

EMPREGO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO PRETO

**Maria Elisabete Silveira Borges¹, Osmar Abílio de Carvalho Junior¹,
Éder de Souza Martins², Gustavo Felipe Balué Arcoverde¹, Renato
Fontes Guimarães¹ & Roberto Arnaldo Trancoso Gomes¹.**

¹UnB – Universidade de Brasília – Departamento de Geografia
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil.

elisabete_silveira@yahoo.com.br

{osmarjr, renatofg, robertogomes}@unb.br

gustavoarco@gmail.com

²EMBRAPA – CPAC – Departamento de Solos

eder@cpac.embrapa.br

Recebido 14 de julho de 2007, revisado 25 de setembro, aceito 27 de outubro

RESUMO – Os Modelos Digitais de Terreno (MDT) e os Sistemas de informações Geográficas (SIG) são empregados para compreender as relações geográficas e os dados espaciais. Os atributos de terreno derivados do SIG permitem estabelecer variáveis, composições e critérios sobre os padrões espaciais de acordo com a organização da paisagem. O mapeamento geomorfométrico permite representar as unidades geomorfológicas por atributos numéricos e pela sua distribuição espacial. O presente trabalho tem como objetivo mapear as unidades geomorfológicas na bacia do rio Preto. A metodologia consiste dos seguintes passos: (a) elaboração do MDT a partir dos mapas topográficos (escala de 1:100.000) em formato digital, (b) geração de mapas morfométricos (declividade, direção de fluxo e fluxo acumulado), (c) processamento de imagens digitais morfométricas como composição colorida e manipulação de contraste, (d) análise do histograma de frequência dos atributos de terreno, (e) definição das classes baseadas no critério da geomorfometria, fatiando o domínio de cada atributo em intervalos definidos, (f) validação das unidades pela análise visual de imagem Landsat. A paisagem foi dividida em cinco unidades geomorfológicas e suas respectivas

subunidades: Planalto (Topos, Vales Intraplanálticos); Planalto Dissecado (Silicáticos, Cársticos); Cristas de Unaí (Serras, Depressões); Terraços (Superior, Inferior); Planície Fluvial. Constata-se uma íntima relação entre as formas do relevo com os condicionantes geológicos e pedológicos regionais.

Palavras-Chave: paisagem, morfometria, compartimentação geomorfológica, geoprocessamento

ABSTRACT – Digital Elevation Models (DEM) and Geographical Information Systems (GIS) analysis have been utilized for understanding geographical relationships and modeling spatial data. The GIS-derived terrain attributes allow to determinate variables, compositions and criteria on spatial patterns according to landscape organization. Geomorphometric mapping enable to represent the geomorphologic units by numerical attributes and by their spatial distribution. This paper aims at geomorphologic units mapping in the basin of the Preto River. The methodology consists of the following steps: (a) DEM elaboration from topographical maps (1:100.000 scale) in digital format; (b) morphometric maps generation (slope, flow direction and contributing area); (c) digital morphometric image processing like color compositions and manipulation of contrast; (d) histogram frequency analysis of terrain attributes; (e) definition of classes on the basis of geomorphometric criteria, slicing the domain of each attribute to related intervals; (f) unit validation by visual interpretation of Landsat image. The landscape was decomposed to five geomorphologic: Plateau (Tops, Intraplateau Valleys); Dissected Plateau (Silicatic, Karstic); Unaí Crests (Mountain Ranges, Depressions); Terraces (Upper, Lower); Alluvial Plain. It is noticeable a close relation between the relief forms and the regional geology and pedology.

Keywords: digital elevation model, geomorphology, landscape, morphometry, digital image processing

INTRODUÇÃO

A dificuldade de estabelecer um arranjo que descreva toda a complexidade do relevo tem proporcionado o desenvolvimento de inúmeros métodos para sua descrição e análise (Evans, 1984; Evans e McClean, 1995). Dentre os procedimentos destaca-se a análise morfométrica do relevo pelo uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esta abordagem tem sido amplamente utilizada para a caracterização dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ambientais (Moore *et al.*, 1991; Schmidt and Dikau, 1999).

