



Atlas Geomorfológico

ARQUÉTIPOS
GEOMORFOMÉTRICOS DO
DISTRITO FEDERAL

Gervásio B.
Soares Neto

Gervásio Barbosa Soares Neto

ATLAS GEOMORFOLÓGICO
Arquétipos Geomorfométricos do Distrito Federal

Brasília-DF 2025

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE BRASÍLIA

EDITORA IFB

REITORA

Veruska Ribeiro Machado

PRÓ-REITORA DE ENSINO

Rosa Amélia Pereira da Silva

PRÓ-REITORA DE EXTENSÃO E CULTURA

Diene Ellen Tavares Silva

PRÓ-REITORA DE PESQUISA E INOVAÇÃO

Simone Braz Ferreira Gontijo

PRÓ-REITORA DE ADMINISTRAÇÃO

Cláudia Sabino Fernandes

PRÓ-REITOR DE GESTÃO DE PESSOAS

José Anderson de Freitas Silva

CONSELHO EXECUTIVO

Augusta Rodrigues de Oliveira Zana

Bruno Oliveira Tardin

Daniel Cerqueira Costa

Debora Kono Taketa Moreira

Demétrius Alves de França

Érika Barretto Fernandes Cruvinel

Gervásio Barbosa Soares Neto

Iva Fernandes da Silva Medeiros de

Jesus

Jocênio Marquios Epaminondas

Lara Batista Botelho

Leonardo Moreira Leódido

Lucilene Alves Vitória dos Santos

Maria Antônia Germano dos Santos

Maia

Mariela do Nascimento Carvalho

Maurílio Tiradentes Dutra

Nicolau de Oliveira Araujo

Ricardo Faustino Teles

Rute Nogueira de Moraes Bicalho

Rômulo Ramos Nobre Júnior

Sônia Carvalho Leme Moura Veras

Sylvana Karla da Silva de Lemos

Santos

Venâncio Francisco de Souza Júnior

COORDENAÇÃO DE PUBLICAÇÕES

Daniele dos Santos Rosa

PRODUÇÃO EXECUTIVA

Jefferson Sampaio de Moura

DIAGRAMAÇÃO E CAPA

Ricardo Cirioli Barbosa

REVISÃO TEXTUAL

Lauanda Beatris Matos Costa

ILUSTRAÇÃO

Ricardo Cirioli Barbosa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S676a

Soares Neto, Gervásio Barbosa

ATLAS GEOMORFOLÓGICO [recurso eletrônico]:
arquétipos geomorfométricos do Distrito Federal / Gervásio
Barbosa Soares Neto.

Brasília : Editora IFB, 2025.

1 arquivo texto (204 p.) : PDF ; il. color. ; 20,24 MB.

Disponível em formato PDF.

Modo de acesso: World Wide Web.

Bibliografia: p. 159-175.

ISBN 978-65-6074-020-4.

Disponível em: <https://editora.ifb.edu.br/editora/>

1. Geomorfologia - Distrito Federal (Brasil). 2.
Geomorfometria. 3. Cartografia geomorfológica. 4. Atlas -
geomorfologia. I. Título.

CDU: 551.4(084.3)(815.61)

Elaborado pela bibliotecária Lara Batista Carneiro Botelho
CB1/2434

2025 - Editora IFB Obra produzida com apoio do Edital 11/2024 - Apoio a
Publicações de Obras Técnico-Científica 2024



A exatidão das informações, as opiniões e os conceitos emitidos
na obra são de exclusiva responsabilidade dos autores.
Todos os direitos desta publicação são reservados à Editora IFB.
É permitida a publicação parcial ou total desta obra, desde que
citada a fonte. É proibida a venda desta publicação.



REITORIA - Setor de Autarquias Sul
Qd 2, Bloco E - Edifício Siderbrás
CEP 70.070-020 | Asa Sul - Brasília/DF
www.ifb.edu.br
☎ +55 (61) 2103-2110
✉ editora@ifb.edu.br

Apoio



Laus Lau's

“Se por todo lado, em Brasília, Taguatinga, Brazlândia, Gama e Planaltina, pisamos insofridamente sobre rochas com mais de 1 bilhão de anos, o mesmo não se pode dizer do relevo, dos contornos, das paisagens. Esses mudam constantemente, pela ação dos elementos naturais, físicos e químicos e – desde o advento da Revolução Industrial – pela desvairada ação do homem sobre o ecossistema.”

Paulo Bertran (História da Terra e do Homem do Planalto Central)

A Ele que salvou a minha vida e
que possibilita as alegrias dos
meus dias. Obrigado, **Mateus Tapajós**.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
-------------------------	-----------

CAPÍTULO I – Teorias e Paradógmias da Cartografia	
Geomorfológica	19

Fundamentações Teórico-metodológicas da Cartografia	
Geomorfológica Mundial	21
Fundamentações Teórico-metodológicas da Cartografia	
Geomorfológica Brasileira	31

CAPÍTULO II – Breve histórico da Cartografia	
Geomorfológica do Distrito Federa	57

Relatório Belcher	58
Penteado-Orellana	60
Maio	62
Novaes Pinto	64
Martins e Baptista	67
Steinke	70
Zoneamento Ecológico Econômico da RID-DF	72
Geomorfologia de Goiás e do distrito Federal	76
Atlas do Distrito Federal 2017	79

CAPÍTULO III – Escalas dos Mapas Geomorfológicos	83
---	-----------

Mapas Geomorfológicos de Pequena Escala	86
Mapas Geomorfológicos de Média Escala	88

Mapas Geomorfológicos de Grande Escala	89
--	----

CAPÍTULO IV – Dados Geomorfométricos 92

Topologia: Identificação e Correção.....	96
Geração de Dados Geomorfométricos (MDEs).....	98
Amplitude Altimétrica	101
Declividade	104
Orientação de Vertente.....	110
Curvatura (Formas das Vertentes)	116

CAPÍTULO V – Delimitações das Unidades Básicas de Relevo 124

Unidades Básicas de Relevo - Determinação dos Parâmetros de Classificação	127
Dados Geomorfométricos	130
Determinação Das Unidades Básicas de Relevo.....	132
Determinação dos Intervalos de Amplitude.....	133
Determinação dos Intervalos de Declividade.....	137
Unidades Básicas de Relevo (UBR)	139

CAPÍTULO VI – Geomorfologia do Distrito Federal: Arquétipos Geomorfométricos..... 143

Geomorfologia do Distrito Federal	145
Colinas Rebaixados.....	147
Colinas	148
Cômoros	149
Platô	151

Cômoros Dissecados	152
Platô Dissecado	153
Morrotes	154
Morros.....	155
Escarpas	157
BIBLIOGRAFIA.....	158
APÊNDICE A.....	175
APÊNDICE B.....	179
MAPAS	191

ATLAS GEOMORFOLÓGICO

Arquétipos Geomorfométricos do Distrito Federal

“...a juventude da disciplina de Geomorfologia explicaria a dificuldade em determinar um padrão mundial na classificação da morfologia terrestre.”

Mike J. Smith

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).

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.

Conforme Soares Neto (2015), 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 aéreas 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 de

informações, possibilitadas pelo sensoriamento remoto, perdeu seu foco em seu principal objeto de estudo, a descrição das formas do relevo.

Evans (2011), 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.

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).

O uso de parâmetros geomorfométricos na representação, inicial, do mapeamento geomorfológico, permite uma maior proximidade do modelado terrestre. Como pode ser evidenciado no caso das UBRs – Unidades Básicas de Relevo.

Para Soares Neto (2019), Unidade Básica de Relevo (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 relevo (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 relevo leva-se em consideração uma álgebra de mapas entre os intervalos – previamente obtidos pelo método da inflexão hipsométrica (Hif), máxima hipsométrica (Hmax), inflexão clinográfica (Cif) e máxima clinográfica (Cmax) (Soares Neto, 2019) – da amplitude altimétrica e declividade. A caracterização do relevo 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 relevo.

Nesse contexto, o presente livro tem como objetivo representar a cartografia geomorfológica do Distrito Federal, parametrizado por dados geomorfométrico e pelo conceito de UBR. Possibilitando uma representação mais factual do modelado geomorfológico dessa área. Esperamos, que todo processo de elaboração da geomorfologia do Distrito Federal, possa contribuir tanto no entendimento teórico da representação do modelado geomorfológico, a partir de parâmetros geomorfométricos, bem como, na elaboração de nova mapa geomorfológicos nas mais diversas áreas, que necessitam dessa ciência para seu entendimento.

Esse primeiro Tomo, está estruturado em seis capítulos e dois apêndices, apresentando uma linha histórica da representação geomorfológica no mundo e no Brasil e enfatizando a breve história da cartografia geomorfológica do Distrito Federal, bem como descrevendo o método semiautomático de classificação geomorfológica e seus resultados aplicados a capital federal.

CAPÍTULO I

Teorias e Paradigmas da Cartografia Geomorfológica

“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.”

Soares Neto

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 estendidos 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 no 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 capítulo tem 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 tais óbices.

Fundamentações Teórico-metodológicas da Cartografia Geomorfológica Mundial

No século XIX até início do século XX a representação cartográfica da geomorfologia foi dominada pela abordagem presente da época, 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 eram 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 responder mais a 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*** – remete-se 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 cartográfico. O desenvolvimento teórico, os procedimentos e a criação de uma legenda padrão na cartografia geomorfológica tomou e toma uma grande quantidade de tempo e esforço dos geomorfolólogos nos últimos 60 anos. Embora exista uma concordância quanto a 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 criaram 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 – 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 possa ser entendido;

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, 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 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 da 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 ajuda e pode 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 introduziu 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), 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 ponto da matriz tem um valor correspondente a 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 (LIDAR - *Light Detection And Ranging*) (Dikau, 1989, 1992). Estes modelos fornecem em 3D 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 há 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 norteará 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 semi-automática 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.

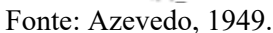
Hengl e Reuter (2008) concluem que os primeiros estudos geomorfológicos estavam preocupados com o desenvolvimento de procedimentos de detecção automática de pontos específicos da superfície (covas, picos canais sulcos, etc.), pesquisas geomorfológicas subseqüentes, indicam novos parâmetros para incluir 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 as 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 à 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.

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 topografia em que usou prioritariamente dados altimétricos para discernir duas classes para o relevo. A Figura 1 traz a representação cartográfica da geomorfologia do Brasil usando o critério de classificação do relevo proposto por Azevedo.



32

mapas especiais (como cartas geomorfológicas), na época, pouco se divulgou o seu trabalho.

Na busca de uma classificação mais detalhada do relevo, Aziz Nacib Ab'Sáber propõe duas classes geomorfológicas para o território em 1964. Incorporando uma abordagem morfoclimática com conotação morfogenética este autor divide o território em duas classes: Planaltos (superfícies em que a degradação seria superior a aggradação) e Planícies (superfícies em que a aggradação seria superior a degradação). A Figura 2 apresenta a representação espacial das classes propostas por Ab'Sáber.

Figura 2 - Mapa geomorfológico do Brasil usando o critério de classificação do relevo proposto por Ab'Sáber.



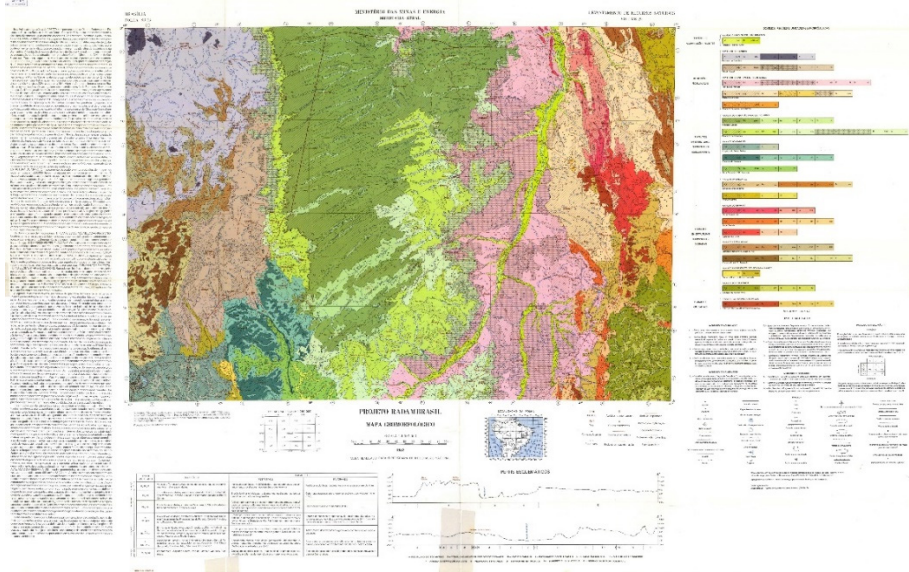
Fonte: Ab'Sáber, 1964.

As propostas elaboradas por Azevedo e Ab'Sáber foram e ainda são fontes de grande importância no entendimento do modelado do relevo brasileiro. As metodologias por eles propostas

representaram um pioneirismo no Brasil na busca da sistematização na classificação do relevo, mas não necessariamente da cartografia geomorfológica. A ideia de propor um fluxo metodológico para definição das classes do relevo e definição de materiais e de uma rotina na elaboração de mapas geomorfológicos no Brasil, concretiza-se apenas na década de 1970, com o projeto RADAM (Radar na Amazônia).

O RADAM foi criado em outubro de 1970, e sua prioridade era coletar dados sobre os recursos minerais, solos, vegetação, uso da terra e cartografia da Amazônia e áreas adjacentes da Região Nordeste. Em julho de 1975, o mapeamento por radar foi expandido para o restante do território nacional, com o objetivo de um mapeamento integrado dos recursos naturais e teve seu nome alterado para RADAMBRASIL. Os produtos organizados em 551 mosaicos foram obtidos em escala original de 1:250.000, e organizado de acordo com as referências do MIR (Mapa Índice de Referência), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), conforme o exemplo da Figura 3.

Figura 3 - Mapa Geomorfológico Folha SD-23 Brasília.



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 ondapróximos a 3 cm efrequênciaentre 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 dissecação, que passam a compor três formas básicas: colinas, cristas e interflúvios tabulares, aos quais foram acrescentados dois dígitos de 1 a 5, em que o primeiro se

refere à extensão da forma e o segundo a profundidade da drenagem;

Terceiro Momento – Caracterização dos relevos dissecados por suas formas aguçadas, convexas e tabulares, e no que refere-se a 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 as 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.

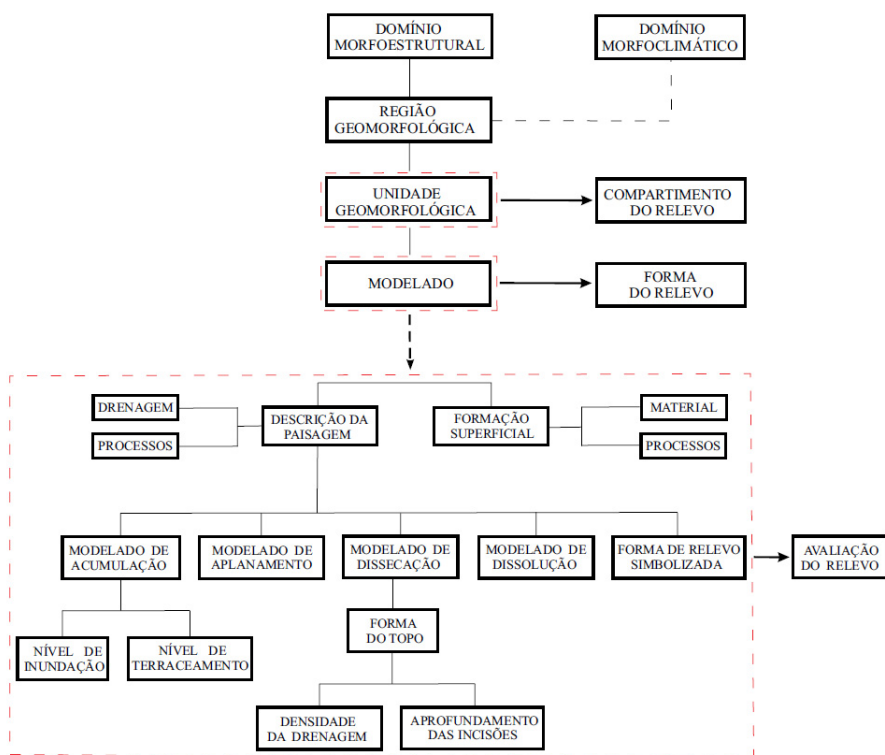
O Quadro 1 sintetiza o padrão metodológico adotado pelo RADAMBRASIL referente ao arranjo taxonômico empregado.

Quadro 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 4, em que descreve de forma sucinta, as quatro grandezas usadas na delimitação da geomorfologia do território brasileiro.

Figura 4 – Estrutura da Geomorfologia adotada pelo RADAMBRASIL.



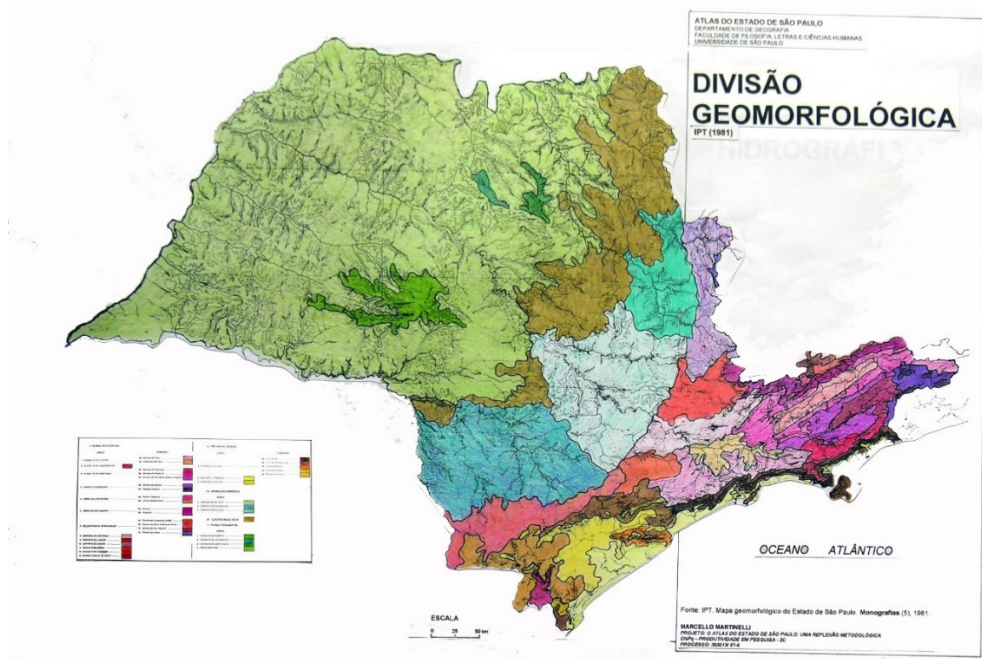
Fonte: IBGE, 2009.

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 *CommonwealthScientificand Industrial ResearchOrganization*(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 Figura 5.

Figura 5 - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.



Fonte: IPT, 1981.

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 levava como principal critério de delimitação padrões geológicos. Após a delimitação das províncias, essas eram subdivididas em zonas, subzonas e as formas de relevo, determinando um padrão hierárquico na

distribuição taxonômica. O Quadro 2 sintetiza as classes geomorfológicas propostas pelo IPT, junto aos seus níveis taxonômicos.

Quadro 2 – Ordem taxonômica adotada pelo IPT.

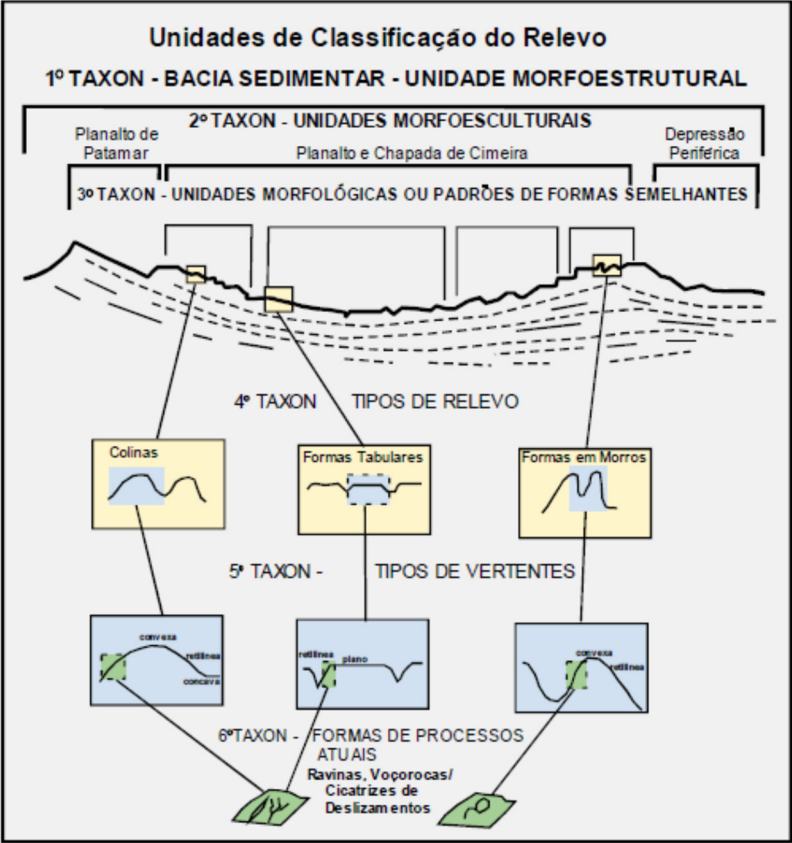
GRANDEZA TAXONÔMICA	GRANDEZAS GEOMORFOLÓGICAS	EXEMPLOS
1º TAXON	Províncias	Província Costeira
2º TAXON	Zona	Serrania Costeira
3º TAXON	Subzona	Serra do Mar
4º TAXON	Sistema de Relevo	Relevo Montanhoso

Na busca de aprimorar a classificação do relevo brasileiro, Ross (1992) apresenta seu pressuposto metodológico referenciados em Demek (1967) e Mescerjakov (1968) e 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, onde a unidade básica de classificação parte de elementos morfoestruturais, como pode ser observado no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 – 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 tectogenéticos. 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;

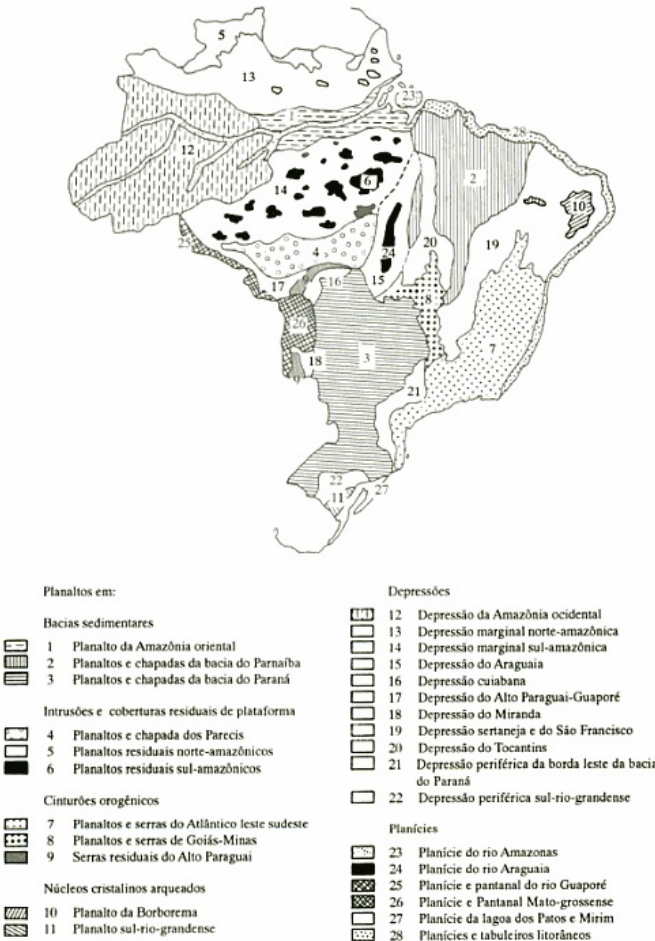
5º Táxon - Corresponde aos tipos de vertentes ou setores das vertentes de cada uma das formas do relevo. Cada tipologia de forma de uma vertente é geneticamente distinta; cada um dos setores dessa vertente pode apresentar características geométricas, genéticas e dinâmicas também distintas. Dentre as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

A partir da análise de 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 6.

Ross.

Unidades do Relevo Brasileiro



Fonte Ross, 1997.

Ross (1992) enfatiza que um fato de grande complexidade é discernir os níveis de representação dos fatos geomórficos em

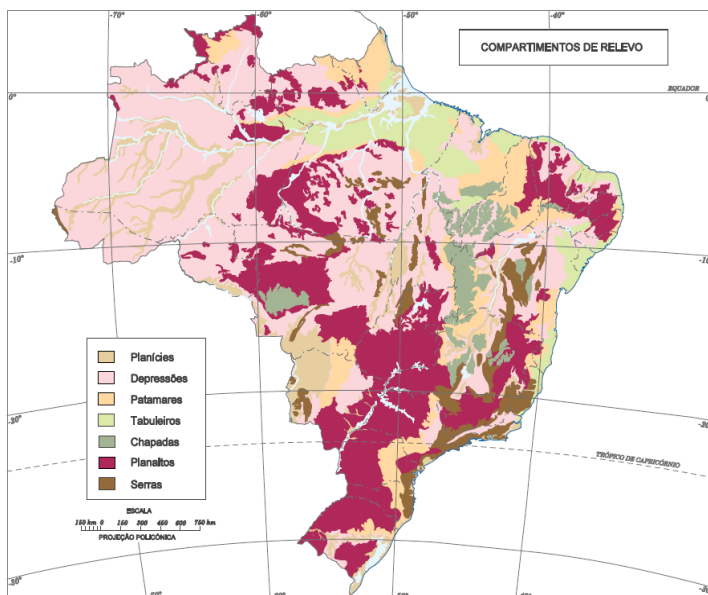
função da dimensão deles e da escala de representação escolhida. É incompatível por exemplo, a representação especializada dos setores de vertentes para escalas médias e pequenas. Os setores de vertentes só se tornam passíveis de cartografar em escalas grandes, assim, para a determinação de certos níveis taxonômico 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 (Fluxograma 1), na busca de padronizar a construção de mapas geomorfológicos no Brasil. Em seu exemplar é exposto a taxonomia do mapeamento geomorfológicos junto a uma proposta de padrão 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 7.

Figura 7 - Mapa de Unidades de Relevo do Brasil.



Fonte: IBGE, 2009.

A ocorrência de novas classes de relevo não existente 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.

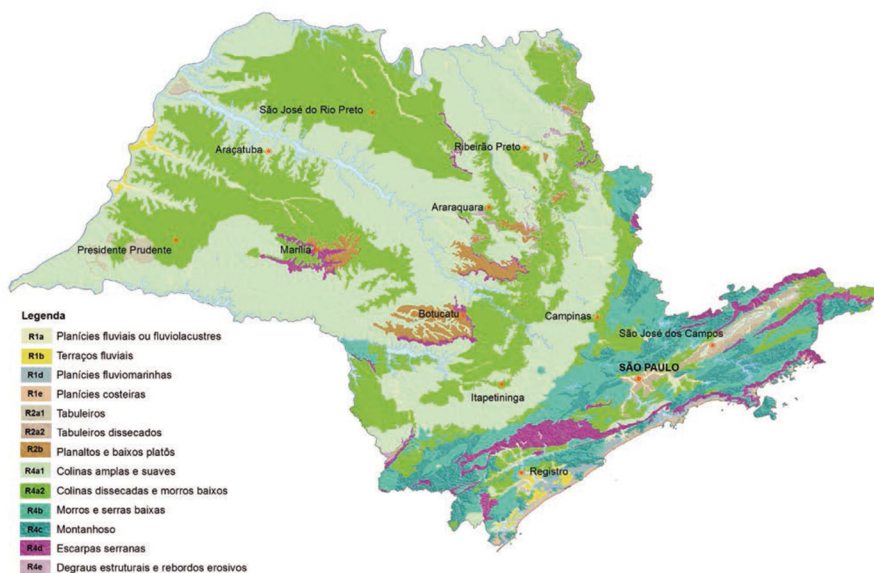
Para Ab'Sáber (1965), a menor unidade taxonômica é a superfície geneticamente homogênea, que resulta de um determinado processo ou de um complexo de processos geomorfológicos. Ideia essa que, como no mundo, também se perpetuou no Brasil e que distancia, cada vez mais, a geomorfologia do seu principal 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 uma 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; PATAMARES: 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 se distanciando de uma representação da morfologia do relevo.

Relativamente recente trabalho da CPRM (2010), propõem a representação geomorfológica aplicada ao mapeamento da geodiversidade do território brasileiro e dos estados federativos 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 8). O método sugerido levou em consideração para classificação e delimitação dos tipos de relevo dados geomorfométricos como declividade e amplitude, diferenciando-se dos métodos tradicionais e apontando, também, um princípio de mudança nos paradigmas metodológicos adotados nos trabalhos brasileiros.

Figura 8 – Formas do relevo do Estado de São Paulo.



Fonte: CPRM, 2010.

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.

Contrariando a própria linha epistemológica, Ross (1992) considera que a cartografia geomorfológica deve mapear concretamente o que se vê e não o que se deduz da análise geomorfológica; portanto em primeiro plano os mapas geomorfológicos devem representar os diferentes tamanhos de formas de relevo, dentro da escala compatível. Em primeiro plano deve-se representar as formas de diferentes tamanhos e em planos secundários, a representação da morfometria, morfogênese e morfocronologia, que têm vínculo direto com a tipologia das formas.

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.

