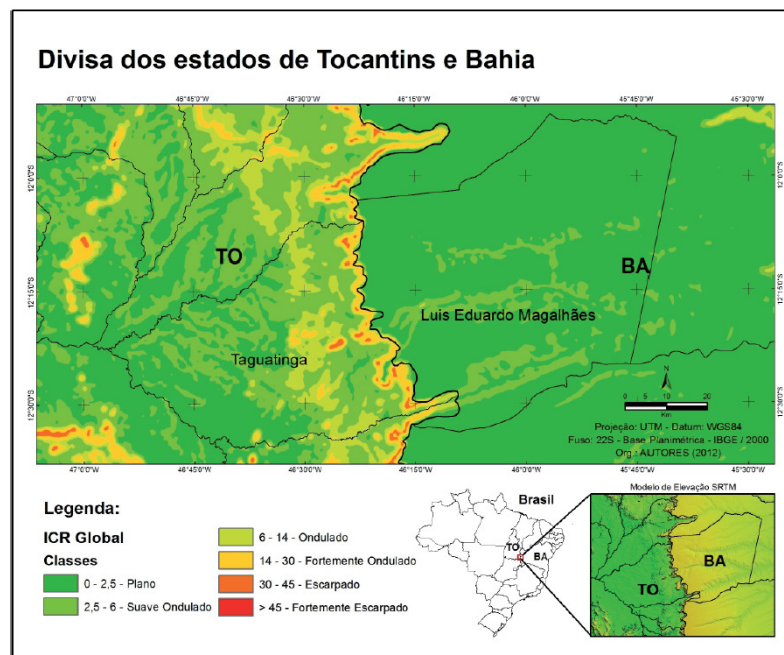


Figura 2.11 – Exemplo de aplicação do ICR Global segundo Sampaio e Augustin (2014)

A busca de interpretar a forma do relevo como elemento básico da classificação e representação da cartografia geomorfológica não só é desconsiderado por métodos tradicionais, como se mostra praticamente ausente nas abordagens atuais no Brasil. Métodos tradicionais supracitados se mantêm como principais parâmetros de representação do relevo, dificultando, cada vez mais, a possibilidade de abertura para novas tendências, que vêm se tornando evidente na representação geomorfológica internacional e ainda se mostra muito incipiente nos trabalhos nacionais.

2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se dois pontos cruciais no desenvolvimento da geomorfologia sistemática no Mundo e, e especial, no Brasil: a existência de várias propostas metodológicas com diferentes padrões e critérios de classificação; a grande dependência da decisão do analista na definição e delimitação das unidades básicas de relevo, ou seja, da grande subjetividade e baixa reprodutibilidade dos métodos.

O uso de MDEs tem o potencial de definir critérios objetivos de classificação do relevo e que podem ser modelados e reproduzidos em ambiente computacional.

A compreensão dos métodos descritos e utilizados como parâmetros para representação da cartografia geomorfológica possibilitou inferir que o uso da morfoestrutura ou morfogênese como unidade básica delimitadora das unidades de relevo determinam classes geomorfológicas – nas mais diversas formas e métodos de representação – que não possibilitam a identificação e a interpretação da forma do relevo em si.

A solução a ser seguida para padronização da representação geomorfológica é observada nos primeiros trabalhos da área, quando o alicerce para representação do relevo partia de suas métricas (altura, declividade, forma, etc.). Estudos desenvolvidos desde a década de 1970 com o uso de MDEs para a classificação e mapeamento de unidades básicas de relevo, mostram o comportamento de variáveis geomorfométricas na paisagem e que podem ser relacionados com as unidades geomorfológicas. Mesmo assim, a maioria das propostas ainda estão baseadas na experiência e na interpretação do analista, aumentando a subjetividade do mapeamento geomorfológicos.

Novas propostas devem se desenvolver no sentido de aumentar a objetividade do mapeamento a partir do tratamento de dados geomorfométricos que sejam simples, reprodutíveis e que representem os modelados que são avaliados na escala de campo. As propostas que mais avançam neste sentido estão nos métodos de mapeamento das formas de terreno, onde envolve o comportamento de um conjunto de tipos de curvaturas que podem ser obtidas pela segunda derivada do MDE. As formas de terreno têm relação com o comportamento da água e na distribuição de solos na paisagem. Por outro lado, os aspectos estruturais e derivados da relação entre os materiais de origem e o clima, ainda carecem de estratégias metodológicas adequadas.

CAPÍTULO 3 – MÉTODO SEMIAUTOMÁTICO DE DELIMITAÇÃO DAS UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO SÃO BARTOLOMEU (DF/GO).

3.1. INTRODUÇÃO

Vários métodos são aplicados para a representação do modelado terrestre, em que parâmetros como estrutura, gênese, forma, datação ou integração entre eles são adotados para a classificação do relevo (Demek, 1967; Gerasimov & Mescherikov, 1968; Tricart, 1978).

Bishop *et al.* (2012) aponta que a maioria desses métodos incorporam diferentes níveis de subjetividade, dificultando a padronização e a homogeneização no processo de classificação. Métodos semelhantes ou idênticos acabam por obter resultados distintos em decorrência do nível subjetividade usado no processo de representação do relevo.

A delimitação e representação das unidades geomorfológicas é um problema recorrente que está diretamente associado à subjetividade metodológica e conceitual empregada no processo de obtenção desses dados (Evans, 2012).

Dificuldades como essas denotam carência de uma proposta de representação e classificação do modelado terrestre que identifique unidades básicas de representação do relevo a partir de superfícies morfométricas similares, apontando um processo de quantificação mais objetivos.

A elaboração de rotinas fundamentadas em Modelos Digitais de Elevação (MDE) torna-se uma possibilidade viável para aperfeiçoar o mapeamento geomorfológico, pois essas rotinas são factíveis para obtenção de parâmetros numéricos do relevo, servindo de alicerce a novos métodos de mapeamento do relevo (Bishop *et al.*, 2012; Sampaio & Augustin, 2014).

É evidente que os recentes avanços em sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica, as tecnologias geoespaciais, bem como a evolução da modelagem numérica dos processos de superfície, revolucionaram o campo da geomorfologia (Bishop *et al.*, 2012). Essas novas tecnologias permitem novas percepções e o desempenho de mapeamento rápido, no âmbito das ciências de informação geográfica. A adição de novas fontes de dados espaciais digitais abriu vastas regiões da superfície da Terra para estudo, que de outra forma teria sido economicamente inviável ou impossível de alcançar (Smith *et al.*, 2011).

Os recentes mapas geomorfológicos representam coleções digitais de camadas de informação geomorfológicas que consistem em vetores georreferenciado, dados em formatao *raster* e dados tabulares, que são armazenados em um ambiente digital e são facilmente visualizados, conforme observado por Seijmonsbergen (2012).

Múltiplas questões teóricas e informações conceituais estão no coração do mapeamento geomorfológico digital (MGD) (Bishop *et al.*, 2012). A maioria dos acidentes geográficos é delimitada por digitalização na tela, por meio de limites identificados manualmente em mapas, em imagens MDE / satélite ou em fotografias aéreas, e muito pode ser feito usando o Google Earth (Evans, 2012; Seijmonsbergen 2012). No entanto, diferentes métodos e algoritmos semiautomatizados foram amplamente aplicados para extrair automaticamente e delinear as características geomorfológicas durante as últimas décadas (Bishop *et al.*, 2012).

Para Bishop *et al.* (2012), métodos semiautomáticos referem-se aos procedimentos automáticos de extração de acidente geográfico em ambientes computacionais e é de grande importância, pois: assegura uma rotina de mapeamento consistente com um campo reduzido tempo de pesquisa; quantifica a análise da superfície terrestre (morfometria), e evita o viés decorrente de um processo de digitalização com base na interpretação da imagem visual (acuidade visual).

O uso de geotecnologias que possibilite a redução subjetividade, permitirá resultados mais homogêneos e padronizados na cartografia geomorfológica, proporcionando métodos consistentes e replicáveis nas mais diversas superfícies de análise. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar um método semiautomático de classificação e delimitação de unidades básicas do relevo a partir de métricas de amplitude altimétrica e de declividade, no caso da bacia do São Bartolomeu (DF/GO).

3.2. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO

3.2.1. Determinação da escala de representação e unidade básica de análise

Tricart (1965), ao discutir o mapeamento geomorfológico, enfatiza as feições a serem representadas segundo a escala adotada. As cartas em pequena escala, como 1:1.000.000, 1:500.000, se orientam, essencialmente, para os fenômenos morfoestruturais (dobramentos e falhamentos). Já as cartas em grande escala, como 1:5.000, 1:10.000, 1:25.000, são capazes de registrar fenômenos ou formas com

algumas dezenas de metros de comprimento, possibilitando a representação de formas específicas como voçorocas, lóbulos de solifluxão etc.

Para Florenzano (2008), a escolha da escala é determinada, sobretudo, pelo objetivo do mapeamento e pela complexidade da área a ser mapeada. Cooke e Doornkamp (1990) afirmam que na escala de 1:10.000 é possível mapear com precisão, e na escala real, não somente a localização e a dimensão de uma cicatriz de escorregamento, mas também alguns de seus detalhes de superfície; na escala de 1:25.000, os detalhes de superfície provavelmente não podem ser mostrados; na escala de 1:50.000, formas menores, como esse tipo de cicatriz, podem ser otimizadas nos mapas; na escala de 1:250.000, provavelmente são feitas generalizações para pequenas representações.

Quanto menor a escala espacial de observação de um fenômeno geomorfológico contínuo (não catastrófico), mais lenta é sua transformação (dinâmica), sendo que a recíproca é verdadeira. A deriva continental (pequena escala) é medida em milímetros/ano. Já a evolução de uma voçoroca (grande escala) é medida em metros/ano, e a evolução de um sulco num paredão calcário (lapiás) em milímetros/minuto (Kohler, 2001).

A escolha da escala do mapa é fortemente condicionada pelas metas a serem alcançadas. De acordo com o nível de detalhe cartográfico, mapas geomorfológicos são classificados por Demek e Emblenton (1978) em três grupos:

- Mapas geomorfológicos de grande escala (mapas com escalas maiores que 1:25.000);
- Mapas geomorfológicos de média escala (mapas com escala de 1:25.000 até 1.250.000);
- Mapas geomorfológicos de pequena escala (mapas com escalas inferiores a 1:250.000).

Buscando se distanciar de uma simples representação fisiográfica das unidades geológicas, a classificação das unidades básicas do relevo parte de dados morfométricos, possibilitando uma representação mais consistente do modelado terrestre e mantém o foco no alicerce da geomorfologia: a descrição das formas do relevo. Assim, o método apresentado para classificação e representação do modelado

terrestre partiu da delimitação de bacias hidrográficas e de suas subdivisões, para definição dos parâmetros das grandezas de escalas a serem adotados.

Alicerçado nas ideias de Horton (1945) e Straler (1957), a quantificação geomorfológica se mostra coerente quando as análises dos seus parâmetros métricos provêm da investigação das bacias hidrográficas, que podem ter como pressupostos as dimensões de suas bacias, sub-bacias ou microbacias, que determinam as dimensões e os padrões orográficos a serem classificados.

Parametrizar-se nas delimitações das bacias hidrográficas como unidades básicas para classificação do relevo, permite, de forma mais clara, a compreensão das várias morfologias a serem identificadas, posto que a morfometria, com sua gama de variáveis, mostra-se evidente na caracterização do comportamento hidrológico e na confecção dos vários tipos de relevo.

Assim, no método apresentado, para determinação da grandeza de escala a ser abordada deve-se levar em consideração o nível de delimitação da bacia a ser feita. Quando maior o nível de sub-bacias delimitadas, maiores as grandezas escalares a serem alcançadas para representações mais detalhadas da geomorfologia, sendo que o maior nível de subdivisão das bacias é alcançado dependendo da base de entrada.

O uso de MDE obtidos do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), de resolução aproximada de 90m, pode ser considerada razoável para análises em escalas pequenas ou médias (escalas inferiores a 1:100.000); porém, para obtenção de escalas de maiores grandezas é necessário o uso de MDE obtido de curvas de níveis de pequenas equidistâncias (Cartas Topográfica), ou modelos obtidos a partir de altimetria a laser (LiDAR) (escalas superiores a 1:25.000).

A análise da rede de drenagem, obtida no processo de delimitação da bacia hidrográfica, também pode ser um parâmetro de definição da escala. Considerando a densidade de drenagem “**D**” que para Horton (1945) é expressa pela relação ($\mathbf{D} = \mathbf{L}/\mathbf{A}$ **km/km²**) entre o comprimento total das linhas da água, “**L**”, (sejam elas perenes, intermitentes ou efémeras) existentes numa dada bacia e a área total, “**A**”, dessa bacia e que o valor da densidade de drenagem depende da escala da fonte em que é medido o comprimento total das linhas de água, pode-se afirmar, em geral, que a densidade eleva-se com a elevação da escala utilizada. Assim, em termos gerais, se a densidade de

drenagem for de 3 a 5 km/km², esta atingirá escalas aproximadas de 1:25.000, já densidades de 1 a 4 km/km², podem ser obtidas escalas aproximadas de 1:50.000, e densidades iguais e inferiores a 0,3 km/km², podem determinar escalas aproximadas de 1:1.000.000.

3.2.2. Dados Geomorfométricos

Morfometria ou Geomorfometria é a ciência da análise quantitativa da superfície da Terra (Rasemann *et al.*, 2004), que representa um campo interdisciplinar oriundo da matemática que subsidia as ciências da Terra e é auxiliada pela ciência da computação. Dentre os vários campos de atuação, a geomorfologia representa uma das áreas que mais se beneficia dessa ciência, pois, para Hengl e Reuter (2009) há dois modos fundamentais da geomorfometria: a análise de superfícies discretas específicas, formas do relevo, e o tratamento de superfícies contínuas, atendendo, com solidez, as necessidades de representação das variedades de feições do modelado terrestre.

Para Florenzano (2008), morfometria é a caracterização do relevo por meio de variáveis quantitativas, também denominadas índices morfométricos. Podemos, assim, inferir que o estudo da morfografia é o ponto de partida para o entendimento e classificação das feições geomorfológicas, em qualquer escala de representação a ser escolhida pois, entende-se que as formas do relevo é o elemento fundamental da representação geomorfológica.

Para representação dos dados morfométricos, faz-se necessário a elaboração do modelo digital de elevação, do qual são extraídos tais dados. Para Schmidt e Dikau (1999) MDEs são grades retangulares com valores de elevação, fundamentais na representação geomorfométrica e que a partir de sua análise pode-se extrair uma grande variedade de parâmetros relativos a altitude, declividade, orientação de vertente e outros.

Para delimitação semi-automatizada das unidades básicas de relevo baseado em critérios morfométricos, são ponderados, inicialmente, dois parâmetros: a amplitude altimétrica e a declividade. Posteriormente, a interação dessas variáveis permite a definição das unidades básicas de relevo e a inserção novos parâmetros métricos para maior definição de suas singularidades.

A escolha desses dois parâmetros morfométricos (amplitude e declividade) se deve por representarem o nível mínimo de discretização do relevo comum à primeira percepção humana (Naveh, 1998). A “altura” do relevo associado à sua respectiva “inclinação”, permite-nos a percepção, tanto cognitiva como empírica, da forma preludial do relevo.

3.3. DETERMINAÇÃO DOS INTERVALOS (AMPLITUDE E DECLIVIDADE) E DEFINIÇÃO DAS UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO: PROCESSO DE OBTENÇÃO, EXEMPLOS E APLICAÇÕES.

Uma simples álgebra booleana entra a declividade e amplitude seria eficaz na definição das unidades básicas de relevo, mas perduraria o questionamento quanto à delimitação de qual intervalo de valores a serem usados nesses dados geomorfométricos.

Trabalhos que utilizam operações booleanas (IPT, 1981; CPRM, 2010) ou que usam outros métodos de classificação (Seijmonsbergen *et al*, 2011; Hengl e Macmillan, 2008) não esclarecem o método de definição dos intervalos dos dados geomorfométricos que determinam as unidades de relevo.

O não esclarecimento do método usado para determinar intervalos de bases geomorfométricas, colocam-se como um entrave para replicar tais métodos, visto que o comportamento topográfico do relevo se apresenta com uma gama de variedades e com vários fatores que determinariam essa grande diversidade. Fatores como esses dificultam a padronização da representação cartográfica do modelado terrestre e do uso do mesmo método de classificação do relevo em áreas distintas.

3.3.1. Determinação dos intervalos de amplitude

Para determinação dos intervalos de amplitude, este trabalho desenvolveu um método consistente e simples de ser replicado, passível de atender a uma grande diversidade de padrões topográficos.

Levando em consideração uma análise análoga ao que Strahler (1952) definiu como integral hipsométrica (H_i), foi possível definir, dentro de áreas testes, regiões que se diferenciavam pelo seu grau de maturidade erosivo por manter níveis de padrões de amplitude altimétricos distintos quando correlacionados a uma determinada área. Assim, com a correlação entre amplitude altimétrica e área foi possível definir regiões com arquétipos topográficos concentrados em diferentes gradientes altimétricos, que ficou denominado de correlação topográfica (T_c).

Na definição T_c levou-se em consideração duas razões (**Figura 3.1**): (1) o menor valor de intervalo¹ de amplitude possível (h) pela amplitude altimétrica da bacia analisada (H), representada pela abscissa no gráfico; (2) a área de cada intervalo da amplitude altimétrica (a) pela a área total da bacia analisada (A), representada por valores da ordenada.

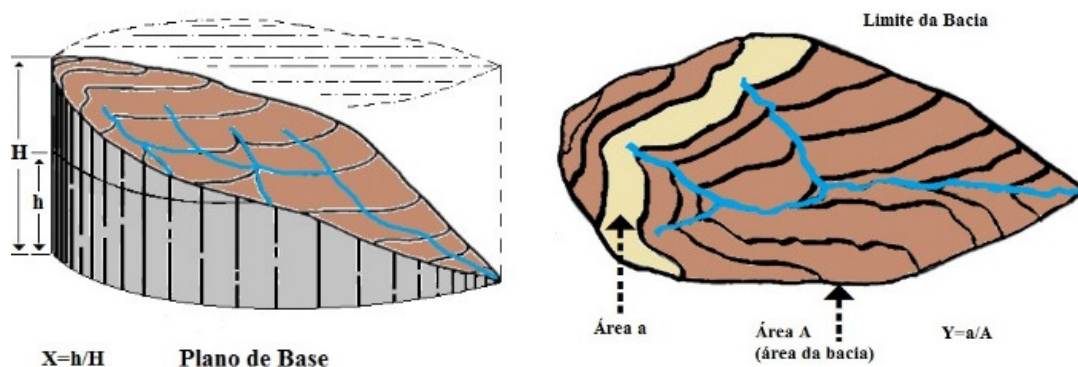


Figura 3.1 - Representação de uma bacia hidrográfica na extração das razões de altitude e área. .

A curva resultante do gráfico (**Figura 3.2**) permite a comparação dos diferentes padrões topográficos em distintos níveis altimétricos dentro da bacia. Sinuosidades da curva correspondentes a grandes intervalos de áreas relativas (eixo Y) associados a pequenos intervalos de amplitudes relativas (eixo X), representam superfícies mais aplainadas, com menores índices de desníveis topográficos; já, o oposto, menores intervalos em Y e maiores em X, representam superfícies com maior ocorrência de desníveis topográficos.

¹ O menor intervalo de amplitude é definido de acordo com a precisão vertical do dado de entrada. No caso, por exemplo, de uma imagem SRTM levou-se em consideração 20m de precisão referenciando-se nos teste feito por Chien, 2000; Nima, 2004; Rabus et al., 2003 em que dados SRTM de resolução espacial de 90 metros obtiveram resolução vertical entre 16-20m.

A delimitação dos intervalos das amplitudes é possível pela inflexão hipsométrica (H_{if}), que é definida pelos pontos de inflexão da linha de regressão polinomial² da curva resultante da correlação topográfica e pela máxima hipsométrica (H_{max}), elucidado pelos pontos de máximo local da curva resultante da correlação topográfica. Os pontos na curva do gráfico que coincidem ou que mais se aproximam do H_{if} e H_{max} , representam os limites dos intervalos da amplitude.