O SIG permite descrever a complexidade dos processos ambientais em diversos níveis de relação, simplificação, generalização e abstração. Desta forma, essa ferramenta permite integrar os diferentes elementos formadores da paisagem que contribuem para a modelagem do relevo como geologia, pedologia e clima. Além disso, o SIG permite estabelecer relações dos fatores geomorfológicos com os fatores antrópicos contribuindo para o planejamento ambiental e de uso do solo (Caseti, 1981; Christofolletti, 2001; Pinto, 1993). Desta forma, observa-se um aumento crescente do emprego do SIG nos estudos geomorfológicos devido às suas facilidades metodológicas (Butler & Walsh, 1998; Diaku & Saurer, 1999; Lane *et al.*, 1998; Wilson & Gallant, 2000).

No propósito de descrever espacialmente a paisagem destaca-se o emprego de dados provenientes de Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de seus atributos morfométricos. Essa abordagem permitir compreender a organização da paisagem e inferir sobre o comportamento de outros parâmetros como as características climáticas (Daly, 1994; Hutchinson *et al.*, 1983), os atributos dos solos (Bell *et al.*, 1994; Chaplot *et al.*, 2000, Gessler *et al.*, 1995; Lee *et al.*,

1988; Moore *et al.*, 1993) e a distribuição da vegetação e organização de habitats (Gottfried *et al.*, 1988; Guisan *et al.*, 1998; Hill, 1991; Jelaska *et al.*, 2003).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estabelecer as unidades e subunidades geomorfológicas na Bacia do rio Preto, utilizando o processamento digital de dados morfométricos.

ÁREA DE ESTUDO

O rio Preto é uma sub-bacia do rio Paracatu e um importante tributário do São Francisco, localizado a leste do Distrito Federal, na fronteira com os Estados do Goiás e de Minas Gerais (**Figura 1**), cuja cabeceira ocorre no município de Formosa (GO). Na bacia do rio Preto predomina a atividade agropecuária, com uso intensivo dos recursos hídricos em sistemas de irrigação de grande porte, sendo uma das principais produtoras de grãos e hortaliças para o DF e entorno.

A bacia apresenta clima tropical, onde as variações térmicas são pequenas, com o regime pluviométrico caracterizado por máximos no verão e mínimos no inverno. Apresentam totais anuais de precipitação decrescendo de 1600 mm a 1000 mm, no sentido oeste-leste e chuvas concentradas nos meses de outubro a abril (PLANPAR, 1998).

As rochas que ocorrem na bacia são compostas por filitos, ardósias, quartzitos, metassiltitos, calcários e dolomitos da Formação Vazante, Grupo Canastra, Grupo Paranoá e Grupo Bambuí, além de coberturas detríticas e lateríticas do Cenozóico (Schobbenhaus, 1984; Scislewski *et al.*, 2003). As rochas ocorrem como intercalações de metassedimentos clásticos finos e arenosos com lentes de calcário. A Formação Vazante é composta basicamente por sericita xisto, quartzo-

sericita xisto, calcita-clorita-sericita xisto e quartzo-sericita-clorita xisto. O Grupo Paranoá na bacia abrange, especialmente nos relevos planálticos, a unidade Rítmica Quartzítica Intermediária formada por quartzitos feldspáticos friáveis finos a muito finos, que evoluem ao topo, para uma alternância de laminações siltico-argilosas, metassiltito e metargilitos com intercalações de quartzitos finos a médios classificados como ritmitos. O Sub-Grupo Paraopeba, pertencente ao Grupo Bambuí, é constituído por siltitos e argilitos de coloração cinza-esverdeada a avermelhado, às vezes calcíferos, lentes de calcário e intercalações de arenito arroxeadado. Os depósitos da era Cenozóica são formados pela cobertura detrítico-lateríticas, por terraços antigos e planície fluvial ativa (Scislewski *et al*, 2003).