A falta de uma padronização técnica na elaboração da cartografia geomorfológica explica a diversidade de resultados dentro dessa área de conhecimento, pois o peso da interpretação passa ter mais ênfase do que o método utilizado, determinando cartas embasadas na mesma metodologia, mas com representações distintas. O uso de técnicas de automação tornaria viável a padronização no processo de classificação.

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.

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.). Trabalhos recentes de representação do modelado terrestre, publicados em revistas e livros conceituados, retomam essa idéia clássica de mapeamento, em que, munidos de novas tecnologias como ambientes SIGs e o

sensoriamento remoto, alcançam resultados surpreendentes ao interpretar e classificar o relevo baseados, inicialmente, em dados geomorfométricos, associados a métodos acessíveis e consistentes, apontando os novos caminhos a serem seguidos para o mapeamento geomorfológico e sua possível padronização.

CAPÍTULO II

Breve histórico da Cartografia Geomorfológica do Distrito Federal

“A topografia geral de todo o sítio, bem assim como outras características de declividade e conformação do terreno, dão a cada sítio uma personalidade distinta.”

Relatório Belcher

As questões ambientais impulsionaram a representação geomorfológicas do Distrito Federal nas últimas décadas. O uso da ciência geomorfológica como subsidio para as mais diversas análises ambientais, bem como a breve existência do Distrito Federal, determinaram a linha histórica da cartografia geomorfológica dessa unidade federativa.

Umas das primeiras descrições, e não representação cartográfica, da geomorfologia da área que viria ser o Distrito Federal se deu pelo Relatório Cruls de 1984. Steinke (2007) aponta que em 1891, o então Presidente da República nomeou a Comissão Exploradora do Planalto Central, buscando entender a região central do Brasil e por consequência demarcar a área que veria a ser a nova capital do país. A comissão, em seu relatório, destacou a configuração acidentada e complexa da superfície, formada por chapadões, pequenas saliências e depressões, sem

necessariamente apontar uma representação ou método de classificação do relevo.

Estudos que apontaram uma representação do modelado da superfície do Distrito Federal só viria a surgir com o Relatório Belcher de 1949 e sistematizados, cartograficamente, por outros trabalhos nas décadas seguintes.

Relatório Belcher

O Relatório Belcher representa o documento com estudos técnicos realizado pela firma estadunidense *Donald J. Belcher and Associates*, em que definiu a escolha do local a ser contruída a nova Capital do País, Brasília. Em sua descrição do sumária na segunda edição de 1957, o Relatório analisa a geomorfologia com uma breve análise topográfica:

A topografia geral de todo o sítio, bem assim como outras características de declividade e conformação do terreno, dão a cada sítio uma personalidade distinta. Êste foi o desejo da firma Donald J. Belcher & Assoe. Inc. ao proceder a

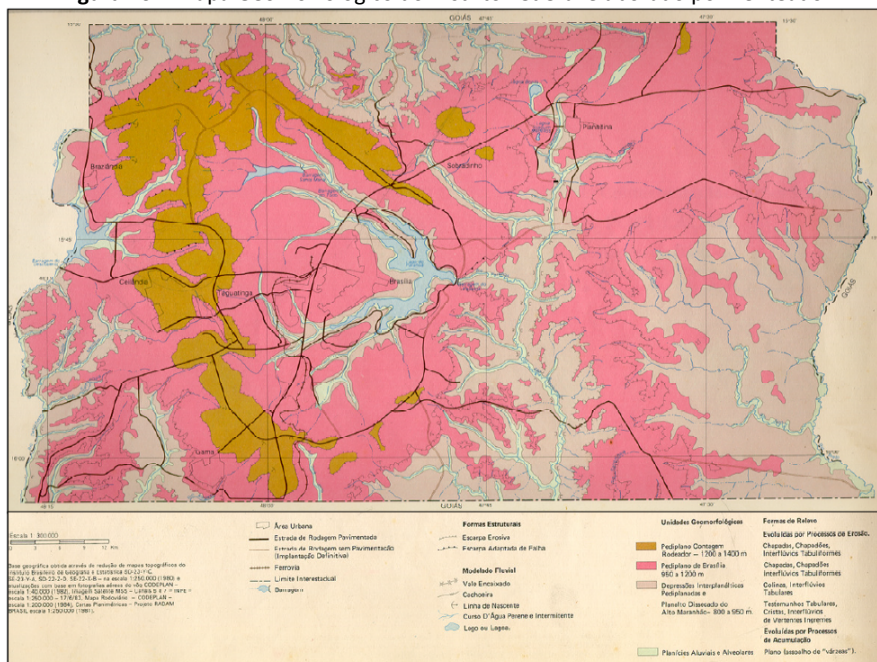
essas escolhas de forma tal que, aos arquitetos e urbanistas do govêrno seja dado desenvolver o plano diretor da cid3decom inteira liberdade. Da forma pela qual foram os sítios estudados, ver-se-á que, no Sítio Azul, existem muitas possibilidades de escolha, enquanto que o Castanho oferece um ponto focal natural para o centro cívico federal em terreno inclinado e próximo a excelentes áreas planas para localização de aeroportos, por exemplo (Sumário página 22).

Já no tópico de Geomorfologia (página 148), é evidenciado que não se trata de um trabalho geomorfológico, mas que foi necessário o reconhecimento de alguns aspectos dessa área de conhecimento, para melhor compreensão das características pedológicas.

Em relação a morfologia da futura capital do país, são identificados dois tipos de superfícies descritas pelo padrão de erosão: superfície de 1ª erosão – plano superior e superfícies de 2ª erosão – plano inferior.

Usando de dados hipsométricos, na escala 1: 100.000, trabalhos anteriores (Penteado, 1976) e pesquisa de campo, Penteado identificou quatro unidades geomorfológicas e a partir da gênese do relevo, classificou e descreveu cada classe.

Figura 10 – Mapa Geomorfológico do Distrito Federal elaborado por Penteado.



Fonte: CODEPLAN, 1984

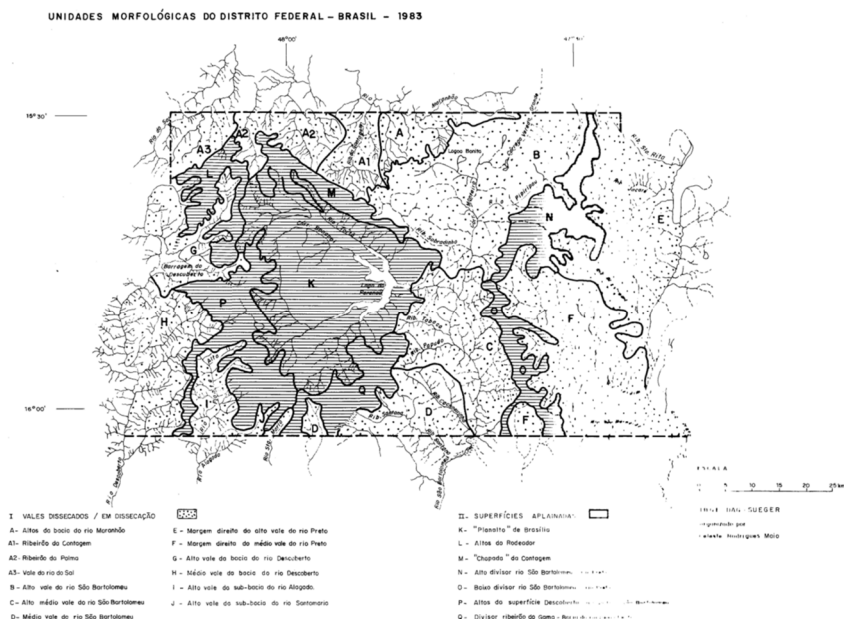
Em escala de 1:300.000, Penteado indicou quatro compartimentos para caracterizar a geomorfologia do Distrito Federal: Pediplano Contagem (1200 – 1400m); Pediplano Brasília

(950 – 1220m); Depressões Interplanalticas Pediplanadas e Planalto Dissecado do Alto Maranhão (800 – 950m), constituídas de colinas com vertentes ígremes e interfluvios tabulares; e Planícies Aluviais e Alveolares, originadas pela deposição de sedimentos fluviais ao longo das margens dos principais rios do Distrito Federal.

Maio

Buscando evidenciar o papel da geomorfologia nos estudos ambientais, Celeste Rodrigues Maio publica em 1986, na Revista Brasileira de Geografia uma proposta de mapeamento geomorfológico do Distrito Federal (Figura 11) para subsidiar estudos na área de meio ambiente.

Figura 11 – Mapa das Unidades Morfológicas do Distrito Federal.



Fonte: Maio, 1986.

A partir da interpretação de fotos aéreas, cartas topográficas e geológicas, imagens de radar e satélite (Landsat), foi elaborado o mapa geomorfológico em escala de 1:250.000. Maio (1976), Classificou o Distrito Federal em dois grandes Domínios Geomorfológicos: Vales Dissecados/ em Dissecação e Superfícies Aplainadas. E, posteriormente, subdividiu em Unidades Morfológicas, considerando os traços dominantes do relevo (extensão, modalidades e relacionamento com o Planalto Central),

traços secundários do relevo (elos entre as unidades) e traços especiais do relevo (interação entre as variáveis e o papel que elas exercem sobre indicadores das alterações ambientais. Assim, o Domínio dos Vales Dissecados/ em Dissecação, foi subdividido em 13 unidades morfológica (Altos da Bacia do rio Maranhã, Ribeirão contagem, Ribeirão Palma, Vale do rio do Sol, Alto vale do rio São Bartolomeu, Alto médio vale do rio São Bartolomeu, Médio vale do rio São Bartolomeu, Margem direita do alto vale do rio Preto, Margem direita do médio vale do rio Preto, Alto vale da bacia do rio Descoberto, Médio vale da bacia do rio Descoberto, Alto vale da sub-bacia do rio Alagado e Alto vale da sub-bacia do rio Santa Maria) e o Domínio das Superfícies Aplainadas, em 7 unidades morfológicas (Planalto de Brasília, Altos do Rodeador, Chapada da Contagem, Alto divisor rio São Bartolomeu, Baixo divisor do rio São Bartolomeu, Altos da superfície Descoberto-Alagado-São Bartolomeu e Divisor ribeirão do Gama).

Novaes Pinto

Também no ano de 1986, a geógrafa Maria Novaes Pinto, publica a representação do relevo do Distrito Federal em Unidades Geomorfológicas (PINTO, 1986). A metodologia usada para

identificação das unidades partiu dos elementos da paisagem e evolução geomorfológica regional.

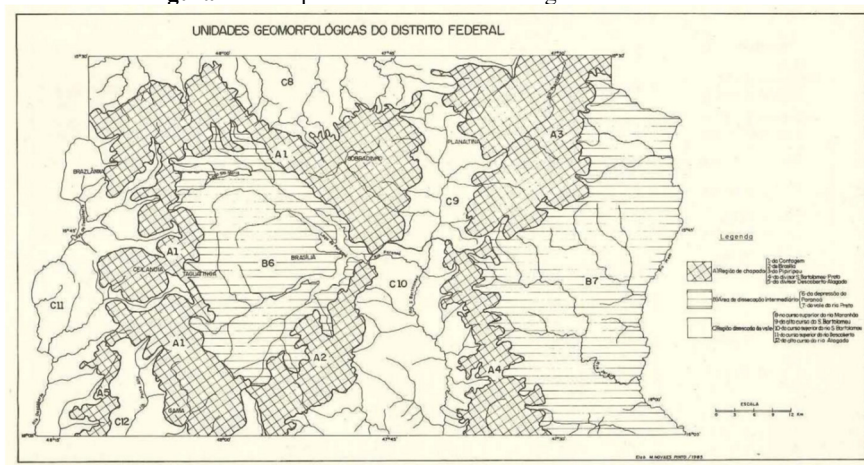
Para obter a representação das Unidades Geomorfológica do Distrito Federal, Novaes Pinto segue quatro estágios: 1º - Compartimentação topográfica; 2º - Análise topológica dos compartimentos; 3º - Análise regional, baseada na literatura geomorfológica e geológica disponível complementada por conclusões dos estágios anteriores; 4º - Zoneamento e caracterização das unidades geomorfológicas.

Quadro 3 – Síntese das Unidades Geomorfológicas.

PAISAGENS	UNIDADES	ÁREA km ²	%
Região de Chapada	Chapada da contagem	1.028	18
	Chapada de Brasília	202	3,4
	Chapada do Pipiripau	445	8
	Chapada Divisora São Bartolomeu-Preto	108	2
	Chapada Divisora Descoberto-Alagado	105	2
Área Dissecada Intermediária	Depressão do Paranoá	726	12,5
	Vale do Rio Preto	1.067	18,4
Região Dissecada de Vale	Alto curso do rio São Bartolomeu	270	5
	Curso superior do rio São Bartolomeu	608	10,5
	Alto curso do rio Descoberto	574	10
	Curso superior do rio Descoberto	476	8,2
	Alto Curso do rio Alagado	94	1,8
Total		5.783	100

O mapa foi representado por 3 tipos de paisagens, subdivididos em 12 unidades geomorfológicas (Figura 12):

Figura 12 – Mapa das Unidades Morfológicas do Distrito Federal.



Fonte: Novaes Pinto, 1986.

1- Paisagem de Chapadas – Topografia pla e plano-odulada, acima da cota de 1.000 m. Estruturados sobre quartzitos e ardósias do Grupo Paranoá e micaxistos e quartzitos do Grupo Araxá. Cobertos por latossolos e lateritas e encostas com segmentos retilíneos. Subdividida em 5 unidades: Chapada da Contagem, Chapada de Brasília, Chapada do Piripirau, Chapada divisora do São Bartolomeu-Preto e Chapada divisora Descoberto-Alagado.

2- Paisagem de Dissecação Intermediária – Área de ocorrência da chapada neogênica retrabalhada por processo de pediplanação durante o Pliopleitoceno. Estruturada sobre ardósia, filitos e quartzitos do Grupo Paranoá e recoberta por latossolo vermelho-

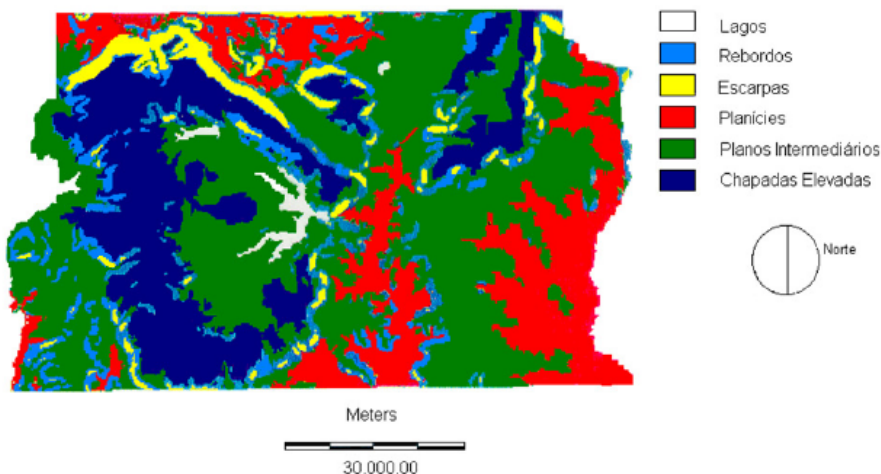
escuro. Subdividida em 2 unidades: Depressão do Paranoá e Vale do Rio Preto.

3- Paisagem Dissecada de Vales – Correspodem as depressões de litologias de resistências variadas. Apresenta relevo acidentado, encostas de forma convexo-côncavo. Sua gênese é do Neógeno. Subdividida em 5 unidades: Alto curso do rio São Bartolomeu, Curso superior do rio São Bartolomeu, Vale no curso superior do rio Maranhão, Curso superior do rio Descoberto e Alto Curso do rio Alagado.

Martins e Baptista

Valendo-se de dois dados geomorfométrico, o Geólogo Eder de Souza Martins e o Geoógrafo Gustavo Macedo de Mello Baptista, apresentaram a proposta de compartimentação geomorfológica do Distrito Federal. Martins e Baptista (1998), Classificaram a Geomorfologia do DF em 5 compartimentos geomorfológicos (Figura 13), a partir do cruzamento da declividade e altimetria em ambiente geocomputacional.

Figura 13 – Mapa Geomorfológico do Distrito Federal.



Fonte: Martins e Baptista, 1998.

A caracterização das unidades geomorfológicas foram baseadas na geomorfometria, morfo-pedologia, lito-estrutura e pedologia. Conforme o mapa da figura 13, as 5 unidades são:

1- Chapadas Elevadas – Com pedogênese e denundação química como processos dominantes, em decorrência a baixa declividade, tem altitudes entre 1.135 e 1.300 m, sobre os flancos de domos estruturais, sendo considerados Etchiplanos ativos.

2- Planos Intermediários – Caracterizam-se por estruturas residuais de apalinhamento, em decorrência a dissecação dos principais rios da região. Com altitudes entre 1.80 e 1.135 m, tem baixa ocorrência de erosão e de deposição, com predominância da pedogênese.

3- Planícies – Entre os planos intermediários e os canais da rede hidrográfica regional. Prevaecem os processos de pedogênese e deposição.

4- Escarpas – Representam as maiores declividades, superior a 8%, com predominância de ocorrência nas bordas do domo estrutural de Brasília e do Pípiripau. Com processos erosivos acentuados e deposição reduzida.

5- Rebordos – As declividades são inferiores a 8% e delimitam, tanto a porção interna como a externa, do domo de Brasília e a porção externa dos Domo do Pípiripau e de Sabradinho. Com a pedogênese e erosão sendo mais ativos do que a deposição.

Steinke

Baseado na classificação de Ross (1992), Steike (2003), propôs a classificação geomorfológica do Distrito Federal baseando-se em análise de dados geomorfométricos, bem como o cruzamento dessa base com dados hidrológicos da região. Em uma base de escala de 1:10.000 foi possível identificar 8º unidades morfológicas, que posteriormente, foram agrupadas por análise estatística de *cluster*, possibilitando a identificação de 4 padrões de relevo (Figura 14).

Os 4 padrões de relevo foram descritos da seguinte forma:

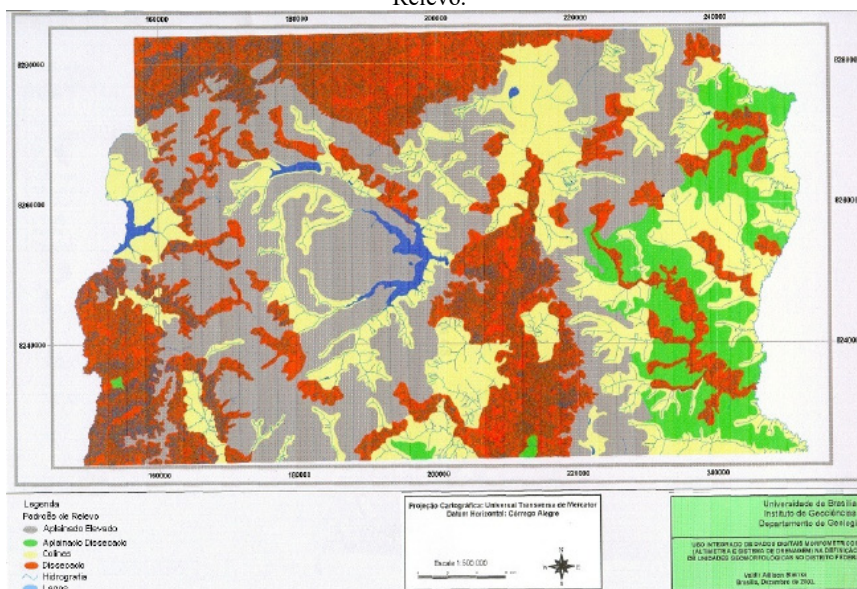
1- Aplainado Superior – ocupando 32% da área dessa unidade federativa, é caracterizado pela topografia plana a plana ondulada e com cotas superiores a 1000m. Recoberto por Latossolos de textura argilosa a argilosa média. Com baixo índice de dissecação, inexistindo a ocorrência de canais entalhado.

2- Aplainado Inferior – Com altitudes entre 830 a 1030 metros, ocupam 8% do Distrito Federal. Estruturados em ardósias e quartzitos, são recobertos por Latossolos e Cambissolos, esse em áreas restritas. Os extensos interflúvios planos, caracterizam a sua morfologia.

3- Colinas – Formadas por vales abertos e com baixo grau de declividade. Recoberto por Latossolos e Cambissolos, representam 25% da área e apresentam valores medianos quanto ao índice de dissecação.

4- Dissecado – Ocupando 34% do Distrito Federal, caracteriza-se pelo elevado índice de dissecação. Formado por drenagem de padrão dendrítico, com encostas convexo-côncavas e perfil complexo. Recobrem esse padrão de relevo, solos do tipo Cambissolos associados Neossolos Litólicos.

Figura 14 – Mapa Geomorfológico do Distrito Federal, classificado em 4 padrões de Relevo.



Fonte: Steinke, 2003.

Zoneamento Ecológico Econômico da RID-DF

Em um esforço conjunto, a CPRM, EMBRAPA Cerrado, EMPRAPA Sololos e com apoio de outras entidades governamentais, lançam em 2003 o Zoneamento Ecológico Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal.

Dentre vários aspectos sociais e físicos, em seu relatório consta uma caracterização da geomorfologia da RID e assim apresentando-se como mais uma proposta de mapeamento geomorfológico do Distrito Federal (Figura 15) .

Em escala 1:250.000, o mapa geomorfológico da RID do Distrito Federal foi elaborado por Marcelo Eduardo Dantas e usou como pressuposto metodológico a metodologia elaborada pelo Radambrasil (Barbosa, 1983) e aprimorada por Ross (1996), introduzindo-se algumas modificações para adequar a metodologia selecionada às características da área de estudo.

No que tange área do Distrito Federal, o relatório classificou em 8 unidades geomorfológicas:

1- Rampas de colúvio/Planícies fluviais: Superfícies suavemente inclinadas (5° a 10°) constituídas por depósitos de

encosta areno-argilosos a argiloarenosos, mal selecionados, em interdigitação com depósitos fluviais. Frequentemente, encontram-se entremeadas com seções aplainadas em solos residuais e pequenas elevações. Ocorrem, de forma restrita, em alvéolos mais amplos no planalto dissecado do alto rio Maranhão.

2- Topos de Chapadas: Superfícies planas ou aplainadas, não dissecadas, com gradientes inferiores a 3°, estando capeadas por uma couroça detrítico-laterítica. Os rebordos dessas superfícies são delimitados por vertentes íngremes e representam remanescentes de uma antiga superfície de erosão. Presença esporádica de vales fluviais (Dv) sulcando as superfícies aplainadas. Ocorrem, de forma fragmentada, nos planaltos dissecados e nos vales encaixados ou ocupam extensas áreas do planalto do Distrito Federal.

3- Superfícies Tabulares: Superfícies planas ou aplainadas, sulcadas por uma rede de canais de baixa densidade de drenagem de o padrão dendrítico a subdendrítico. Apresentam vales muito amplos e abertos com gradientes entre 3° e 5° e amplitudes de relevo entre 20m e 50m. Trata-se do padrão de relevo típico dos planaltos retocados, podendo ocorrer, de forma subordinada, nos planaltos dissecados. No domo de Cristalina e no planalto do

Distrito Federal, assumem padrão de drenagem anelar ou radial. Para fins de mapeamento este padrão encontra-se subdividido em áreas planas e vales.

4- Domínio de Colinas e Morros: Colinas dissecadas e morros com geometria convexo-côncava, vertentes de gradiente suave a médio (10° ao 30°) e topos arredondados ou alinhados, sendo frequente a ocorrência de pequenas mesas, cristas e topos aguçados sustentados por remanescentes da couraça detrítico-laterítica. Amplitudes de relevo entre 40m e 100m e densidade de drenagem média a alta, com padrão treliça a retangular. Ocorrem em amplas áreas dos planaltos dissecados e dos vales encaixados.

5- Domínio Serrano: Relevo de morros alinhados, alinhamentos serranos ou serras isoladas com geometria retilíneo-côncava, vertentes de gradiente elevado (20° a 45°) e topos aguçados ou em cristas. Amplitudes de relevo superiores a 80m e densidade de drenagem alta, com padrão treliça a retangular. Trata-se do padrão de relevo típico do planalto dissecado do alto rio Maranhão e dos alinhamentos serranos. Formam imponentes relevos residuais nas depressões intermontanas.

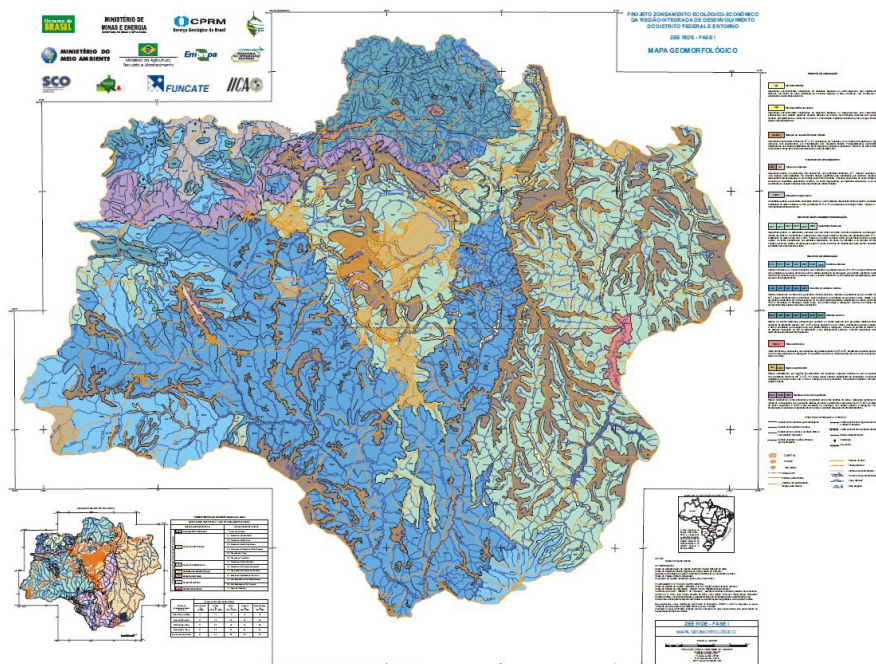
6- Vales Encaixados: Vales profundos e escavados, com vertentes de gradiente elevado (30° a 45°), amplitudes de relevo

entre 40m e 80m e alta densidade de drenagem. Este padrão de relevo é mapeável apenas num trecho encaixado do vale do rio Preto.

7- Degraus Estruturais: Relevo caracterizado por degraus lito-estruturais com vertentes íngremes, retilíneas e pouco dissecadas, com gradientes elevados (30° a 45°). Por vezes, esses degraus apresentam-se rampeados e suavizados. Amplitudes de relevo entre 40m e 70m e drenagem pouco expressiva. Esse padrão delimita o planalto do Distrito Federal.

8- Escarpas de Borda de Planalto: Relevo montanhoso, muito acidentado, transicional entre dois padrões de relevo. Apresenta vertentes muito íngremes e dissecadas, com geometria retilíneo-côncava e gradientes muito elevados (30° a 60°). Amplitudes de relevo superiores a 100m e alta densidade de drenagem com padrão paralelo a retangular. Ocorre amplamente na escarpa da depressão do rio Verde e no planalto dissecado do alto rio Maranhão.

Figura 15 – Mapa Geomorfológico da RIDE do DF.



Fonte: ZEE da RIDE-DF, 2003.

Geomorfologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal

A Secretaria de Estado da Indústria e Comércio através da Superintendência de Geologia e Mineração, dentro do Programa de Geologia e Mineração do Estado de Goiás, lança em 2006 o texto e mapa da Geomorfologia de Goiás e do Distrito Federal.

Na escala de 1:500.000, a elaboração do mapa geomorfológico de Goiás e do Distrito Federal foi desenvolvido a

partir de análise de uma base de dados já existente (produtos gerados pela equipe do Laboratório de Geoprocessamento da Superintendência de Geologia e Mineração - SGM da Secretaria de Indústria e Comércio - SIC, através da aplicação de várias metodologias sobre produtos de imageamentos e produtos vetoriais digitais que constituem o Sistema de Informações Geográficas do Estado de Goiás/SIG-Goiás), e pela validação de campo, possibilitando a descrição de cada classe. Para representação da geomorfologia de Goiás e do Distrito Federal foram utilizados os padrões genéticos da região, organizada em vários níveis, sendo as categorias dominantes no nível 1, os Sistemas Agradacionais e os Denundacionais (Quadro 4).

Quadro 4 – Sistema de classificação do relevo.

Sistemas			
Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Agradacionais	Fluviais	Faixa Aluvial	
		Planície Fluvial	Meandriformes
			Escoamento Impedido
			Bancos Acrescidos
	Espiras de Meandros		
	Lacustres		
Denundacionais	Fraco ou sem Controle Estrutural	Dissecação	Morros e Colinas
			Zonas de Erosão Recuante
	Forte Controle Estrutural	Aplainamento	Superfícies Regionais de Aplainamento
		Estruturas Dobradas	
		Estruturas Dômicas e Psedo-Dômicas	
	Morros e Colinas		

Fonte: Latrubesse e Carvalho, 2006.