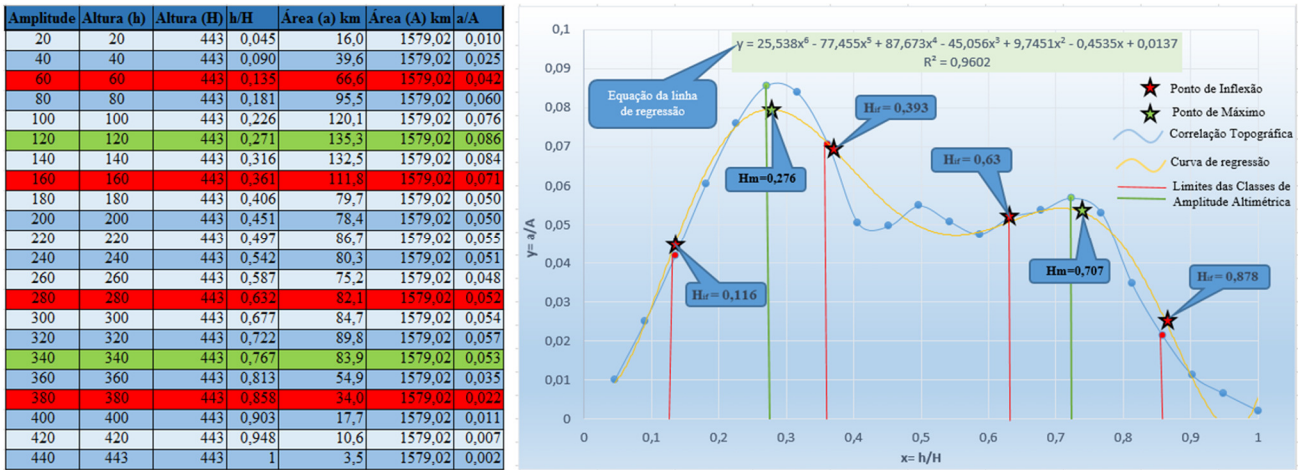


Figura 3.2 – Gráfica da correlação topográfica e delimitação dos intervalos de amplitude pela inflexão hipsométrica e pela máxima hipsométrica .

Os intervalos entre os pontos de inflexão e os pontos de máximo local da curva, representam padrões quanto à distribuição do comportamento topográficas em uma determinada área. Assim a inflexão e o ponto de máximo da linha de regressão, de polinômio de n-ésimo grau (com R-quadrado $\geq 0,9$), da correlação topográfica determina o intervalo da amplitude altimétrica, sendo representada pela seguinte equação:

$$p(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} a_{n-2} x^{n-2} + \dots + a_0 = \sum_{k=0}^n a_k x^k, x = \frac{h}{H} \text{ e } R^2 \geq 0,9 \text{ ponto de máximo local é um } \bar{x} \text{ tal}$$

$$\text{que: } \frac{dp}{dx}(\bar{x}) = 0 \leftrightarrow n a_n \bar{x}^{n-1} + (n-1) a_{n-1} \bar{x}^{n-2} + \dots + 1 a_1 = 0 \leftrightarrow \sum_{k=1}^n (k) a_k \bar{x}^{k-1} = 0 \text{ \& ponto de inflexão é}$$

$$\text{um } \bar{x} \text{ tal que: } \frac{d^2p}{dx^2}(\bar{x}) = 0 \leftrightarrow n(n-1) a_n \bar{x}^{n-2} + (n-1)(n-2) a_{n-1} \bar{x}^{n-3} + \dots + 2 \cdot 1 a_2 = 0 \leftrightarrow \sum_{k=2}^n (k)(k-1) a_k \bar{x}^{k-2} = 0$$

² A ordem polinomial a ser definida vai depender do melhor ajuste da linha de regressão. Polinômios de menores ordens determinam menores números de intervalos e se ajustam melhores quando transformados algoritmos computacionais, assim ficou determinado quando a linha de regressão obtiver um R-quadrado $\geq 0,9$ representará o melhor ajuste para representar a regressão da Tc.

3.3.2. Determinação dos intervalos de declividade

Como aponta Biasi (1977), a definição das classes de declividades (Dc) poderá ter um caráter eminentemente particular em que o pesquisador escolhe as classes que ele necessita para seu trabalho. Essa prática atende os anseios particulares de um determinado trabalho, mas se distancia do propósito de parametrizar a representação geomorfológica usando dados clinográficos.

Para minimizar o uso de critérios subjetivos na definição das classes de declividade e representar intervalos que denote o comportamento do terreno a ser analisado, este trabalho desenvolveu um método em que se minimiza a subjetividade em detrimento de evidenciar padrões clinográficos da superfície a ser caracterizada.

A delimitação dos intervalos de declividade é possível pela inflexão clinográfica (C_{if}) e pela máxima clinográfica (C_{max}), definidas pelos pontos de inflexão e de máximo local da linha de regressão polinomial³ da curva resultante do gráfico de frequência (Figura 3.3).

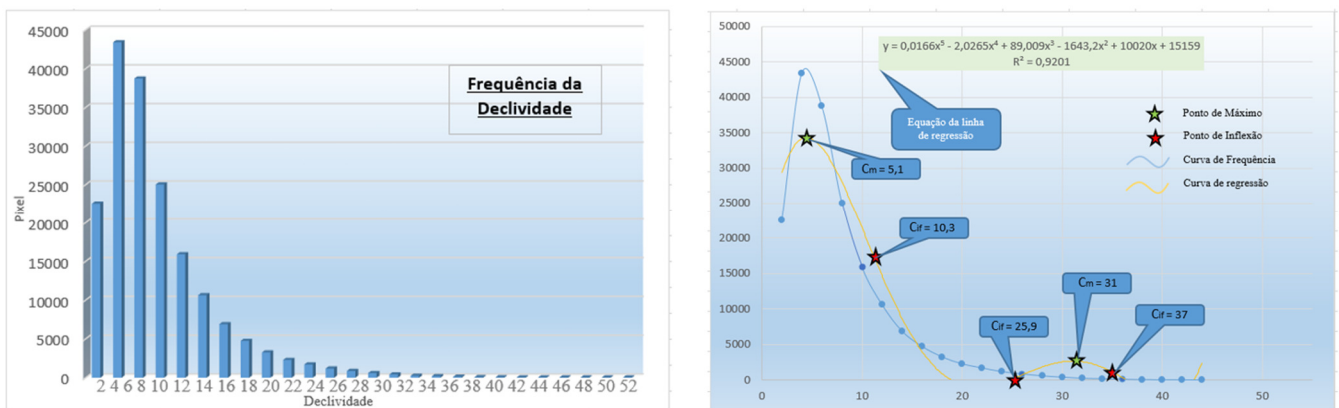


Figura 3.3 – Gráfica de frequência da declividade e delimitação dos intervalos pela inflexão clinográfica e pela máxima clinográfica.

Os intervalos obtidos pelos pontos de inflexão e de máximo local denotam padrões de distribuição da declividade em uma determinada área. Esses arquétipos clinográficos evidenciam níveis de rugosidade no terreno, delimitando superfícies mais planas e mais declivosas. Portanto, a regra para delimitação dos intervalos de declividade pode ser entendida como a inflexão e máxima local da linha de regressão,

³ A ordem polinomial a ser definida vai depender do melhor ajuste da linha de regressão. Polinômios de menores ordens determinam menores números de intervalos e se ajustam melhores quando transformados algoritmos computacionais, assim ficou determinado quando a linha de regressão obtiver um R-quadrado $\geq 0,9$ representará o melhor ajuste para representar a regressão da curva de frequência.

de polinômio de n-ésimo grau (com R-quadrado $\geq 0,9$), da curva de frequência da declividade, sendo representada pela seguinte equação:

$$p(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + a_{n-2} x^{n-2} + \dots + a_0 = \sum_{k=0}^n a_k x^k, x = \frac{h}{H} \text{ e } R^2 \geq 0,9 \text{ ponto de máximo local é um } \bar{x} \text{ tal}$$

$$\text{que: } \frac{dp}{dx}(\bar{x}) = 0 \Leftrightarrow n a_n \bar{x}^{n-1} + (n-1) a_{n-1} \bar{x}^{n-2} + \dots + 1 a_1 = 0 \Leftrightarrow \sum_{k=1}^n (k) a_k \bar{x}^{k-1} = 0 \text{ \& ponto de inflexão é}$$

$$\text{um } \bar{x} \text{ tal que: } \frac{d^2p}{dx^2}(\bar{x}) = 0 \Leftrightarrow n(n-1) a_n \bar{x}^{n-2} + (n-1)(n-2) a_{n-1} \bar{x}^{n-3} + \dots + 2 \cdot 1 a_2 = 0 \Leftrightarrow \sum_{k=2}^n (k)(k-1) a_k \bar{x}^{k-2} = 0$$

3.3.3 Unidades Básicas de Relevô (UBR)

Unidade Básica de Relevô (UBR) representa a unidade preludial a ser descrita para o início da classificação das feições geomorfológicas, individualizadas por seus padrões geomorfométricos (amplitude e declividade). Destoando de métodos clássicos de representação do relevô (Demek, 1967; Mescherikov, 1968; Tricart, 1978), que considera como princípio de classificação as superfícies geneticamente homogêneas, o presente método parte do princípio que a representação o modelado terrestre deve desencadear-se das similitudes morfométricas.

Assim, para delimitação das unidades básicas do relevô leva-se em consideração uma álgebra de mapas entre os intervalos – previamente obtidos pelo método anteriormente descrito – da amplitude altimétrica e declividade (**Tabela 3.1**). A caracterização do relevô levando em consideração esses dois dados básicos da morfometria, permite a delimitação das singularidades da área analisada partindo de sua morfologia, mantendo o foco no principal objeto de estudo da geomorfologia, a descrição das feições do relevô.

Tabela 3.1 – Valores hipotéticos determinados para a amplitude e declividade quando correlacionados possibilitam a representação das unidades básicas de relevô.

Amplitude (m)	Declividade (%)	Unidade Básica de Relevô
0 – 100 (1)	0 – 15 (10)	Classe I (11)
100 – 300 (2)	0 – 15 (10)	Classe II (12)
> – 300 (3)	0 – 15 (10)	Classe III (13)
0 – 100 (1)	> – 15 (20)	Classe IV (21)
100 – 300 (2)	> – 15 (20)	Classe V (22)
> – 300 (3)	> – 15 (20)	Classe VI (23)

Considerando que os dados de amplitude e declividade se apresentam em formato *raster*, associa-se a cada dado *raster*, valores atribuídos para cada intervalo; assim as células são representadas a cada valor atribuídos, e a soma dos dados permite a identificação dos tipos de UBR (**Figura 3.4**).

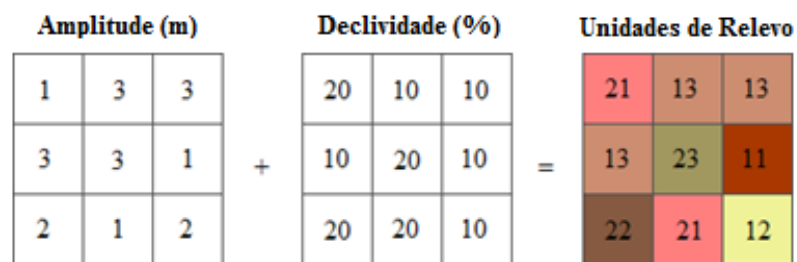


Figura 3.4 – Representação da soma dos dados matriciais para determinação das unidades de relevo.

Os táxons a serem indicados para cada unidade de relevo levará em consideração a literatura existente e as similaridades das feições descritas com a morfologia obtidas a partir do método aqui descrito. Após a delimitação das unidades básicas de relevo, a inserção de outros parâmetros morfométricos (curvaturas, orientação etc.) pode evidenciar suas singularidades, como a associação de dados geológicos, pedológicos que determinará características genéticas e estruturais da área a ser analisada (**Figura 3.5**).

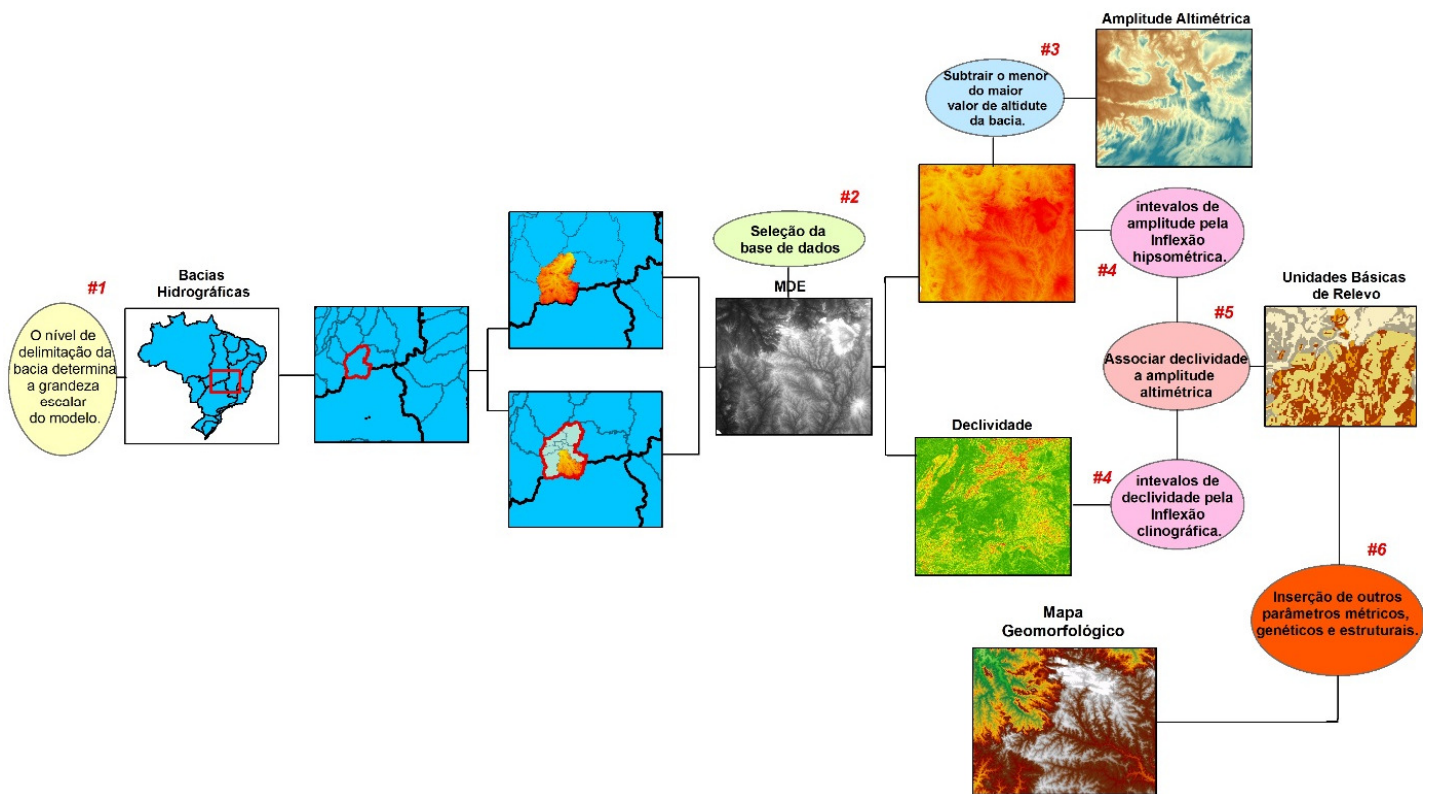


Figura 3.5 – Etapas para obtenção das unidades básicas de relevo e definição da representação geomorfológica.

3.3.4 Exemplos e Aplicações

De modo a avaliar o método aqui apresentado, foi selecionado a bacia hidrografia do rio São Bartolomeu. Localizada na região central do Brasil, essa bacia abrange uma área de aproximadamente 5.480 km², recobrendo áreas do estado de Goiás e do Distrito Federal (**Figura 3.6**).

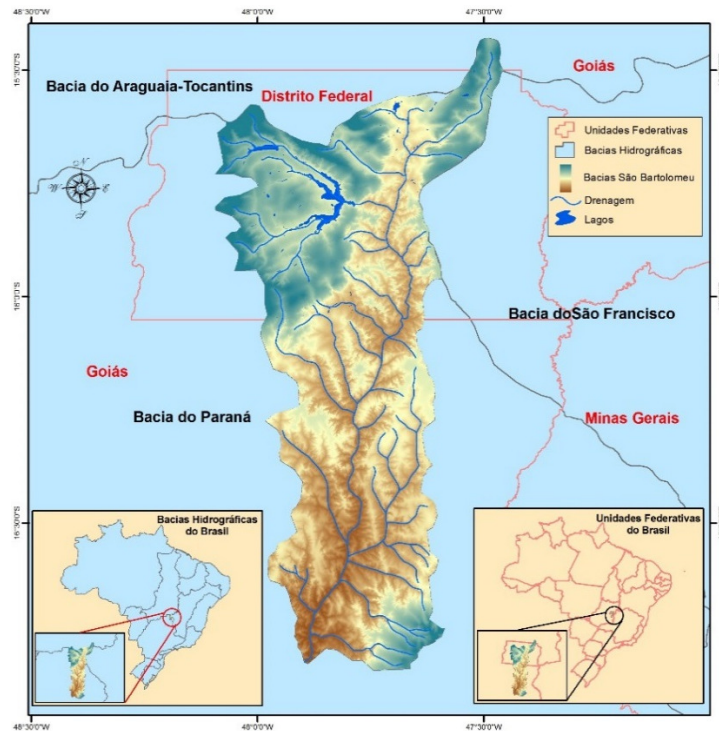


Figura 3.6– Mapa de localização e unidades federativas com bacias hidrográficas de abrangência da área de aplicação.

A geologia da bacia é formada principalmente por rochas metassedimentares dos grupos Paranoá e Canastra, os quais se encontram em contato tectônico (Martins *et al.*, 2004). Já a geomorfologia, segundo Sena-Souza et al (2013) é descrita por oito unidades geomorfológicas (chapadas, frente de recuo erosivo, rampa de colúvio, depressão dissecada, mesa, crista, colina e planície fluvial) com predomínio de depressões dissecadas e chapadas.

Conforme o método aqui apresentado, determinou-se os limites da amplitude da bacia, por meio da inflexão hipsométrica (H_{if}) e máxima hipsométrica (H_{max}), e os limites de declividade, fazendo uso da inflexão clinográfica (C_{if}) e da máxima clinográfica (C_{max}). A integração entre os intervalos desses dois dados possibilitou a delimitação das UBR, apresentadas em onze classes (**Figura 3.7**).

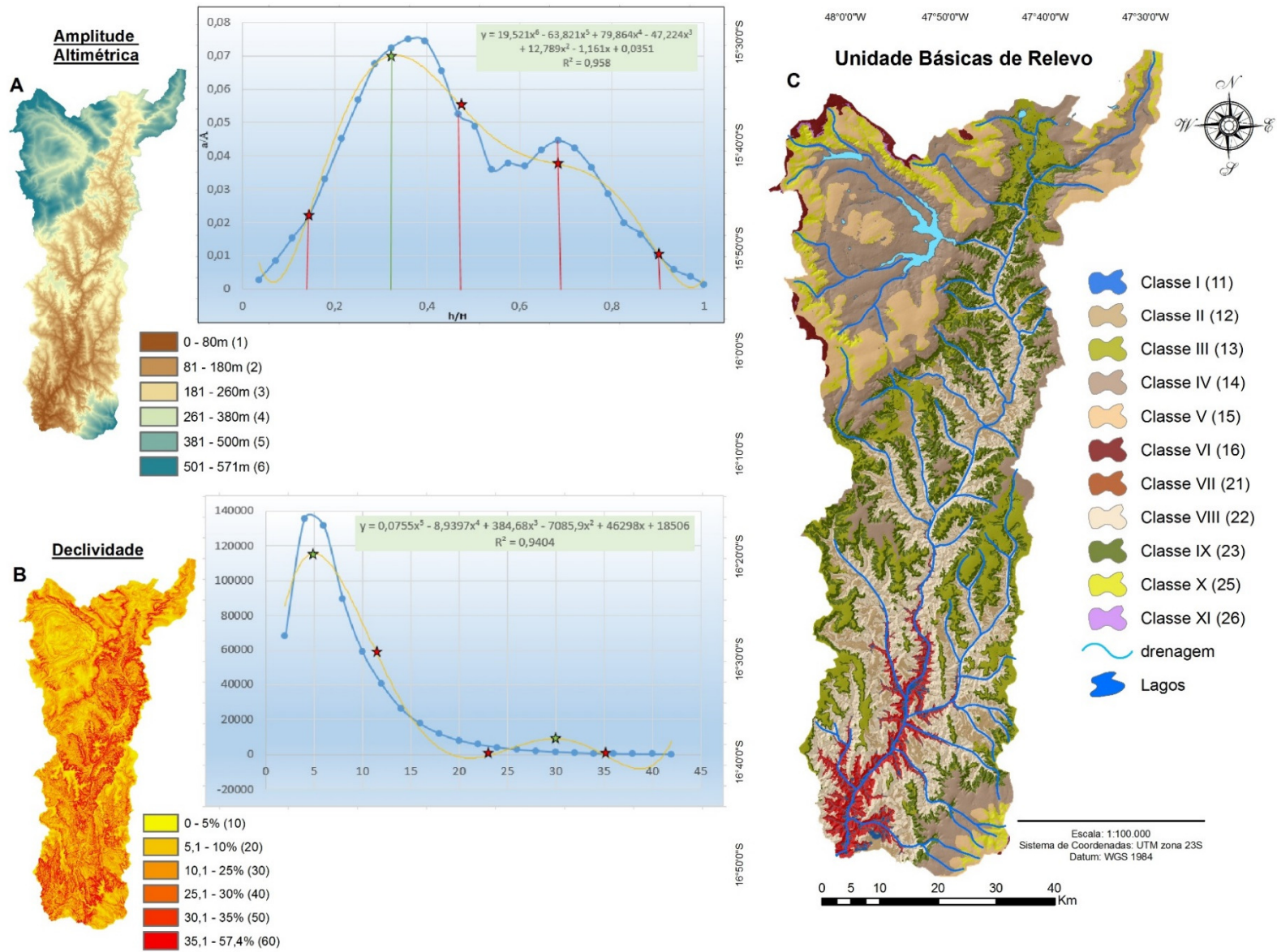


Figura 3.7 – Correlação entre amplitude altimétrica (A) e declividade (B) determinando as classes das unidades básicas de relevô (C).