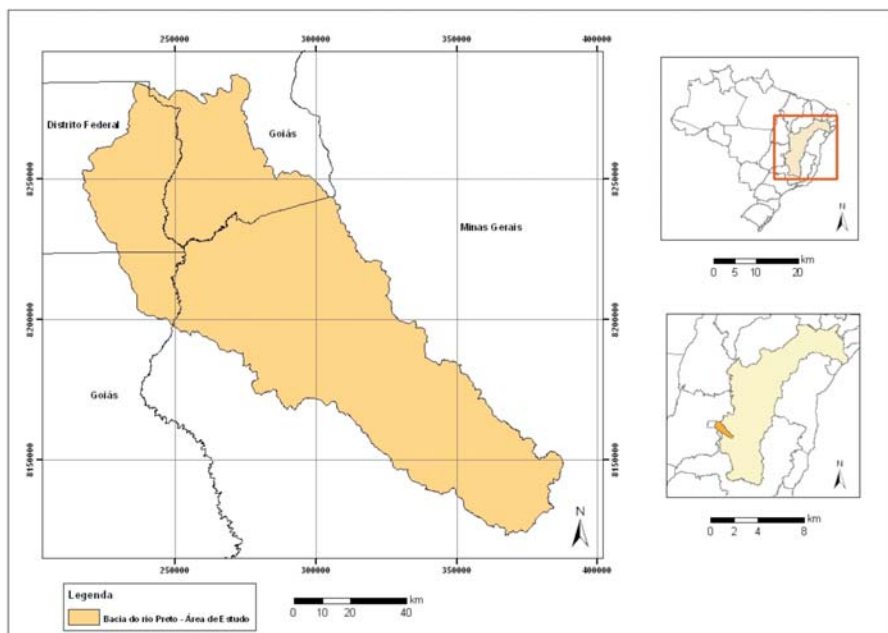


Figura 1 - Localização da bacia do rio Preto.

As classes de solos predominantes na área são os Latossolos, Argissolos, Neossolos e Cambissolos (EMBRAPA, 1999). A ocorrência das feições cársticas

ocorre nas áreas dissecadas, sobre a Formação Vazante, em contato com o Grupo Canastra e os solos que estão presentes nessas feições são principalmente os Cambissolos, Nitossolos, Neossolos Litólicos e Latossolos Vermelhos.

A geomorfologia da bacia do rio Preto descrita por outros autores apresenta as seguintes unidades (PLANPAR, 1998): Planalto do São Francisco, Cristas de Unaí e Depressão Sanfranciscana. Os planaltos são representados por superfícies tabulares ou chapadas. As cristas são alinhamentos orientados na direção NNW-SSE, entre as quais se intercalam zonas rebaixadas e aplainadas com feições cársticas. A Depressão Sanfranciscana é uma área rebaixada e aplainada com cotas variando entre 400 m e 600 m. As paisagens cársticas da região são típicas e apresentam um sistema hidrológico predominantemente subterrâneo de característica criptorreica e com formação de cavernas (Bigarella, 1996).

METODOLOGIA

O emprego da morfometria constitui uma importante ferramenta de estudo de bacias hidrográficas e na análise de vertentes (Gyle, 1961; Horton 1945; Strahler, 1952; Schumm, 1956; Melton, 1958). O advento de análises computacionais de dados geomorfológicos permitiu um aprimoramento de métodos para a compreensão dos fenômenos ocorrentes na superfície terrestre (Chorley, 1972; Davis, 1973). Conjuntos de informações gerados por dados morfométricos possibilita determinar com melhor precisão as unidades geomorfológicas (Miliarensis, 2001; Yamada, 1999).

Na região do Brasil Central o emprego de processamento digital de imagens morfométricas tem sido amplamente utilizado para a compartimentação

geomorfológica e pedológica (Leal *et al.*, 2003; Hermuche *et al.* 2002, 2003ab, Oliveira *et al.*, 2005; Panquestor *et al.*, 2002).

As técnicas de processamento digital empregadas nas imagens morfométricas foram: (a) composição colorida e manipulação de contraste para realçar os padrões de relevo; (b) análise estatística dos atributos de terreno; e (c) comparação com as informações existentes sobre a geologia, pedologia e geomorfologia da área.

Confecção do Modelo Digital de Terreno e dos Atributos de Terreno

O MDT foi confeccionado a partir da base cartográfica na escala 1:100.000, em formato digital, cedida pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), contendo curvas de nível, pontos cotados e hidrografia. Esses dados foram corrigidos e posteriormente interpolados pelo módulo TOPOGRID do programa ArcInfo. Esse procedimento emprega o algoritmo desenvolvido por Hutchinson (1989) com a finalidade de criar um MDT para estudos hidrológicos. O algoritmo foi elaborado para produzir um MDT acurado que contenha as propriedades das drenagens e a os dados de direção de fluxo. O procedimento conjuga tanto o esforço de manter as características hidrográficas, a remoção de artefactos relativos a pontos de depressões ou de elevações inexistentes e uma técnica de interpolação por diferenças finitas (Hutchinson, 1989). O MDT foi gerado com uma resolução espacial de 25 metros (**Figura 2**). A partir do MDT foram gerados os parâmetros morfométricos: declividade, direção de fluxo e área de contribuição com mesma resolução espacial.