A área que se restringe ao Distrito Federal, segundo a metodologia usada, foi classificada em 7 classes (figura 16):

1- FA – Faixa Aluvial;

2- PFm – Planície Fluvial com padrão meandriforme;

3- SRAIIA (fo) – Superfície regional de aplainamento IIA com cotas entre 900 e 1100m, com dissecação forte, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas;

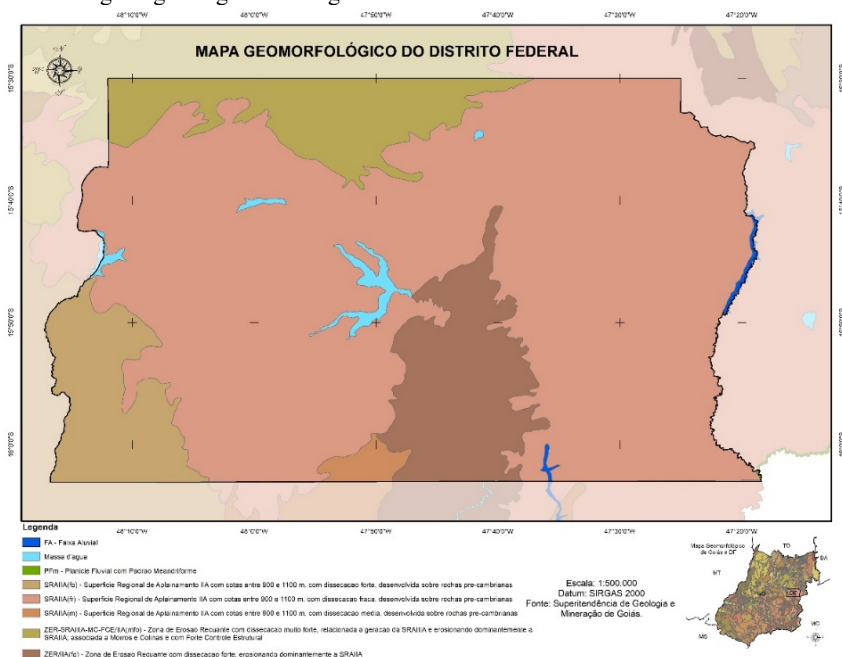
4- SRAIIA (fr) – Superfície regional de aplainamento IIA com cotas entre 900 e 1100m, com dissecação fraca, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas;

5- SRAIIA(m) – Superfície regional de aplainamento IIA com cotas entre 900 e 1100m, com dissecação média, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas;

6- ZER-SRAIIA-MC-FCE/IIA (mfo) – Zona de erosão recuante com dissecação muito forte, relacionada a geração da SRAIIA e erosionando predominantemente a SRAIIA, Associada a morros e colinas e com forte controle estrutural;

7- ZER/IIA (fo) – Zona de erosão recuante com dissecação forte, erosionando predominantemente a SRAIIA.

Figura 16 – Mapa Geomorfológico do Distrito Federal segundo caderno 2-série geológica e geomorfológica de Goiás e do Distrito Federal.



Fonte: Latrubesse e Carvalho, 2006

Atlas do Distrito Federal-2017

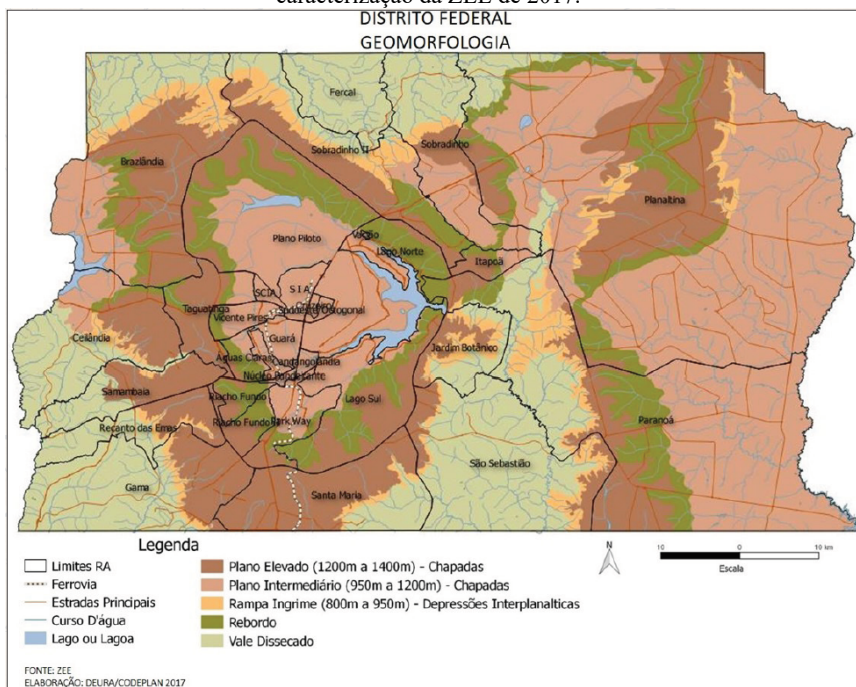
Com o objetivo de reunir, de maneira didática, e numa linguagem objetiva e de fácil compreensão, informações sintéticas dos aspectos da geografia, história, população, economia e infraestrutura do Distrito Federal, a Companhia de Planejamento (CONDEPLAN), lança em 2017 o **Atlas do Distrito Federal** e

assim, preenche uma lacuna ao atualizar informações semelhantes as que foram publicadas na edição anterior do Atlas, publicado em 1984.

Nas características físicas e ambientais, o Atlas traz a representação da Geomorfologia do Distrito Federal, fundamentado no Zoneamento Ecológico Econômico de 2017 (Figura 17). A representação geomorfológica levou em consideração, basicamente, aspectos topográficos da região:

A evolução das formas de relevo do DF possui características típicas da região do Planalto Central - áreas elevadas do Centro-Oeste à qual está inserido. Predominam as chapadas associadas a unidades geológicas mais antigas. A topografia apresenta altitudes que variam entre 950m a 1400m aproximadamente, predominando formas de relevo evoluídas por processo de erosão, caracterizadas pelas chapadas e chapadões. Estão presentes outras formas de relevo como vales, colinas, na área da bacia dos rios São Bartolomeu, Preto e Descoberto e serras presentes na área da bacia do rio Maranhão.

Figura 17 – Mapa Geomorfológico do Distrito Federal orientado pela caracterização da ZEE de 2017.



Fonte: CODEPLAN, 2017.

Baseados nas representações geomorfológicas de Novaes-Pinto (1986) e Martins e Baptistas (1998), a CODEPLAN descreve a geomorfologia do Distrito Federal no Caderno Técnico – Matriz Ecológica, do ZEE de 2017. Vale ressaltar que no relatório não é apresentado uma cartografia da geomorfologia da área, mas é possível no site oficial da ZEE (www.zee.df.gov.br) executar o download do arquivo shapefile da geomorfologia. No relatório

técnico, a geomorfologia é indicada como base para os estudos sobre erosão, bem como, para os estudos identificação de áreas mais propícias à recargas de aquíferos.

CAPÍTULO III

Escalas dos Mapas Geomorfológicos

“Existem certos avanços no que se refere à seleção de indicadores temporais e espaciais na cartografia do relevo, sem contudo haver um maior equilíbrio entre os fatores que integram uma representação funcional, o que necessariamente passa pela questão da escala.”

Valter Casseti

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. Florenzano (2008, apud 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: 25.000).

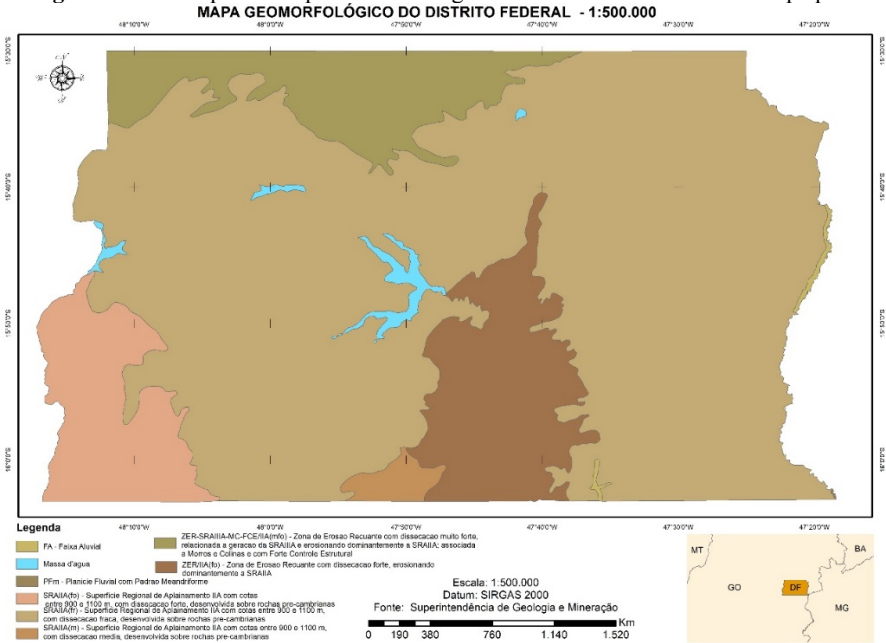
MAPAS GEOMORFOLÓGICOS DE PEQUENA ESCALA

Mapas geomorfológicos em pequena escala representam o quadro estrutural da superfície da terra e da história de longo prazo geomorfológico das principais unidades de deposição e erosão, montanhas vulcânicas e rochas efusivas e da morfotectônica e das megaestruturas. Esses mapas são usados para mostrar a complexa integração do ambiente natural, bem como na gestão da terra a nível de continentes, fornecendo uma primeira abordagem classificação de terras particularmente útil para grandes regiões. (Embleton, 1985).

Smith *et. al.* (2011), aponta três possíveis classificações para mapas geomorfológicos de pequena escala (Figura 18):

- Mapas produzidos pela generalização de estudos anteriores da mesma área e de maior escala, associado à análise de situações conhecidas de áreas comparáveis e de dados bibliográficos;
- Mapas derivados da interpretação de imagens de satélites;
- Mapas derivados, que foram simplesmente obtidos por generalização de mapas geomorfológicos de escala maior.

Figura 18 – Exemplo de mapa Geomorfológico do Distrito Federal em escala pequena.

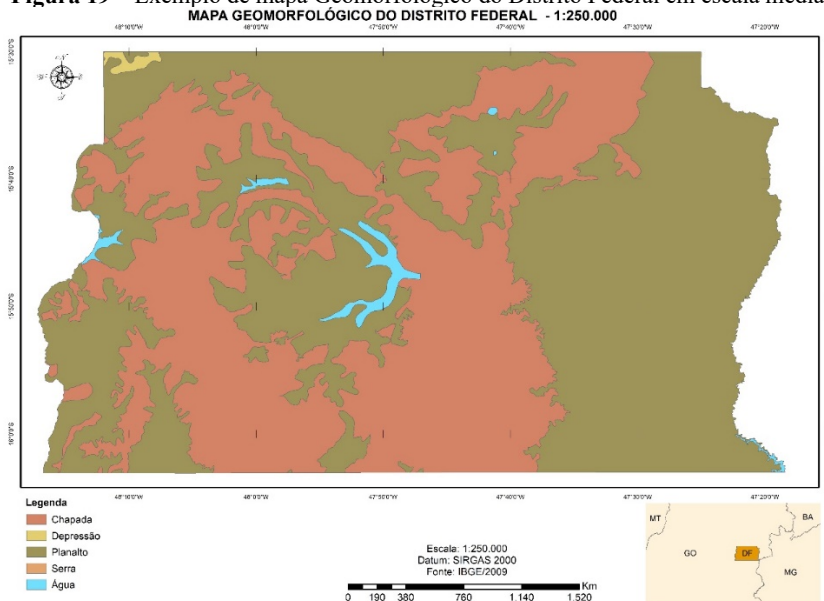


MAPAS GEOMORFOLÓGICOS DE MÉDIA ESCALA

Mapas geomorfológicos de média escala fornecem uma representação de grandes unidades de paisagem (montanhas vulcânicas, encostas de falhas tectônicas, bacias, mesas, cuevas, inselbergs, superfícies aplainadas, terraços aluviais / costeiros, planícies aluviais e outros) que ele pode ser reproduzido na sua totalidade, ou pelo menos uma grande parte da sua extensão, o que permite a representação de relações mútuas entre morfologia e morfofocronologia. Paisagens menores, tais como aqueles presentes em encostas e vales, são agrupados ou reproduzidos por meio de símbolos, levando em consideração a generalização cartográfica (Smith *et. al.*, 2011).

Quando não derivados pela generalização de mapas de grande escala, os mapas geomorfológicos de médio porte são, essencialmente, produzidos pela interpretação por fotografia aérea e validados com trabalho de campo. As observações de campo são geralmente restritas a áreas de amostra com o objetivo de observar áreas-chave a partir da análise de sensoriamento remoto (Figura 19).

Figura 19 – Exemplo de mapa Geomorfológico do Distrito Federal em escala média.



MAPAS GEOMORFOLÓGICOS DE GRANDE ESCALA

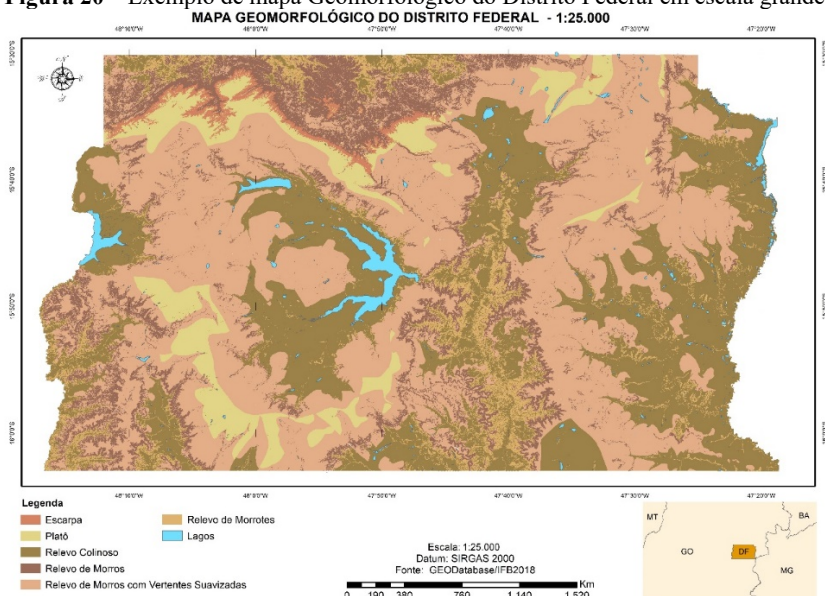
Smith *et al* (2011) afirma que mapas geomorfológicos de grande escala são feitos com detalhes suficientes para permitir a correta representação morfográfica, morfométrica, morfogenética, morfocronológica e morfodinâmica da maioria dos acidentes geográficos reconhecíveis em encostas, vales, costas e outros.

A produção de mapas geomorfológicos de grande escala é essencialmente baseado em pesquisa de campo sistemática. A interpretação de imagens de sensoriamento remoto (fotografia

aéreas, imagens de satélite) só deve ser utilizada como ferramenta de apoio durante as diferentes fases do projeto (Smith *et. al.*, 2011), como citadas abaixo (Figura 20):

- Na criação de um quadro preliminar da área de investigação;
- Validação do projeto cartográfico correlacionando com as características da área pesquisada;
- Realizar a revisão final do mapa geomorfológico baseado em campo.

Figura 20 – Exemplo de mapa Geomorfológico do Distrito Federal em escala grande.¹



¹ Mapa elaborado, como teste, por Soares Neto (2018) baseado no método do IPT de 1981 e disponibilizado na plataforma GEODatabase do Instituto Federal de Brasília.

Em escalas acima de 1:5.000, mapas geomorfológicos são particularmente adequados para traçar um quadro detalhado da evolução espaço-temporal da paisagem (depósitos correlativos), tais como costas, leitos de rios, deslizamentos de terra e as características do intemperismo (Sauro, 1977).

CAPÍTULO IV

Dados Geomorfométricos

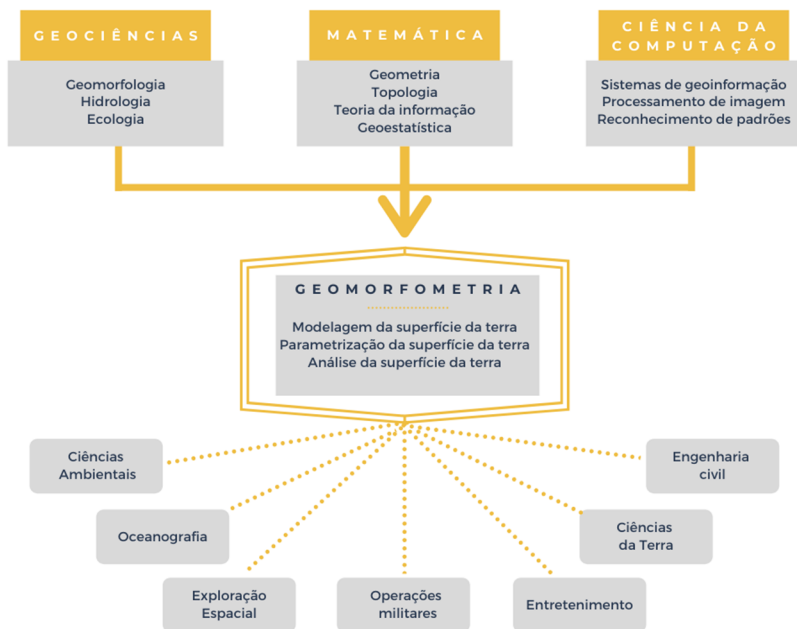
“Apesar de ter se individualizado enquanto ciência, a geomorfometria cumpre funções imprescindíveis na análise geomorfológica, apresentado inúmeras vantagens em relação aos procedimentos manuais e quantitativos...”

J. M. França da Silva, Chisato Oka-Fiori e Claudinei T. da Silva

Pinke (1995), descreve a Geomorfometria como a ciência quantitativa da superfície terrestre. Pode ser entendida como uma disciplina, mas que tem grande importância para subsidiar outras ciências como a geomorfologia, geografia, pedologia, etc.

A geomorfometria tem a sua gênese na interdisciplinaridade da matemática com a Geociências e mais recentemente com as contribuições da ciências da computação e podendo ser distinguida por dois modos de abrangência: a específica, que aborda características discretas da superfície, como as formas de relevo; ou a morfometria do relevo, fazendo ou não uso de dados digitais, inserindo-se na geomorfologia quantitativa (fluxograma 2).

Fluxograma 2 – Gênese da geomorfometria e seus usos.



Fonte: adaptado de Pink, 1995.

Assim, a geomorfometria é entendida como uma ciência de quantificação da topografia da superfície e tem como foco operacional a extração de parâmetros e objetos da superfície terrestre de modelos digitais de elevação (MDEs) ou seja, modelos digitais de superfície terrestre, são os principais entrada para análise morfométrica. Em termos de SIG (sistema de informações geográficas), um MDE é simplesmente uma varredura ou um mapa vetorial mostrando a altura da superfície terrestre acima do nível

médio do mar ou algum outro horizonte de referência (PINK *et al*, 2009). A geomorfometria geralmente é implementada em cinco etapas (Figura 21):

1. Amostragem da superfície terrestre (medições de altura).
2. Gerando um modelo de superfície a partir das alturas amostradas.
3. Corrigindo erros e artefatos no modelo de superfície.
4. Derivação de parâmetros e objetos da superfície terrestre.
5. Aplicações dos parâmetros e objetos resultantes.

Os parâmetros e objetos da superfície da terra podem ser agrupados de acordo com vários critérios. Os parâmetros geralmente são distinguidos como primários ou secundários, dependendo se derivam diretamente de um MDE ou processamento adicional passos / entradas são necessários (Wilson e Gallant, 2000).

Figura 21 – Extração de parâmetros geomorfométricos de um MDE.



Fonte: Adaptado de Pink *et al*, 2009.

Topologia: identificação e correção

Topologia define o relacionamento espacial das feições geográficas, de pontos, linhas e polígonos. Essas representações vetoriais são utilizadas normalmente para representar fenômenos geográficos ou feições geográficas em mapas. Relacionamentos espaciais (conectividade e contiguidade) entre estes fenômenos geográficos são obtidos através da análise e observação dos mapas.

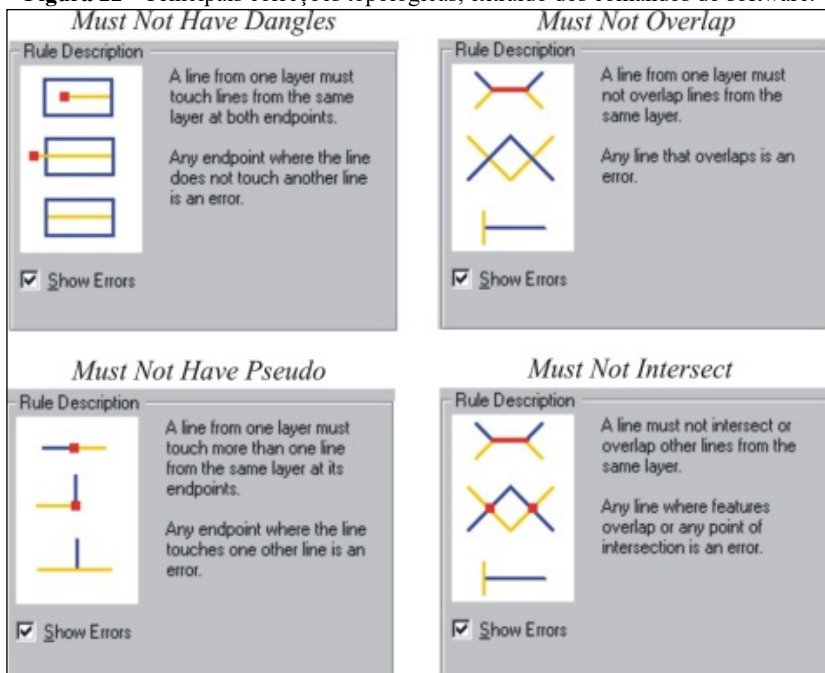
A topologia facilita o processamento de funções analíticas como a modelagem digital de elevação (MDE) através da interpolação de linhas conectadas de uma rede, combinação de polígonos adjacentes com características similares, identificação de feições adjacentes e sobreposição de feições geográficas. Este fato otimiza o processamento e propicia uma análise mais adequada da superfície, pois permite uma relação coerente entre a geometria e os elementos geográficos que eles representam.

As correções topológicas mais recorrentes, no processamento de MDEs, são em linhas de curvas de nível e hidrografia. A figura 22 ilustra as regras para identificação de erros na topologia. Os erros mais recorrentes na base de dados para processamento de MDEs são:

- ✓ *Must Not Have Dangles*: Os pontos finais de uma linha não tocam em linhas da mesma camada.

- ✓ *Must Not Intersect*: A linha intersecta ou sobrepõe outras linhas da mesma camada.
- ✓ *Must Not Overlap*: A linha sobrepõe à linha da mesma camada.
- ✓ *Must Not Have Pseudo*: A linha de uma camada toca mais que uma linha da mesma camada até os pontos finais.

Figura 22 – Principais correções topológicas, extraído dos comandos do software.



Fonte: ArcGis

A depender da escala de análise escolhida, pode determinar em um vultoso nível de dados e informação, acarretando em um número muito grande de incoerências topológicas a serem corrigidas.

Geração de Dados Geomorfométricos (MDEs)

Para representação dos dados geomorfométricos, em meios digitais, é necessário a elaboração do modelo digital de elevação (MDE), que possibilite a extração de dados morfométricos que são derivados do mesmo. Para Valeriano (2008), modelos digitais de elevação são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel, assim, percebe-se que embora os MDE's sejam um elemento fundamental para o conhecimento e caracterização do relevo, muito de sua utilização numérica recai sobre as variáveis que ele pode determinar (declividade, amplitude, curvatura, direção e outros).

Os MDEs podem ser originadas de três fontes principais (Nelson et al, 2009; Silva et al, 2017.):

- ❖ Mapa analógicos: os dados de entrada são curvas de nível que foram digitalizadas de cartas topográficas ou outras fontes analógicas.

- ❖ Levantamentos Terrestres: a base é construída a partir de levantamento direto em campo, com uso de teodolitos ou equipamentos de que utilizam o Sistema de Navegação Global por Satélite (GPS, Galileu, Beidou, GLONASS).
- ❖ Sensoriamento Remoto: leva-se em consideração uma grande variedade de fontes como fotografias, imagens de satélite, imagens de radar e dados de escaneamentos *laser*. Os modelos digitais derivados de radar são os de uso mais frequente por maior cobertura de dados, diversidade de características e facilidade de acesso (quadro 5).

Quadro 5— Características dos sensores de radar usados para gerar modelos digitais.

Sistema	Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espacial	Precisão Vertical
SRTM90	<i>Synthetic Aperture Radar (SAR)</i>	C	90m	16m
SETM30	<i>Synthetic Aperture Radar (SAR)</i>	X	30m	16m
TERRA	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)</i>	3N e 3B	30m	7-50
SPOT-5	<i>High Resolution Stereoscopic (HRS)</i>	Pancromáticas	10-5m	10m
TanDEM-X	<i>Synthetic Aperture Radar (SAR)</i>	X	12m	2-4m
AW3DTM	<i>Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM)</i>	Pancromáticas	5m	5m

Fonte: Silva *et al*, 2017

A geração do MDE, a ser apresentado no capítulo VI, foi realizado a partir da integração de dados geográficos feitos com o auxílio de plataformas ArcGis através do *Topogrid* (Topo to Raster) que é um método de interpolação especificamente projetado para a criação de modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes. Sua criação é baseada na metodologia de Michael Hutchinson (1988, 1989).

O processo de interpolação foi projetado para tirar vantagem dos tipos de dados de entrada normalmente disponíveis e as características conhecidas de superfícies de elevação. Este método utiliza é uma técnica de interpolação de diferenças finitas iterativas. Ele é otimizado para ter a eficiência computacional dos métodos de interpolação local, tais como a distância inversa ponderada (IDW), sem perder a continuidade da superfície de métodos de interpolação global, como a Krigagem e Spline. É essencialmente uma discretização fina da técnica “spline” (Wahba, 1990), em que as superfícies rugosas sejam modificadas para permitir que o MDE montado siga as mudanças abruptas no terreno, tais como rios e serras.

A água é uma das principais forças erosivas que determina a forma geral da maioria das paisagens. Por esta razão, a maioria

das paisagens tem cumes (máximos locais) e alguns sumidouros (mínimos locais), resultando em um padrão de drenagem ligado. Neste processamento usa-se o conhecimento de superfícies e impõem-se restrições sobre o processo de interpolação que resulta em uma estrutura de drenagem ligada e na representação correta dos cumes e córregos.

A utilização de modelo digitais de elevação recai principalmente sobre a obtenção da altimetria e das suas variáveis (declividade, orientação, curvatura e outros), sendo que a obtenção dessas variáveis é feita principalmente com operação de vizinhança.

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

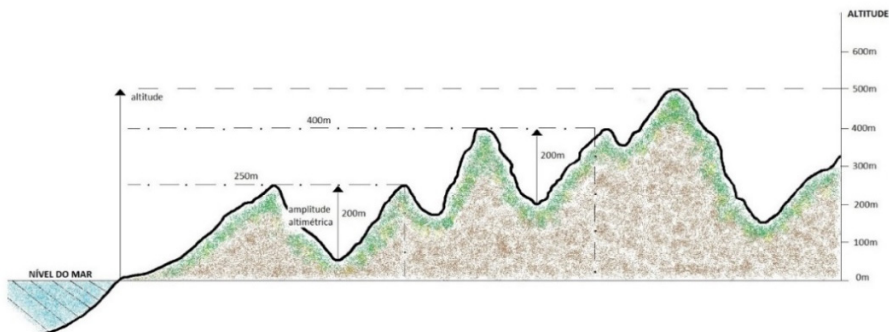
altimétricos, levando a zerar o menor valor e fazendo com que represente a maior altura local.

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 23), 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

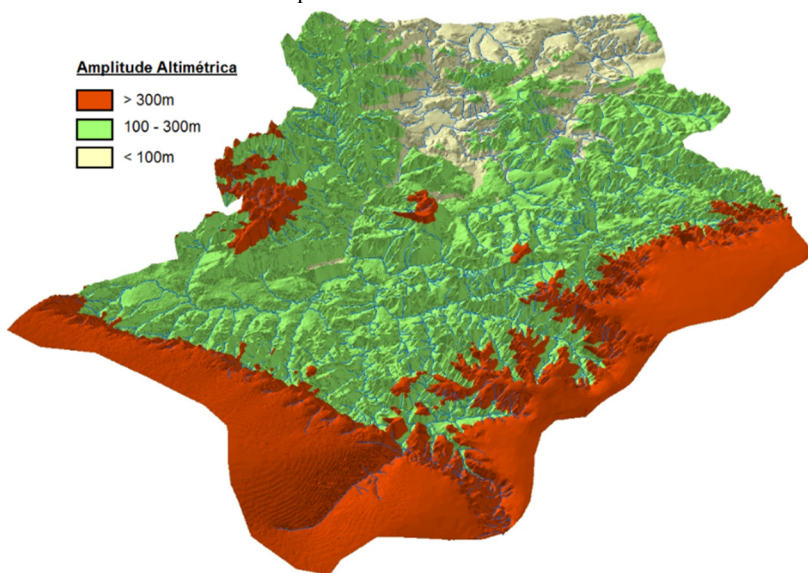
geomorfométrico na delimitação e caracterização de feições geomorfológicas contrastivas.

Figura 23 – Perfil topográfico hipotético.



Dentro de uma perspectiva tridimensional de uma bacia hidrográfica de relevo diversificado (Figura 24) 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 geomorfomologicas singulares em áreas em que seriam homogeneizadas se considerado apenas o ponto mais alto do divisor topográfico ou a altitude altimétrica.

Figura 24 – Modelo tridimensional de uma bacia hidrográfica representada por sua amplitude altimétrica.

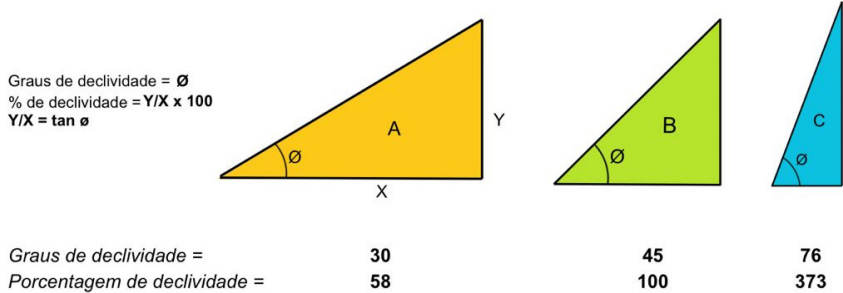


Declividade

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 25). Seus valores podem variar de 0° a 90°, embora seja mais comumente expressa em porcentagem, de zero a infinito.