O código representado entre parenteses na UBR (**Figura 3.7.C**) representa a descrição das características morfométricas associadas à declividade e à amplitude. A Classe IV identificada pelo código 14, por exemplo, denota uma UBR de amplitude altimétrica entre 261 a 380m com declividade entre 0 a 5%. Alguns códigos que representariam uma determinada classe (34, 35, 36, 41, 44, 45, etc.), não aparecem no modelo pela ausência de correlação entre seus respectivos intervalos ou por não representarem unidades distintas e, por consequência, devem ser agregadas a outras classes. Pixels isolados que associam-se a uma unidade distinta, são integrados a classe predominante a sua vizinhança.

O grande número de classes de UBR, em que algumas se apresentam inexpressivas no modelo, deve-se ao número de intervalos delimitados na declividade (**Figura 3.7.B**). A ocorrência de valores discrepantes, que estão relacionados a ruídos da base de dados (SRTM-90), determina um maior número de intervalos no modelo, mas não indicam uma feição a ser individualizada. Correções prévias a serem feitas na base de entrada, ou dados como maior nível de acurácia, determinam modelos mais próximos à realidade e evitam a delimitação de classes sem significância.

Comparando o modelo das UBR, obtido com o método aqui apresentado, com o mapa geomorfológico elaborado por Sena-Souza *et al.* (2013), podemos notar grandes semelhanças na delimitação de suas unidades (**Figura 3.8**). Sena-Souza *et al.* (2013), para representação geomorfológica da Bacia do Rio São Bartolomeu, utilizaram os padrões estruturais da bacia e a delimitação, por interpretação visual, das similitudes geomorfométricas obtidas por composição colorida (R – altimetria + declividade, G – curvatura mínima, B – Aspecto) e sua respectiva validação em campo.

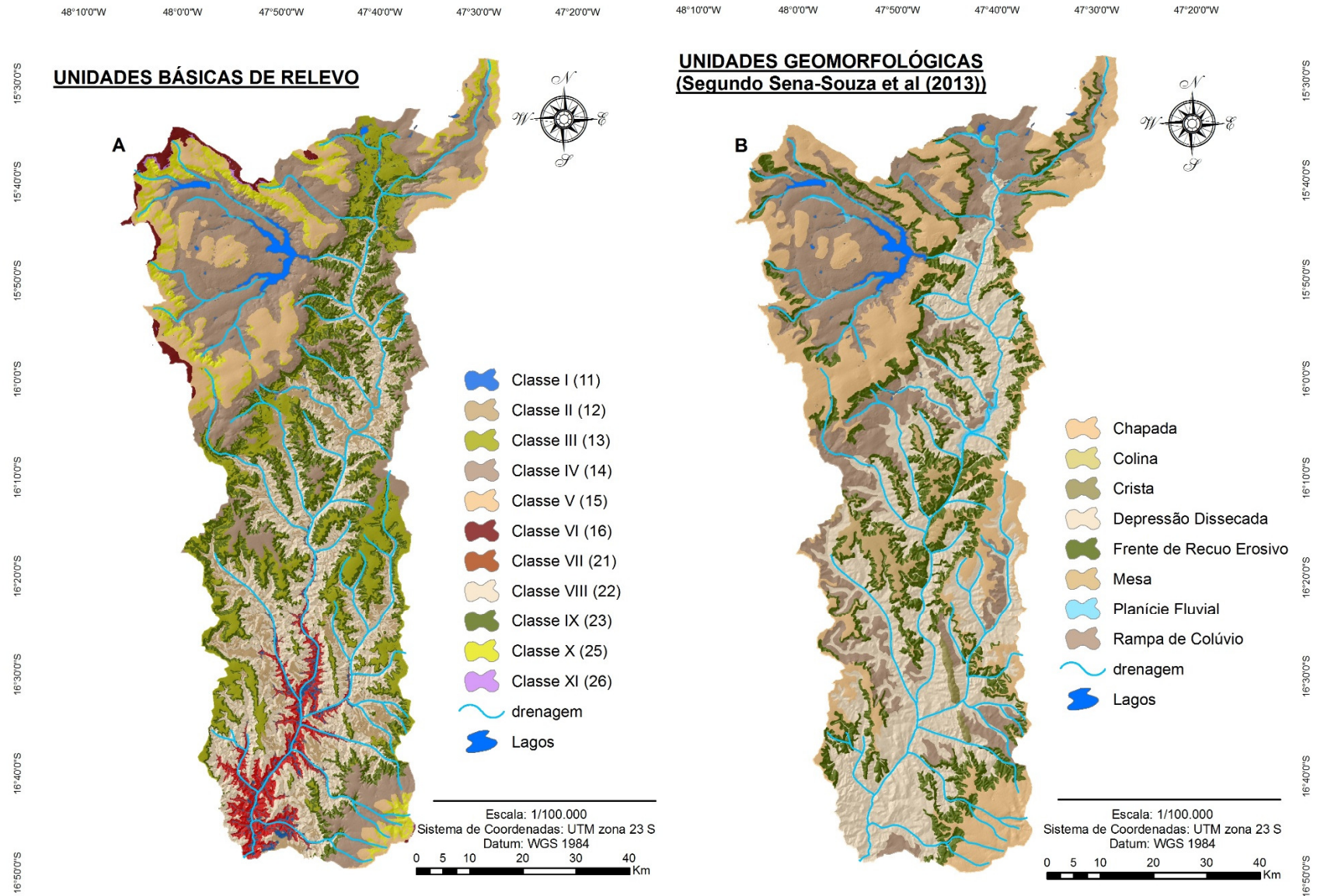


Figura 3.8– Comparação entre dois modelos geomorfológicos de métodos de obtenção distintos.

A ocorrência de um número maior de classes no modelo A (**Figura 3.8.A**) se deve a uma maior delimitação das diferenças geomorfológicas presentes na bacia, homogeneizadas pelo modelo B (**Figura 3.8.B**). A tabela a seguir esboça os níveis de similaridade presente entre os dois modelos, sendo possível notar que unidades do modelo B aparecem representadas por várias classes do modelo A, sendo uma classe mais expressiva quanto ao índice de similaridade, em termos percentuais (**Tabela 3.2**).

Tabela 3.2 – Tabela de similaridade entre modelos geomorfológicos de métodos de obtenção distintos.

Unidades	Classes	Área (km ²)	%	Área Total	Unidades	Classes	Área (km ²)	%	Área Total	
Chapada	Classe V	444,7365	37,733412	1178,6278	Depressão Dissecada	Classe IV	6,7262	0,4355194	1544,4111	
Chapada	Classe X	135,9058	11,530845		Depressão Dissecada	Classe IX	241,2840	15,623041		
Chapada	Classe IV	327,5575	27,791428		Depressão Dissecada	Classe III	74,2499	4,8076545		
Chapada	Classe XI	4,0125	0,3404352		Depressão Dissecada	Classe II	250,4311	16,215311		
Chapada	Classe VI	58,7680	4,9861351		Depressão Dissecada	Classe VIII	730,1578	47,277428		
Chapada	Classe IX	19,0235	1,6140405		Depressão Dissecada	Classe I	68,4039	4,4291224		
Chapada	Classe III	188,3081	15,976896		Depressão Dissecada	Classe VII	173,1582	11,211924		
Chapada	Classe II	0,1234	0,0104658		Colina	Classe IV	1,3643	31,006372		4,4000
Chapada	Classe VIII	0,1926	0,0163423		Colina	Classe IX	1,4692	33,389977		
Frente de Recuo Erosivo	Classe V	4,3121	0,4868691	885,6845	Colina	Classe III	1,5666	35,603651	112,1227	
Frente de Recuo Erosivo	Classe X	69,4703	7,8436853		Mesa	Classe IV	50,8970	45,393994		
Frente de Recuo Erosivo	Classe IV	222,3563	25,105582		Mesa	Classe IX	18,7428	16,716361		
Frente de Recuo Erosivo	Classe XI	3,0542	0,3448434		Mesa	Classe III	41,0538	36,615018		
Frente de Recuo Erosivo	Classe VI	0,5556	0,0627257		Mesa	Classe II	0,0787	0,0702274		
Frente de Recuo Erosivo	Classe IX	351,7946	39,720085		Mesa	Classe VIII	1,3504	1,2043995		
Frente de Recuo Erosivo	Classe III	22,9221	2,5880665		Crista	Classe IX	7,8084	34,674524		22,5193
Frente de Recuo Erosivo	Classe II	7,0449	0,7954243		Crista	Classe III	4,0934	18,177127		
Frente de Recuo Erosivo	Classe VIII	200,5212	22,640254		Crista	Classe II	0,4400	1,9539312		
Frente de Recuo Erosivo	Classe I	0,1687	0,0190422		Crista	Classe VIII	10,1528	45,085051		
Frente de Recuo Erosivo	Classe VII	3,4845	0,3934217	Crista	Classe I	0,0002	0,0006833			
Rampa de Colúvio	Classe V	35,9435	3,047901	Crista	Classe VII	0,0245	0,1086834			
Rampa de Colúvio	Classe X	45,3172	3,8427619	Planície Fluvial	Classe IV	9,3602	33,893065	27,6168		
Rampa de Colúvio	Classe IV	541,6667	45,93166	Planície Fluvial	Classe IX	0,2433	0,8808381			
Rampa de Colúvio	Classe XI	0,4359	0,0369664	Planície Fluvial	Classe III	6,3768	23,090218			
Rampa de Colúvio	Classe VI	0,1529	0,0129613	Planície Fluvial	Classe II	11,0205	39,904991			
Rampa de Colúvio	Classe IX	153,1669	12,988081	Planície Fluvial	Classe VIII	0,6161	2,2308883			
Rampa de Colúvio	Classe III	209,0924	17,730385							
Rampa de Colúvio	Classe II	111,5339	9,4577318							
Rampa de Colúvio	Classe VIII	76,4544	6,4830991							
Rampa de Colúvio	Classe I	4,4101	0,3739591							
Rampa de Colúvio	Classe VII	1,1144	0,0944938							

A existência de duas ou mais classes com elevado percentual de similaridade para uma mesma unidade, se deve à capacidade do método aqui apresentado, de representar patamares diferentes de dissecção do relevo e, por consequência, de morfologias distintas da superfície. A unidade **Frente de Recuo Erosivo** é representada por duas classes (**IX** e **IV**) que aparecem com o maior percentual de similaridade (39% e 25%). Se revirmos a **Figura 3.8**, podemos notar que essas classes são distintas quanto à altimetria e à declividade, mas são complementares em sua distribuição espacial. Essa variação se dá pela ocorrência de níveis de dissecção distintos na área, possibilitando delimitar níveis de recuo erosivo díspares, individualizados pelos índices de declividade e patamares de dissecção singularizados por variações em suas altimetrias (**Figura 3.9**).

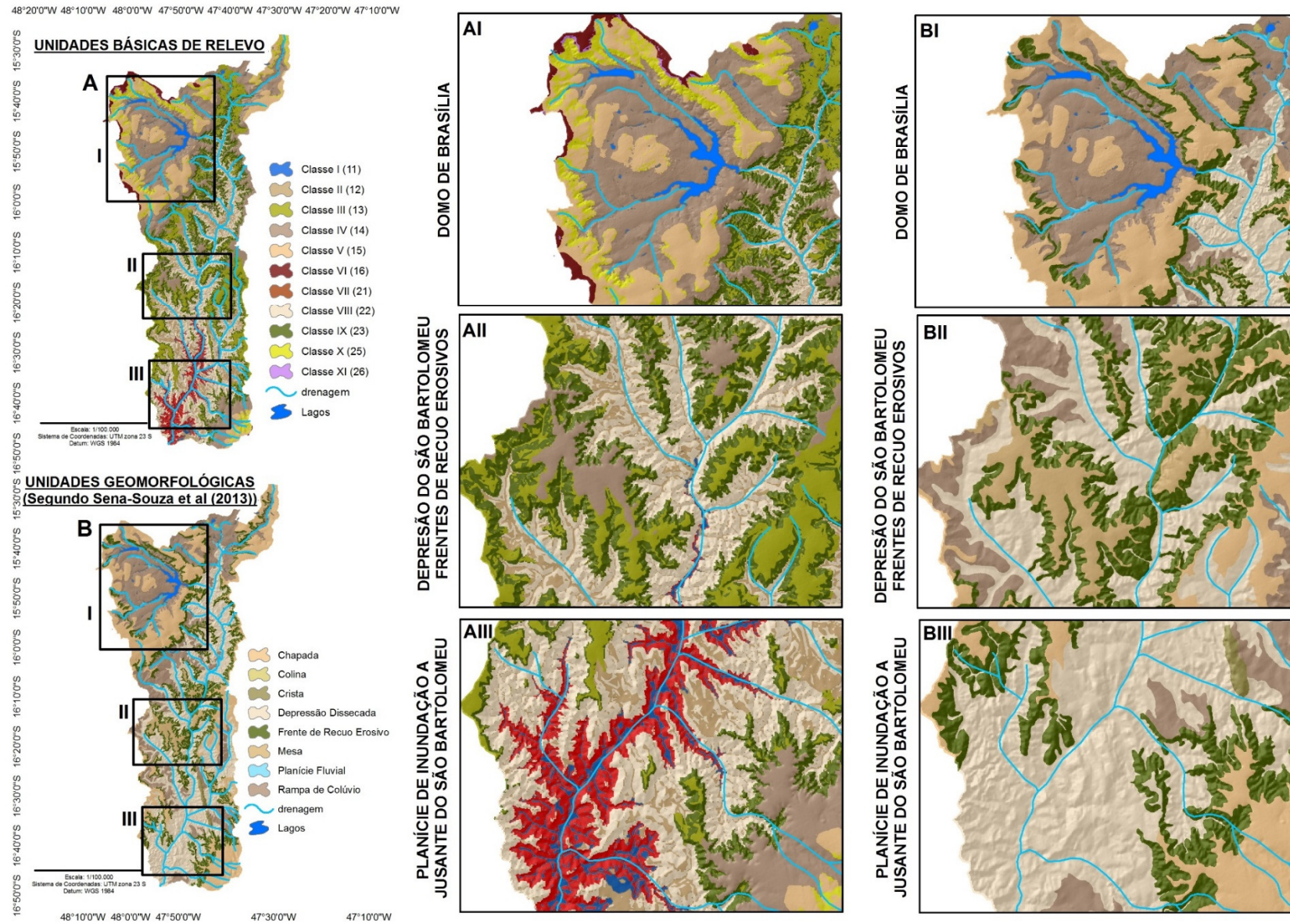


Figura 3.9 – Comparação entre dois modelos geomorfológicos de métodos de obtenção distintos e ampliação para observação de suas singularidades.

Também há casos em que uma classe (**Classe IV**) possa aparecer representada por duas unidades (**Rampa de Colúvio e Mesa**); isso se deve ao fato de o modelo de UBR levar em consideração os parâmetros métricos da superfície. Assim, unidades como rampa de colúvio e mesa apresentam a mesma feição morfológica e apenas se tornariam distintas quando validadas em campo e considerada sua gênese.

Em linhas gerais, o método apresentado permitiu um elevado nível de distinção de feições que apresentam características geomorfométricas singulares. Considerando o baixo tempo para obtenção das classes e a inexistência de subjetividade, o método se apresenta consistente e passível de ser replicável pelos mais diversos tipos de usuários.

3.4. CONCLUSÕES

Em decorrência das imprecisões nos processos de obtenção e nos métodos estabelecidos para representação geomorfológica, desenvolveu-se um procedimento para a delimitação de classes da amplitude altimétrica e declividade, por meio da inflexão e máxima hipsométrica e inflexão e máxima clinográfica, que, quando correlacionadas, permitem a delimitação da Unidades Básicas de Relevo (UBR).

O procedimento apresentado permitiu a delimitação de unidades morfológicas de mapeamento de forma mais objetiva. O uso de modelos matemáticos já consagrados em ambientes SIG's e os aqui apresentados, juntos, possibilitaram a semiautomatização na obtenção de arquétipos geomorfológicos, como também, proporcionaram a delimitação de classes métricas do relevo que represente o seu comportamento mais factual. O método proposto para a determinação dos intervalos de amplitude é simples e replicável, passível de atender uma grande diversidade de padrões topográficos.

Partir de bases geomorfométricas para obtenção das UBR, fundamenta a hipótese de que é viável iniciar a representação geomorfológicas a partir das suas características métricas (morfometria) e delineia mais um passo para nortear uma proposta que venha parametrizar o mapeamento geomorfológico e sua possível padronização, doravante a um método inteligível e replicável.

O método proposto apresentou coerência com os resultados obtidos por Sena-Souza *et al.* (2013) na bacia do São Bartolomeu. As principais diferenças encontradas

podem ser derivadas da interpretação do analista no processo de mapeamento. Por outro lado, feições morfológicas similares podem apresentar origem distintas. Este tipo de análise genética ainda depende da interpretação do pesquisador.

As UBR definidas com SRTM-90 em otobacias de nível 5 são consistentes com mapeamento geomorfológico na escala de 1:100.000, com relação direta com os aspectos estruturais da paisagem, relacionados com a interação entre os materiais de origem e o clima.

***CAPÍTULO 4 – TESTES DO METODO SEMIAUTOMÁTICO DE
DELIMITAÇÃO DE UNIDADES BÁSICAS DE RELEVO EM REGIÕES
TROPICAIS EM ÁREAS DE FEIÇÕES DISTINTAS***

4.1. INTRODUÇÃO

A Zona Intertropical representa uma significativa parte da superfície terrestre e geomorfologicamente caracterizada pela rica e variada diversidade de acidentes geográficos. Os trópicos se apresentam com feições que vão desde enormes cadeias de montanhas a planícies das mais diversas origens.

Para Gupta (2011) não há um único modelo que possa existir para geomorfologia tropical dada as grandes variações na geologia regional e no clima. A maior parte dos trópicos permeiam entre superfícies antigas, evoluídas da Gondwana, a paisagens geologicamente recentes, associadas a encontro de placas ou planícies aluviais.

De maneira geral, as formas topográficas na região intertropical são estreitamente controladas pela estrutura geológica regional e pelo clima (Bigarella, 1994). Assim, a grande variedade estrutural associada às nuances do clima tropical, determina uma rica variedade de feições geomorfológicas.

A representação dos relevos tropicais apresenta-se como um desafio, mediante a sua multiplicidade de feições a serem singularizadas. O uso das métricas da superfície indica uma saída viável para individualizar tais feições. Quando associado a um método consistente e replicável, que se abranja as mais diversas formas e comportamento das paisagens tropicais, o uso de dados geomorfométricos norteia as premissas da representação geomorfológicas de ambientes tropicais.

O objetivo primacial deste trabalho é testar o método de delimitação de Unidades Básicas de Relevo (UBR), descrito no capítulo III, em áreas de feições distintas dentro do território brasileiro, comprovando que o clima e a geologia controlam o processo de desenvolvimento da topografia, mas as suas singularidades métricas são as principais características que os diferenciam. Outro objetivo foi o de comparar os resultados obtidos a modelos geomorfológicos, em mesmo nível escalar e de base de dado, em que foram usados parâmetros díspares de delimitação do relevo.