Figura 25 - 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 - $ATAN (\sqrt{([dz/dx]^2 + [dz/dy]^2)})$

Declividade em graus - $ATAN (\sqrt{([dz/dx]^2 + [dz/dy]^2)})$
* 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 26).

Figura 26 - Representação de dado raster com identificação por célula.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

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:

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

Para um melhor entendimento do cálculo da declividade, iremos usar o exemplo abaixo, que considera o valor do pixel central como sendo de 5 unidade (Figura 27).

Figura 27 - Exemplo esquemático de um arquivo raster para cálculo de declividade.
A taxa de mudança no sentido de x para o pixel central 'e'

50	45	50
30	30	30
8	10	10

é:

$$\begin{aligned}
 [dz/dx] &= ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * \textit{tamanho da célula}) \\
 &= ((50 + 60 + 10) - (50 + 60 + 8)) / (8 * 5) \\
 &= (120 - 118) / 40 \\
 &= 0.05
 \end{aligned}$$

A taxa de mudança no sentido de y para o pixel 'e' é:

$$\begin{aligned}
 [dz/dy] &= ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * \textit{tamanho da célula}) \\
 &= ((8 + 20 + 10) - (50 + 90 + 50)) / (8 * 5) \\
 &= (38 - 190) / 40 \\
 &= -3.8
 \end{aligned}$$

Tomando a taxa de mudança no sentido de x e de y, a inclinação para a célula central 'e' é utilizado o cálculo:

$$= \sqrt{ ([dz/dx]^2 + [dz/dy]^2)}$$

$$= \sqrt{ ((0.05)^2 + (-3.8)^2)}$$

$$= \sqrt{ [0.0025 + 14.44]}$$

$$= 3.80032$$

$$\textit{Declividade em graus} = ATAN(\textit{resultado}) * 57.29578$$

$$= ATAN(3.80032) * 57.29578$$

$$= 1.31349 * 57.29578$$

$$= 75.25762$$

O valor da inclinação do inteiro para a célula 'e' são 75° (Figura 28).

Figura 28 - Resultado do arquivo raster para o cálculo de declividade.



Orientação de Vertente

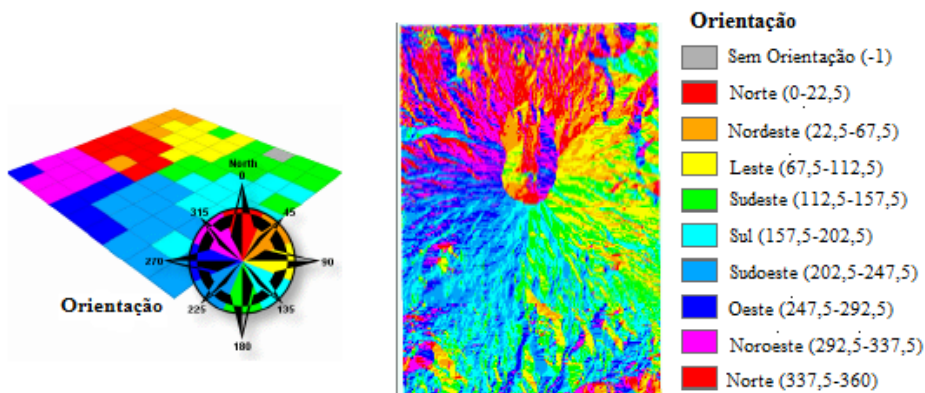
Representando uma derivada de 1ª ordem da altimetria, a orientação da vertente, segundo Florenzano (2008), é uma medida de ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimuth, isto é, em relação ao norte geográfico, onde o valor é 0° (ou 360°), crescendo dessa direção, no sentido horário. Na carta topográfica, é dada pela direção transversal da isolinha local no sentido descendente.

A declividade e a orientação de vertente guardam entre si uma relação de analogia e complementaridade na descrição tridimensional do terreno, podendo ser notada quando observamos a ação do relevo em projeção horizontal. A respeito dos deslocamentos oriundos de processos de transporte gravitacional,

podemos dizer que a orientação de vertentes é a direção do vetor cujo módulo corresponde à declividade. Em relevos planos sua determinação é difícil e mesmo sem significado, uma vez que nessa situação o módulo da declividade é nulo ou quase nulo. Assim, deve-se ponderar a orientação de vertentes pela declividade local em todo mecanismo que se traduza em um vetor no plano horizontal (Valeriano, 2008).

Para o cálculo de orientação de vertente em um dado matricial, identifica-se a direção da curva descendente da taxa máxima de variação do valor de cada célula de seus vizinhos (Burrough, 1998). A orientação pode ser interpretada como a direção da inclinação e seu resultado é o valor angular formado entre a direção Norte-Sul e a direção considerada, contado a partir do Pólo Norte, no sentido horário (Figura 29).

Figura 29 - Representação matricial da orientação e os intervalos em graus determinado.



Conceitualmente, a função que determina a orientação é representada pelo valor do eixo Z da vertente associado aos valores de uma vizinhança 3 x 3 células circundantes a uma célula central, considerando que as células que representam áreas planas serão atribuídas o valor -1. As células são identificadas com as letras 'a' a 'i', com 'e' representando a célula para a qual a orientação será calculada (Figura 30).

Figura 30 - Representação de dado raster com identificação por célula.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

A taxa de mudança na direção x para celular 'e' é calculado com o algoritmo seguinte:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8$$

A taxa de mudança na direção y para celular 'e' é calculado com o algoritmo seguinte:

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8$$

Tomando a taxa de variação em ambas as direções X e Y para a célula 'e', a orientação é calculada usando:

$$orientação = 57.29578 * atan2 ([dz/dy], -[dz/dx])$$

E por fim converte-se o valor da orientação para o azimute (0-360°), fazendo uso da seguinte regra:

- ❖ Orientação < 0 o valor da célula será determinado por: $90 - \text{orientação}$
- ❖ Orientação > 90 o valor da célula será determinado por: $360 - \text{orientação} + 90$

Para melhor compreensão do cálculo de orientação de vertente, tomemos como base o exemplo descrito abaixo (Figura 31):

Figura 31 - Exemplo esquemático de um arquivo raster para cálculo de orientação de vertente.

101	92	85
101	92	85
101	91	84

A taxa de mudança na direção x para a célula 'e' é:

$$\begin{aligned}
 [dz/dx] &= ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8 \\
 &= ((85 + 170 + 84)) - (101 + 202 + 101)) / 8
 \end{aligned}$$

$$= -8.125$$

A taxa de mudança na direção y para célula 'e' é:

$$\begin{aligned} [dz/dy] &= ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8 \\ &= ((101 + 182 + 84) - (101 + 184 + 85)) / 8 \\ &= -0.375 \end{aligned}$$

A orientação é calculada como:

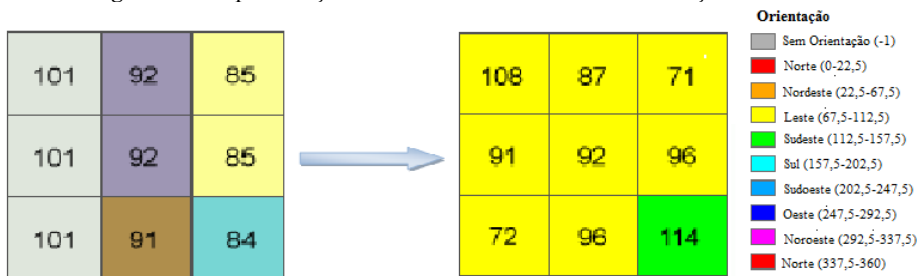
$$\begin{aligned} \text{orientação} &= 57.29578 * \text{atan2} ([dz/dy], -[dz/dx]) \\ &= 57.29578 * \text{atan2} (-0.375, 8.125) \\ &= -2.64 \end{aligned}$$

Como o valor calculado é menor que zero, a regra final para determinar o azimuth da vertente é:

$$\begin{aligned} \text{Valor da célula} &= 90.0 - \text{orientação} \\ &= 90 - (-2.64) \\ &= 90 + 2.64 \\ &= 92.64 \end{aligned}$$

O valor de 92,64 para a célula centra "e" indica que sua orientação está na direção leste (Figura 32).

Figura 32 - Representação de dado raster no cálculo de orientação.



Curvatura (Formas das Vertentes)

As vertentes, que para a geomorfologia são unidades básicas do relevo e fundamentais para explicar o desenvolvimento das paisagens, são descritas por Veloso (2002) como um elemento da superfície terrestre inclinado em relação ao plano horizontal.

Vertente em seu sentido amplo significa superfície inclinada, independentemente de apresentar qualquer conotação genética ou local. Em uma definição mais restrita, é definida em geomorfologia como uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação, atuantes no presente ou no passado,

e que representa a conexão dinâmica entre o interflúvio e o vale (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Guerra (1993) define vertentes como planos de declives que divergem a partir das cristas enquadrando o vale. Nas zonas montanhosas, elas podem ser abruptas e formarem gargantas, estando mais próximas do leito dos rios. Quando as vertentes são relacionadas às planícies fluviais, estas são de difícil delimitação, pois são mais afastadas do leito.

Essa é uma feição geomorfológica que pode apresentar formas muito variadas, porém é possível classificá-las de acordo com a sua curvatura que pode ser analisada no plano (curvatura horizontal) ou em perfil (curvatura vertical).

Florenzano (2008) aponta a curvatura vertical das vertentes como uma das variáveis de alto poder de identificação de unidade homogêneas do relevo. A curvatura vertical refere-se à forma convexo/côncavo do terreno, quando analisado em perfil, podendo ser expressa em uma medida de ângulo, por meio de uma distância horizontal (graus por metro).

Em ambiente SIG, seu cálculo é baseado na comparação entre diferenças altimétricas ao ponto da célula (pixel). As

curvaturas se caracterizam por apresentar valores positivos e negativos, dependendo da condição local, se côncava ou convexa.

Já a curvatura horizontal é apontada por Florenzano (2008) como sendo o caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno e a sua percepção é feita através das direções de declive adjacente (denominada linhas de fluxo). As áreas em que essas linhas são paralelas têm curvatura horizontal nula e a superfície é caracterizada como planar. Áreas com linha de fluxo indicando convergência ou divergência têm curvaturas não nulas e de sinais opostos.

Analogamente à curvatura vertical, a curvatura horizontal pode ser expressa tanto em ângulo por distância como em raio de curvatura.

Em ambiente SIG, a curvatura horizontal é baseada na comparação entre as orientações de vertente comparando-se nas células vizinhas a uma célula de referência. Quando a orientação de vertentes da vizinhança for homogênea, resultarão valores baixos, caracterizando superfícies de forma planar.

Tendo como referência Moore (1991), as curvaturas da área foram obtidas a partir de uma base matricial de altitude em que se calculou célula por célula e para cada célula foi determinado um polinômio de quarto grau de forma:

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$

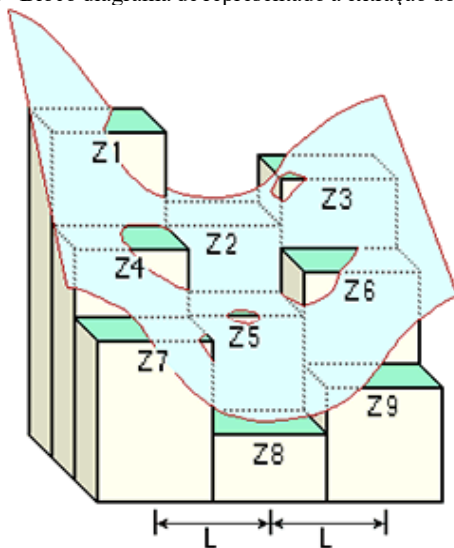
Baseando-se em um arquivo matricial composta por células 3 x 3, os coeficientes de 'a' a 'i' são calculados a partir das relações altimétricas de vizinhança (Figura 33). Para a análise da curvatura vertical verifica-se a variação dos valores na direção X e na curvatura horizontal na direção Y, havendo uma análise linha a linha e coluna a coluna do arquivo matricial.

Figura 33 - Representação de dado raster com identificação por célula.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

As relações entre os coeficientes e os nove valores de elevação de cada célula numerada, determina um modelo da superfície, como mostrado no diagrama seguintes (Figura 34):

Figura 34 - Bloco diagrama de representado a extração dos dados de curvatura.



Fonte: ArcGis

$$A = [(Z1 + Z3 + Z7 + Z9) / 4 - (Z2 + Z4 + Z6 + Z8) / 2 + Z5] / L^4$$

$$B = [(Z1 + Z3 - Z7 - Z9) / 4 - (Z2 - Z8) / 2] / L^3$$

$$C = [(-Z1 + Z3 - Z7 + Z9) / 4 + (Z4 - Z6) / 2] / L^3$$

$$D = [(Z4 + Z6) / 2 - Z5] / L^2$$

$$E = [(Z2 + Z8) / 2 - Z5] / L^2$$

$$F = (-Z1 + Z3 + Z7 - Z9) / 4L^2$$

$$G = (-Z4 + Z6) / 2L$$

$$H = (Z2 - Z8) / 2L$$

$$I = Z5$$

Por representar uma derivada de 2ª ordem da altimetria, após a obtenção do resultado de cada célula para obtenção do resultado das curvaturas devem-se relacionar pixels vizinhos a partir da seguinte expressão:

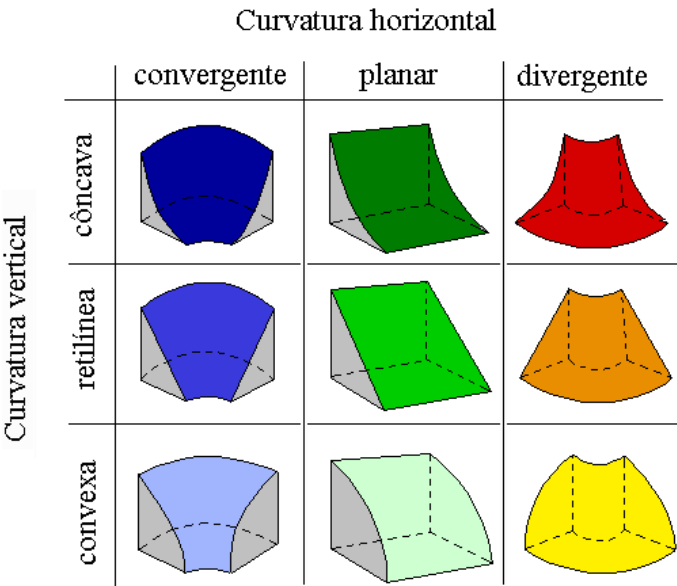
$$\textit{Curvature} = -2(D + E) * 100$$

Segundo Valeriano (2008) ensaios comparativos com descrições geomorfológicas levaram ao estabelecimento da faixa entre -0,010°/m a 0,010°/m como valores de curvatura típicos de vertentes tidas como retilíneas. Assim, valores inferiores a este intervalo foram considerados como terrenos côncavos e valores superiores foram considerados como terrenos convexos. Da mesma forma que para curvaturas verticais, faz-se necessário o estabelecimento de uma faixa de valores admitidos como nulos para determinar a classificação das vertentes planares. Baseado nos testes feitos por Valeriano (2008) admitiu-se o intervalo de -0,038° a 0,051°/m para determinar superfícies planares, ocorrendo valores inferior a esse intervalo considerou o terreno como sendo convergente e superior ao intervalo como sendo divergente.

As formas do terreno são obtidas a partir da combinação entre as curvaturas horizontais e verticais (Figura 35). Para Valeriano (2008), diante do interesse específico do estudo e das

condições locais de terreno, substrato e processos vigentes, as classes de forma de terreno podem ser reagrupadas em função de sua similaridade frente a esses aspectos. Os casos extremos de combinações de curvatura do terreno são representados pela forma côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento) e pela forma convexa-divergente (máxima dispersão do escoamento).

Figura 35 – Combinação dos tipos de curvatura para determinar as formas de relevo.



Fonte: adaptado de Dikau (1990)

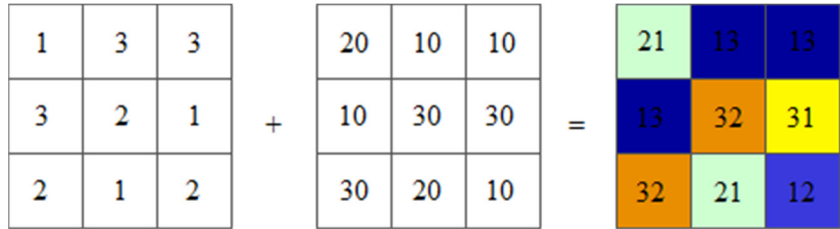
Para determinar as formas do relevo foi feita uma análise de sobreposição usando as formas do relevo horizontal e vertical. Determinaram-se valores para cada tipo de curvatura e a soma desses valores representam uma determinada forma, conforme indicado no quadro 6.

Quadro 6 – Valores determinados para cada tipo de curvatura para possibilitar a representação do tipo de formas.

	Convergente (10)	Planar (20)	Divergente (30)
Convexo (1)	11	21	31
Retilíneo (2)	12	22	32
Côncavo (3)	13	23	33

Associou-se a cada dado raster, tanto de curvatura horizontal e vertical, valores atribuídos para as classes de curvatura, assim as células foram representadas a cada valor atribuídos. A soma dos dados raster permitiu a identificação dos tipos de forma (**Figura 36**).

Figura 36 – Representação da soma dos dados matriciais para determinação das formas do relevo.



CAPÍTULO V

Delimitação das Unidades Básicas de Relevo²

“Unidade Básica de Relevo (UBR) representa a unidade preludial a ser descrita para o início da classificação das feições geomorfológicas, individualizadas por seus padrões geomorfométricos (amplitude e declividade).”

Soares Neto

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

² Esse capítulo integra parte do artigo “Método semiautomático de delimitação das Unidades Básicas de Relevo” publicado na Revista Brasileira de Geomorfologia de mesma autoria do Atlas.

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 formatação *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, esse capítulo apresentará o método semiautomático de classificação e delimitação de unidades básicas do relevo a partir de métricas de amplitude altimétrica e de declividade e sua aplicação será apresentada no capítulo VI na representação da geomorfologia do Distrito Federal.

Determinação dos parâmetros de Classificação

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 hidrográficas³ 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

³ Testes usando método indicaram excelentes resultados usando outros tipos de limites além de bacias hidrográficas (biomas ou limites políticos)

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 ($D = L/A$ **km/km²**) 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, 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.

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 geomorfológica 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.

Determinação das Unidades Básicas de Relevo

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.

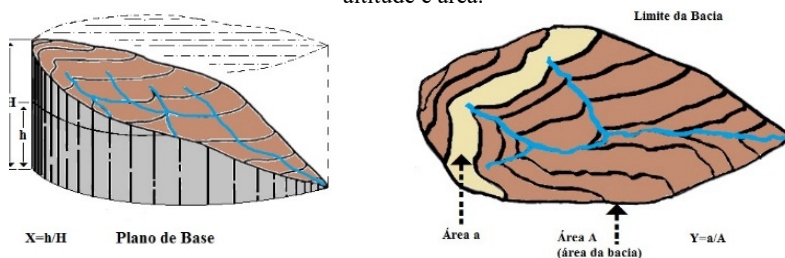
Determinação dos intervalos de amplitude

Para determinação dos intervalos de amplitude, este capítulo apresenta 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 37): (1) o menor valor de intervalo⁴ 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 37 – Representação de uma bacia hidrográfica na extração das razões de altitude e área.



A curva resultante do gráfico (figura 38) 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)

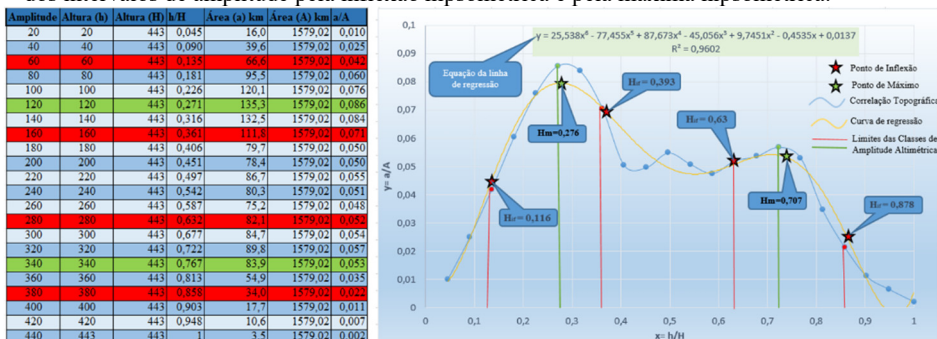
⁴ O menor intervalo de amplitude é definido de acordo com a precisão vertical do dado de entrada. No caso, por exemplo, de uma imagem SRTM-90 leva-se em consideração 20m de precisão referenciando-se nos teste feito por Chien, 2000; Nima, 2004; Rabus et al., 2003 em que dados SRTM de resolução espacial de 90 metros obtiveram resolução vertical entre 16-20m.

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.

A delimitação dos intervalos das amplitudes é possível pela inflexão hipsométrica (H_{if}), que é definida pelos pontos de inflexão da linha de regressão polinomial⁵ 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.

⁵ 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.

Figura 38 – Gráfico, de uma área hipotética, 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:

$$p(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + a_{n-2} x^{n-2} + \dots + a_0 = \sum_{k=0}^n a_k x^k, \quad x = \frac{h}{H} \quad \text{e} \quad R^2 \geq 0,9$$

ponto de máximo local é um $\bar{x}$ tal que: $\frac{dp}{dx}(\bar{x}) = 0 \Leftrightarrow n a_n \bar{x}^{n-1} + (n-1) a_{n-1} \bar{x}^{n-2} + \dots + 1 a_1 = 0 \Leftrightarrow \sum_{k=1}^n (k) a_k \bar{x}^{k-1} = 0$ & ponto de inflexão é um $\bar{x}$ tal que: $\frac{d^2 p}{dx^2}(\bar{x}) = 0 \Leftrightarrow n(n-1) a_n \bar{x}^{n-2} + (n-1)(n-2) a_{n-1} \bar{x}^{n-3} + \dots + 2.1 a_2 = 0 \Leftrightarrow \sum_{k=2}^n (k)(k-1) a_k \bar{x}^{k-2} = 0$

Determinação dos intervalos de declividade

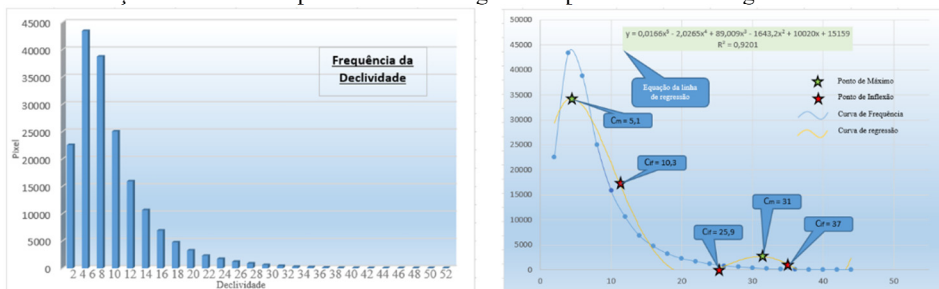
Como aponta Biasi (1977), a definição das classes de declividades (Dc) poderá ter um caráter eminentemente particular em que o pesquisador escolhe as classes que ele necessita para seu trabalho. Essa prática atende os anseios particulares de um determinado trabalho, mas se distancia do propósito de parametrizar 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 polinomial⁶ da curva resultante do gráfico de frequência (figura 39).

Figura 39 – Gráfico, de uma área hipotética, 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, de polinômio de n-ésimo grau

⁶ 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.

(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 ponto de máximo local é um $\bar{x}$ tal que: $\frac{dp}{dx}(\bar{x}) = 0 \leftrightarrow n a_n \bar{x}^{n-1} + (n -$

$1) a_{n-1} \bar{x}^{n-2} + \dots + 1 a_1 = 0 \leftrightarrow \sum_{k=1}^n (k) a_k \bar{x}^{k-1} = 0$ & ponto de inflexão é um $\bar{x}$ tal

que: $\frac{d^2p}{dx^2}(\bar{x}) = 0 \leftrightarrow n(n-1) a_n \bar{x}^{n-2} + (n-1)(n-2) a_{n-1} \bar{x}^{n-3} + \dots + 2.1 a_2 =$

$0 \leftrightarrow \sum_{k=2}^n (k)(k-1) a_k \bar{x}^{k-2} = 0$

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 geomorfolométricos (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 (Quadro 7). A caracterização do relevo 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 relevo.

Quadro 7 – Valores hipotéticos determinados para a amplitude e declividade quando correlacionados possibilitam a representação das unidades básicas de relevo.

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)

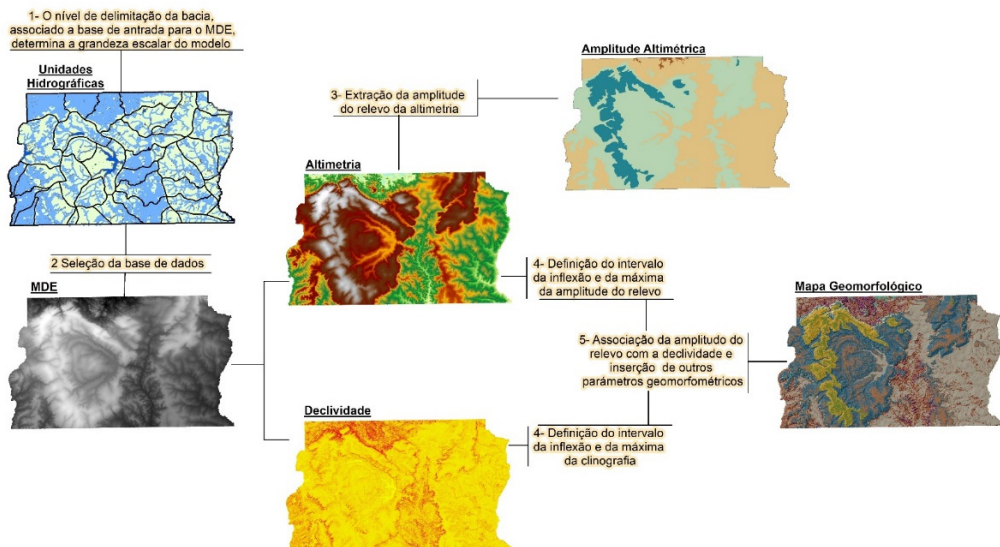
Considerando que os dados de amplitude e declividade se apresentam em formato *raster*, associa-se a cada dado *raster*, valores atribuídos para cada intervalo; assim as células são representadas a cada valor atribuídos, e a soma dos dados permite a identificação dos tipos de UBR (figura 40).

Figura 40 – Representação da soma dos dados matriciais para determinação das unidades de relevo.

Amplitude (m)				Declividade (%)				Unidades de Relevo		
1	3	3	+	20	10	10	=	21	13	13
3	3	1		10	20	10		13	23	11
2	1	2		20	20	10		22	21	12

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 41).

Figura 41 – Etapas para obtenção das unidades básicas de relevo e definição da representação geomorfológica.



CAPÍTULO VI

Geomorfologia do Distrito Federal: Arquétipos Geomorfométricos

“E o mais central deles era o que mais águas vertesse em benefício do país: o Distrito Federal hoje consagrado, com seu tripartite divisor, a cavaleiro sobre o Maranhão amazônico, sobre o rio São Bartolomeu platino e sobre o rio Preto são franciscano.”

Luís Cruls

Os resultados a serem apresentados nesse capítulo foram obtidos pela integração da base dados em ambiente SIG e por consequência pela geração de modelos geomorfométricos do Distrito Federal, posteriormente, validados em campo.

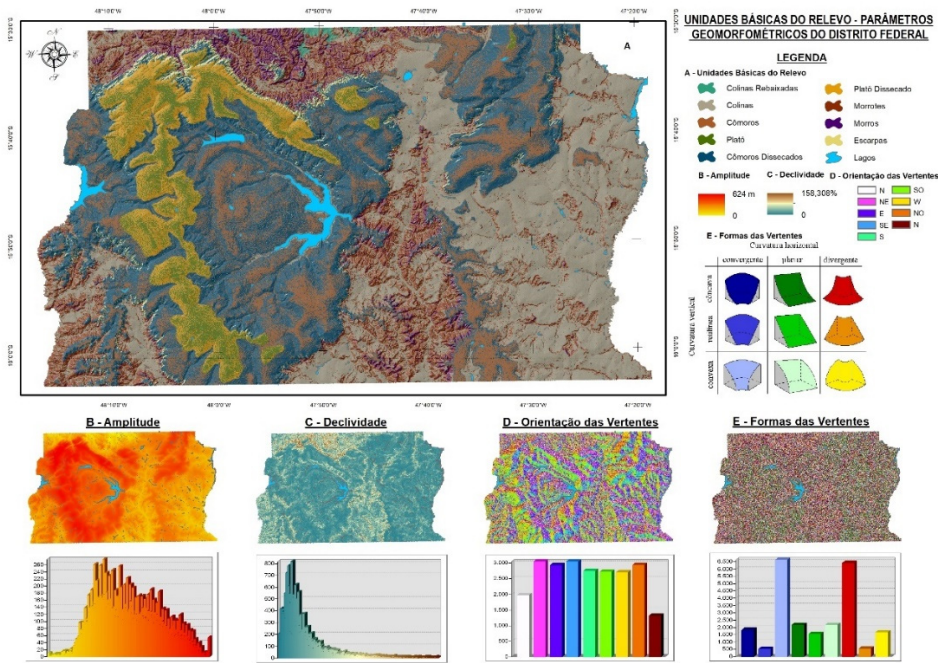
Bases de dados e softwares utilizados:

- ❖ Curvas de nível com equidistância de 5m;
- ❖ Base hidrológica em escala 1:10.000;
- ❖ Pontos cotados em escala 1:10.000;
- ❖ Plataforma ArcGis, desenvolvida pela ESRI;
- ❖ Matlab, desenvolvido por MathWorks Inc.

Conforme o método apresentado no Capítulo V, determinou-se os limites da amplitude da bacia, por meio da

inflexão hipsométrica (Hif) e máxima hipsométrica (Hmax), e os limites de declividade, fazendo uso da inflexão clinográfica (Cif) e da máxima clinográfica (Cmax). A integração entre os intervalos desses dois dados possibilitou a delimitação das UBR, apresentadas em nove classes (figura 42).

Figura 42 – Unidades Básicas do Relevo do Distrito Federal e parâmetros Geomorfométricos.



Para maior especificidade de cada classe geomorfológica foram definidos mais dois parâmetros geomorfométricos: orientação de vertente e forma das vertentes (formas de relevo).

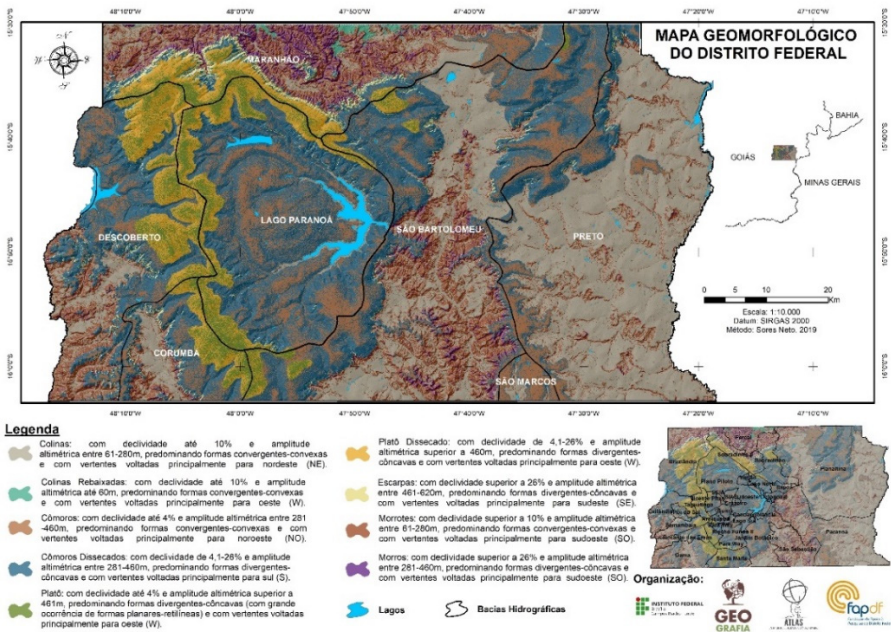
Com a definição dos limites das UBRs e com outros parâmetros geomorfométricos (forma e orientação), foi possível determinar suas singularidades. Foi definido, classe a classe, a frequência das formas de relevo e da orientação topográfica por meio de análise de histogramas. Definido os limites das UBRs e a sua associação a mais dois parâmetros geomorfométricos, torna-se possível a definição dos arquétipos do Distrito Federal lindando a similitude de determinadas áreas que viabilizam a delimitação das classes geomorfológicas. Assim, pode-se constatar a individualização de 9 classes geomorfológicas, que são ratificadas através suas respectivas características geomorfométricas.

Geomorfologia do Distrito Federal

Em linhas gerais, o Distrito Federal pode ser descrito, geomorfometricamente, como uma área com declividade moderadas, mas com ocorrência de topografia bastante movimentada, ao norte do território. Os padrões clinográficos se

concentram em 4%, denotando uma topologia levemente aplainada. A amplitude altimétrica é descrita com sua máxima em 624 metros, representados pelos divisores d'água e estruturas residuais e a mínima de amplitude definida pelo nível de base local (figura 43). As orientações da topografia variam nas diversas direções, havendo uma concentração na direção nordeste e sudeste. As formas de relevo, definidas pela interação entre curvatura vertical e horizontal, caracteriza-se, no Distrito Federal, pela prevalência de formas convexa-convergente e côncava-divergente.

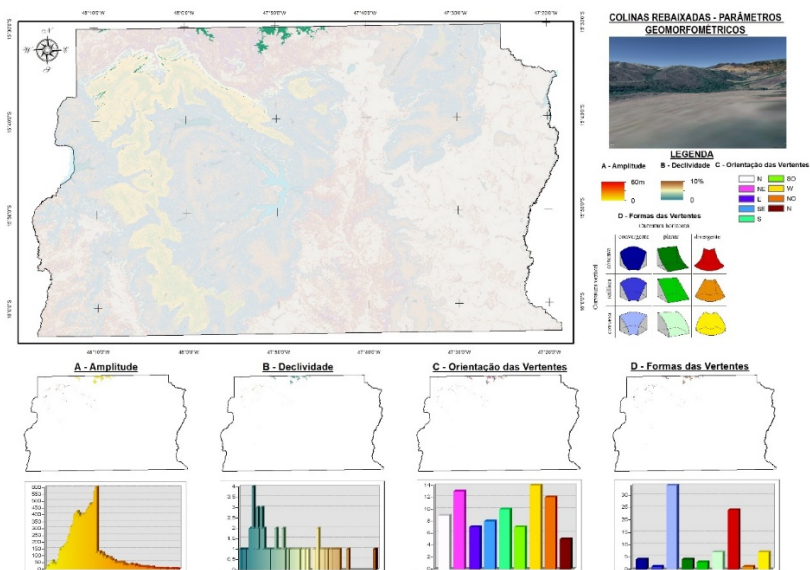
Figura 43 – Mapa Geomorfológico do Distrito Federal.



Colinas Rebaixados

Representa a feição de menor ocorrência, ocupando apenas 0,36% do território do Distrito Federal, que equivale a 18,9km². Sua incidência concentra-se ao extremo norte, área de abrangência da sub-bacia do Maranhão e com quase toda a sua totalidade na Região Administrativa (RA) da Fercal. Com declividades suaves, até 10%, suas amplitudes não ultrapassam os 60m de altura. As encostas das colinas rebaixadas são orientadas, predominantemente, para oeste (O) e nordeste (NE). Suas formas das vertentes concentram-se no tipo convexa-convergente e côncava-divergente (figura 44).

Figura 44 – Colinas Rebaixadas e parâmetros Geomorfométricos.

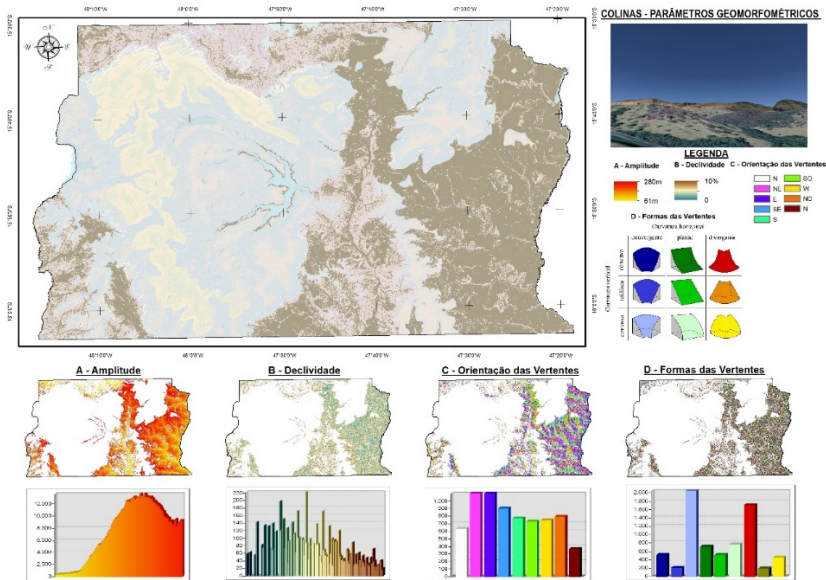


Colinas

Com 1.593km², equivalendo a um pouco mais de 30% da área mapeada, as colinas representam a feição geomorfológica mais predominante no Distrito Federal. Podendo ser observada, principalmente, nas sub-bacias do São Bartolomeu e Preto. As Regiões Administrativas de Planaltina, Paranoá, o sul do Jardim Botânico e o centro do Gama representam as RAs com maior ocorrência dessa feição. Com declividade de até 10%, também representa uma unidade suave, mas definida com superfícies mais elevadas com alturas que vão de 61 a 280m. Suas orientações de

vertentes são direcionadas para nordeste (NE) e sudeste (SE), predominantemente. As formas das vertentes prioritariamente caracterizadas por tipos convexa-convergente e côncava-divergente (figura 45).

Figura 45 – Colinas e parâmetros Geomorfométricos.

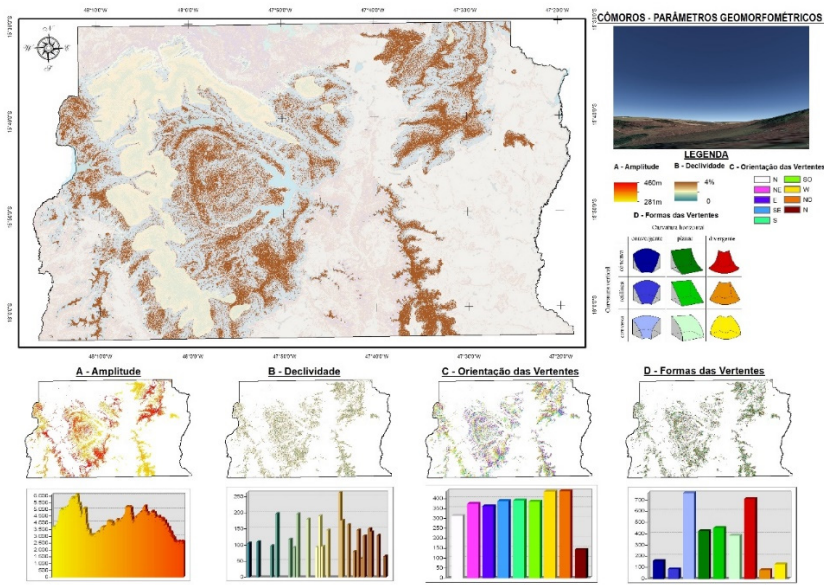


Cômoros

Relevo levemente ondulado, com declividades que não superam os 4% e com amplitude altimétrica entre 281 e 460m. Representam 722 km² de área mapeada, equivalente a 13,9% da

geomorfologia. Presente, principalmente, na área central do Distrito Federal, essa feição pode ser encontrada nas sete sub-bacias compõem essa unidade federativa, havendo maiores concentrações nas sub-bacias do Lago Paranoá e do Rio São Bartolomeu. As formas das vertentes dessa classe podem ser definidas, prioritariamente, como sendo dos tipos convexa-convergente e côncava-divergente, mas com ocorrências significativas de superfícies retilíneas-planares (figura 46). Suas orientações de vertentes são direcionadas, principalmente, para oeste-noroeste (ONO).

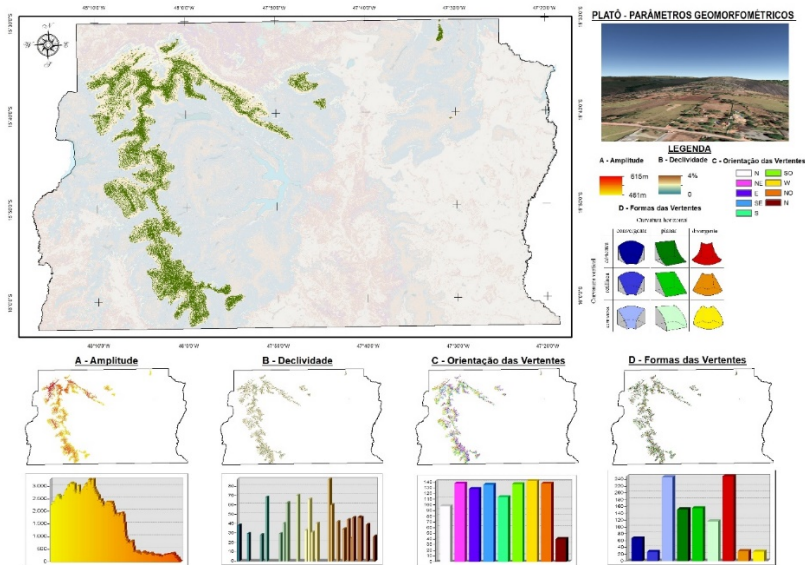
Figura 46 – Cômoros e parâmetros Geomorfométricos.



Platô

Representando a feição de superfície mais aplainada e inseridas nas maiores amplitude altimétricas, o Platô caracteriza-se por ter declividade até 4% e amplitude do relevo superior a 461m, correspondendo 238km², sendo 4,5% da área mapeada. Sua forma predominante é a divergente-côncava, mas havendo uma grande ocorrência de formas planares-retilíneas e com vertentes voltadas principalmente para oeste (w). Essa classe define os divisores d'água da sub-bacia do Lago Paranoá com as bacias do Maranhão, Descoberto e Paranoá (figura 47).

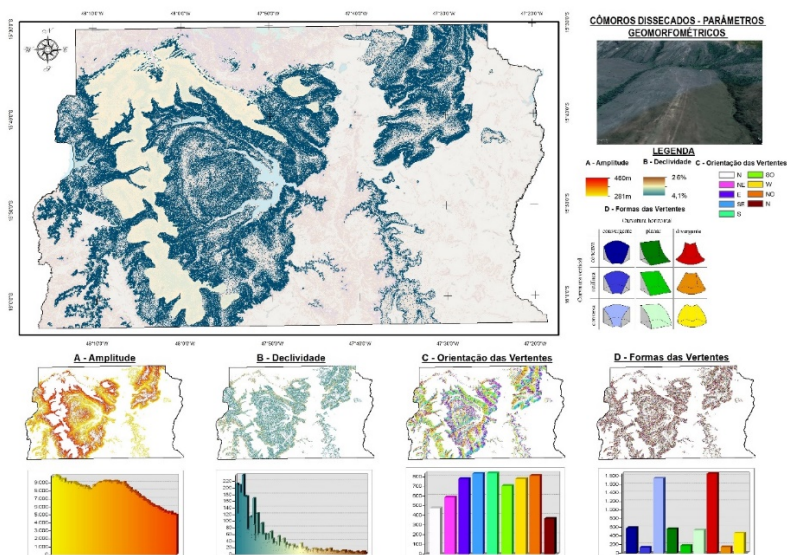
Figura 47 – Platô e parâmetros Geomorfométricos.



Cômoros Dissecados

Relevo com declives moderados a baixos, com clinográficas entre 4,1 – 26% e com amplitude altimétrica entre 281 e 460m. Representam 1409km² de área mapeada, equivalente a 27,1% da geomorfologia. Presente, principalmente, na área central e no nordeste do Distrito Federal, essa feição é bastante pronunciada nas bacias do Lago Paranoá e ao nordeste da bacia do São Bartolomeu. As formas das vertentes dessa classe podem ser definidas, prioritariamente, como sendo dos tipos convexa-convergente e côncava-convergente (figura 48). Suas orientações de vertentes são direcionadas, principalmente, para sul-sudeste (SSE).

Figura 48 – Cômodos Dissecados e parâmetros Geomorfométricos.

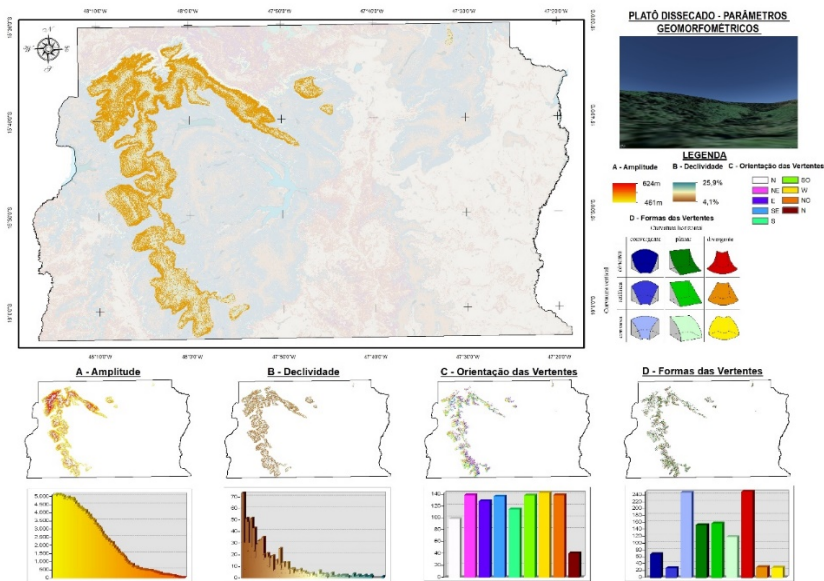


Platô Dissecado

Feições que denotam uma maior irregularidade topográfica do Platô. O Platô Dissecado caracteriza-se por ter declividade de 4,1-26% e amplitude altimétrica superior a 461m, correspondendo 325km², sendo 6,2% da área mapeada. As formas das vertentes dessa classe podem ser definidas, prioritariamente, como sendo dos tipos convexa-convergente e côncava-divergente. Suas orientações de vertentes são direcionadas, principalmente, para oeste-noroeste (ONO). Também podendo ser associadas aos

divisores d'água da sub-bacia do Lago Paranoá com as bacias do Maranhão, Descoberto e Paranoá (figura 49).

Figura 49 – Platô Dissecado e parâmetros Geomorfométricos.

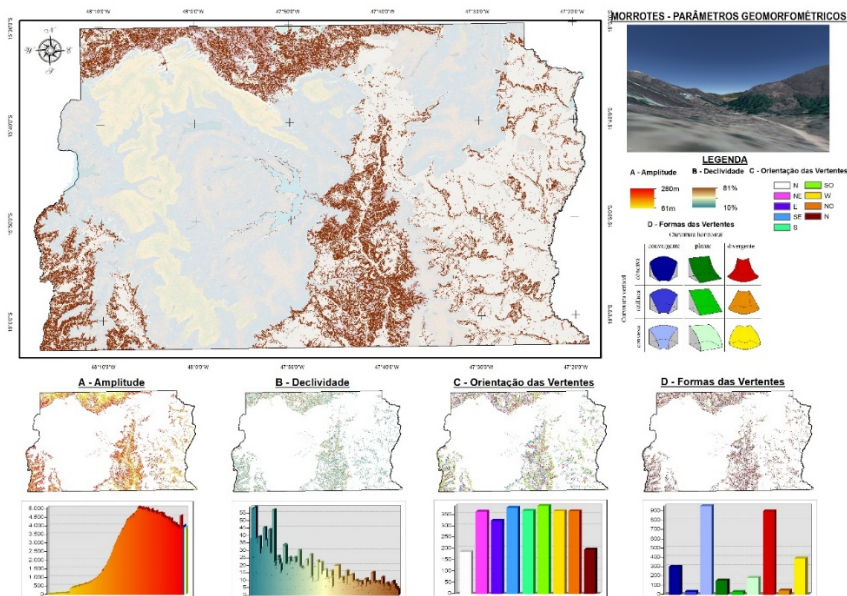


Morrotes

Associado a áreas de grande densidade drenagem e com vales mais dissecados, sua ocorrência se dá, principalmente na sub-bacia do Maranhão e do São Bartolomeu, com bastante pronunciamento ao sudeste do Descoberto. Sua clinografia sempre supera os 10% e a amplitude altimétrica está definida entre 61-

280m. Suas orientações de vertentes são direcionadas para sudeste (SE) e sudoeste (SO), predominantemente. As formas das vertentes prioritariamente caracterizadas por tipos convexa-convergente e côncava-divergente (figura 50).

Figura 50 – Morrotes e parâmetros Geomorfométricos.

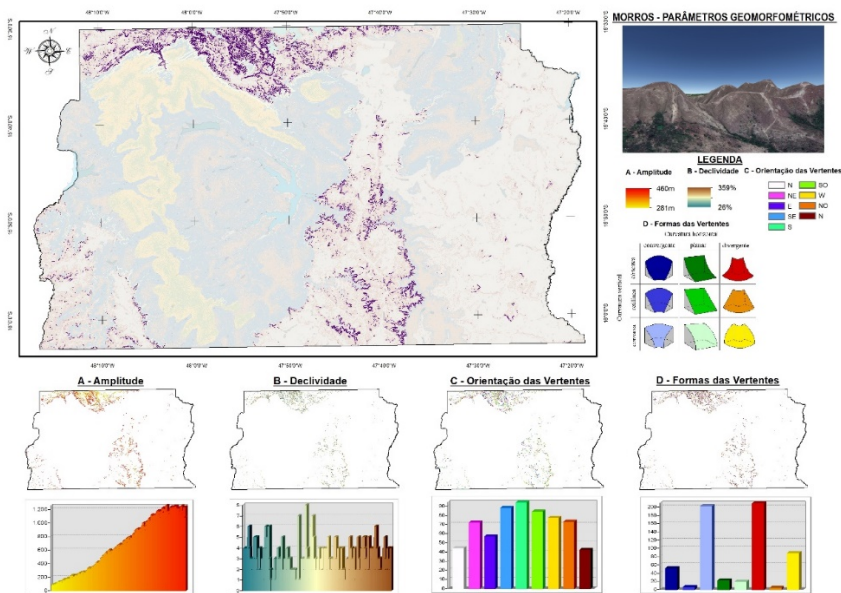


Morros

Presente em sua maior extensão na sub-bacia do Maranhão, esse tipo feição é caracterizado pelo seu elevado grau de dissecação, associados a ocorrência de rios encaixados. Representa

2,6% da área mapeada, cobrindo uma área de 138,5km². As formas das vertentes dessa classe podem ser definidas, prioritariamente, como sendo dos tipos convexa-convergente e côncava-divergente (figura 51). Suas orientações de vertentes são direcionadas, principalmente, para sul (S).

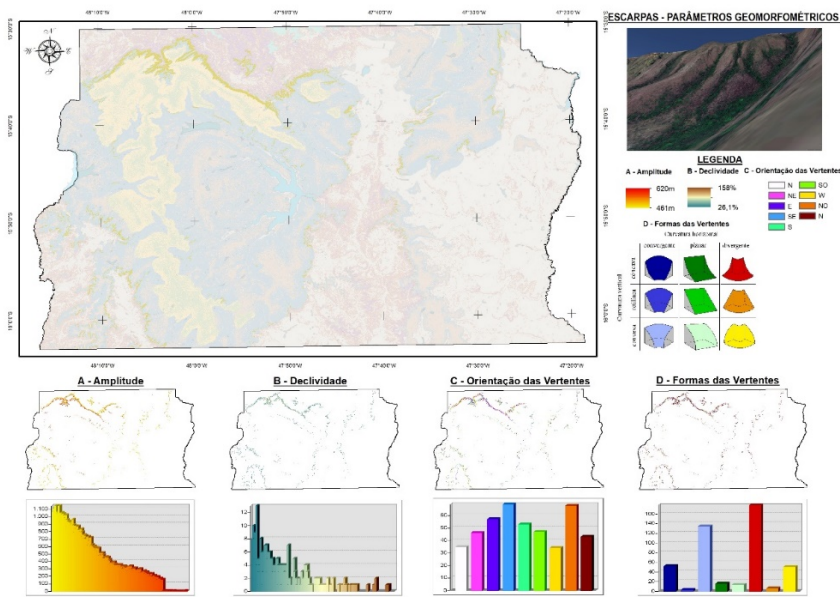
Figura 51 – Morros e parâmetros Geomorfométricos.



Escarpas

Situado principalmente margeando parte do Platô Dissecado, as Escarpas são feições de elevado percentual clinográfico, superiores a 26% e com amplitude altimétrica entre 461-620m. Correspondem 1,7% da geomorfologia do Distrito Federal, representando 90km². As formas das vertentes dessa classe podem ser definidas, prioritariamente, como sendo do tipo côncava-divergente (figura 52). Suas orientações de vertentes são direcionadas, principalmente, para o sul (S).

Figura 52 – Escarpas e parâmetros Geomorfométricos.



BIBLIOGRAFIA

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. (1982). **Análise geomorfológica: reflexão e aplicação.** Tese de Livre-Docência FFLCH-USP. São Paulo.

ADEDIRAN, A.O., PARCHARIDIS, I., POSCOLIERI, M., PAVLOPOULOS, K. **Computer-assisted discrimination of morphological units on northcentral Crete (Greece) by applying multivariate statistics to local relief gradients.** *Geomorphology* 58, 357–370. 2004

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

BARSCH, D., FISCHER, K., STÄBLEIN, G. **Geomorphological mapping of high mountain relief, Federal Republic of Germany (with geomorphology map of Königsee, scale 1:25 000)**. Mountain Research and Development 7, 361–374. 1987.

BELCHER, D. J. **O Relatório Técnico sobre a nova capital da república. Rio de Janeiro: Departamento de Imprensa Nacional, 2ª edição, 1957.**

BIASI, M. de. **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, Amsterdam, 2012.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Emenda constitucional n.º 9, de 9 de novembro de 1995. Lex: legislação federal e marginália, São Paulo, v. 59, p. 1966, out./dez. 1995.

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 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blucher, 2ª edição, 1980.

CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal – **Zoneamento Ecológico- Econômico do Distrito Federal** – Matriz Ecológica. Brasília, 2017.

CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal, Brasília:** CODEPLAN, 1984.

Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Codeplan – **Atlas do Distrito Federal** 2017. Brasília, 2017.

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J.C. **Geomorphology in environmental management: a new introduction.** 2ªed. New York: Claredon Press, 1990.

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

CPRM. **Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno: fase I.** – Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil; Embrapa; MI/SCO, 2003

DE GRAAFF, L.W.S., DE JONG, M.G.G., RUPKE, J., VERHOFSTAD, J. **A geomorphological mapping system at scale 1: 10.000 for mountainous areas.** Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 13, 229–242. 1987.

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

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. A 122, 357 – 370. 1992.

DIKAU, R. **Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods.** Zeitschrift für Geomorphologie, v.80, p. 45-55, 1990.

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. 1984.

Drăgut, L., Eisank, C. **Object representations at multiple scales from digital elevation models.** Geomorphology 129, 183 – 189. Elsevier, Amsterdam. 2011.

Emblenton, C. **Techniques, problems and uses of mega-geomorphological mapping.** In: Global Mega-geomorphology, NASA, Washington, DC, 1985.

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

FAIRBRIDGE, R. W., Kara-Bogaz-Gulf. In: **Encyclopedia of Geomorphology.** edited by R. W. Fairbridge, pp. 579-581, Reinhold Book Corp., New York. 1968.

FAZENDA, I. C. Arantes. **Interdisciplinaridade: um projeto em parceria**. 6. ed. São Paulo: Loyola, 2007.

FERREIRA, L. P. (Org.). **O fonoaudiólogo e a escola**. São Paulo: Summus, 1991.

FLORENZANO, T. G (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

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

GILES, P.T., FRANKLIN, S.E. **An automated approach to the classification of the slope units using digital data**. Geomorphology 21, 251–264. 1998.

GUERRA, A.T. & GUERRA, A.J.T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2ª edição. 648p. 2001.

GUSTAVVSON, M., KOLSTRUP, E., SEIJMONSBERGEN, A.C. **A new symbol-and-GIS based detailed geomorfolological mapping system: renewal of a scientific discipline for**

understanding landscape development. Geomorphology 77, 90 – 111. Elsevier, Amsterdam. 2006

HAYDEN, R.S. **Geomorphological mapping.** In: Short, N.M., Blair, R. W.j. Geomorphology from Space. NASA, Greenbelt, MD. 1996.

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.

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.

HUTCHINSON, M.F. **A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits.** Journal of Hydrology 106: 211-232, 1989.

HUTCHINSON, M.F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia, 1988.

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

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.

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.

KOHLER, H. C. A Escala na análise Geomorfológica. Revista Brasileira de Geomorfologia, volume 2, nº 1, p. 21-33, 2001.

LATRUBESSE, E. M.; CARVALHO, T. M. **Geomorfologia do estado de Goiás e Distrito Federal**. In: Caderno 2 da série geológica e mineração – Geomorfologia de Goiás e Distrito Federal. Secretaria de Indústria e Comércio de Goiás, 2006.

LONGLEY, P.A., GOODCHILD, M.F., MAGUIRE, D.J., RHIND, D.W., 2005. **Geographic Information Systems and Science**, Second edition. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 2005.

MARTINS, E. de S.; BAPTISTA, G. M. de M. **Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal**. In: Inventário hidrológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília: IEMA, 1998.

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

MILIARESIS, G.C. **Geomorphometric mapping of Zagros Ranges at regional scale**. Computers & Geosciences p. 27, 775–786, 2001.

MINÁR, J. & EVANS, I. A. **Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping.** *Geomorphology* 95. p.236–259, 2008.

MOORE, I.D., R. B. Grayson, and A. R. Landson. Digital Terrain Modelling: A Review of hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. *Hydrological Processes* 5: 3–30, 1991.

NELSON, A., REUTER, H. I., GESSLER, P. **DEM Production Methods and Sources**, in: Hengl, T., Reuter, H. I. (Eds.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Elsevier, Amsterdam, pp. 65-86. (Series Developments in Soil Science, 33), 2009.

NOVAES-PINTO, M. **Unidades Geomorfológicas do Distrito Federal.** *Geografia*, Rio Claro, V.11, n. 21, 1986.

OGUCHI, T., HAYAKAWA, Y., WASKLEWICZ, T. In sources: Smith, M.J. *et al.* **Geomorphological Mapping: A handbook of techniques and applications.** Elsevier, Amsterdam, 2011.

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

PENCK, W. Morphological analysis of landforms: a contribution of Physical Geology. Macmillan: London, 1953.

PENTEADO, M. M. Tipos de concreções ferruginosas nos compartimentos do Planalto de Brasília. Notícia Geomorfológica, Campinas: v.16, 1976.