4.2. ÁREAS- TESTE

Para escolha das áreas-teste, levou-se em consideração duas condições básicas: representar áreas, teórica e empiricamente dissemelhantes quanto a sua topografia, e apresentar uma base geomorfológica documental para efeito de comparação.

Assim, foram escolhidas duas bacias hidrográficas no território brasileiro, que se apresentam sobre influência de climas tropicais e se diferenciam por suas feições topográficas, além de apresentarem base cartográfica descritiva, elaborada pela mesma fonte (CPRM) e norteadas pela mesma base de dados (SRTM).

Para delimitação das bacias escolhidas, levou-se em consideração os limites propostos pela Agência Nacional de Águas (ANA) em ottobacias, optando por duas bacias de nível 4. A bacia 1 (B1- Bacia do Rio Negro) está inserida sobre parte da planície do pantanal sul-mato-grossense e a bacia 2 (B2 – Bacia do Alto-médio Tietê) nos relevos mamelonares do leste paulista (**Figura 4.1**).

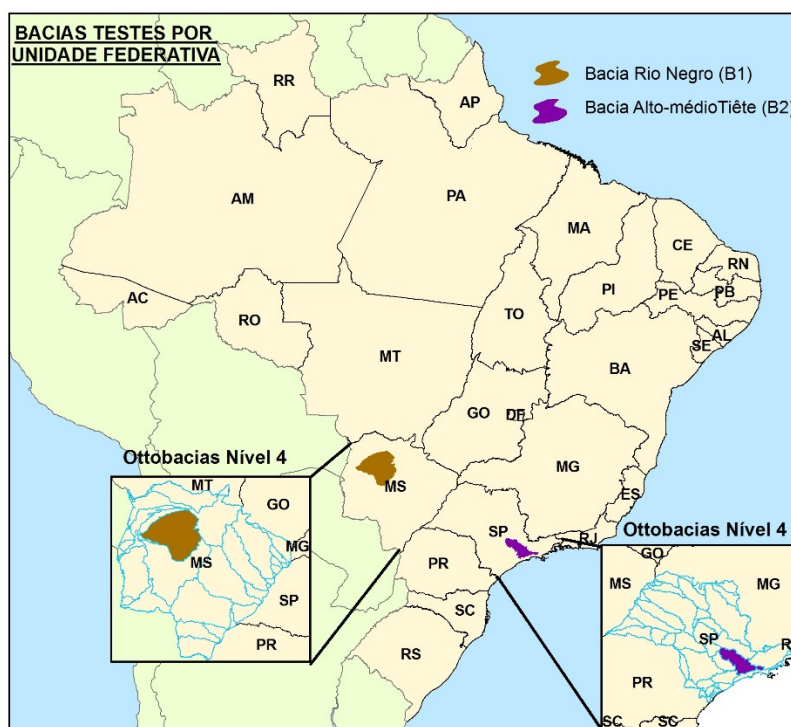


Figura 4.1 – Mapa de localização das áreas testes.

4.2.1. Bacia do Rio Negro (B1)

Localizada na parte oeste do estado do Mato Grosso do Sul, a bacia do Rio Negro abrange uma área aproximada de 31.000km² recobrando, em sua maior parte, as áreas baixas e planas do pantanal mato-grossense.

Segundo a CPRM (2010), essa bacia é recoberta, prioritariamente, por fácies de depósitos aluvionares com domínio de sedimentos Cenozóico inconsolidado ou pouco consolidado.

Com objetivo de conferir uma informação geomorfológica clara do estado de Mato Grosso, o relatório de Geodiversidades (CPRM, 2010) delimitou grandes conjuntos morfológicos da paisagem, na escala de 1:500.000, sem muita preocupação quanto a gênese do relevo. Usando de fotointerpretação das texturas e rugosidades do terreno associados ao Modelo Digital de Elevação (base SRTM 90m), em que foi possibilitada a extração das classes de hipsometria e declividade, foi possível a representação do relevo da região.

A reinterpretação de informações existentes nos mapas geomorfológicos produzidos por instituições diversas (em especial RADAMBRASIL) e a execução de uma diversidade de perfis de campo, possibilitou a CPRM desenvolver uma biblioteca de relevo do território brasileiro, pautado em intervalos de declividade e amplitude topográfica, em que a Bacia B1 aparece caracterizada por dez classes de relevo (**Figura 4.1**).

Pautado no método apresentado no capítulo III, determinou-se os limites da amplitude da bacia B1, por meio da inflexão hipsométrica (H_{if}) e da máxima hipsométrica (H_{max}). Os limites de declividade foram determinados fazendo uso da inflexão clinográfica (C_{if}) e da máxima clinográfica (C_{max}), sendo que a integração entre os intervalos desses dois dados possibilitou a delimitação das UBR, o que, por consequência, permitiu a comparação entre os resultados obtidos pela CPRM e pelo método aqui descrito (**Figura 4.2**).

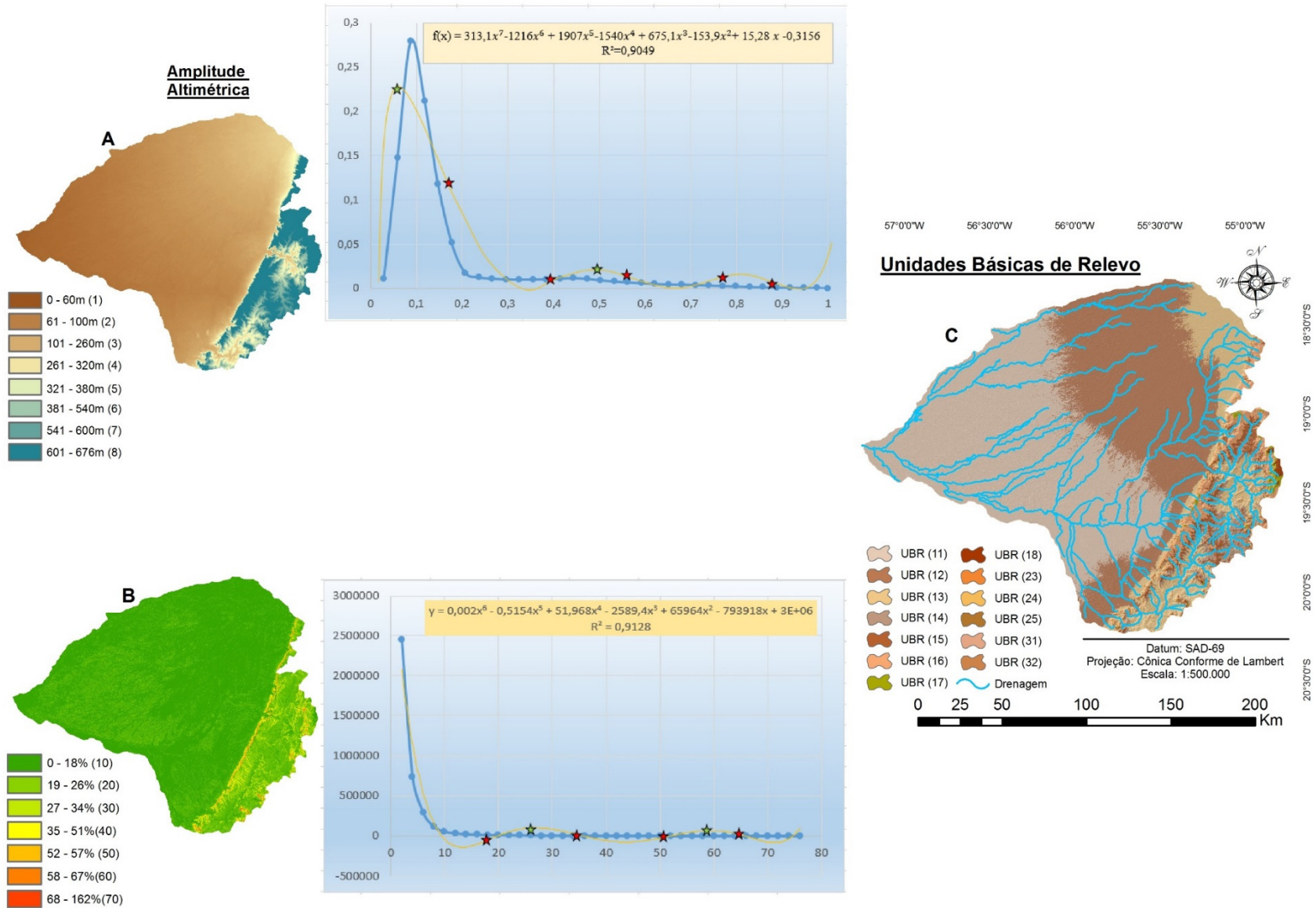


Figura 4.2 – Correlação entre amplitude altimétrica (A) e declividade (B) determinando as classes das unidades básicas de relevô (C).

O modelo resultante do método de delimitação das UBR possibilitou a individualização de treze UBR na Bacia B1. Levando em consideração os intervalos obtidos na amplitude altimétrica e na declividade o número de classes de UBR deveria ser bem maior (56 UBR), mas, a existência de pequenas inconsistências na base dado adicionado a valores de intervalos que não se correlacionam, o número de UBR se apresentam menores e mais próximo a realidade.

A comparação entre o mapa de relevo da bacia B1 elaborado pela CPRM como modelo de UBR, permite-nos a identificação de unidades similares e de outras classes que se apresentam, no modelo de UBR, mais bem delimitadas (**Figura 4.3**).

Delimitou-se duas áreas (I e II) na figura 4.3B1, a fim de permitir uma análise mais criteriosa entre os dois modelos, sendo que o modelo de UBR evidenciou um maior delineamento das feições da bacia. Observando as unidades geológicas da área, nota-se que a delimitação das classes de UBR aparecem bem controladas pela geologia local, equiparando-se ou aproximando-se de seus limites.

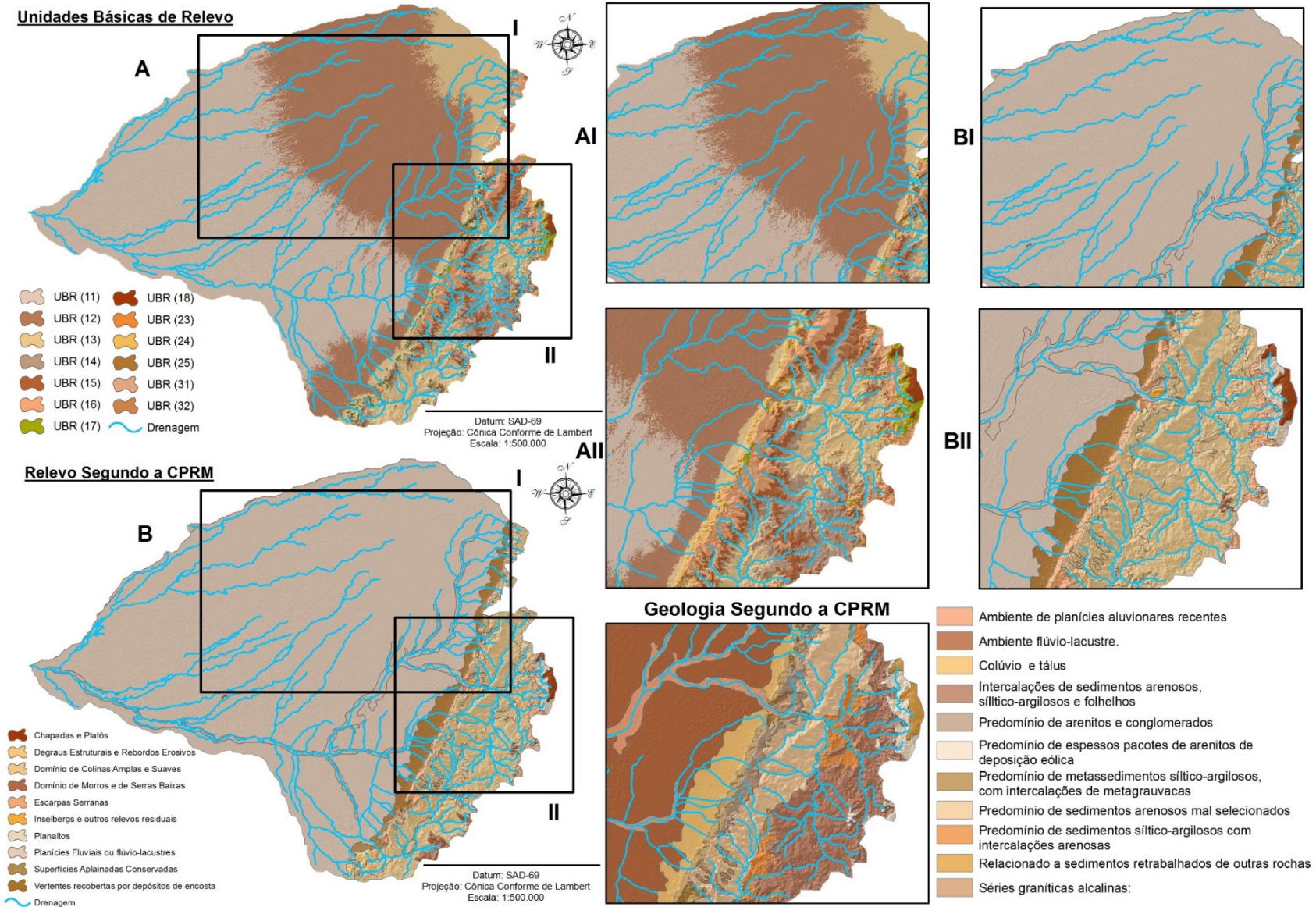


Figura 4.3 – Comparação entre dois modelos geomorfológicos de métodos de obtenção distintos e ampliação para observação de suas singularidades.

Comparando a figura 4.3A1 com B1 a planície fluviais delimitas pela CPRM aparece subdividida no modelo da UBR. Há a distinção de três padrões de leques aluviais com o mesmo padrão de declividade e dispares em seus padrões altimétricos. Os distintos leques aluviais aparecem controlados pela variação da hierarquia da drenagem, a feição (UBR 11 – declividade até 18% e amplitude até 60m) influenciada pela maior hierarquia de drenagem obtendo o menor patamar de amplitude.

Já na figura 4.3A2 e B2 as distinções das classes dos dois modelos são bem definidas pelo controle estrutural da área. No modelo BII predomina a classe de colinas amplas suaves aparece subdivididas em outras unidades (UBR13, 14, 15 e 16) no modelo A2. As UBR dessa área também se diferenciam, principalmente, pelos diferentes patamares de amplitude altimétrica, com limites definidos pelos diferentes padrões geológicos. Na parte inferior da figura 4.3A2, a transição da UBR14 (declividade até 18% e amplitude de 261 a 320m) para UBR15 (declividade até 18% e amplitude de 321 a 380m) se dá por mudanças dos padrões geológicos, que transitam de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e folhelhos para sedimentos siltico-argilosos com intercalações arenosas.

4.2.2. Bacia do Alto-médio Tietê (B2)

Abrangendo uma área aproximada de 9.900km², a bacia do Alto-médio Tietê localiza-se a leste do estado de São Paulo e recobre, em sua maior extensão, os relevos mamelonares do leste paulista.

A bacia B2 é influenciada por uma geologia bastante diversificada. À sua jusante, o domínio das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares aparecem como predominantes. No alto e no médio curso do da bacia, complexos granito-gnaiss-migmatito, complexo granitoide deformado, sequências sedimentares proterozoicas dobradas e domínios dos sedimentos Cenozoicos inconsolidados, representam as estruturas predominantes (CPRM, 2010).

Levando em consideração o método supracitado de obtenção de unidades de relevo desenvolvido pela CPRM, a bacia B1 é descrita por sete classes de relevo em que domínios de colinas amplas e suaves, colinas dissecadas e morros baixo e domínio montanhoso representam a predominância geomorfológica da bacia.

Por meio da utilização do método de delimitação das UBR, foram obtidas quatorze unidades de cinquenta possíveis. Assim como observado na bacia B1, o modelo de UBR da B2 apresentou dados espúrios (pixels isolados com valores discrepantes) e intervalos de declividades e amplitudes que não se correlacionaram (**Figura 4.4**).

Comparando os resultados obtidos pelos dois métodos, novamente, as UBR apresentaram uma maior delimitação do modelado geomorfológico. Feições díspares apareceram discriminadas em classes distintas, ao contrário dos domínios de relevo, da CPRM, que homogeneizou tais feições. A representação de níveis de dissecação – aparente pela rugosidade e patamares altimétricos do terreno – e de feições nitidamente controlada pela geologia local, aparecem bem delimitadas no modelo de UBR (**Figura 4.5**).

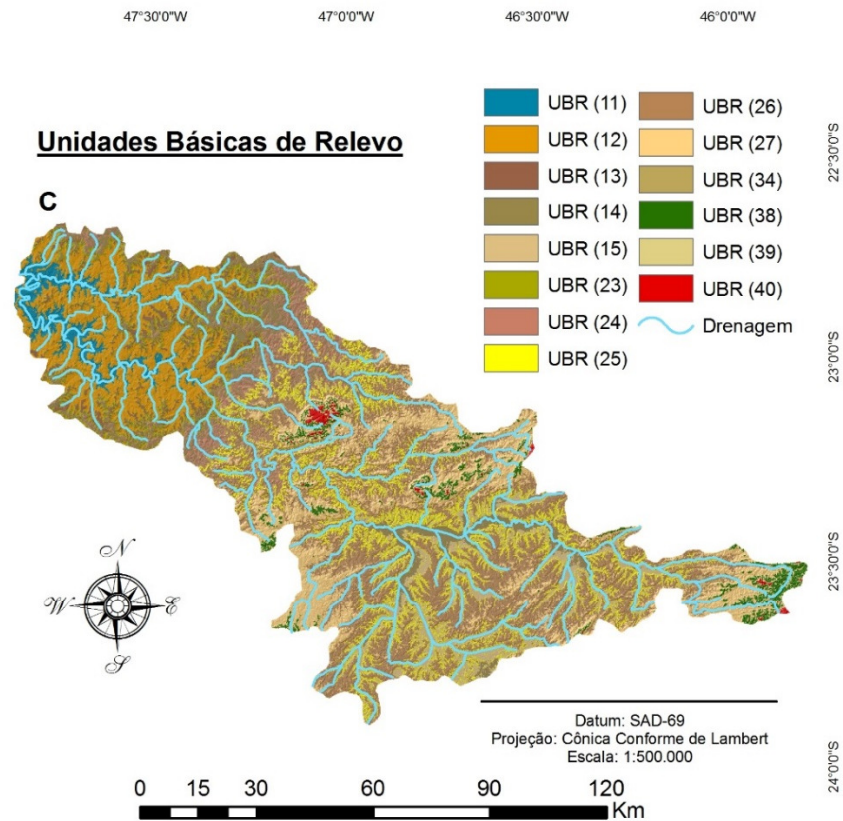
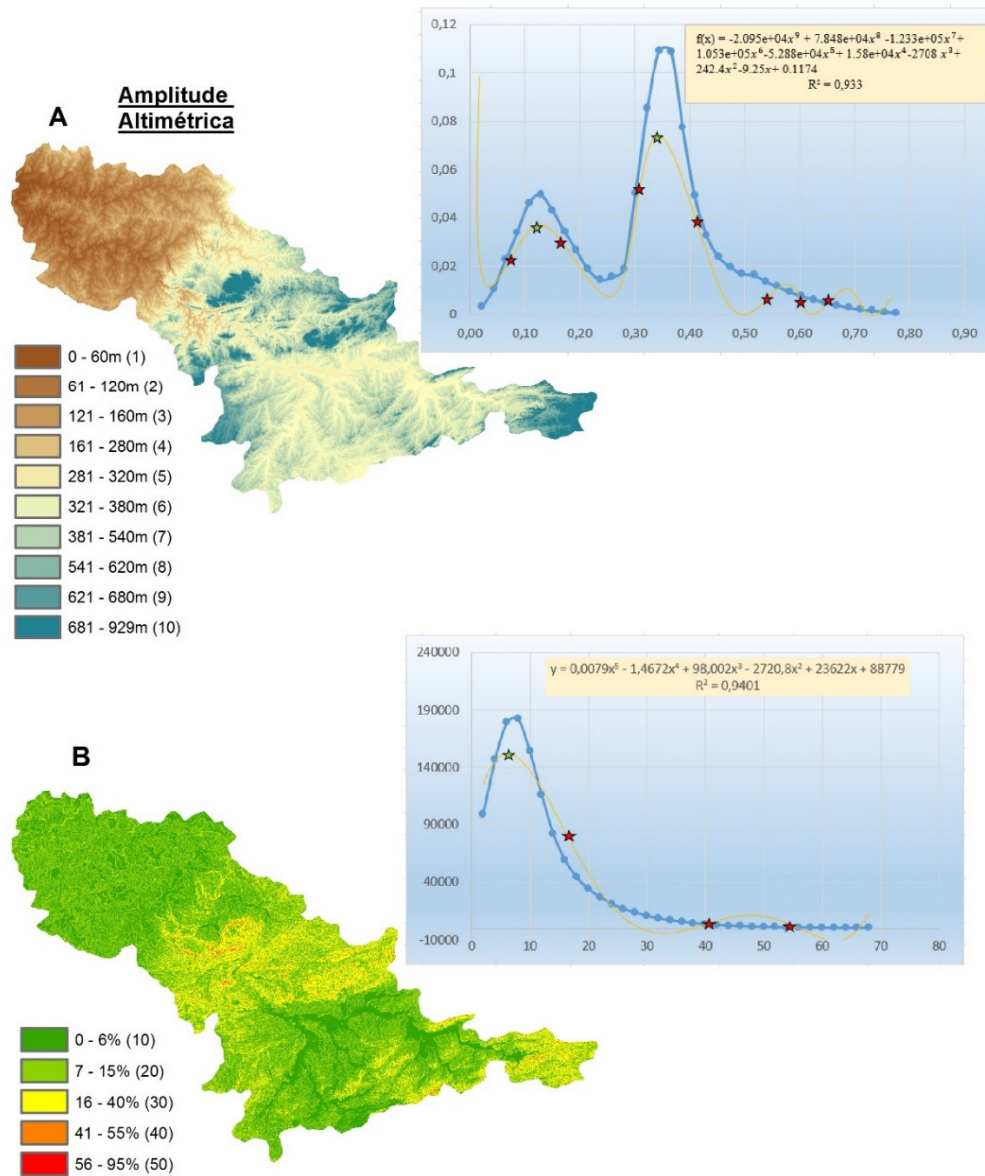
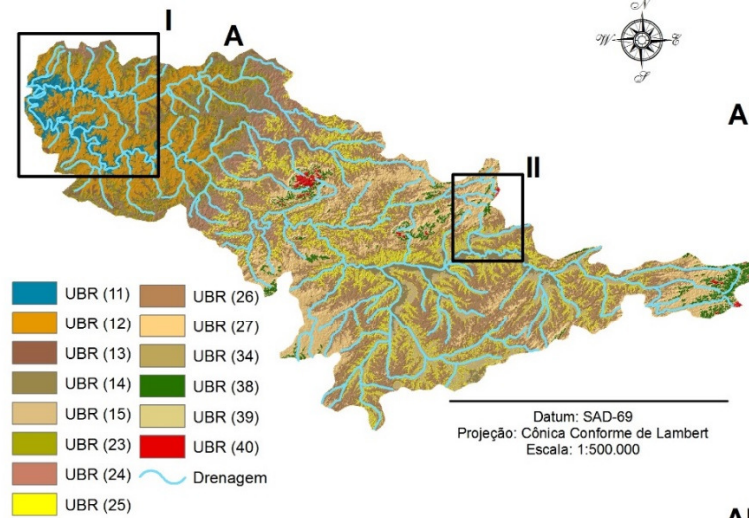
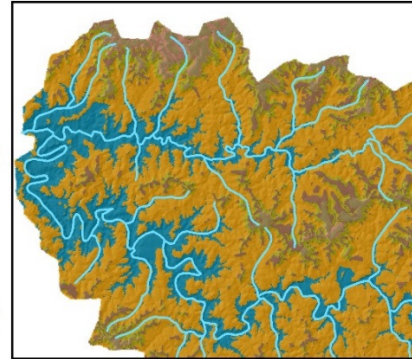


Figura 4.4 – Correlação entre amplitude altimétrica (A) e declividade (B) determinando as classes das unidades básicas de relevô (C).

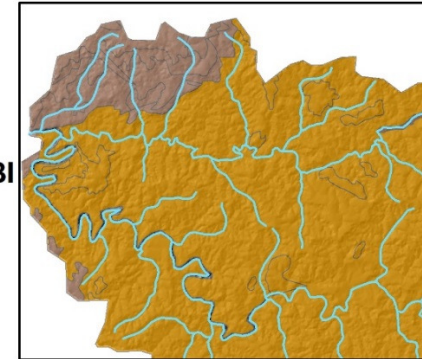
Unidades Básicas de Relevô



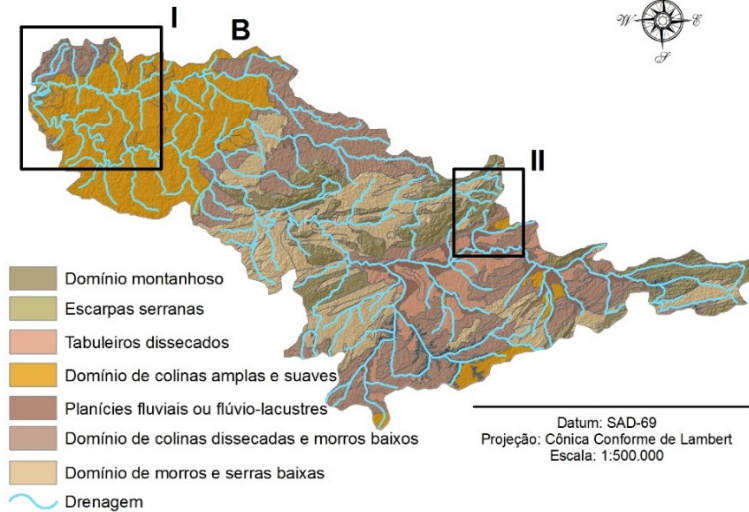
AI



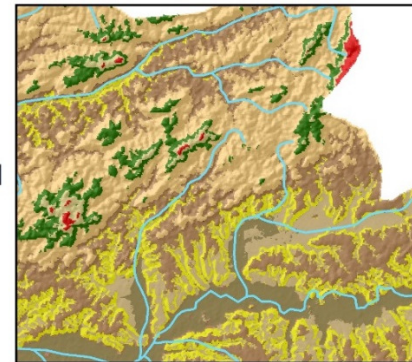
BII



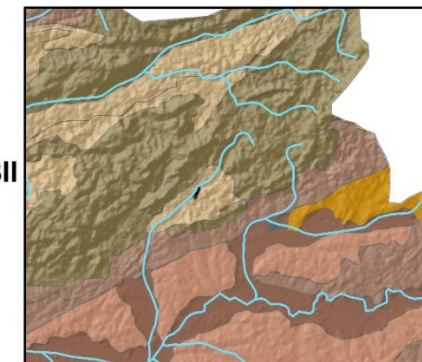
Relevo Segundo a CPRM



AII



BII



Geologia Segundo a CPRM

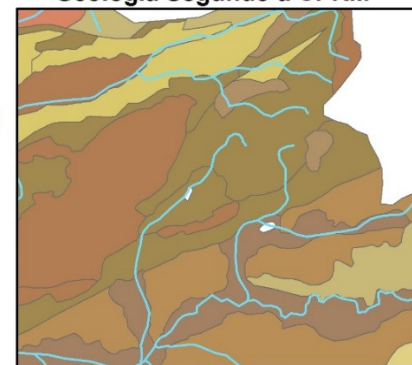


Figura 4.5 – Comparação entre dois modelos geomorfológicos de métodos de obtenção distintos e ampliação para observação de suas singularidades.

Comprando a figura 4.5 A1 com B1, fica evidente o nível de delimitação das classes entre os dois modelos. A classe de colinas amplas e suaves, predominantes em B1, aparece subdivida no modelo de UBR por outras quatro unidades (11, 12, 13 e 23). O nível de dissecação explica as unidades presentes na área. A unidade 11 (declividade até 6% e amplitude até 60m) representa o padrão de dissecação da drenagem a jusante da bacia, caracterizada por feições aplainadas com presença de drenos meandranes, típico de planícies fluviais. Já a presença da unidade 13 (declividade até 6% e amplitude de 121 a 160m), bordeadas pela unidade 23 (declividade de 7 a 15% e amplitude de 121 a 160m), indicam a presença de morros e a frente de recuo de suas vertentes, que acabam por se destacar em superfícies mais baixas.

Além do maior nível delimitação presente na figura 4.5 A2 quando compara a B2, podemos notar unidades que se destacam no modelo de UBR, como no caso da UBR40 (declividade de 16 a 40% e amplitude de 681 a 929m), que representam áreas serranas dentro da bacia e unidades como UBR 14 (declividade até 6% e amplitude de 161 a 280m), bem delimitadas por sua geologia (depósitos em planícies aluviais recentes)

4.3. CONCLUSÃO

O método de classificação e delimitação de UBR mostrou consistência com as feições definidas por mapeamentos da CPRM. Por representar um método semiautomático e objetivo, constitui-se em uma opção consistente para representação do relevo.

O referido método atendeu ao cerne desse trabalho ao delimitar feições distintas do relevo em áreas de geomorfologia díspares. As classes obtidas na UBR se individualizaram pelas diferenças altimétricas bem como pelos níveis de declividade do terreno. Das planícies do pantanal mato-grossense aos relevos movimentados do leste paulista, a mesma rotina metodológica possibilitou a singularização de suas feições.

Ao se comparar resultados obtidos de métodos distintos, não se buscava, essencialmente, a definição do melhor método, mas sim, resultados similares obtidos em tempo e concepção diferentes. A delimitação das UBR deu-se em período de aproximadamente três horas de trabalho (para cada bacia) e sem a necessidade de

subjetividade na obtenção de suas classes. Características assim se mostram atraentes para os mais diversos tipos de usuário, considerando a redução de tempo e, por consequência, de custo na representação geomorfológica.

Desta forma, uma proposta metodológica que atenda às mais variáveis feições das regiões tropicais, que não faça uso de subjetividade e que seus resultados sejam obtidos de forma rápida e semiautomatizada, indica uma vertente para o princípio de parametrização da cartografia geomorfológica.

As UBR definidas com SRTM-90 em otobacias de nível 4 são consistentes com mapeamento geomorfológico na escala de 1:500.000, com relação direta com os aspectos estruturais da paisagem, relacionados com a interação entre os materiais de origem e o clima.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quais as dificuldades de parametrizar a cartografia geomorfológica? Os métodos atuais permitem essa parametrização? A representação do modelado terrestre partindo de sua morfometria é possível? Perguntas como essa nortearam esse trabalho e balizaram a hipótese da possibilidade de uma representação geomorfológica objetiva e calcada em seu preceito preludial de representação das feições do relevo.

A compreensão dos métodos de representação geomorfológica descritos no **capítulo II** possibilitou inferir que o uso da morfoestrutura ou morfogênese como unidade básica delimitadora das unidades de relevo determinam classes geomorfológicas – nas mais diversas formas e métodos de representação – que não possibilitam a identificação e a interpretação da forma do relevo. Por outro lado, a proposta apresentada permite realizar interpretações da morfoestrutura e da morfogênese a partir das UBR, que são apenas morfológicas.

A ausência de um parâmetro para representação geomorfológica justifica a mutiplididade de resultados díspares, pois o peso da interpretação passa ter mais ênfase do que o método utilizado, determinando cartas embasadas na mesma metodologia, mas com representações distintas.

Retomar os princípios da representação geomorfológicas em que os critérios para representação do relevo partiam de suas métricas (altura, declividade, curvatura, etc.) passou a ser uma solução viável para normatização da cartografia geomorfológica.

O desenvolvimento do método de distinção de Unidades Básicas de Relevo (UBR), busca atender parte do anseio de uma parametrização e de objetividade na rotina de representação do relevo. Por representar um método semiautomático e objetivo torna-se uma opção consistente na representação das morfologias tropicais.

O uso de modelos matemáticos já consagrados em ambientes SIG's e os aqui apresentados, juntos, possibilitam a semiautomação na obtenção de arquétipos geomorfológicos, como também, proporcionam a delimitação de classes do relevo que represente o seu comportamento mais factual. O método proposto para a determinação dos intervalos de amplitude é simples e replicável, passível de atender uma grande diversidade de padrões topográficos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A.N. **Da participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro.** Tese de Livre-Docência. FFLCH-USP, São Paulo, 1965.

AB'SÁBER, A.N. **O relevo brasileiro e seus problemas.** *In: Brasil - a terra e o homem*, organizado por Aroldo de Azevedo. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1964.

AB'SÁBER, A.N. **Problemas do mapeamento geomorfológico no Brasil. Geomorfologia.** São Paulo, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 6, 1 – 16, 1969.

ABREU, A.A. **Análise geomorfológica: reflexão e aplicação.** Tese de Livre-Docência FFLCH-USP. São Paulo, 1982.

AZEVEDO, A. **O planalto brasileiro e o problema de classificação de suas formas de relevo.** Boletim da AGB. 43 – 50, 1949.

BIASI, M. **A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção.** Revista do Departamento de Geografia da USP. n. 6, São Paulo, p. 45 – 61, 1977.

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

BORGES, M.E.S.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; MARTINS, E.S.; ARCOVERDE, G.F.B.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T. Emprego do processamento digital dos parâmetros morfométricos no mapeamento geomorfológico da bacia do Rio Preto. **Revista Espaço & Geografia**, v. 10, n. 2, p. 401-429. 2007.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAM Brasil. Folha SD-23 Brasília.** Rio de Janeiro. (Levantamento de Recursos Naturais, 29), 1982

CASSETI, V. (2005). Geomorfologia. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: em 11 de fevereiro de 2013.

CASTRO, K.B.; MARTINS, E.S.; GOMES, M.P.; REATTO, A.; LOPES, C.A.; PASSO, D.P.; SOUSA LIMA, L.A.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; TRANCOSO

GOMES, R.A. Caracterização Geomorfológica do Município Luís Eduardo Magalhães, Oeste Baiano, escala 1:100.000. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 288, 32 p. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. 2010.

CHIEN, P. **Endeavour maps the world in three dimensions**. In: Geoworld, n. 37, p. 32-38, 2000.

CPRM. **Geodiversidade do estado de Mato Grosso do Sul**. Organização: Carlos Augusto Brasil Peixoto. São Paulo: CPRM, 181 p., 2010.

CPRM. **Geodiversidade do estado de São Paulo**. Organização: Carlos Augusto Brasil Peixoto. São Paulo: CPRM, 176 p., 2010.

DEMEK, J. **Generalization of geomorphological maps**. In: Progress made in geomorphological mapping. Berna: IGU. Commission on Applied Geomorphology, 1967.

DIKAU, R. Aspects of constructing a digital geomorphological base map. **Geologisches Jahrbuch**. v. 122, p. 357 – 370, 1992.

DIKAU, R. **The application of a digital relief model to landform analysis**. In: Raper, J.F. Three Dimensional applications in geographical information systems. London, 230 – 234, 1989.

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

EVANS, I.S. **Geomorphometry and landform mapping: What is a landform?** Geomorphology v.137, p. 94 – 106. Amsterdam, 2012.

FAIRBRIDGE, R.W.; KARA-BOGAZ, G. **Encyclopedia of Geomorphology**. edited by R. W. Fairbridge, pp. 579-581, Reinhold Book Corp., New York, 1968.

FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia Conceitos e Tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.

GERASIMOV, I.P.; MESCHERIKOV, J.A. Morphostructure. **The encyclopedia of geomorphology**. Ed. R.W. Fairbridge, 731-732, New York:Reinhold Book Co, 1968.

GUSTAVVSON, M., KOLSTRUP, E., SEIJMONSBERGEN, A.C. **A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: renewal of a scientific discipline for understanding landscape development.** *Geomorphology* 77, 90 – 111. Amsterdam, 2006.

HAYDEN, R.S. **Geomorphological mapping.** In: Short, N.M., Blair, R. W.J. *Geomorfology from Space.* NASA, Greenbelt, MD, 1986.

HENGL, T.; MACMILLAN, R.A. **Geomorphometry – A key to landscape mapping and modelling.** In: HENGL, T. AND REUTER, H.I. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science*, v. 33, Elsevier, p. 433-460, 2008.

HENGL, T.; REUTER, H.I. **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications.** *Developments in Soil Science*, vol. 33, Elsevier, 772 pp, 2008.

HERMUCHE, P.M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO, A.P.F.; MARTINS, E.S.; DRUCK, S.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; FERREIRA DOS SANTOS, N.B.; REATTO, A. Morfometria como suporte para elaboração de mapas pedológicos: I. Bacias hidrográficas assimétricas. **Documentos**, n. 68, 24 p. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. 2002.

HERMUCHE, P.M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO, A.P.F.; MARTINS, E.S.; DRUCK, S.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. Processamento digital de imagens morfométrica para subsidiar o mapeamento pedológico In: **Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte, p. 123-130. PE, Brasil, 2003.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia.** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE. 182p, 2009.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000.** IPT, São Paulo. Vol. I. Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais, São Paulo, 1981.

KLIMASZEWSKI, M. **Detailed geomorphological maps.** *ITC J.*, 265-271p, 1982.

MARTINS, E.S.; REATTO, A.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F. **Evolução geomorfológica do Distrito Federal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

MESCERJAKOV, J.P. **Lês concepts de morphostructure et de morphosculture: un nuevelinstrument de l'analysegéomorphologique**. Annales de Geographie, 77, n. 423, 539 – 552, 1968.

NAVEH, Z. **Culture and Landscape Conservation: a landscape-ecological perspective**.in: GOPAL B.P., PATHAK P., SAYENA K.G. (eds.) Ecology today: an anthology of contemporary ecological research international scientific publications, new delhi, p. 19–48, 1998.

Nima. **Information about WGS84 and EGM96**, 2004. Disponível em: <http://www.nima.mil/> Acesso em: 18/11/2013.

OGUCHI, T.; HAYAKAWA, Y.; WASKLEWICZ, T. **Data Source**. In: SMITH, M.J., PARON, P., GRIFFITHS, J.S. (org.) (2011) Geomorphological Mapping: A handbook of techniques and applications. Elsevier, Amsterdam, 2011.

ONGE, S.T. **Theories, paradigms, mapping and geomorphology**. Canadian Geographer v. 25, p. 307–315, 1981.

PASSO, D.P.; MARTINS, E.S.; GOMES, M.P.; REATTO, A.; CASTRO, K.B.; SOUSA LIMA, L.A.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; TRANCOSO GOMES, R.A. Caracterização Geomorfológica do Município de Barreiras, Oeste Baiano, Escala 1:100.000. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 294, 30 p.. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. 2010.

PENCK, W. **Morphological analysis of landforms: a contribution of Physichal Geologie**. Macmilien: London, 1953.

PIKE, R.J. **The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from Digital Elevation Models**. Mathematical Geology v. 20, p. 128-137, 1988.

PIKE, R. J.; EVANS, I. S.; HENGL, T. Geomorphometry: A Brief Guide. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. **Geomorphometry: Concepts, Softwares, Applications**. 1º Edição. ed. Amsterdam: Elsevier, v. 33, Cap. 1, p. 3-30, 2009.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topography Mission – a new of digital elevation models acquired by spaceborne radar. In **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.

RASEMANN, S.; SCHMIDT, J.; SCHROTT, L.; DIKAU, R. **Geomorphometry in mountain terrain**. In: Bishop, M. & J. F. Shroder (Hrsg.): *Geographic Information Science in Mountain Geomorphology*: 101-145, Heidelberg, 2004.

ROSS, J.L.S. **Geografia do Brasil**. Ed. Edusp. São Paulo, 1997.

ROSS, J.L.S. **O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo**. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo; FFLCH/USP, v.6, p.17-29, 1992.

SAMPAIO, T.V.M.; AUGUSTIN, C.H.R.R. **Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 15, p. 47-60, 2014.

SCHMIDT, J.; DIKAU, R. **Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models - Semantics, methods, future needs**. In: Dikau, R. & H. Saurer (Hrsg.): *GIS for Earth Surface Systems*: 153-174, 1999.

SEIJMONSBERGEN, A.C., HENGL, T., ANDERS, N.S. **Semi-automated identification and extraction of geomorphological features using digital elevation date**. In: SMITH, M.J., PARON, P., GRIFFITHS, J.S. *Geomorphological Mapping: methods and applications*. Amsterdam: Elsevier, p. 297-335, 2011.

SENA-SOUZA, J.P.; MARTINS, E.S.; COUTO JÚNIOR, A.F.; REATTO, A.; VASCONCELOS, V.; GOMES, M.P.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; REIS, A.M. **Mapeamento Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, escala 1:100.000**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Cerrados. p. 60, 2013.

SMITH, M.J.; CLARK, C.D. **Methods for the visualization of digital elevation models for landform mapping**. *Earth Surf. Process. Landforms* v. 30, p. 885-900, 2005.

SMITH, M.J.; PARON, P.; GRIFFITHS, J.S. **Geomorphological Mapping: methods and applications**. Amsterdam: Elsevier, 2011.