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

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

ROSS, J. L. S. O Registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.6, 1992.

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

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de Concetração da Rugosidade: Uma Nova Proposta Metodológica para o Mapeamento e Quatificação da

Dissecação do Relevo como Subsídio a Cartografia Geomorfológica. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 15, n. 1, 47-60, 2014.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental. Estudo de impacto ambiental – **Relatório de impacto ambiental - RIMA: manual de orientação.** São Paulo, p. 48, 1989.

SAURO, U. **Propositions pour une cartographie morphologique à grande échelle des champs de lapiés.** Studi Trentini di Scienze Naturali 54, 163 – 176, 1977.

SCHMIDT, J. & R. DIKAU. **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 data.** In: SMITH, M.J., PARON, P., GRIFFITHS, J.S. Geomorphological Mapping: methods and applications. Amsterdam: Elsevier, p. 297-335, 2011.

SEIJMONSBERGEN, A.C., Hengl, T., Anders, N.S., (2011). **Semi-automated identification and extraction of geomorphological features using digital elevation data.** In: SMITH, M.J., PARON, P., GRIFFITHS, J.S. (2011) *Geomorphological Mapping: methods and applications*. 1ª edição. Amsterdam: Elsevier, 297-335 pp, 2011.

SILVA, J. M. F.; OKA-FIORI, C.; SILVEIRA, C. T. **Geomorfometria: uma análise de conceitos, métodos e aplicações em geografia física.** *Revista Brasileira de Geografia Física*. v.10, n.2, 2017.

SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. **Classificação Automatizada de Elementos de Relevo no Estado do Paraná (Brasil) por Meio da Aplicação da proposta dos Geomorphons.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 19, n. 1, 33-57, 2018.

SILVEIRA, R. M. P.; SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo aplicada à cartografia geomorfológica da porção central da Serra do Mar Paranaense.** *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.17, nº 4, 615-629, 2016.

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

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

SOARES NETO, G. B. **Geodabase** – Instituto Federal de Brasília. 2018. Disponível em: <http://www.ifb.edu.br/geodabase.html>. Acesso em: **01/02/2019**

SOARES NETO, G. B. **Método de classificação semiautomático das unidades básicas de relevo em regiões tropicais**. 2015 Tese (Doutorado em Geociências aplicadas). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 27 de março de 2015.

SOARES NETO, G. B., MARTINS, E. S. **Método Semiautomático de Classificação das Unidades Básicas de Relevo**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 20, n. 2, 2019.

SOUZA, L. S.; BORGES, A. L.; REZENDE, J. O. **Influência da correção e do preparo do solo sobre algumas propriedades químicas do solo cultivado com bananeiras**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE

PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. Anais. Petrolina: Embrapa Semiárido, 1994. p. 3-4.

SPERANDIO, P. C. A. Relação entre a oferta e a utilização muscular periférica de oxigênio na transição do exercício leve para o intenso em pacientes com insuficiência cardíaca. 80 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2010.

STEIKE, V. A.; SANO, E. E.; STEIKE, E. T. NASCIMENTO, R. **O. O Desenvolvimento dos Estudos Geomorfológicos no Distrito Federal.** Geografia, Rio Claro, v. 32, n. 1 p. 107-120. 2007.

STEINKE, V. A. **Uso integrado de dados digitais morfométrico (altimetria e sistema de drenagem) na definição de unidades geomorfológicas no Distrito Federal.** Dissertação (Mestrado em Geologia) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2003.

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

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

TEEUW, R.M. (2007). Mapping Hazardous terrain using remote sensing. Geological Society, London, 283.

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

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

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

VALERIANO, M. M. Programação do cálculo da declividade em SIG pelo método de vetores ortogonais. Espaço e Geografia, v.5, n.1, p.69-85, 2002.

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

VELOSO, A. J. G. **Importancia do Estudo das Vertentes.**
GEOgraphia. v.8, n.8, 2002

WAHBA, G. **Spline models for Observational data.** Paper
presented at CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied
Mathematics. Philadelphia: Soc. Ind. Appl. Maths, 1990.

Weibel, R., Heller, M., (1990). **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.

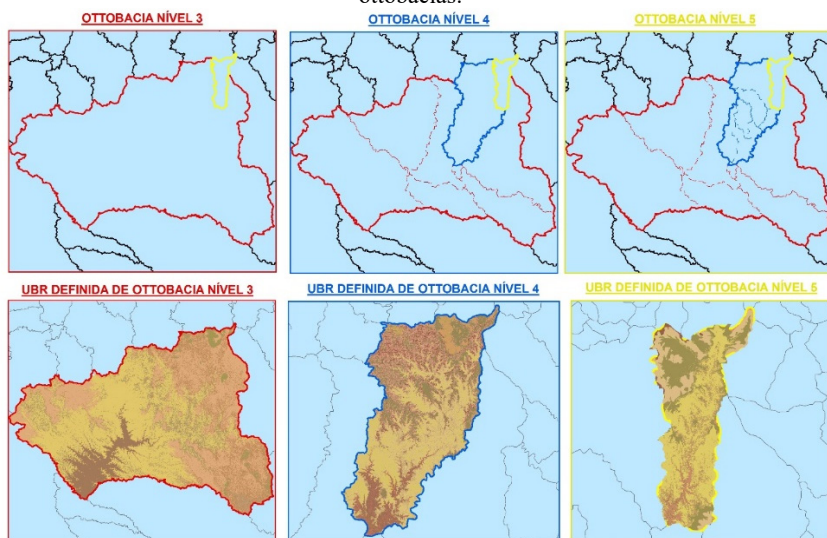
APÊNDICE A

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 A1**).

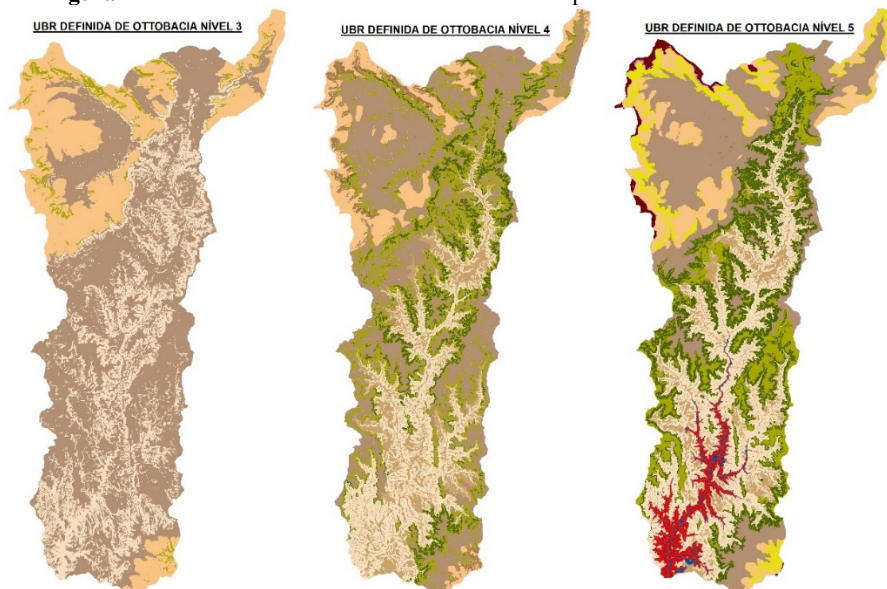
Figura A1 – Grau de detalhamento da bacia definido pelo nível de representação das ottobacias.



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 A2**). O resultado deixa nítido a mudança no grau de delineamento das classes 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 comportamento abre precedentes para hierarquização das UBR,

definidas por níveis escalares distintos e a possibilidade da construção um fluxo taxonômico.

Figura A2 – Grau de delineamento das UBR definido pelo nível de ottobacia.



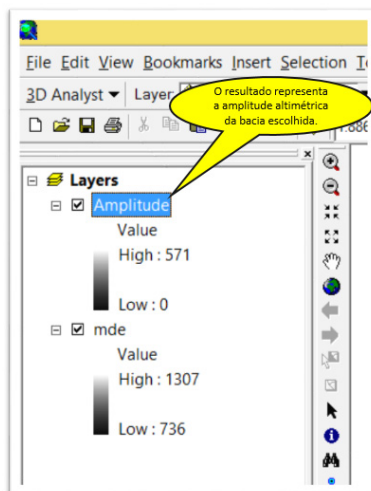
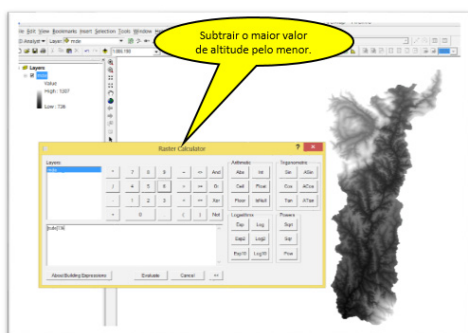
APÊNDICE B

Tutorial do Método

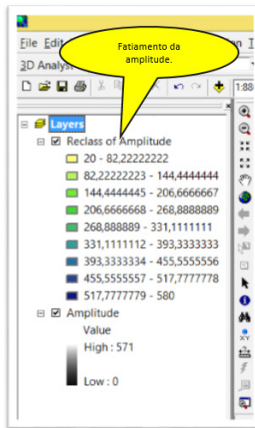
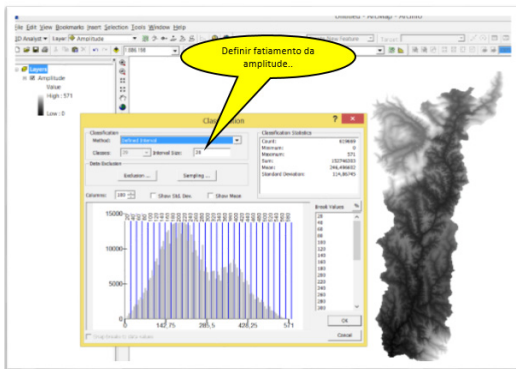
Para definição das Unidades Básicas de Relevo foram utilizadas imagens SRTM -90m e as delimitações das ottobacias definidas pela ANA. Para processamento dos dados foram usados e definição dos intervalos de amplitude e declividade foram usados dois softwares: ArcGis 10 e o MATLAB 2013.

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

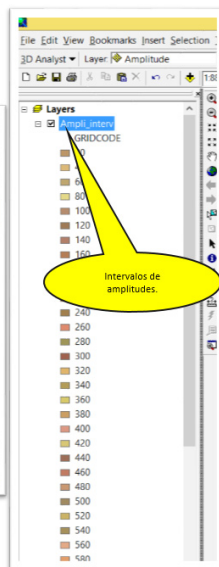
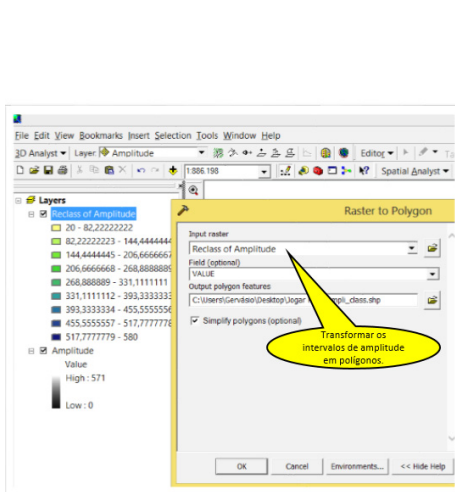
1 – Definição da amplitude altimétrica a partir do SRTM ou de outra base de entrada que defina o MDE da área de análise;



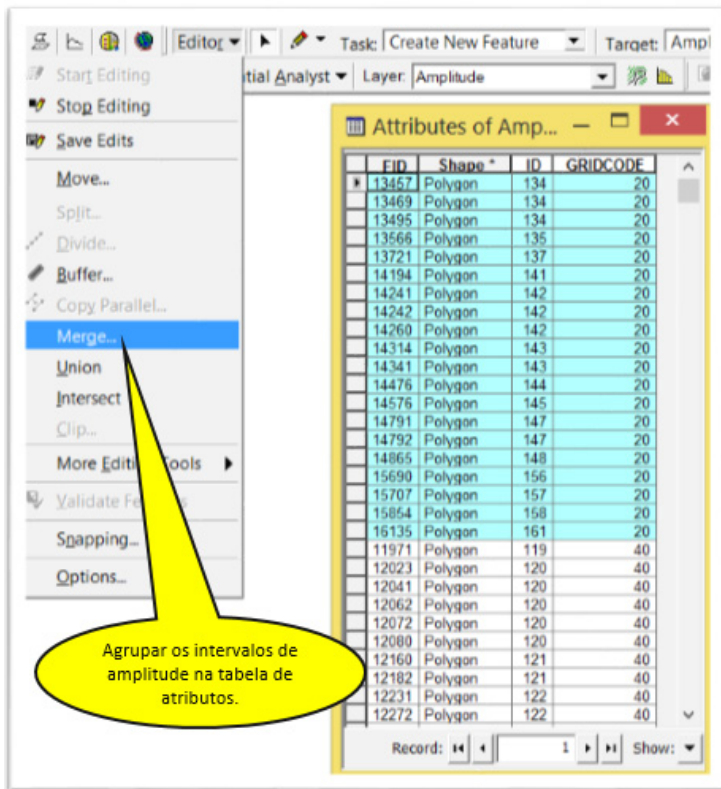
2 – Reclassificar os intervalos de amplitude levando em consideração a resolução vertical do dado (20m para SRTM).



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:

Attributes of ampl_class

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	232.676103
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	27	340	178.18875
4	Polygon	28	360	204.788359
1	Polygon	29	380	17.766275
11	Polygon	30	400	104.149048
5	Polygon	31	420	175.492596
16	Polygon	32	440	133.228787
3	Polygon	33	460	93.372288
2	Polygon	34	480	78.397194
0	Polygon	35	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

Record: 1 0 Show: All Selected Records

Definição da área de cada intervalo de amplitude.

Attributes of Bacia_SB

FID	Shape	ID	GRIDCODE	Área
0	Polygon	0	5485	5011.444845

Record: 1 1 Show: All Selected 'ds

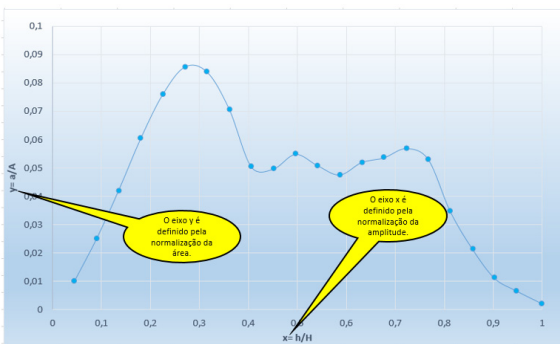
Definição da área total da bacia.

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

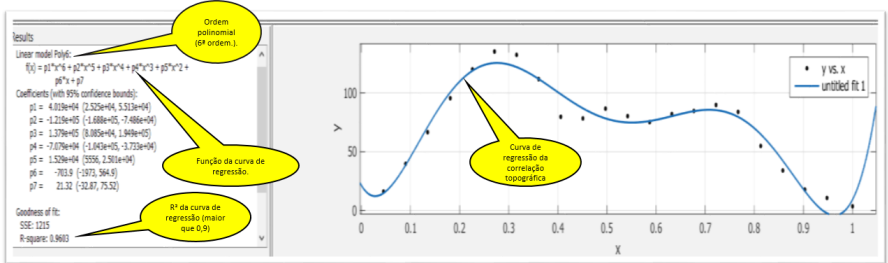
Amplitude	Altura (h)	Altura (H)	h/H	Área (a) km	Área (A) km	a/A
20	20	443	0.045	16.0	1579.02	0.010
40	40	443	0.090	39.6	1579.02	0.025
60	60	443	0.135	66.6	1579.02	0.042
80	80	443	0.181	95.5	1579.02	0.060
100	100	443	0.226	120.1	1579.02	0.076
120	120	443	0.271	135.3	1579.02	0.086
140	140	443	0.316	132.5	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	1579.02	0.050
220	220	443	0.497	8	1579.02	0.055
240	240	443	0.542	8	1579.02	0.051
260	260	443	0.587	8	1579.02	0.048
280	280	443	0.632	8	1579.02	0.052
300	300	443	0.677	8	1579.02	0.054
320	320	443	0.722	8	1579.02	0.057
340	340	443	0.767	8	1579.02	0.053
360	360	443	0.812	8	1579.02	0.038
380	380	443	0.857	8	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

Normalizar a amplitude dividindo os intervalos de amplitude pela amplitude total da bacia.

Normalizar a área dividindo área de cada intervalo de amplitude pela área geral da bacia.



7 – Definir a linha de regressão polinomial (no matlab) que mais se adeque 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

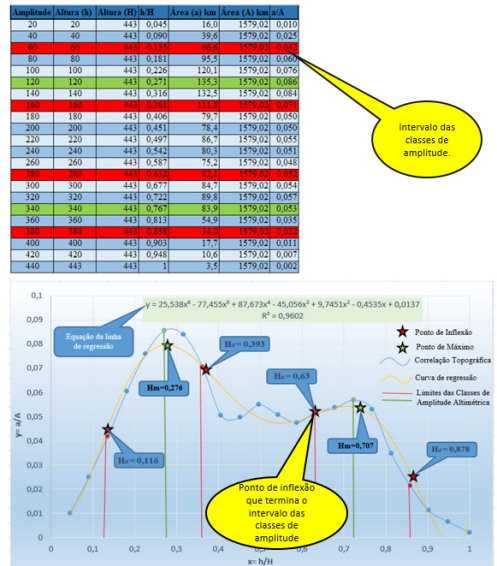
raizinf_mq =
-0.152402651941839115902
1.0277823852883115902
0.82634961736797221597588727612232 + 0.4461917784703240998620i
0.82634961736797221597588727612232 - 0.4461917784703240998620i
0.252426174976725612017271
0.252426174976725612017271

ponto_crit =
0.8596418631999870509949
0.9043483155112054186656
0.381726293159348814377393937831 - 0.133793491423924025526180i
0.381726293159348814377393937831 + 0.133793491423924025526180i