STRAHLER, A.N. **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography**. Bulletin of the Geological Society of America, v. 63, p. 1117-1142, 1952.

TEEUW, R.M. **Mapping Hazardous terrain using remote sensing**. Geological Society, London, 2007.

TORRES, F.T.P.; MARQUES NETO, R.; MNEZES, S.O. **Introdução à geomorfologia**. Ed. Cengage Learning, São Paulo, 2012.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la geomorphologie**. Paris: Masson Ed., 201p, 1965.

TRICART, J. **Géomorphologie applicable**. Paris: Masson, 204 p., 1978.

VASCONCELOS, V., CARVALHO JÚNIOR, O. A., MARTINS, E. S., COUTO JUNIOR, A. F., GUIMARÃES, R. F., GOMES, R. A. T. **Sistema de Classificação Geomorfométrica Baseado em uma Arquitetura Sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no parque nacional serra da canastra**. Revista Brasileira de Geomorfologia. v. 13 p 171-186, 2012.

VISSMAN, J.R., KNAPP, W.; LEWIS, J.W.G.L.; HARBAUGH, T.E. **Introduction to Hydrology**. Second edition, Harper and Row, New York, 1997.

WEIBEL, R., HELLER, M. **A framework for digital terrain modeling**. In: Proceedings of the fourth international symposium on spatial data handling. University of Zurich, Zurich, Switzerland, 219-229 pp, 1990.

WOOD, J. **The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Models**. 184 f. Thesis (PhD in Science Information) – Science Information Department, University of Leicester, Leicester, 1996.

APÊNDICE – A (Escala de representação e proposta de delimitação de bacias hidrográficas)

Tricart (1965), ao discutir o mapeamento geomorfológico, enfatiza as feições a serem representadas segundo a escala adotada. As cartas em pequena escala, como 1:1.000.000, 1:500.000, se orientam essencialmente para os fenômenos morfoestruturais (dobramentos e falhamentos). Já as cartas em grande escala, como 1:5.000, 1:10.000, 1:25.000, são capazes de registrar fenômenos ou formas com algumas dezenas de metros de comprimento, possibilitando a representação de formas específicas como voçorocas, lóbulos de solifluxão etc.

Para Florenzano (2008), a escolha da escala é determinada, sobretudo, pelo objetivo do mapeamento e pela complexidade da área a ser mapeada. Cooke e Doornkamp (1990) afirma que na escala de 1:10.000 é possível mapear com precisão e na escala real, não somente a localização e a dimensão de uma cicatriz de escorregamento, mas também alguns seus detalhes de superfície; na escala de 1:25.000, os detalhes de superfície provavelmente não podem ser mostrados; na escala de 1:50.000, formas menores, como esse tipo de cicatriz, podem ser otimizadas nos mapas; na escala de 1:250.000, provavelmente são feitas generalizações para pequenas representações.

Quanto menor a escala espacial de observação de um fenômeno geomorfológico contínuo (não catastrófico), mais lenta é sua transformação (dinâmica) e a recíproca é verdadeira. A deriva continental (pequena escala) é medida em milímetros/ano. Já a evolução de uma voçoroca (grande escala) é medida em metros/ano e a evolução de um sulco num paredão calcário (lapiás) em milímetros/minuto. (Kohler, 2001)

Para Smith *et al* (2011) a escala é um dos principais problemas no mapeamento geomorfológico e pode ser dividida em escala espacial, que abrange grandes feições de 107 km² (continentes), a pequenas feições de 8-10km² (estrias glaciais e ondulações) e temporal, que para Baker (1986) variam 108 anos para as maiores características a menos de 10 anos para as mais pequenas, tal como descrito pela seguinte equação:

$$S=aT^b \quad (1)$$

em que **S** é o tamanho da característica, **T** é o seu tempo de duração, **a** é o fator constante de indica a intensidade do processo morfológico associado (a rapidez de gasto de energia por unidade de área) e **b** é um fator escala (igual ou próximo a 1,0).

Baker (1986) ainda considera três categorias principais para escala de tempo nos fenômenos geomorfológicos:

- **Macroescala** – sobre as quais ocorrem grandes fases de erosões e deposições, controlado pela deformação regional, formação de montanhas e movimento das placas da crosta terrestre;
- **Mesoescala** – trata de grandes mudanças no relevo e paisagens ao longo de centenas de milhares de anos, envolvendo uma complexa interação entre os controles tectônicos e climáticos sobre processos geomorfológicos;
- **Microescala** – as principais variáveis de tectonismo e clima são representadas de forma estável para descrição de microformas (formação de dunas, geleiras, praias, etc.)

A escolha da escala do mapa é fortemente condicionada pelas metas a serem alcançadas. De acordo com o nível de detalhe cartográfico, mapas geomorfológicos são classificados por Demek e Emblenton (1978) em três grupos:

- Mapas geomorfológicos de grande escala (mapas com escalas maiores que 1:25.000);
- Mapas geomorfológicos de média escala (mapas com escala de 1:25.000 até 1.250.000);
- Mapas geomorfológicos de pequena escala (mapas com escalas inferiores a 1:250.000).

Buscando se distanciar de uma simples representação fisiográfica das unidades geológicas, a classificação das unidades básicas do relevo parte de dados morfométricos, possibilitando uma representação mais consistente do modelado terrestre e mantém o foco no alicerce da geomorfologia, a descrição das formas do relevo. Assim, o método apresentado para classificação e representação do modelado

terrestre partiu da delimitação de bacias hidrográficas e de suas subdivisões, para definição dos parâmetros das grandezas de escalas a serem adotados.

Alicerçado nas ideias de Horton (1945) e Straler (1957) a quantificação geomorfológica se mostra coerente quando as análises dos seus parâmetros métricos provem da investigação das bacias hidrográficas, que podem ter como pressupostos as dimensões de suas bacias, sub-bacias ou microbacias que determinam as dimensões e os padrões orográficos a serem classificados.

Parametrizar-se nas delimitações das bacias hidrográficas como unidades básicas para classificação do relevo, permite, de forma mais clara, a compreensão das várias morfologias a serem identificadas, posto que a morfometria com sua gama de variáveis se mostra evidente na caracterização do comportamento hidrológico e o mesmo na confecção dos vários tipos de relevo.

Para delimitação das bacias usou-se como parâmetro o método proposto por Jenson e Domingue (1988) que a partir de MDEs (Modelos Digitais de Elevações) é possível extrair, de forma automatizada, delimitação de bacias hidrográficas. A partir do preenchimento de desníveis abruptos e extração de picos, identificados do MDE, e a definição das direções de fluxos e fluxos de acumulação, que possibilita delinear as redes de drenagem é possível a delimitação das bacias e sub-bacias, levando consideração o fluxo da drenagem e tributários, a conectividade entre as bacias e valores altimétricos que determinam divisores d'água.

Assim, no método apresentado, para determinação da grandeza de escala a ser abordada deve-se levar em consideração o nível de delimitação da bacia a ser feita. Quando maior o nível de sub-bacias delimitadas, maiores as grandezas escalares a serem alcançados para representações mais detalhadas da geomorfologia, sendo que o maior nível de subdivisão das bacias possível para a cartografia depende da base de entrada a ser usada para tais delimitações (**Figura A1**).

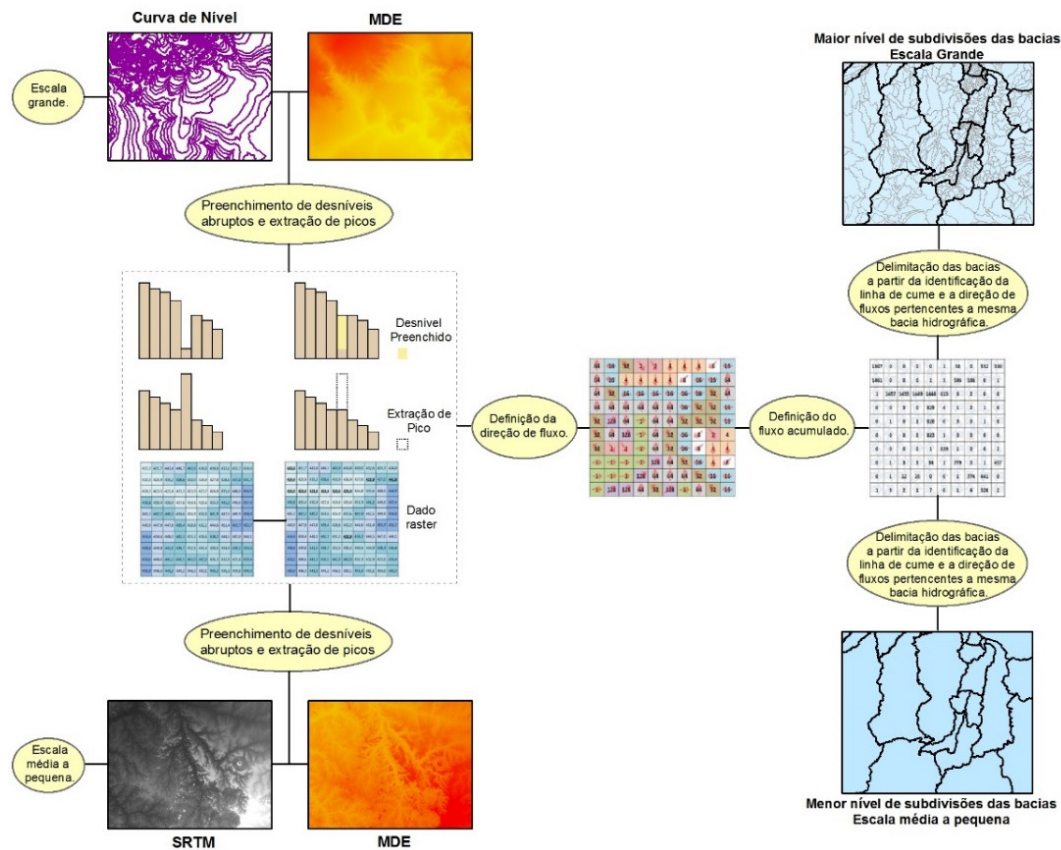


Figura A1 – Fluxo para delimitação de bacias hidrográficas e o nível de subdivisão determinado pela base de dado de entrada.

O uso de MDE obtidos do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de resolução aproximada de 90m pode ser considerada razoável para análises em escalas pequenas ou médias (escalas inferiores a 1:250.000), porém, para obtenção de escalas de maiores grandezas é necessário o uso de MDE obtido de curvas de níveis de pequenas equidistâncias (Cartas Topográfica) ou modelos obtidos a partir de altimetria a laser (LiDAR) (escalas superiores a 1:25.000).

A análise da rede de drenagem, obtida no processo de delimitação da bacia hidrográfica, também pode ser um parâmetro de definição da escala. Considerando a densidade de drenagem “D” que para Horton (1945) é expressa ($D = L/A \text{ km/km}^2$) pela relação entre o comprimento total das linhas da água, “L”, (sejam elas perenes, intermitentes ou efêmeras) existentes numa dada bacia e a área total, “A”, dessa bacia e que o valor da densidade de drenagem depende da escala da fonte em que é medido o comprimento total das linhas de água, pode-se afirmar, em geral, que a densidade eleva-se com a elevação da escala utilizada. Assim, em termos gerais, se a densidade de

drenagem for de 3 a 5 km/km² atinge escalas aproximadas de 1:25.000, já densidade de 1 a 4 km/km² obtém-se escalas aproximadas de 1:50.000 e densidades iguais e inferiores a 0,3 km/km² determina escalas aproximadas de 1:1.000.000.

Cabe ressaltar que o uso de outros métodos de delimitação de bacias configurar-se-iam coerentes posto que o cerne central seria associar níveis de delimitação das bacias as suas respectivas escalas, assim, o uso métodos de delimitação como o proposto por Pfafstatter (1989) também se faria coerente para o método de classificação do relevo aqui proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, V.R. **Geomorphology From Space: A Global Overview of Regional Landforms**. NASA, Scientific and Technical Information Branch, Washington, DC. 1986.

COOKE, R.U. & DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in environmental management**. Oxford: Clarendon Press, 2d. ed. 410 p., 1990.

DEMEK, J., EBLETON, C. **Guide to Medium-Scale Geomorphological Mapping**. Stuttgart, 1987.

FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia Conceitos e Tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Texto, 2008.

HORTON, R.E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Bulletin of the Geological Society of America. Ed. 56. p.275-370, 1945.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. **Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54(11): 1593–1600, 1988.

KOHLER, H. C. **A Escala na análise Geomorfológica**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 2, Nº1. p 21-33, 2001.

PFAFSTETTER, O. (1989) **Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação**. Rio de Janeiro, RJ: DNOS, 1989.

SMITH, M.J., PARON, P., GRIFFITHS, J.S. **Geomorphological Mapping: methods and applications**. 1ª edição. Amsterdam: Elsevier, 2011.

STRAHLER AN. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Trans Am Geophys Union n.38, p.913–920, 1957.

TRICART, J. **Principes et méthodes de l geomorphologie**. Paris:Masson Ed., 201p, 1965

APÊNDICE – B (*Amplitude altimétrica*)

Para Christofolletti (1980), amplitude altimétrica corresponde à diferença altimétrica entre o ponto mais alto da bacia, situado no divisor topográfico, e a altitude da desembocadura.

A amplitude é obtida a partir dos valores de altitude, encontrados em uma determinada bacia, quando se subtrai o menor valor (que determina o nível de base da bacia) de todos valores altimétricos, levando a zerar o menor valor e fazendo com que represente a maior altura local.

Para melhor adequação do método, deve-se levar em consideração o ponto de maior altitude da bacia, localizado ou não no divisor topográfico da bacia. Embora pareça destoar do conceito original, faz-se fundamental a identificação de elevações que se destoem e que acabam representando nuances importantes a serem caracterizadas dentro do mapeamento geomorfológico. Desconsiderar cotas altimétricas no interior da bacia e superiores aos divisores d'água é homogeneizar rugosidades que denotam padrões distintos do relevo na unidade de análise.

Cabe ressaltar a importância do uso da amplitude altimétrica para definição de unidades de relevo em detrimento ao emprego da altitude. O uso desses dados, acabam por ocultar ou homogeneizar irregularidade topográficas que se definiriam como feições geomorfológicas diferentes. O perfil topográfico descrito a seguir (**Figura B1**), esclarece a importância do uso da amplitude altimétrica na representação do relevo, haja vista, a identificação de amplitudes altimétricas distintas com os mesmos padrões de altitudes ou feições com altitudes semelhantes com amplitudes distintas. Assim, fica fundamentado a importância desse dado geomorfométrico na delimitação e caracterização de feições geomorfológicas contrastivas.

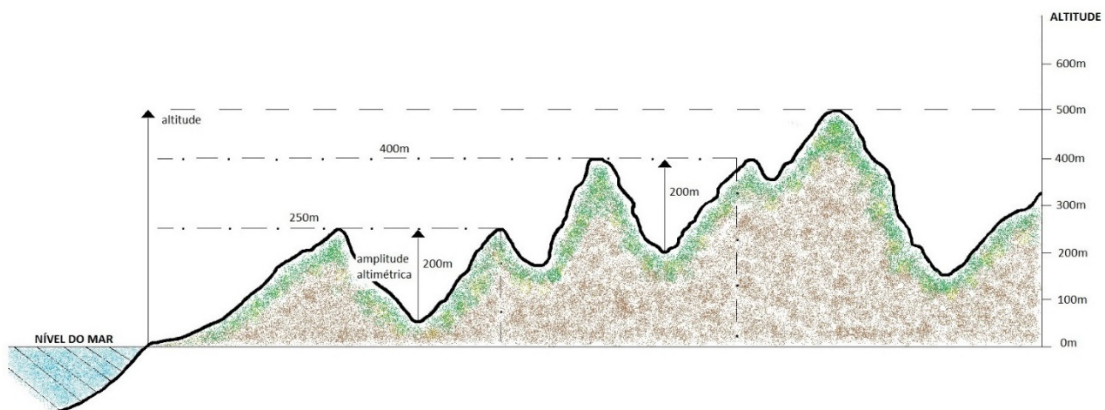


Figura B1 – Perfil topográfico hipotético.

Dentro de uma perspectiva tridimensional de uma bacia hidrográfica de relevo diversificado (**Figura B2**) é possível notar o pronunciamento feições distintas quando levado em conta amplitude altimétrica. Ao centro da bacia destaca-se a ocorrência de feições de amplitudes semelhantes ao divisor topográfico, confirmando a importância de levar-se em consideração o ponto de maior altitude da bacia, localizado ou não no divisor topográfico da bacia, possibilitando o uso desse dado geomorfométrico para delimitação de feições geomorfologicas singulares em áreas em que seriam homogeneizadas se considerado apenas o ponto mais alto do divisor topográfico ou a altitude altimétrica.

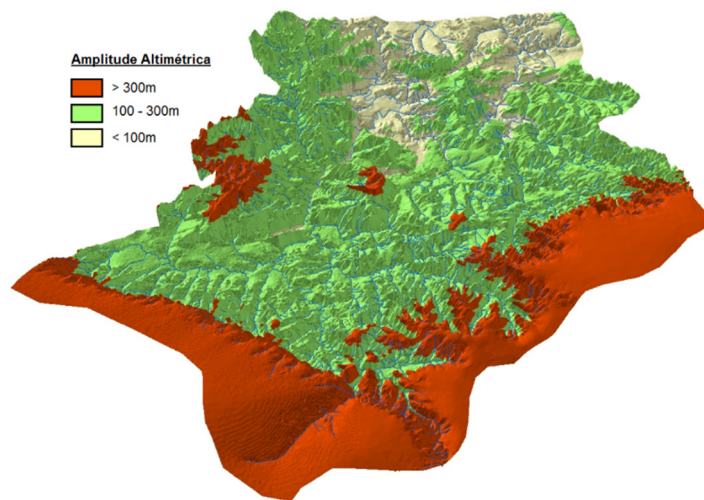


Figura B2 – Modelo tridimensional de uma bacia hidrográfica representada por sua amplitude altimétrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1980.

APÊNDICE – C (Declividade)

A declividade representa uma derivada de 1ª ordem da altimetria e é de suma importância na análise ambiental, pois possui uma estrita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento e outros), além de se tratar de uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial.

Valeriano (2008) define como declividade o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal (**Figura C1**). Seus valores podem variar de 0° a 90°, embora seja mais comumente expressa em porcentagem, de zero a infinito.

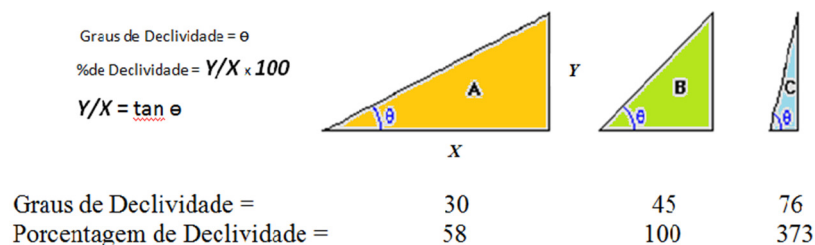


Figura C1 - Representação matemática da declividade.

Em mapas topográficos, a declividade é estimada pela distância entre as curvas de nível. Em MDE, sua estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos e seu cálculo deve ser sempre considerado uma estimativa, uma vez que tal cálculo depende do intervalo de derivação. Em outras palavras, o cálculo de declividade será sempre o resultado de um diferencial altimétrico entre vizinhos e, portanto, dependente da distância considerada. Reduzindo-se esta distância a um limite impraticável (centímetros, por exemplo), teremos estimativas de micro-relevo, mais associadas à rugosidade do solo do que à topografia em si (Valeriano, 2008).

Para o cálculo da declividade, calcula-se a taxa de mudança máxima no valor de cada célula (pixel) comparando aos seus vizinhos. Basicamente, a mudança máxima na elevação sobre a distância entre a célula e seus oito vizinhos identifica a descida em declive a mais íngreme da célula (Burrough, 1998).

A taxa de mudança da superfície nos sentidos horizontais (dz/dy) e verticais (dz/dx) da célula central determina a inclinação. O algoritmo básico usado para calcular a inclinação é:

Declividade em radianos - $\text{ATAN} (\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2})$

Declividade em graus - $\text{ATAN} (\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2}) * 57.29578$

Os valores da célula central e de seus oito vizinhos determinam os resultados horizontais e verticais. Os vizinhos são identificados como letras de 'a' a 'i', com 'e' representando a célula cuja declividade está sendo calculada (**Figura C2**).

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Figura C2 - Representação de dado raster com identificação por célula.

A taxa de mudança no sentido de x para a célula 'e' é calculada com o algoritmo:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * \textit{tamanho da célula})$$

A taxa de mudança no sentido de y para a célula 'e' é calculada com o algoritmo:

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * \textit{tamanho da célula})$$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VALERIANO, M.M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São Jose dos Campos: INPE, 2008.

BURROUGH, P.A.; MCDONELL, R.A. *Principles of Geographical Information Systems* (Oxford University Press, New York), p. 190, 1998.

APÊNDICE – D (Derivadas da curva de regressão)

A delimitação dos intervalos das amplitudes é possível pela inflexão hipsométrica (H_{if}), definida pelos pontos de inflexão da linha de regressão polinomial da curva resultante da correlação topográfica e pela máxima hipsométrica (H_{max}), elucidado pelos pontos de máximo local da curva resultante da correlação topográfica. Os pontos na curva do gráfico que coincidem ou que mais se aproximam do H_{if} e H_{max} , representam os limites dos intervalos da amplitude.

A **Figura D1**, representa testes realizados para avaliar o grau de influência de outras derivadas da linha de regressão na delimitação dos intervalos de amplitude. O modelo que usou pontos críticos e inflexão aproximou-se mais ao adotado nesse trabalho (pontos de inflexão e máximo). Considerando que os pontos de mínimo da linha de regressão não se destacam no modelo e que delimitação de um número maior de classes dificultam o processo na obtenção das UBR, o uso de inflexão e máximo se mostra de forma mais consistente.

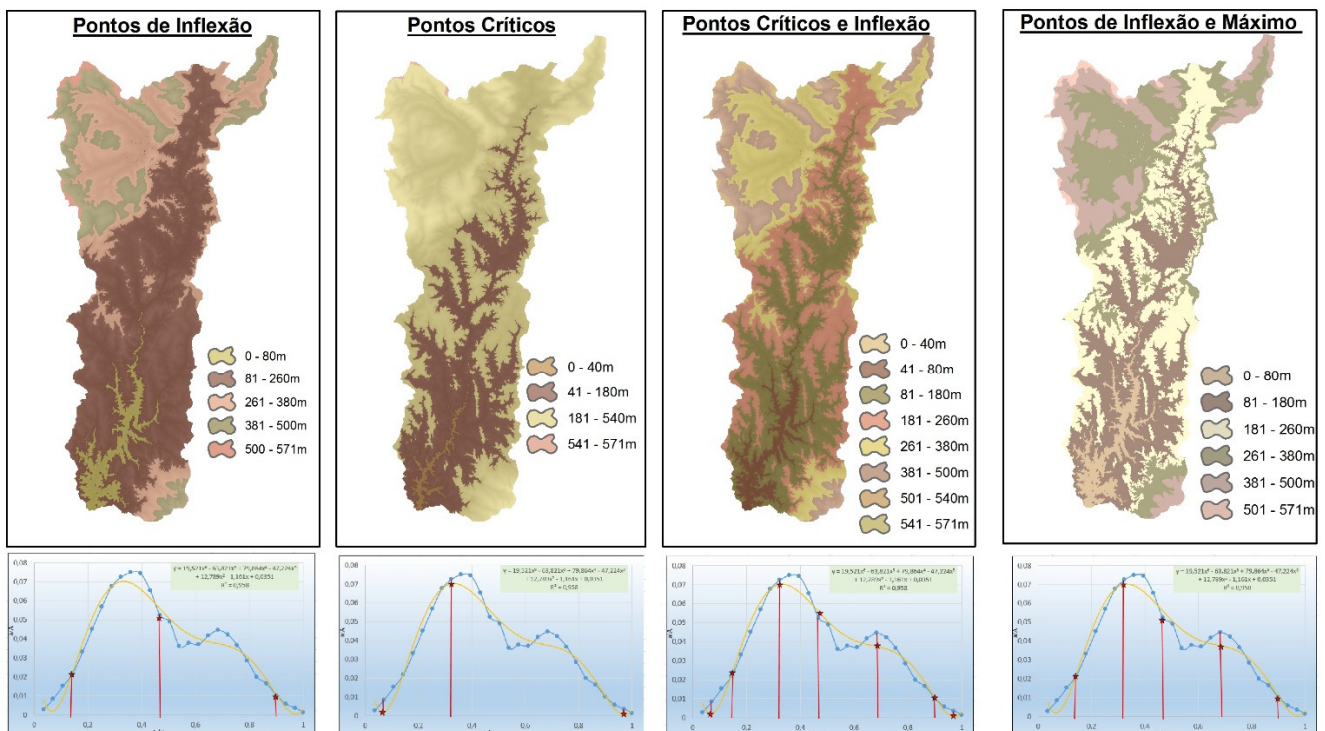


Figura D1 – Comparação no nível de delimitação das classes de amplitude altimétrica.

APÊNDICE – E (Relação do nível de delimitação das a subdivisão das bacias hidrográficas)

A determinação da grandeza de escala a ser abordada deve-se leva em consideração o nível de delimitação da bacia a ser feita. Quando maior o nível de sub-bacias delimitadas, maiores as grandezas escalares a serem alcançados para representações mais detalhadas da geomorfologia, sendo que o maior nível de subdivisão das bacias que póde ser cartografado depende da base de entrada a ser usada para tais delimitações.

Para testar o detalhamento das UBR associado ao nível de delimitação das bacias, elegeu-se uma ottobacia de nível 3 e dois níveis posteriores (otto4 e otto5) para representação das UBR. Considerando a mesma base de dado para todas ottobacias (SRTM-90), obteve-se níveis de detalhamento distintos em que quanto maior foi a subdivisão da bacia maior foi grau de delimitação das UBR (**Figura E1**).

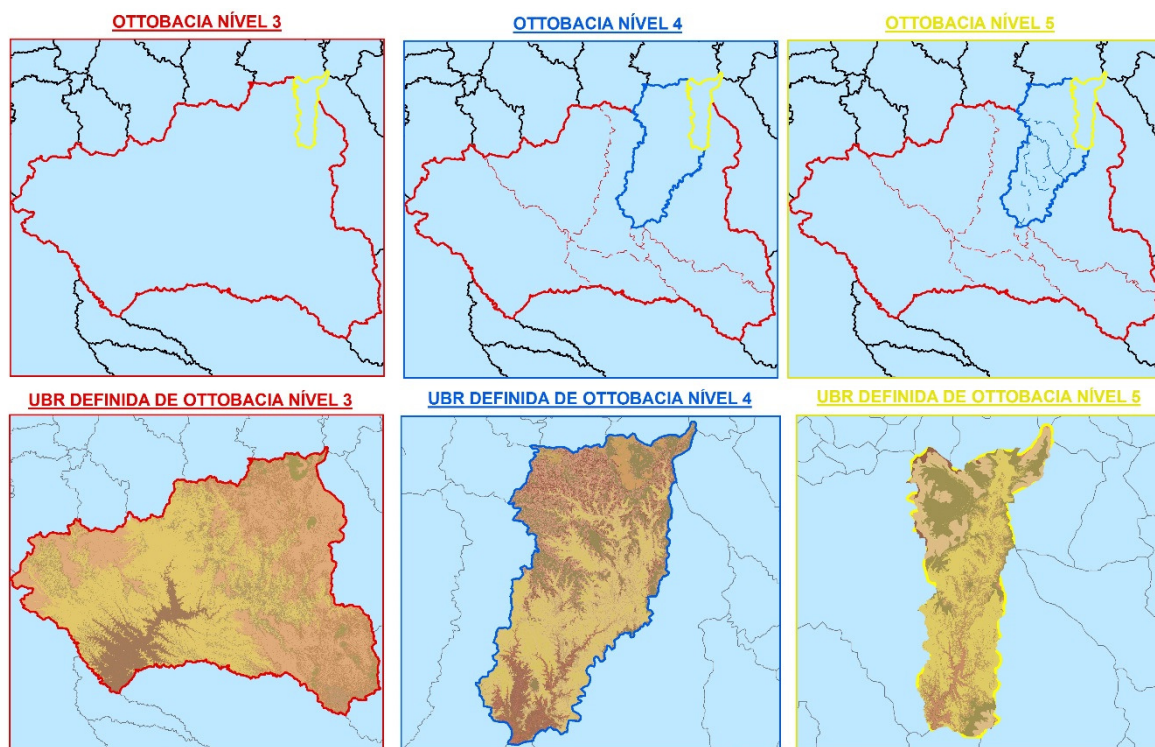


Figura E1 – Grau de detalhamento da bacia definido pelo nível de representação das ottobacias.

Para melhor compreensão dos resultados, comparou-se o grau de detalhamento dos modelos UBR obtidos por nível de ottobacias levando em consideração o mesmo

limite (**Figura E2**). O resultado deixa nítido a mudança no grau de delineamento das classe de UBR e a perspectiva de pertencimento de classes que aparecem bem definidas no modelo de maior detalhe a classes mais homogêneas nos modelos de menor detalhamento. Esse de comportamento abre precedentes para hierarquização das UBR, definidas por níveis escalares distintos e a possibilidade da construção um fluxo taxonômico.

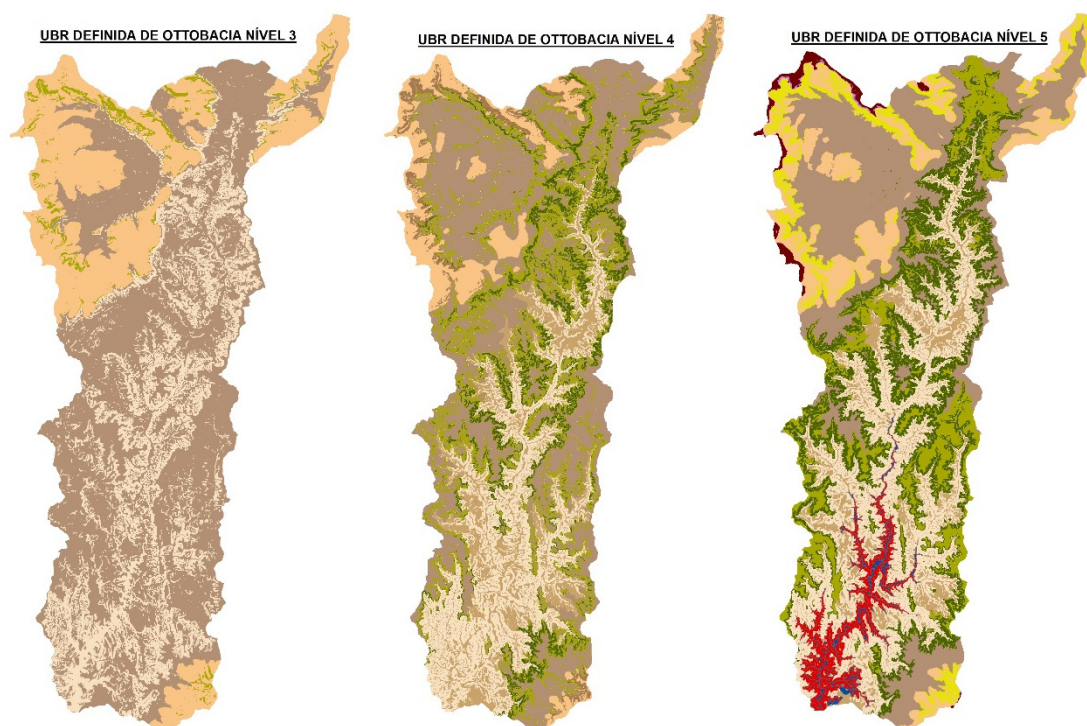


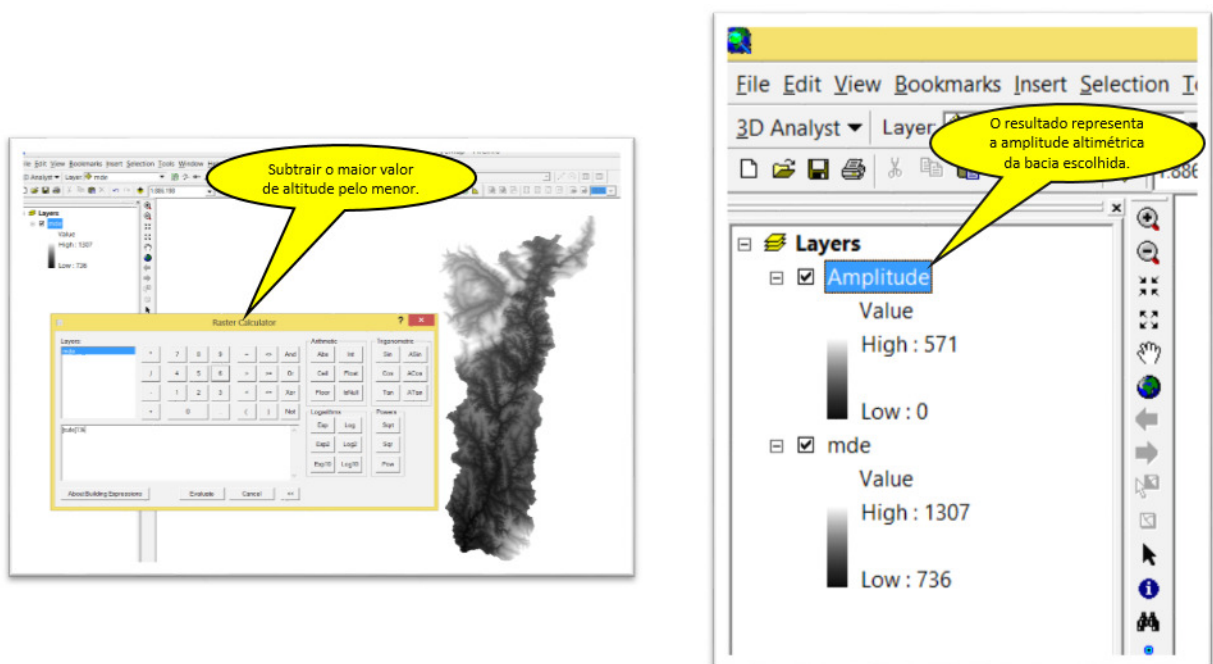
Figura E2 – Grau de delineamento das UBR definido pelo nível de otobacia.

APÊNDICE – F (Tutorial do Método)

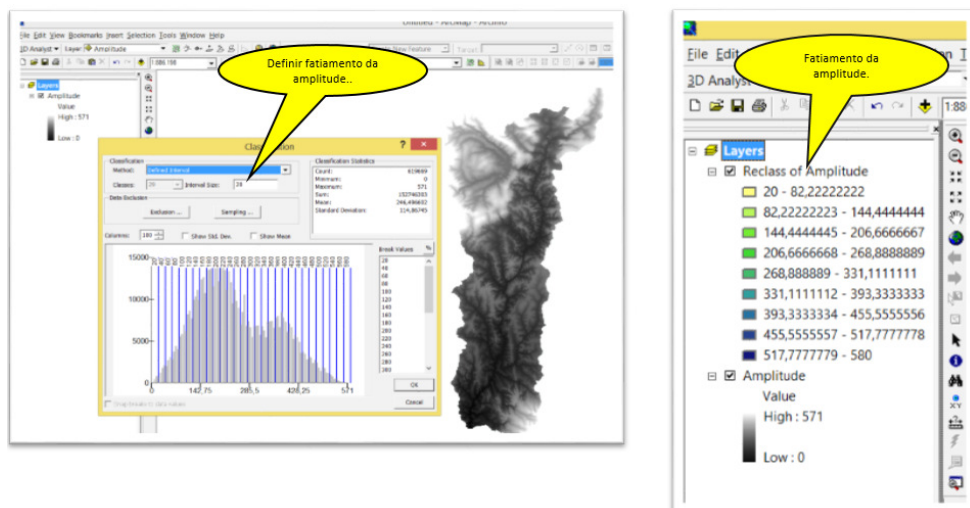
Para definição das Unidades Básicas de Relevo foram utilizados imagens SRTM - 90m e as delimitações das ottobacias definidas pela ANA. Para processamento dos dados foram usados e definição dos intervalos de amplitude e declividade foram usados dois software: ArcGis 9.3 e o MATLAB 2013.

Para definição das UBR (após a escolha da bacia a ser analisada) são considerado 15 etapas básicas:

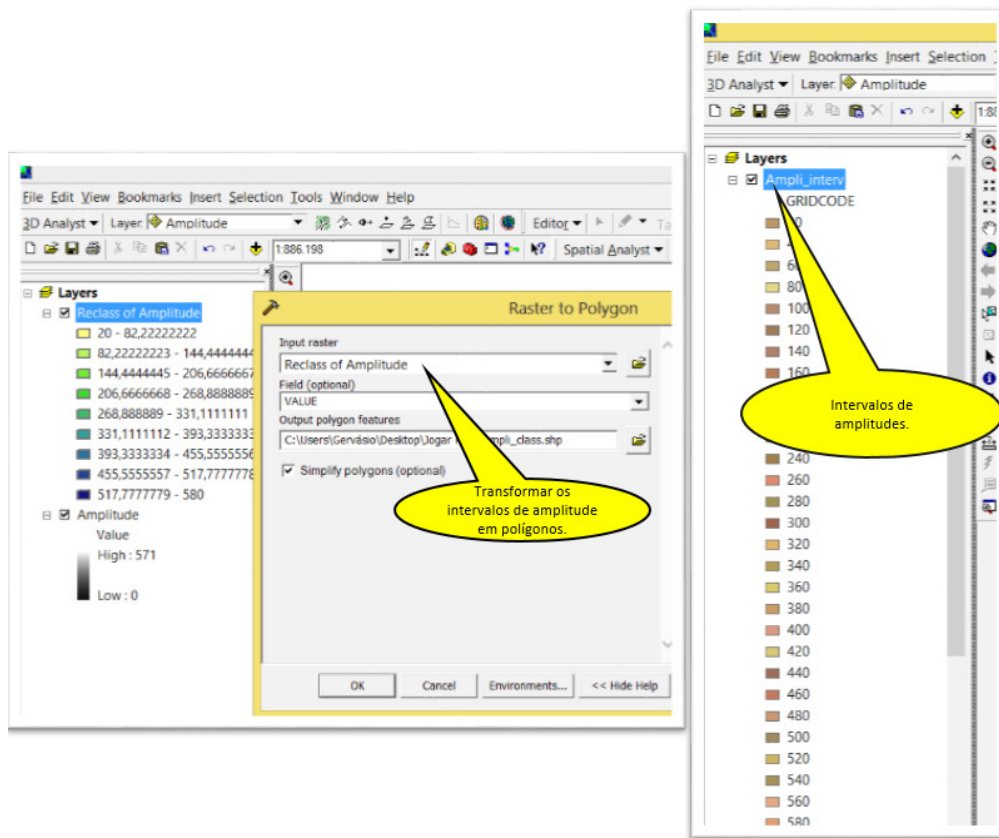
1 – Definição da amplitude altimétrica a partir do SRTM;



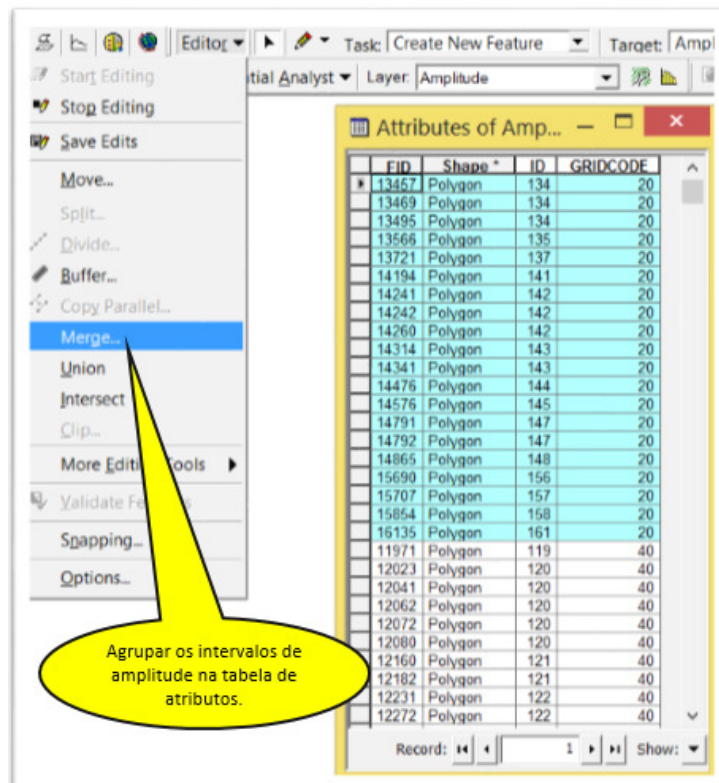
2 – Reclassificar os intervalos de amplitude levando em consideração a resolução vertical do dado (20m para SRTM).



3 – Transformar os intervalos da amplitude (dado raster) em polígonos (SHP):



4 – Agrupar os polígonos que representam o mesmo intervalo de amplitude:



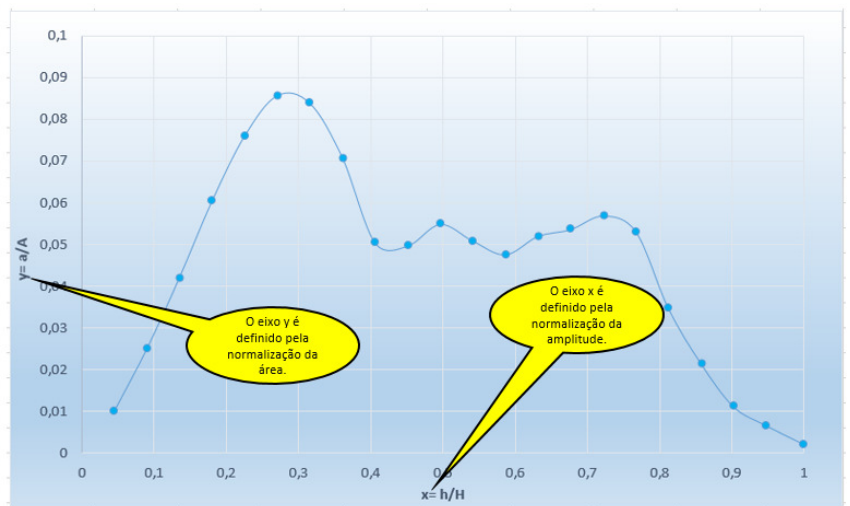
5 – Definir áreas de cada intervalo de amplitude e a área total da Bacia:

FID	Shape	ID	GRIDCODE	Área
28	Polygon	13458	20	14.458155
27	Polygon	11972	40	43.983679
26	Polygon	11552	60	77.634415
25	Polygon	9230	80	114.815661
24	Polygon	6213	100	171.694909
23	Polygon	4094	120	232.576103
22	Polygon	2288	140	288.683034
21	Polygon	1367	160	341.276103
20	Polygon	897	180	368.009516
17	Polygon	190	200	380.435626
14	Polygon	55	220	370.97997
15	Polygon	76	240	334.947623
13	Polygon	48	260	260.229341
8	Polygon	25	280	242.966084
7	Polygon	23	300	183.429529
9	Polygon	26	320	186.68722
6	Polygon	45	340	178.18875
4	Polygon	4	360	204.788359
1	Polygon	1	380	117.766275
11	Polygon	1	400	204.149048
5	Polygon	5	420	175.492596
16	Polygon	6	440	133.228787
3	Polygon	9	460	93.372288
2	Polygon	3	480	78.397194
0	Polygon	1	500	52.762997
18	Polygon	210	520	40.676071
12	Polygon	41	540	19.922915
10	Polygon	31	560	6.464344
19	Polygon	389	580	0.501992

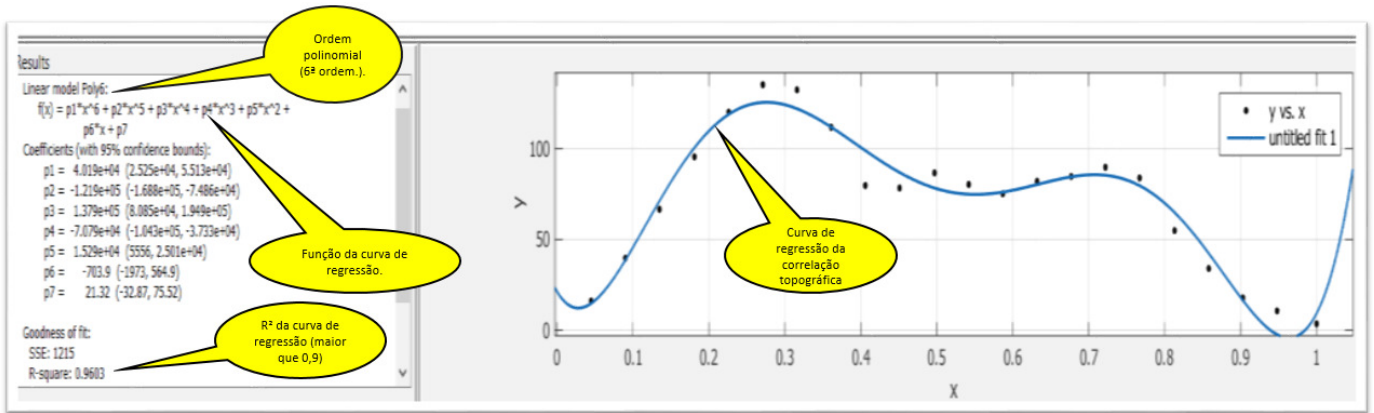
FID	Shape	ID	GRIDCODE	Área
0	Polygon	0	5486	5017.444845

6 – Normalizar os dados de amplitude e da área e definir a curva de correlação topográfica (normalização da amplitude X normalização da área):

Amplitude	Altura (h)	Altura (H)	h/H	Área (a) km	Área (A) km	a/A
20	20	443	0,045	16,0	1579,02	0,010
40	40	443	0,090	39,6	1579,02	0,025
60	60	443	0,135	66,6	1579,02	0,042
80	80	443	0,181	95,5	1579,02	0,060
100	100	443	0,226	120,1	1579,02	0,076
120	120	443	0,271	135,3	1579,02	0,086
140	140	443	0,316	132,5	1579,02	0,084
160	160	443	0,361	111,8	1579,02	0,071
180	180	443	0,406	79,7	1579,02	0,050
200	200	443	0,451	78,8	1579,02	0,050
220	220	443	0,497	8,8	1579,02	0,055
240	240	443	0,542	8,8	1579,02	0,051
260	260	443	0,587	8,8	1579,02	0,048
280	280	443	0,632	8,8	1579,02	0,052
300	300	443	0,677	8,8	1579,02	0,054
320	320	443	0,722	8,8	1579,02	0,057
340	340	443	0,767	8,8	1579,02	0,053
360	360	443	0,812	8,8	1579,02	0,035
380	380	443	0,858	34,0	1579,02	0,022
400	400	443	0,903	17,7	1579,02	0,011
420	420	443	0,948	10,6	1579,02	0,007
440	443	443	1	3,5	1579,02	0,002



7 – Definir a linha de regressão polinomial (no matlab) que mais se adequa a curva de relação topográfica ($R^2 \geq 0,9$):



8 – Definir os pontos de inflexões e de máximo da curva de regressão e delimitar a classes de amplitude altimétrica:

```

Command Window

derivada2 =

766.14*x^4 - 1549.1*x^3 + 1051.644*x^2 - 270.336*x + 19.4902

xmin =

0

xmax =

1

raizes_eq =

-0.15240265194183912808
1.0277823852883115902
0.82634961736797221597588727612253 + 0.1661917784703240995620i
0.82634961736797221597588727612253 - 0.1661917784703240995620i
0.252426174976725612017279 + 0.4894396808i
0.252426174976725612017279 - 0.4894396808i

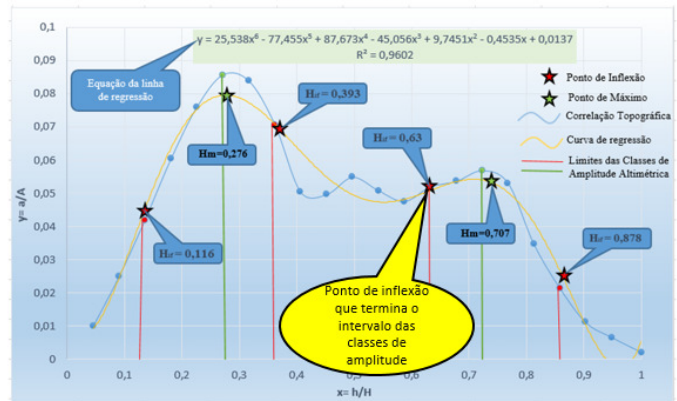
ponto_crit =

0.8596418631999870509949
0.9043483155112054186656
0.381726293159348814377393937831 - 0.133793491493934025526180i
0.381726293159348814377393937831 + 0.133793491493934025526180i

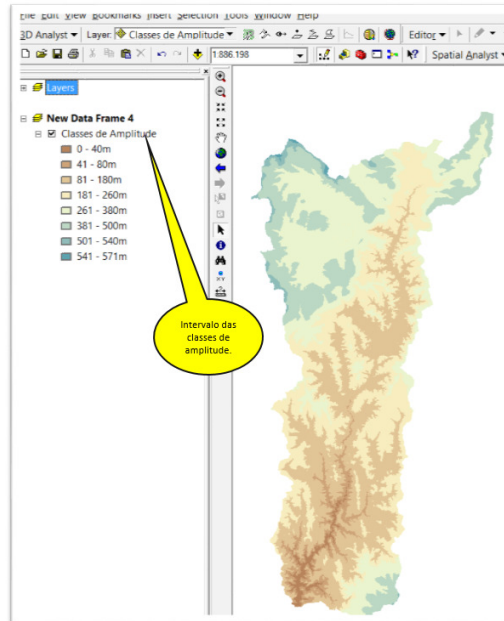
ponto_inflex =

0.1160342745635380755821511194543
0.3962356505648054257629113630601
0.6264797011479302355263482688183
0.88320458574764260988487180662492
    
```

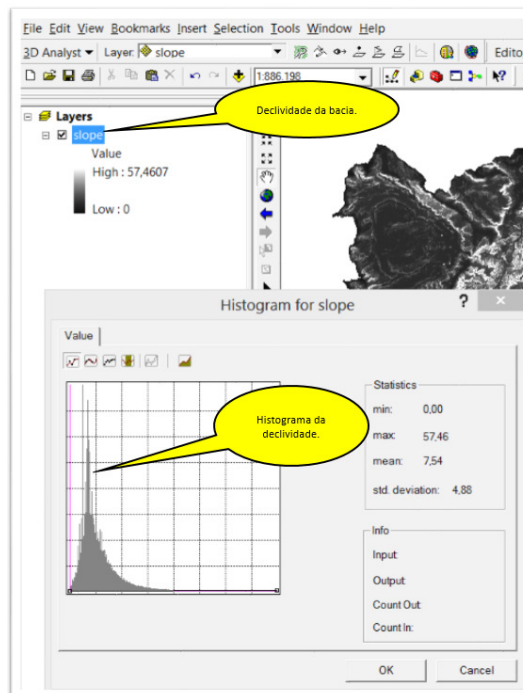
Amplitude	Altura (h)	Altura (H) h/H	Área (a) km	Área (A) km	a/A	
20	20	443	0,045	16,0	1579,02	0,010
40	40	443	0,090	39,6	1579,02	0,025
60	60	443	0,135	66,6	1579,02	0,042
80	80	443	0,181	95,5	1579,02	0,060
100	100	443	0,226	120,1	1579,02	0,076
120	120	443	0,271	135,3	1579,02	0,086
140	140	443	0,316	132,5	1579,02	0,084
160	160	443	0,361	111,8	1579,02	0,071
180	180	443	0,406	79,7	1579,02	0,050
200	200	443	0,451	78,4	1579,02	0,050
220	220	443	0,497	86,7	1579,02	0,055
240	240	443	0,542	80,3	1579,02	0,051
260	260	443	0,587	75,2	1579,02	0,048
280	280	443	0,632	82,1	1579,02	0,052
300	300	443	0,677	84,7	1579,02	0,054
320	320	443	0,722	89,8	1579,02	0,057
340	340	443	0,767	83,9	1579,02	0,053
360	360	443	0,813	54,9	1579,02	0,035
380	380	443	0,858	34,0	1579,02	0,022
400	400	443	0,903	17,7	1579,02	0,011
420	420	443	0,948	10,6	1579,02	0,007
440	443	443	1	3,5	1579,02	0,002



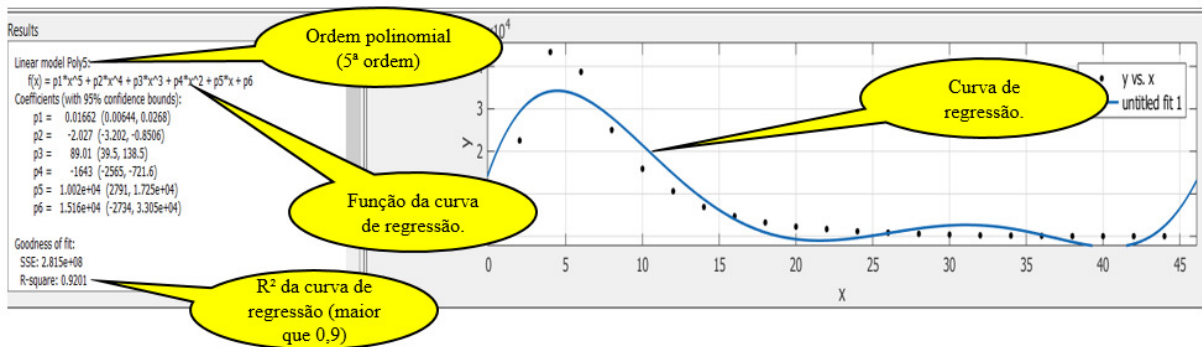
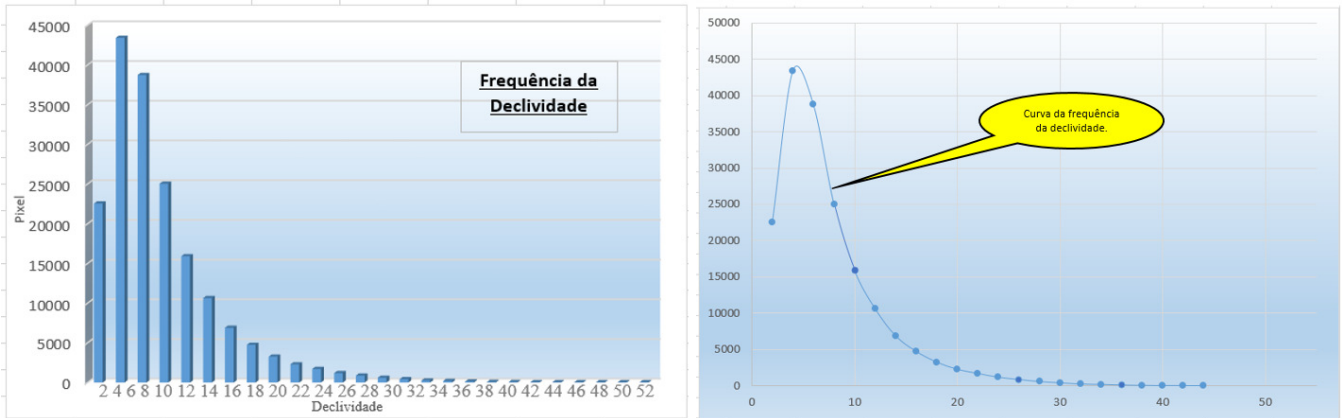
9 – Reclassificar a amplitude altimétrica baseado nos intervalos encontrados.



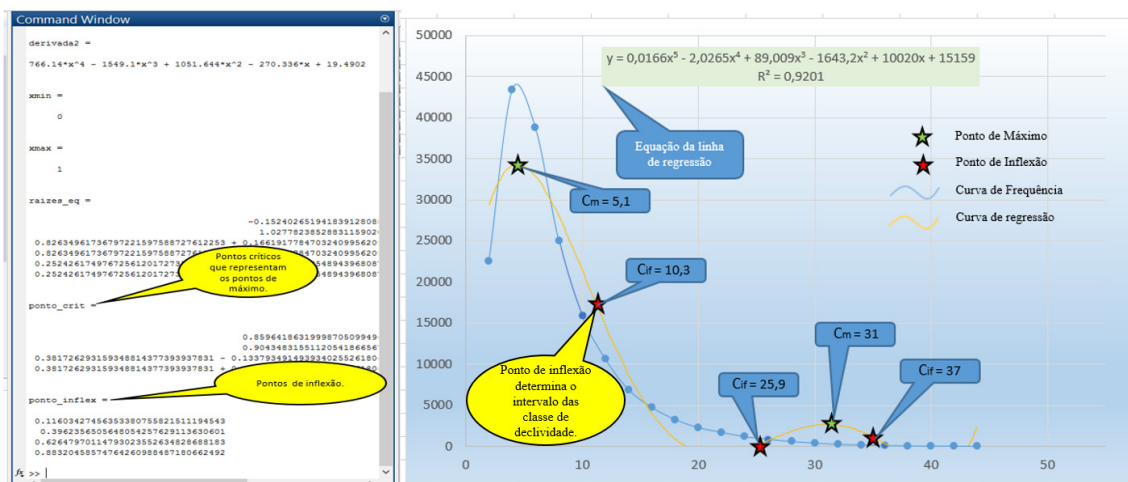
10 – Representar a declividade da área e determinar o seu histograma de frequência (declividade X pixel).



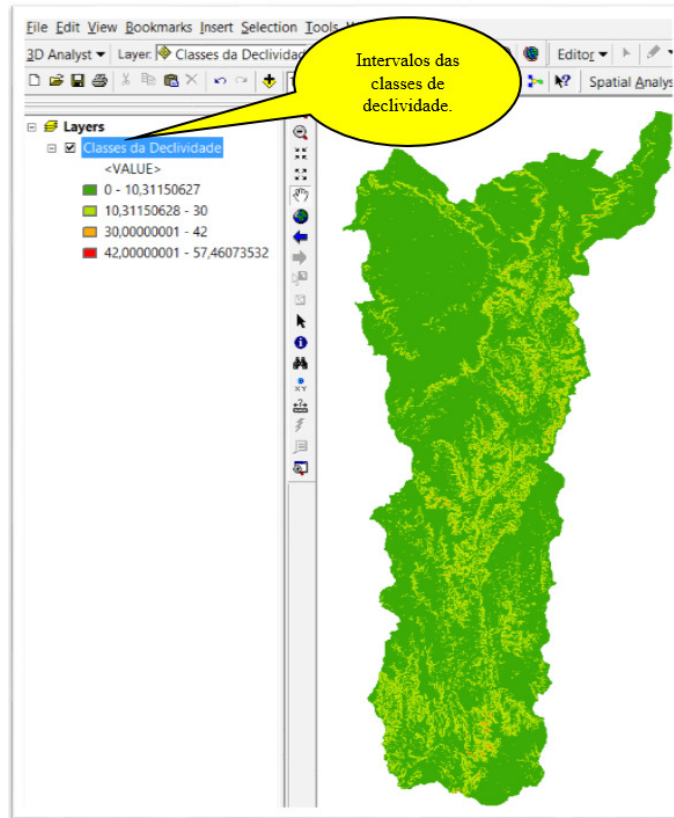
11 – Determinar a curva do histograma e definir a linha de regressão polinomial que mais se adequa a curva do histogram ($R^2 \geq 0,9$):



12 – Definir os pontos de inflexões e de máximo da curva de regressão e delimitar a classes de amplitude de declividade:



13 – Reclassificar a declividade baseado nos intervalos encontrados.



14 – Para determinar as unidades do relevo fazer a análise de sobreposição usando os intervalos de declividade associados ao de amplitude. Proponha valores para a amplitude e declividade em que a soma dos mesmos determinaram as Unidades Básicas de Relevo (UBR)

Valos propostos para amplitude.

Amplitude (m)	Declividade (%)	Unidade Básica de Relevo
0 – 100 (1)	0 – 15 (10)	Classe I (11)
100 – 300 (2)	0 – 15 (10)	Classe II (12)
> – 300 (3)	0 – 15 (10)	Classe III (13)
0 – 100 (1)	> – 15 (20)	Classe IV (21)
100 – 300 (2)	> – 15 (20)	Classe V (22)
> – 300 (3)	> – 15 (20)	Classe VI (23)

Código que representa a relação entre os dados morfométricos.

15 – Considere que os dados de amplitude e declividade se apresentam em formato *raster*, associa-se a cada dado *raster*, valores atribuídos para cada intervalo; assim as células são representadas a cada valor atribuídos, e a soma dos dados permite a identificação dos tipos de UBR

Associação de valores a intervalos de amplitude e declividade:

- Classe da Amplitude (GRIDCODE):** 80, 260, 380, 500, 556
- Classes da Declividade (<VALUE>):** 0 - 10,31150627, 10,31150628 - 30, 30,00000001 - 42, 42,00000001 - 57,46073532

Interface do **Weighted Sum** com as seguintes configurações:

Raster	Field	Weight
Classe da Am...	VALUE	1
Classes da De...	VALUE	1

Resultado da soma dos dados e determinação das UBR:

1	3	3
3	3	1
2	1	2

20	10	10
10	20	10
20	20	10

21	13	13
13	23	11
22	21	12