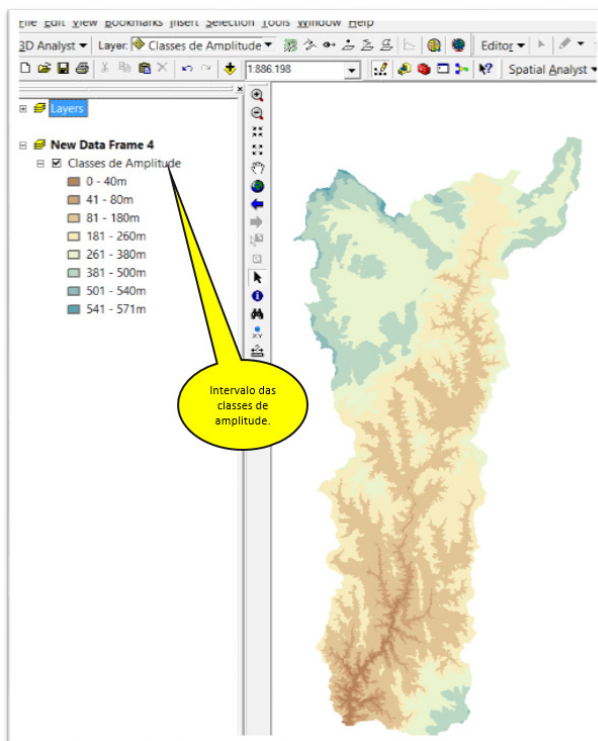
ponto_inflex =
0.11603427456353380759821511194543
0.39623565054605425762113639001
0.626479701147930235526348208688183
0.88320458574746240998487180662492
```

Pontos críticos que representam os pontos de máximo.

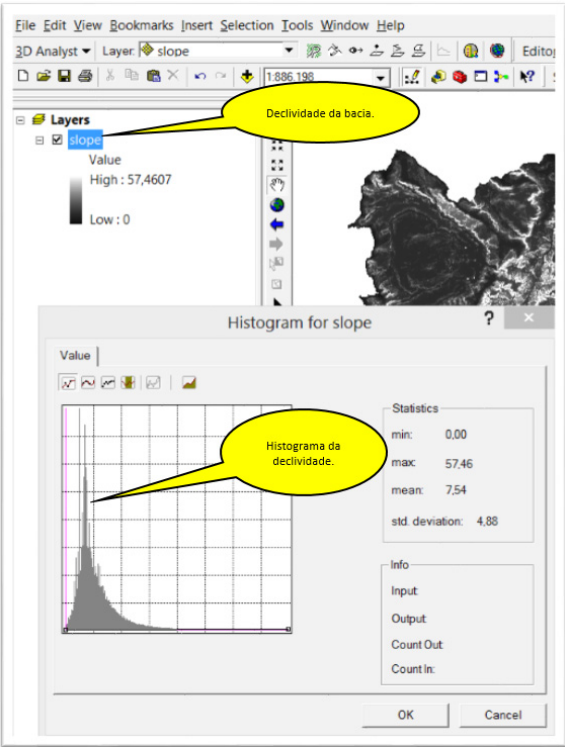
Pontos de inflexão.



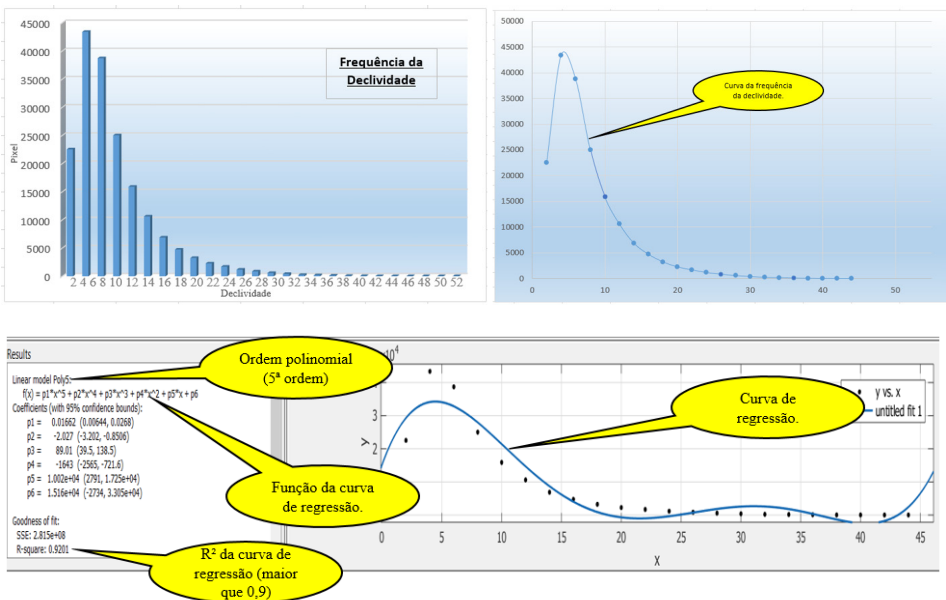
9 – Reclassificar a amplitude altimétrica baseado nos intervalos encontrados.



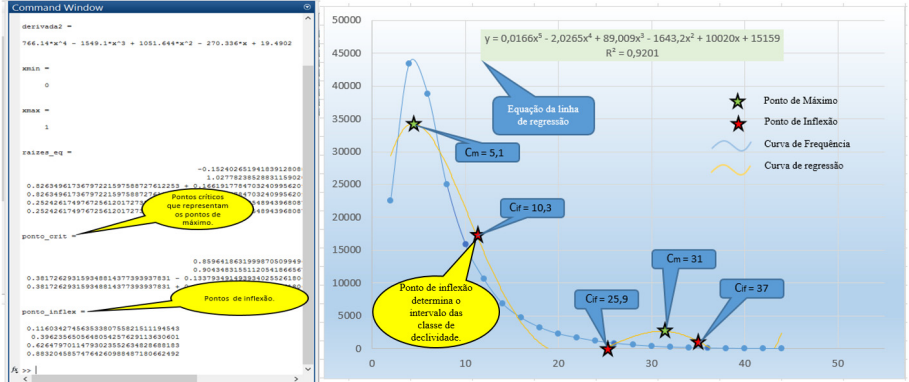
10 – Representar a declividade da área e determinar o seu histograma de frequência (declividade X pixel).



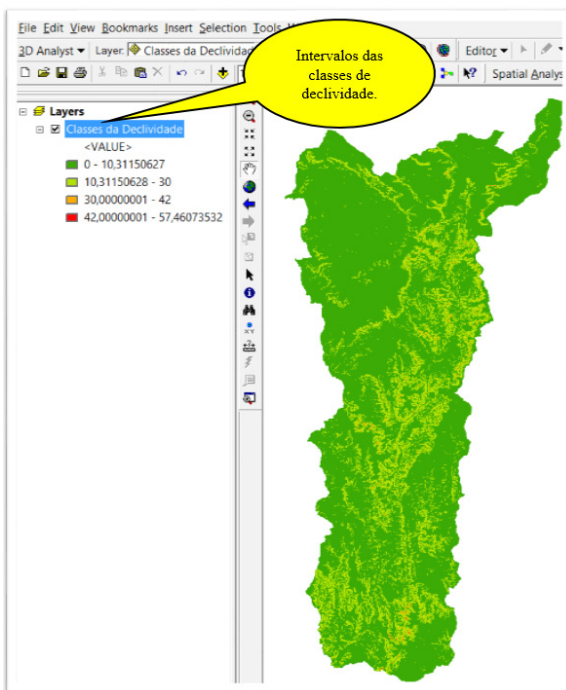
11 – Determinar a curva do histograma e definir a linha de regressão polinomial que mais se adeque a curva do histogram ($R^2 \geq 0,9$):



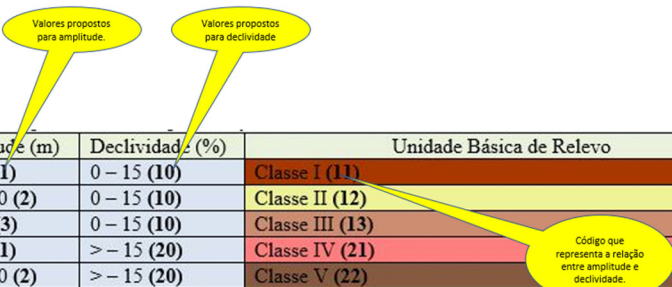
12 – Definir os pontos de inflexões e de máximo da curva de regressão e delimitar a classes de amplitude de declividade:



13 – Reclassificar a declividade baseado nos intervalos encontrados.



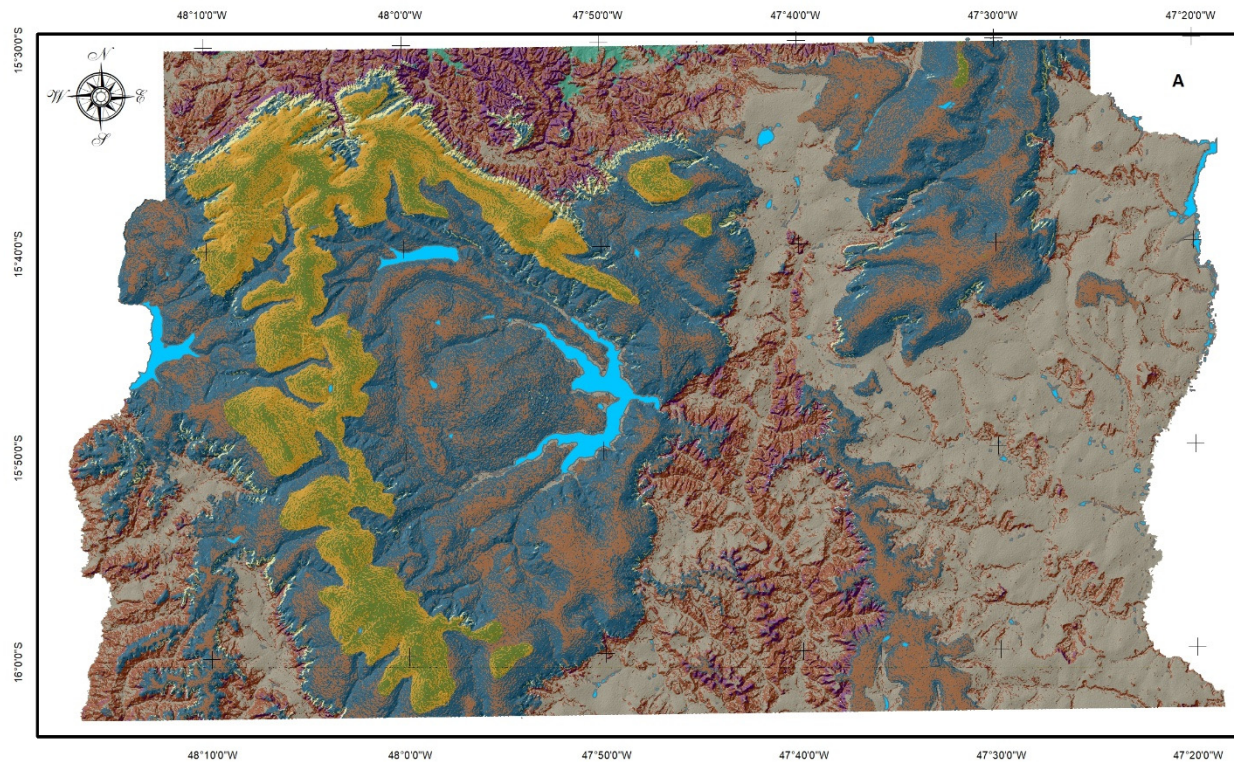
14 – Para determinar as unidades do relevo fazer a análise de sobreposição usando os intervalos de declividade associados ao de amplitude. Proponha valores para a amplitude e declividade em que a soma dos mesmos determinaram as Unidades Básicas de Relevo (UBR)



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)

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

MAPAS



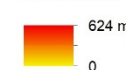
UNIDADES BÁSICAS DO RELEVO - PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS DO DISTRITO FEDERAL

LEGENDA

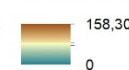
A - Unidades Básicas do Relevo

- | | | | |
|--|--------------------|--|-----------------|
| | Colinas Rebaixadas | | Platô Dissecado |
| | Colinas | | Morrotes |
| | Cômoros | | Morros |
| | Platô | | Escarpas |
| | Cômoros Dissecados | | Lagos |

B - Amplitude



C - Declividade



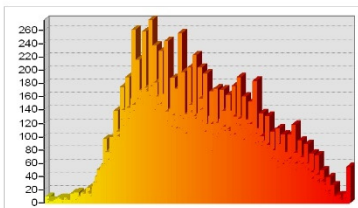
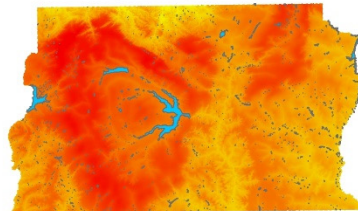
D - Orientação das Vertentes

- | | | | |
|--|----|--|----|
| | N | | SO |
| | NE | | W |
| | E | | NO |
| | SE | | N |
| | S | | |

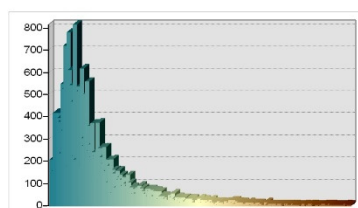
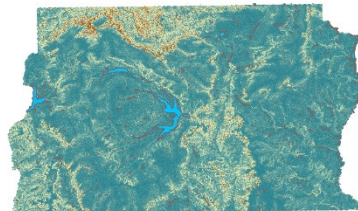
E - Formas das Vertentes

		Curvatura horizontal		
		convergente	planar	divergente
Curvatura vertical	côncava			
	retilínea			
	convexa			

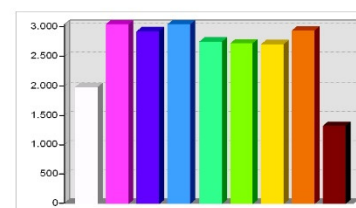
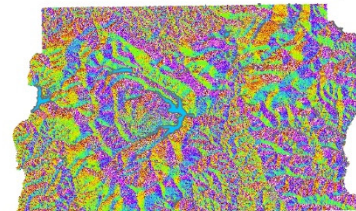
B - Amplitude



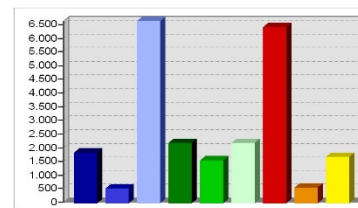
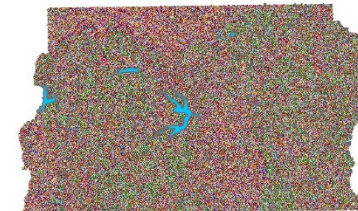
C - Declividade

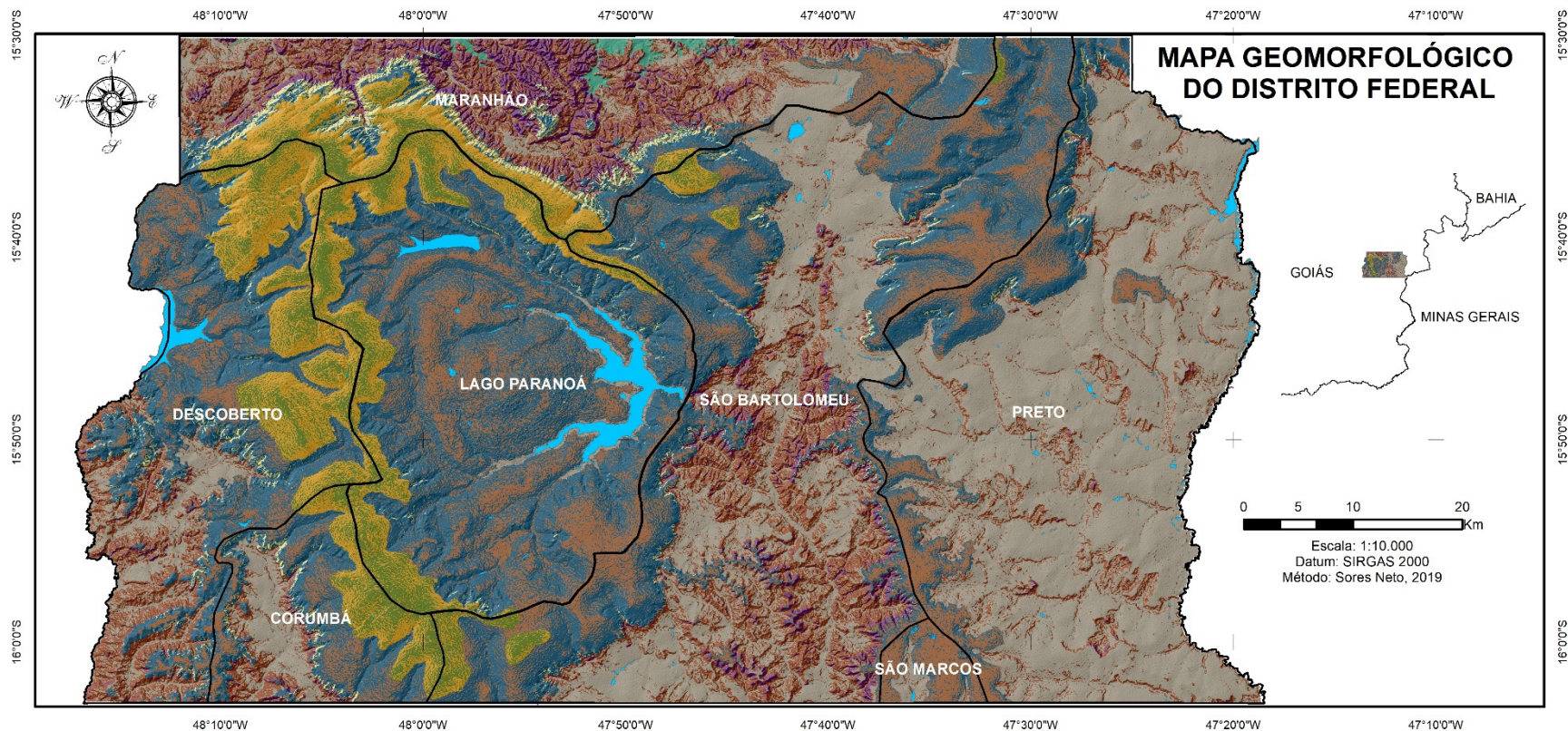


D - Orientação das Vertentes



E - Formas das Vertentes





Legenda

- Colinas: com declividade até 10% e amplitude altimétrica entre 61-280m, predominando formas convergentes-convexas e com vertentes voltadas principalmente para nordeste (NE).
- Colinas Rebaixadas: com declividade até 10% e amplitude altimétrica até 60m, predominando formas convergentes-convexas e com vertentes voltadas principalmente para oeste (W).
- Cômoros: com declividade até 4% e amplitude altimétrica entre 281-460m, predominando formas convergentes-convexas e com vertentes voltadas principalmente para noroeste (NO).
- Cômoros Dissecados: com declividade de 4,1-26% e amplitude altimétrica entre 281-460m, predominando formas divergentes-côncavas e com vertentes voltadas principalmente para sul (S).
- Platô: com declividade até 4% e amplitude altimétrica superior a 461m, predominando formas divergentes-côncavas (com grande ocorrência de formas planares-retilíneas) e com vertentes voltadas principalmente para oeste (W).

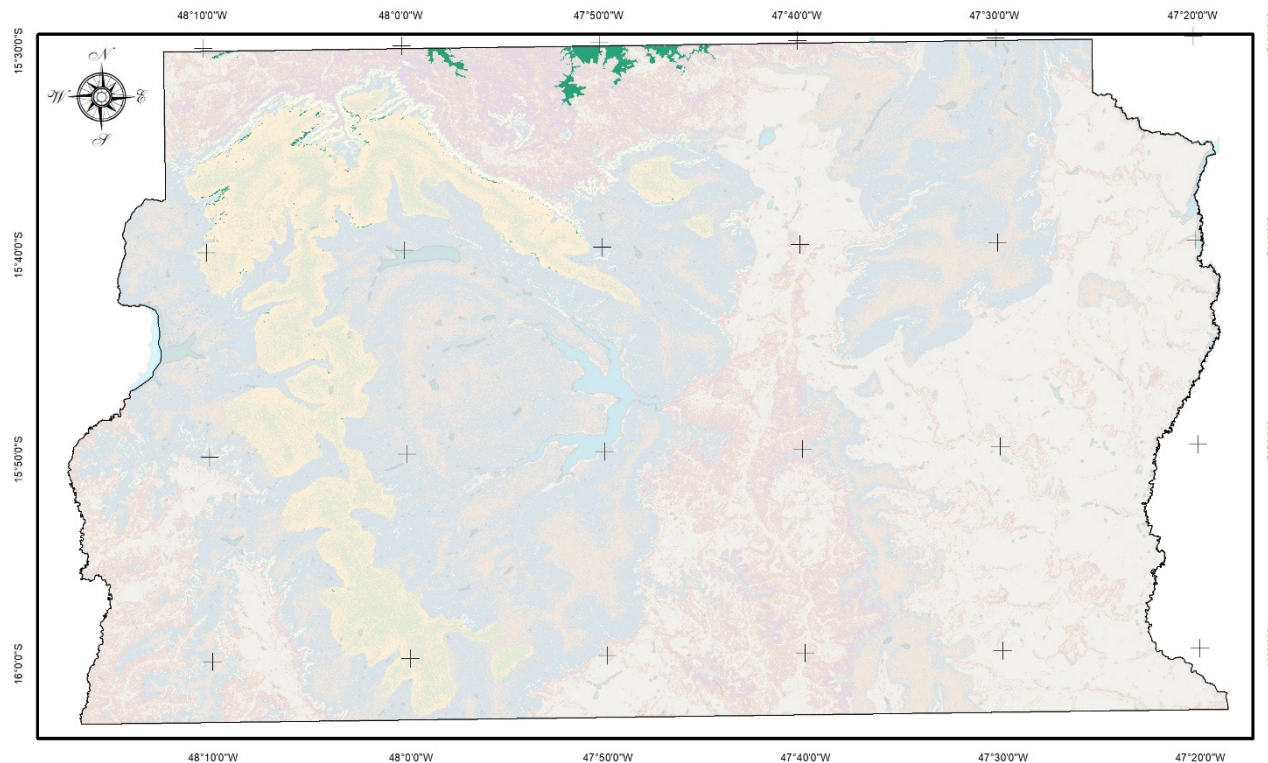
- Platô Dissecado: com declividade de 4,1-26% e amplitude altimétrica superior a 460m, predominando formas divergentes-côncavas e com vertentes voltadas principalmente para oeste (W).
- Escarpas: com declividade superior a 26% e amplitude altimétrica entre 461-620m, predominando formas divergentes-côncavas e com vertentes voltadas principalmente para sudeste (SE).
- Morrotes: com declividade superior a 10% e amplitude altimétrica entre 61-280m, predominando formas convergentes-convexas e com vertentes voltadas principalmente para sudoeste (SO).
- Morros: com declividade superior a 26% e amplitude altimétrica entre 281-460m, predominando formas divergentes-côncavas e com vertentes voltadas principalmente para sudoeste (SO).
- Lagos
- Bacias Hidrográficas



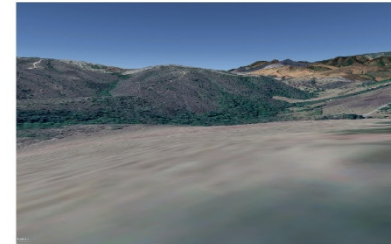
Organização:

INSTITUTO FEDERAL
Campus Rio de Janeiro

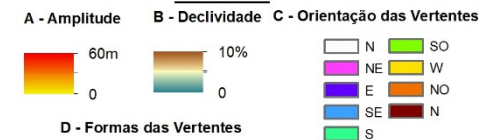




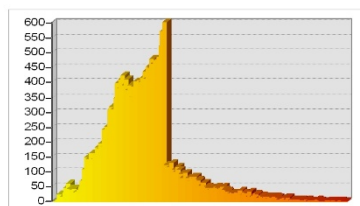
COLINAS REBAIXADAS - PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS



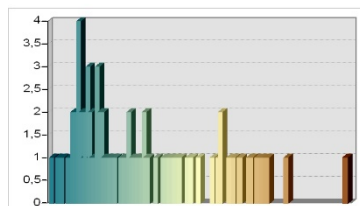
LEGENDA



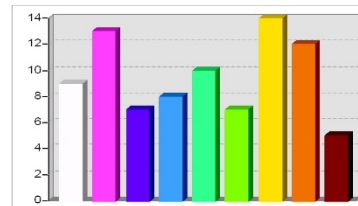
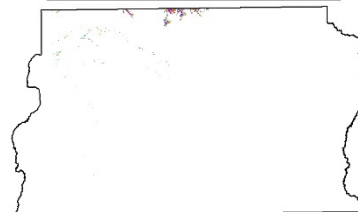
A - Amplitude



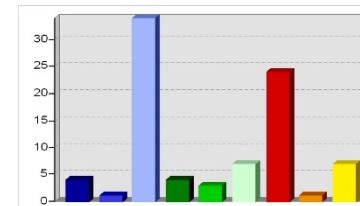
B - Declividade

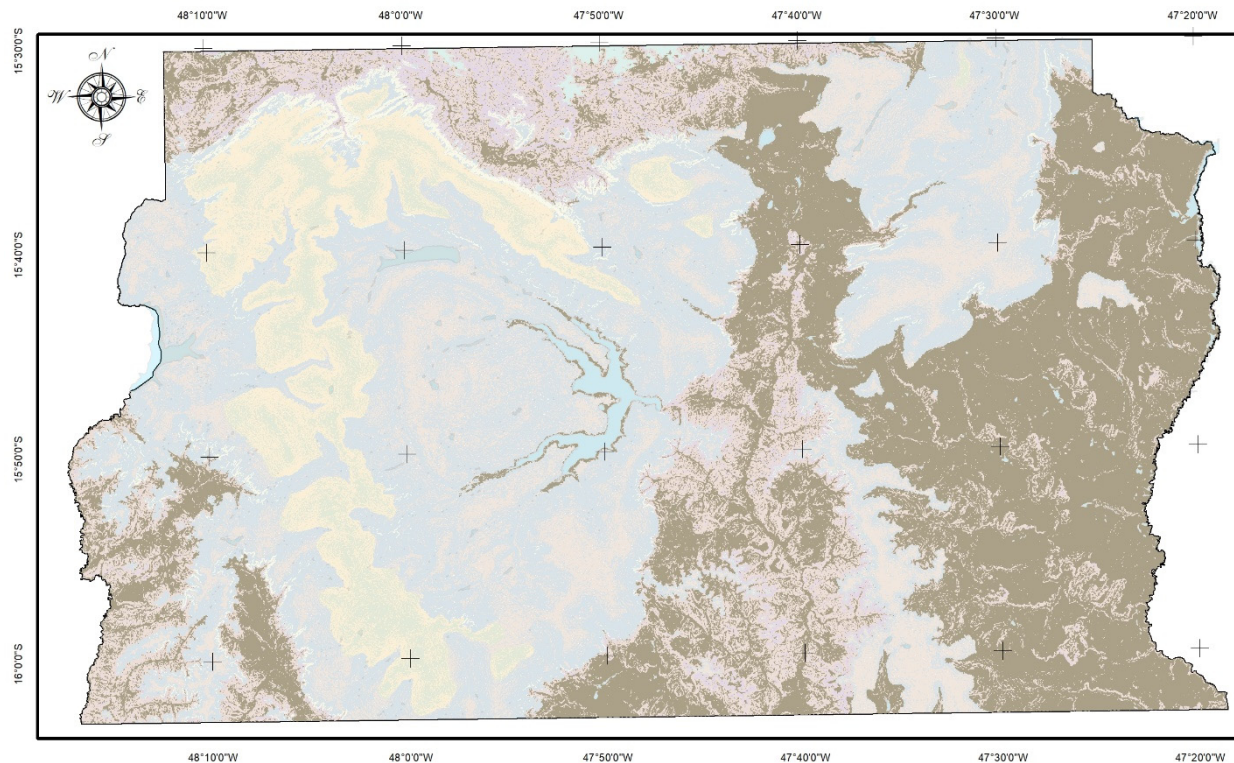


C - Orientação das Vertentes

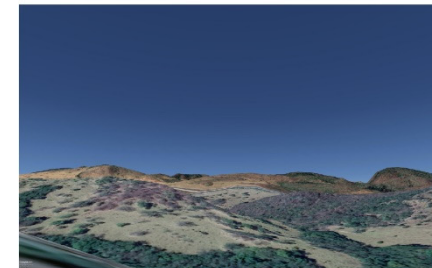


D - Formas das Vertentes

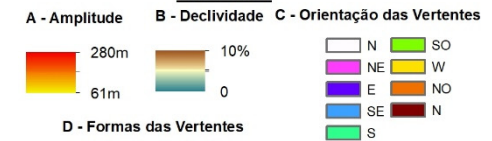




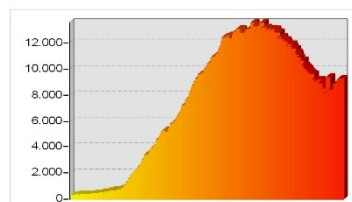
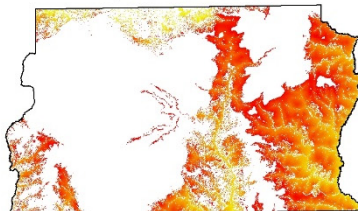
COLINAS - PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS



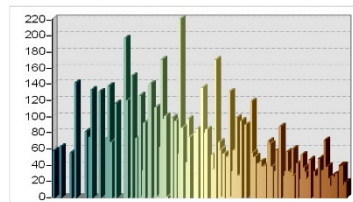
LEGENDA



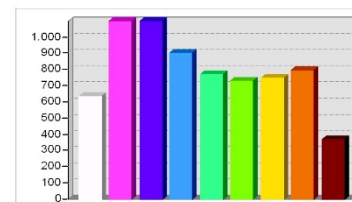
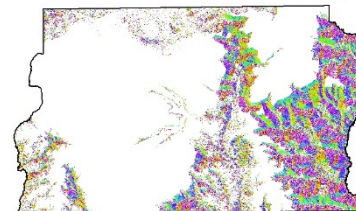
A - Amplitude



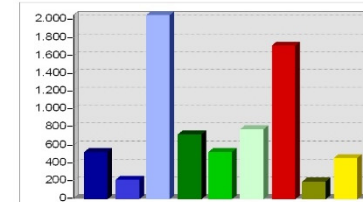
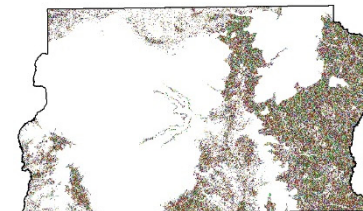
B - Declividade

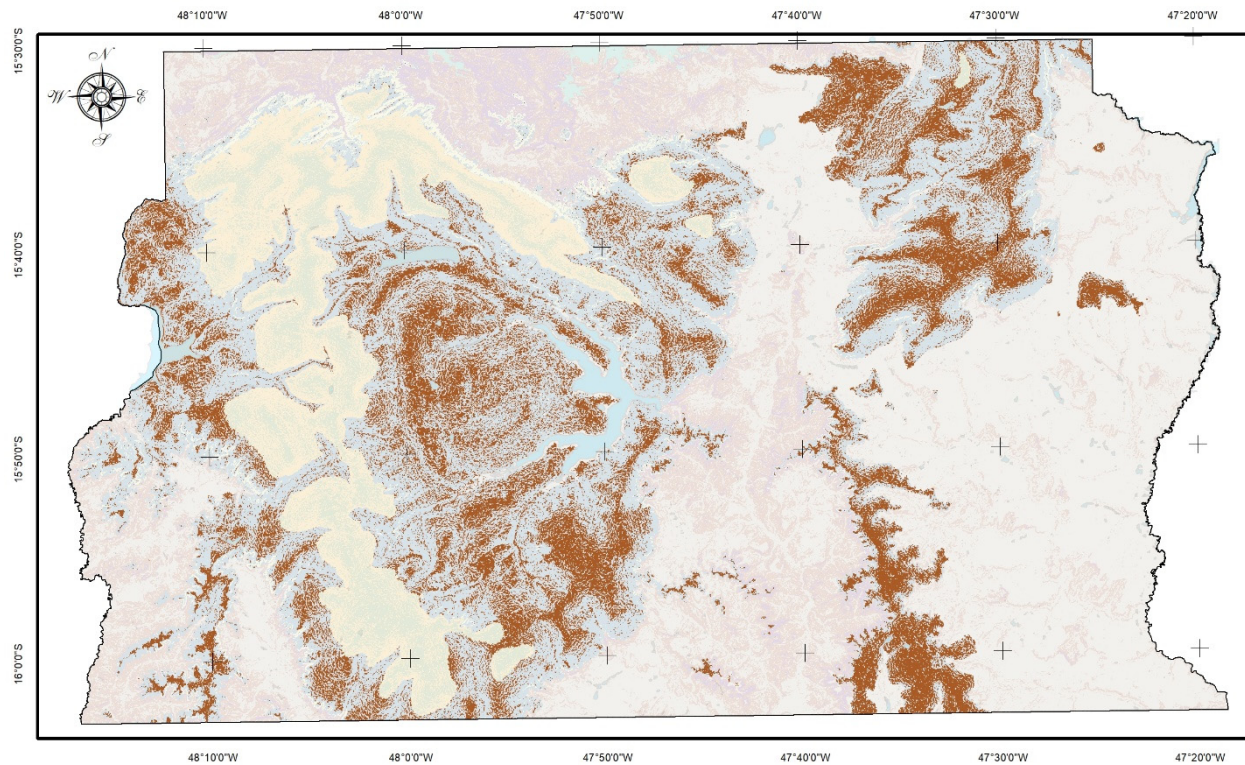


C - Orientação das Vertentes

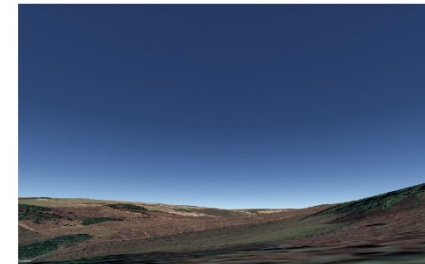


D - Formas das Vertentes

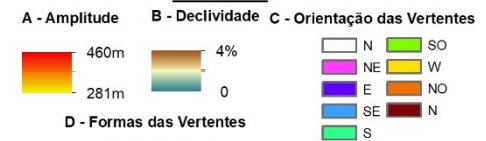




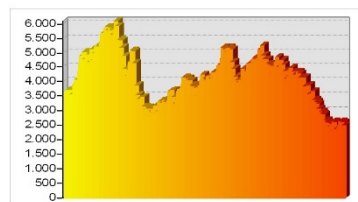
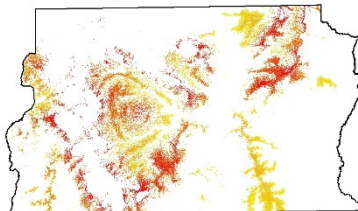
CÔMOROS - PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS



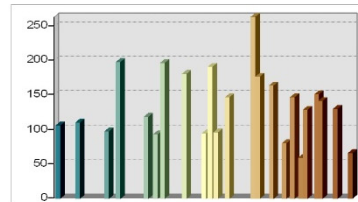
LEGENDA



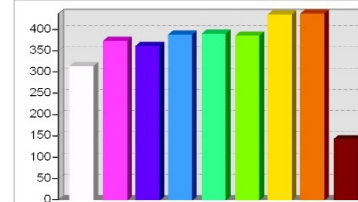
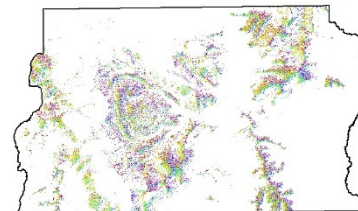
A - Amplitude



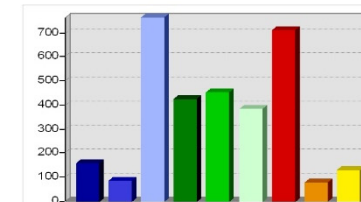
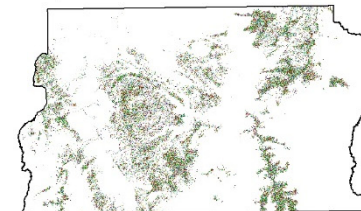
B - Declividade

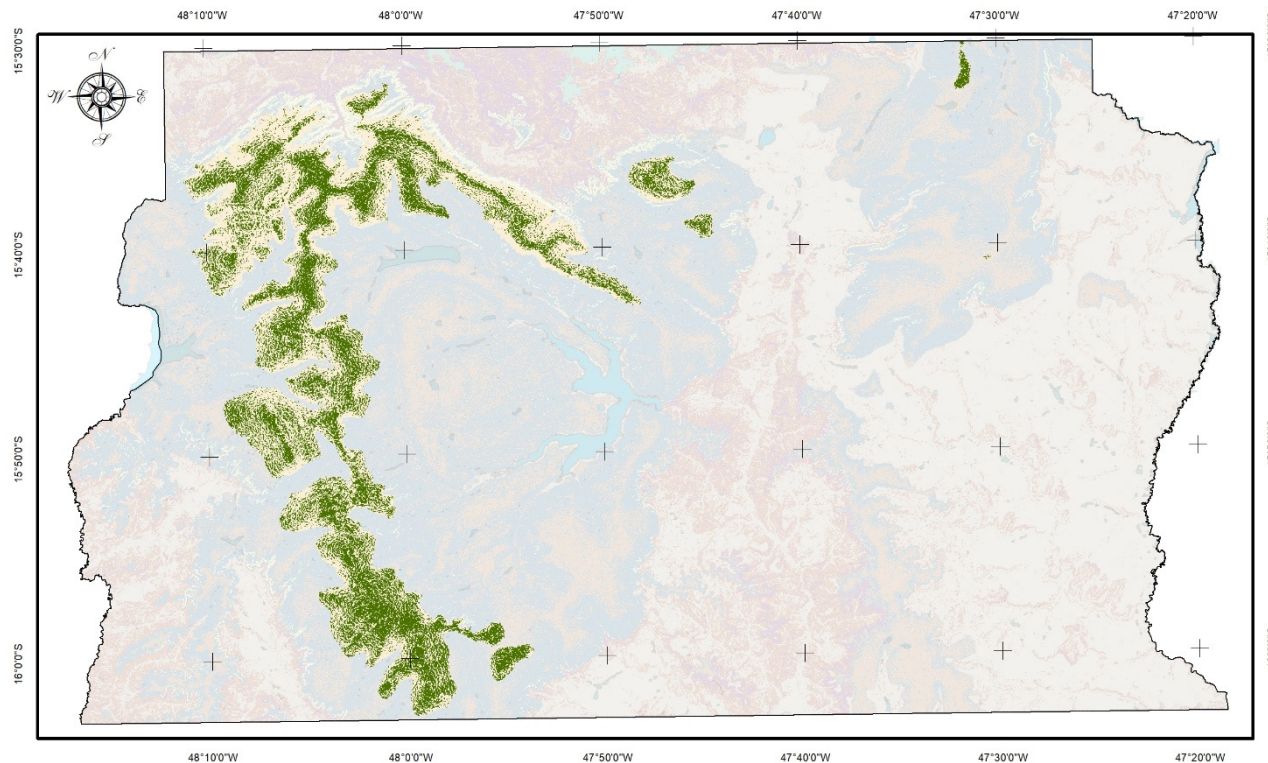


C - Orientação das Vertentes

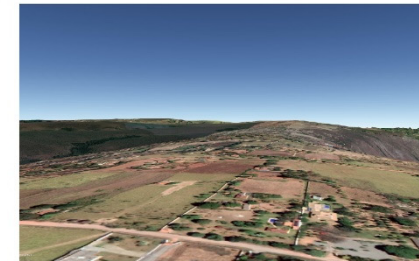


D - Formas das Vertentes

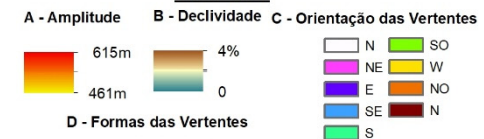




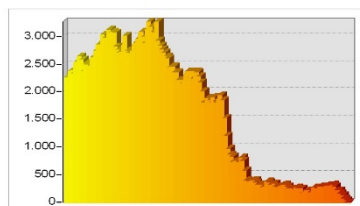
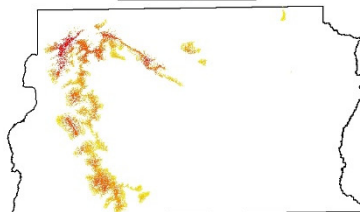
PLATÔ - PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS



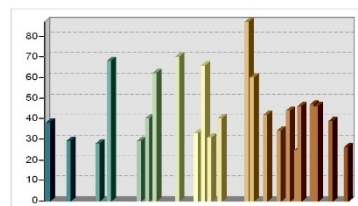
LEGENDA



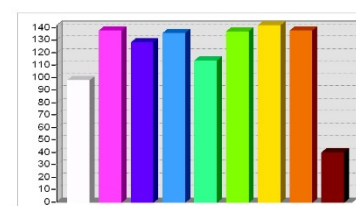
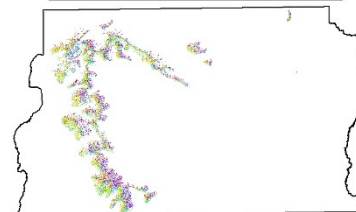
A - Amplitude



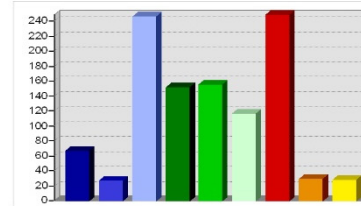
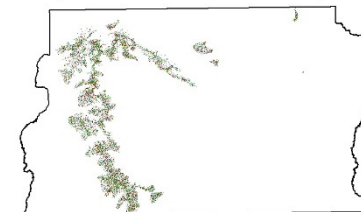
B - Declividade

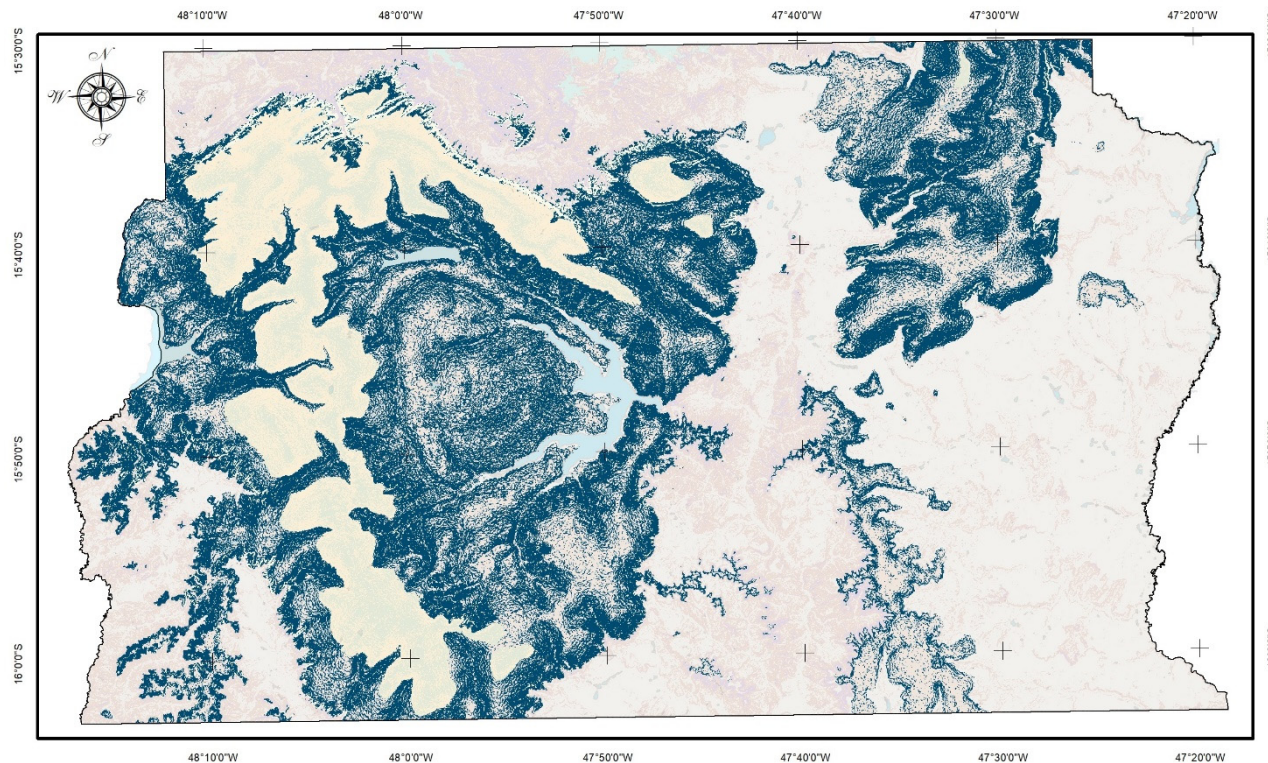


C - Orientação das Vertentes



D - Formas das Vertentes

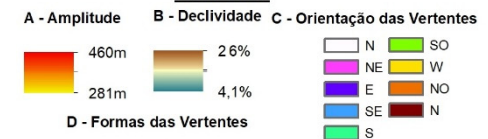




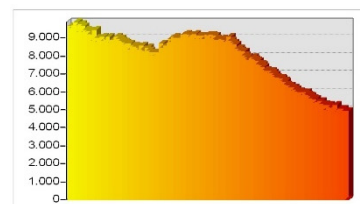
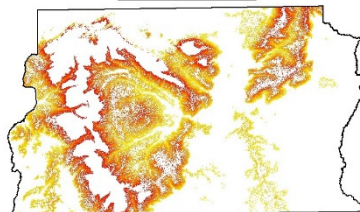
CÔMOROS DISSECADOS - PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS



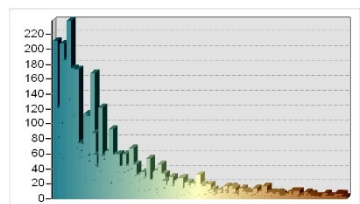
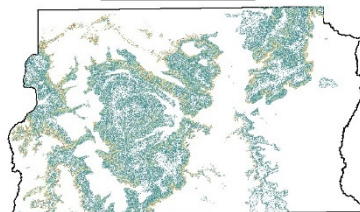
LEGENDA



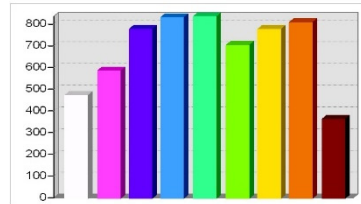
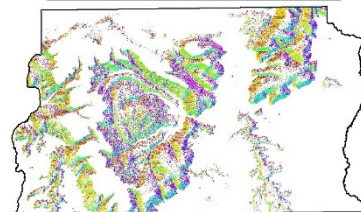
A - Amplitude



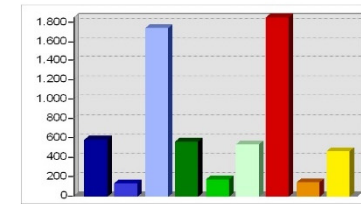
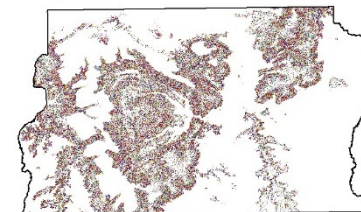
B - Declividade

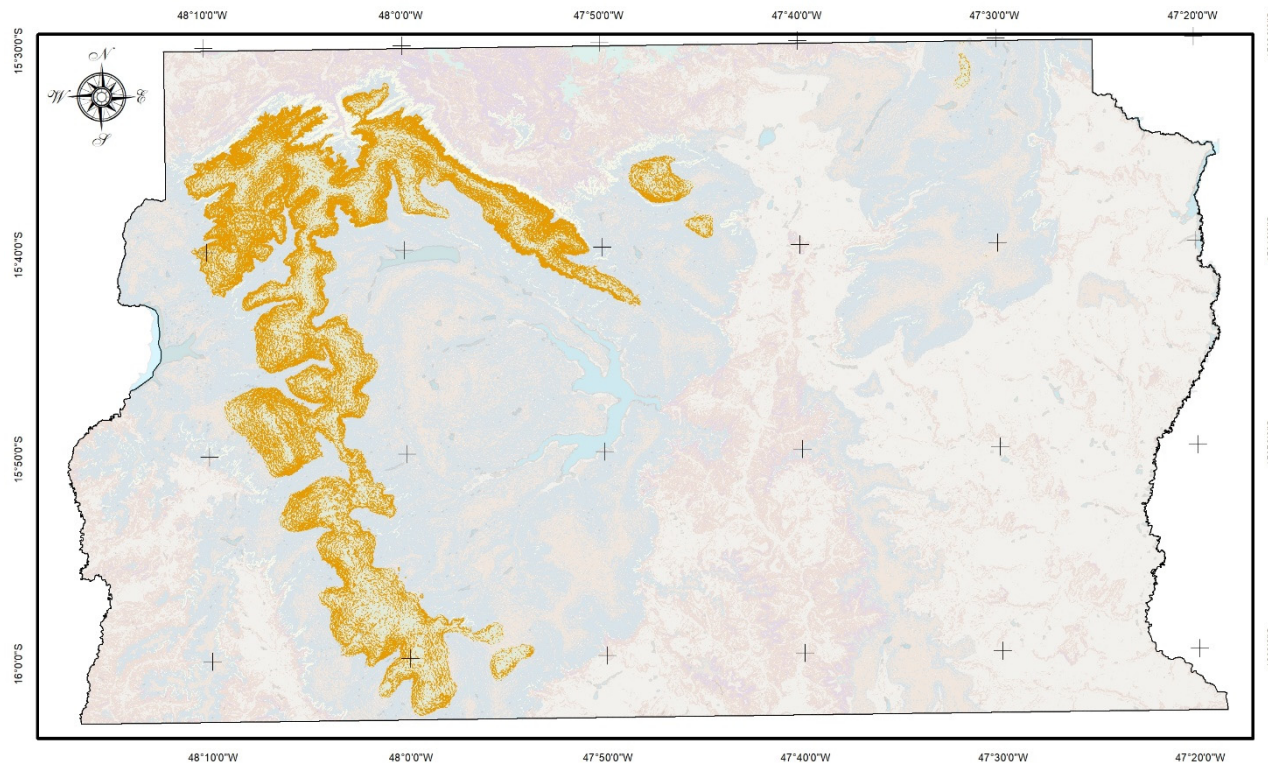


C - Orientação das Vertentes

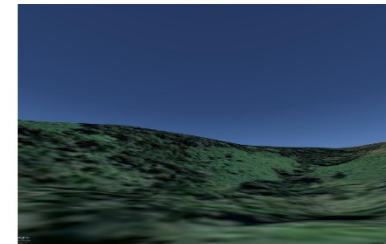


D - Formas das Vertentes

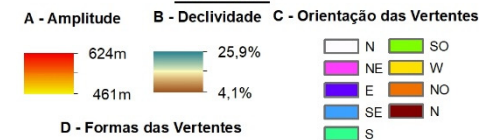




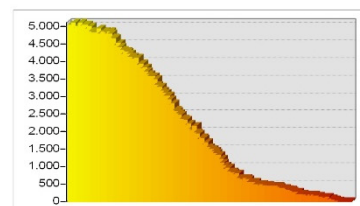
PLATÔ DISSECADO - PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS



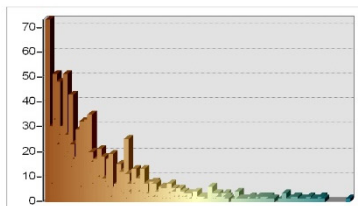
LEGENDA



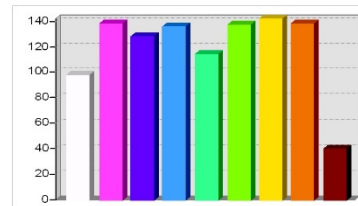
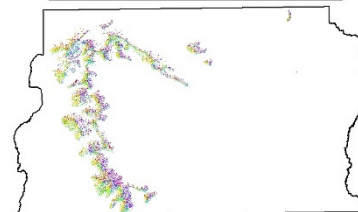
A - Amplitude



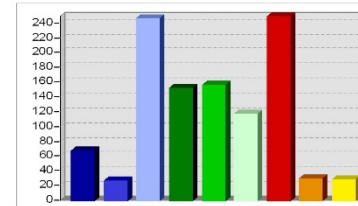
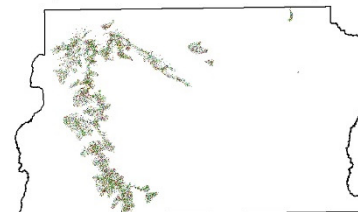
B - Declividade

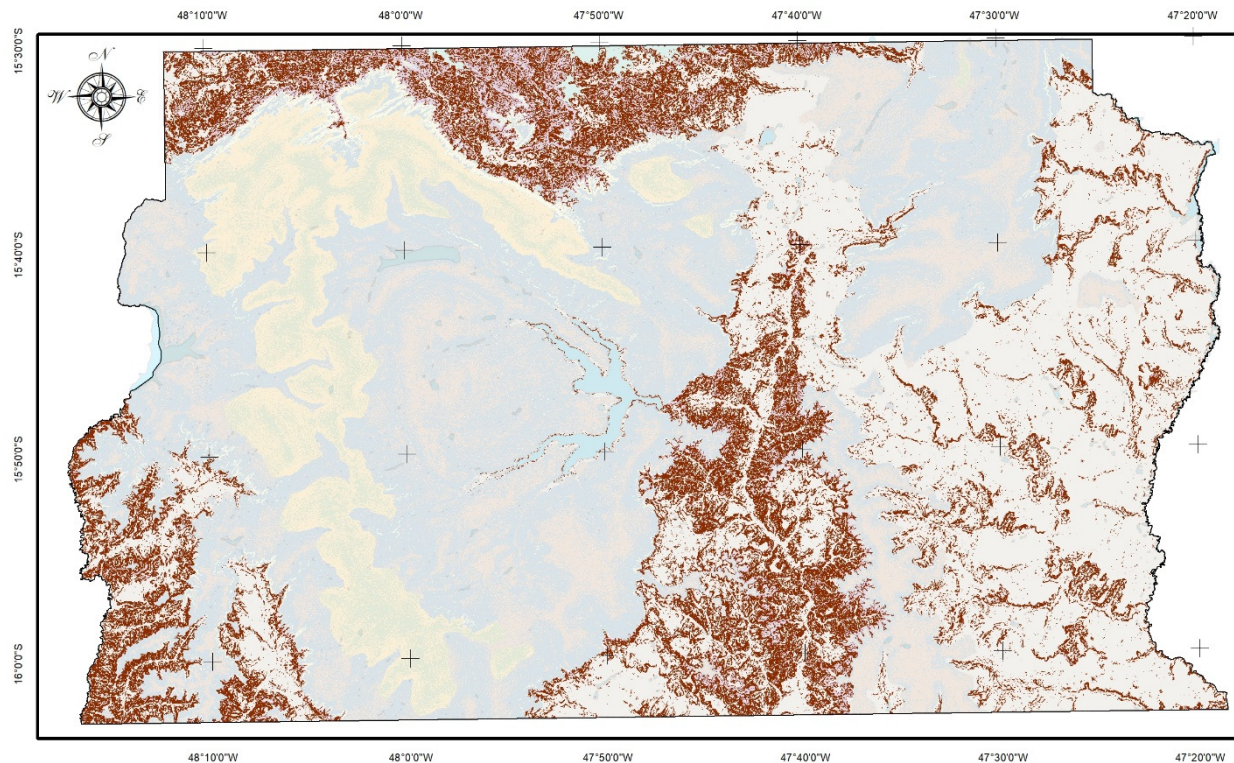


C - Orientação das Vertentes

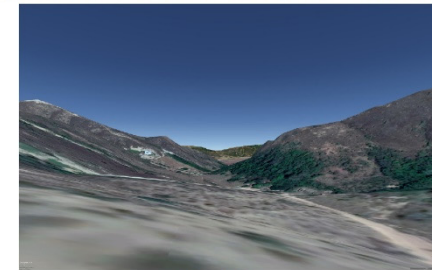


D - Formas das Vertentes



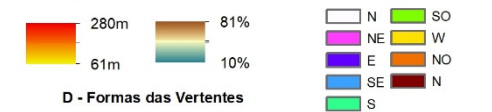


MORROTES - PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS

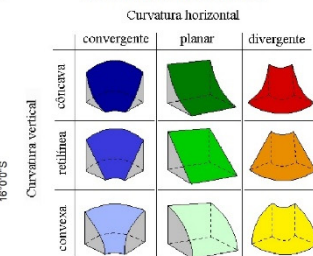


LEGENDA

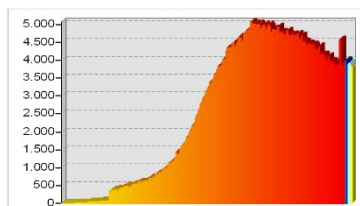
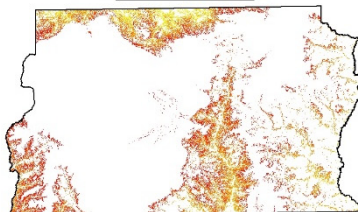
A - Amplitude B - Declividade C - Orientação das Vertentes



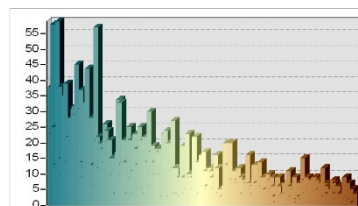
D - Formas das Vertentes



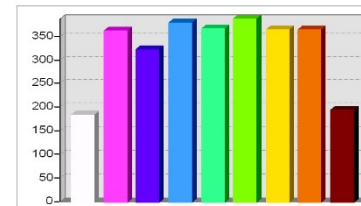
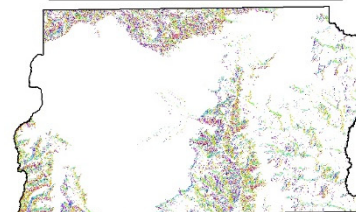
A - Amplitude



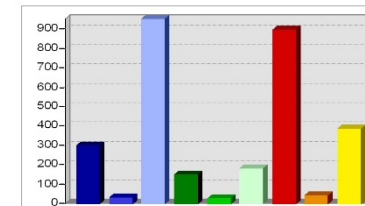
B - Declividade

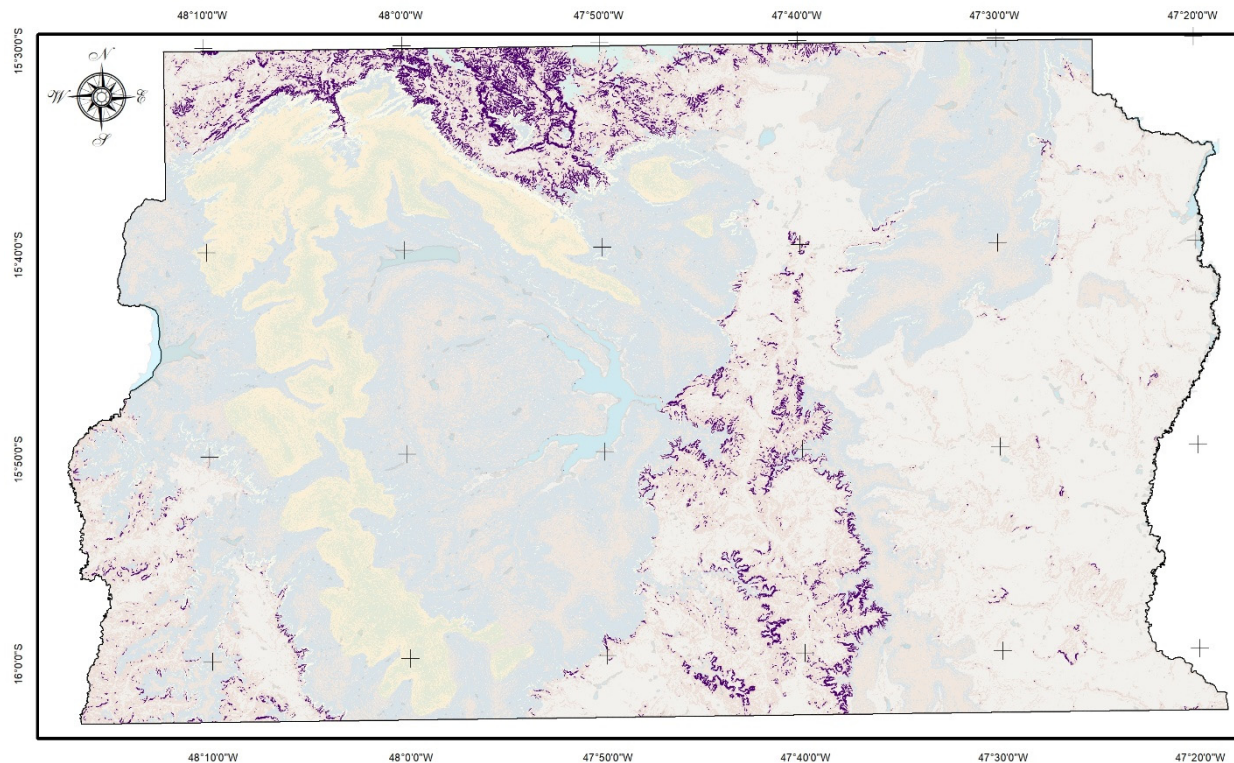


C - Orientação das Vertentes

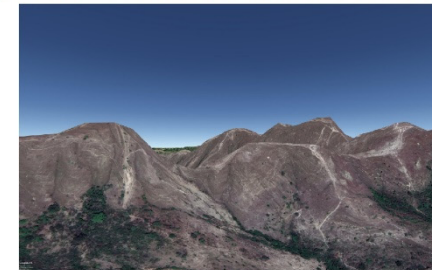


D - Formas das Vertentes

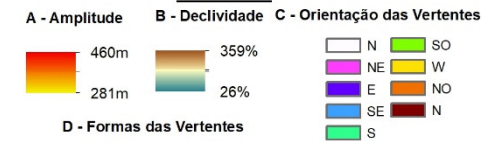




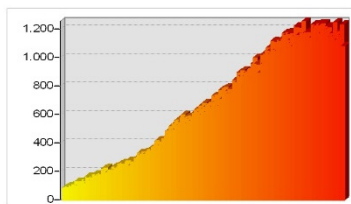
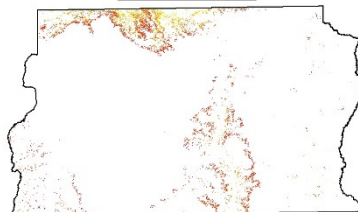
MORROS - PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS



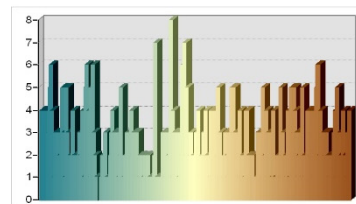
LEGENDA



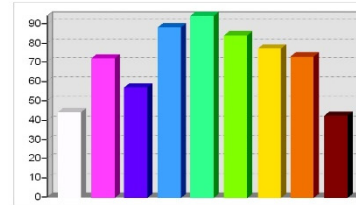
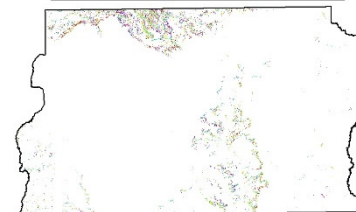
A - Amplitude



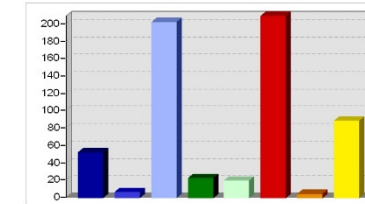
B - Declividade

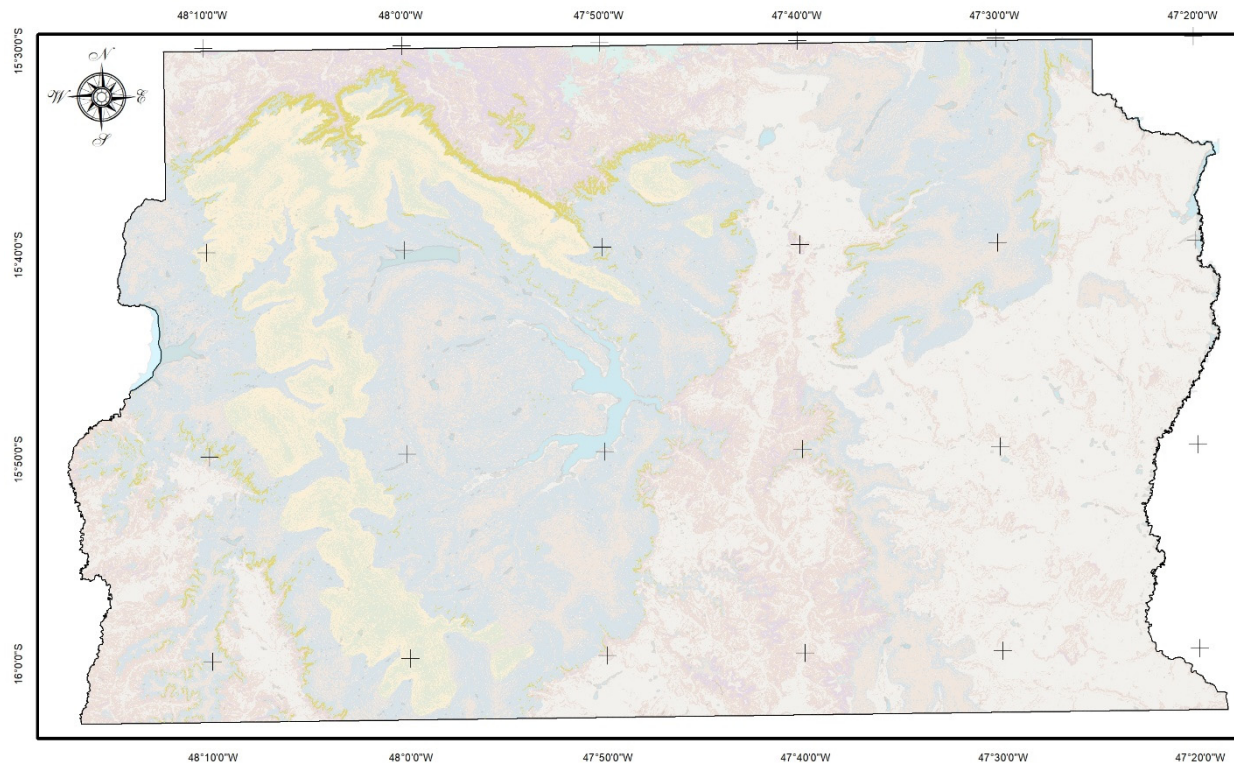


C - Orientação das Vertentes

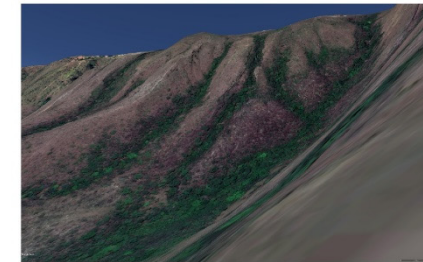


D - Formas das Vertentes



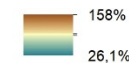
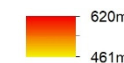


ESCARPAS - PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS

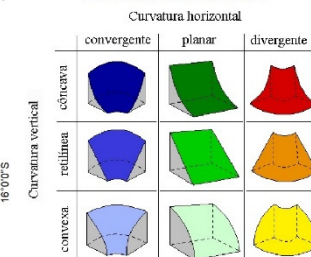


LEGENDA

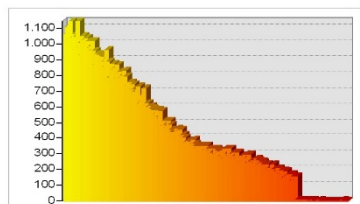
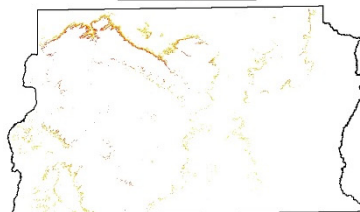
A - Amplitude B - Declividade C - Orientação das Vertentes



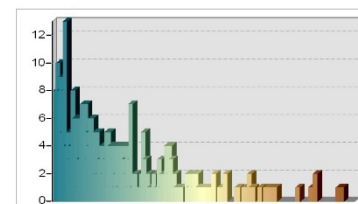
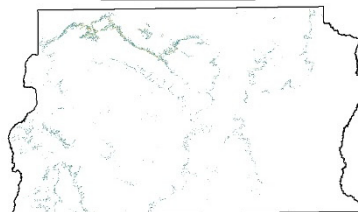
D - Formas das Vertentes



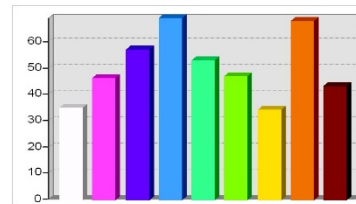
A - Amplitude



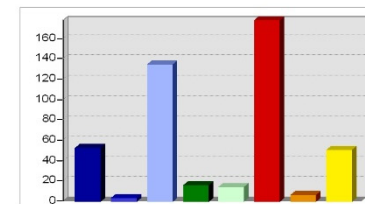
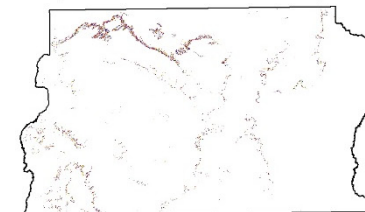
B - Declividade



C - Orientação das Vertentes



D - Formas das Vertentes



Sobre o Autor



Possui graduação em Geografia, Bacharelado e Licenciatura, pela Universidade Federal de Goiás, especialização em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto pela Universidade de Brasília, mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Goiás e doutorado em Geociências Aplicadas pela Universidade de Brasília. Atualmente é professor do Instituto Federal de Brasília - IFB. Fundador do Laboratório ATLAS – Laboratório de Geociências e Ciências Humanas e responsável pela criação da Licenciatura em Geografia no IFB, a primeira licenciatura plena em geografia em uma instituição pública no Distrito Federal.

ISBN: 978-65-6074-020-4

CD



9 786560 740204

O Objetivo do Atlas Geomorfológico do Distrito Federal é apresentar, de forma pioneira, a representação da morfologia do relevo, em nível de detalhe. A partir de parâmetros Geomorfométricos, o mapeamento geomorfológico foi desenvolvido fazendo uso de um método inovador, que permite a quebra de paradigmas a métodos tradicionais e possibilita uma interpretação mais factual das feições geomorfológicas.

O livro possibilita um entendimento histórico das linhas epistemológicas, seguidas no mundo e no Brasil, do mapeamento geomorfológico e as perspectivas a serem seguidas para representação do modelado terrestre, além de abordar o panorama histórico da representação do relevo do Distrito Federal.

E por fim, o Atlas Geomorfológico - Arquétipos Geomorfométricos do Distrito Federal, propicia uma imersão prática aos estudantes e pesquisadores da área, ao trazer em seu apêndice um tutorial para aplicação do método de mapeamento geomorfológico, nas mais diversas áreas do território nacional.



MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO