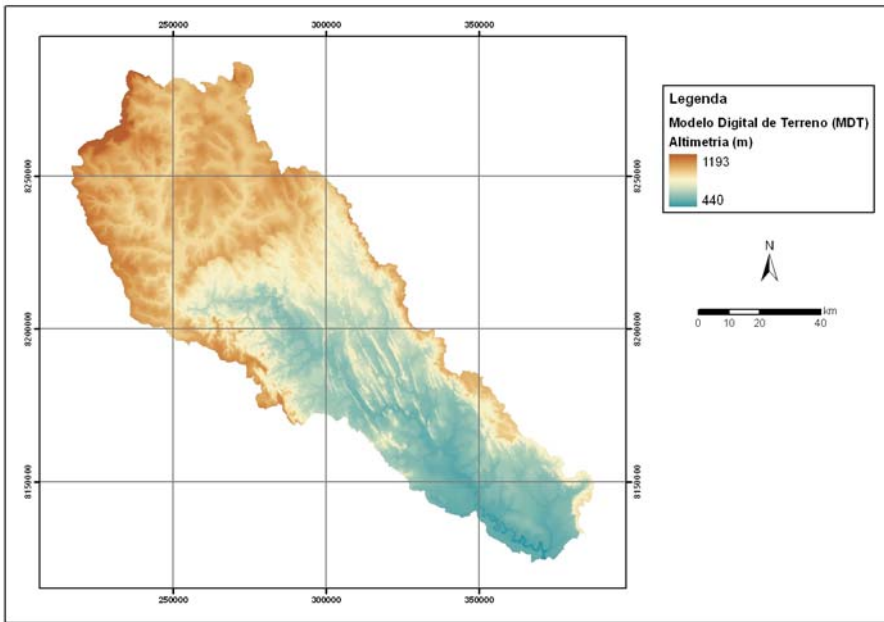


Figura 2 - Modelo Digital de Terreno da bacia do rio Preto.

Processamento Digital das Imagens Morfométricas

Técnicas de processamento digital de imagens como composição colorida e manipulação de contrastes permitem realçar as feições e os distintos padrões do relevo, favorecendo uma posterior análise visual e uma melhor distinção das unidades.

A cor é um dos principais atributos do sistema visual humano, que consegue discernir algumas dezenas de milhares de cores diferentes. Os sistemas de monitores de computadores geram as cores a partir das três cores primárias (vermelho, verde e azul) que combinadas geram as demais cores do espectro visível. Desta forma, usando o princípio das cores primárias é possível representar quantitativamente qualquer cor como um grupo de três números ou coeficientes

expressa pela seguinte formulação:

$$\text{Cor} = r * R + g * G + b * B$$

Onde os valores R (vermelho), G (verde) e B (azul) consistem nas cores primárias, enquanto r, g, b são os coeficientes da mistura (entre 0 e 1). Esses coeficientes podem ser representados por eixos tridimensionais que configuram um cubo onde os três eixos correspondentes ao vermelho, verde e azul (Pratt, 1991). O programa livre RBG Cube permite a visualização desse espaço de cores (<http://www.couleur.org/index.php?page=rbgcube>) (**Figura 3**).

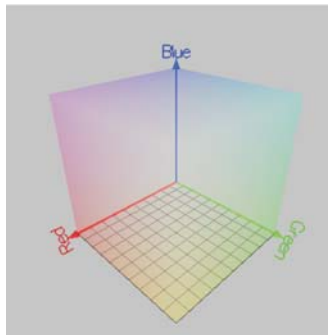


Figura 3 - Representação do Cubo referente ao espaço de cores RGB.

Desta forma, a composição colorida (constituída de três bandas) é uma poderosa forma de sintetizar, numa única imagem, uma grande quantidade de informação. A associação para cada canal de cor de uma imagem morfométrica permite definir padrões tonais e texturais que caracterizam ambientes distintos. No presente trabalho, combinações coloridas foram utilizadas com os seguintes parâmetros do terreno: MDT, direção de fluxo, declividade e área de contribuição.

Uma análise dos histogramas de frequência referentes aos atributos de terreno complementou a interpretação visual e permitiu delimitar as unidades

geomorfológicas realçadas pela técnica de composição colorida.

RESULTADOS

A composição colorida que melhor destacou as unidades do relevo foi à composta pelos parâmetros: MDT, declividade e área de contribuição (**Figura 4**). Nesta observa-se um forte contraste visual das unidades de relevo que adquirem padrões tonais e de texturas distintos favorecendo a identificação de unidades geomorfológicas pela interpretação visual.

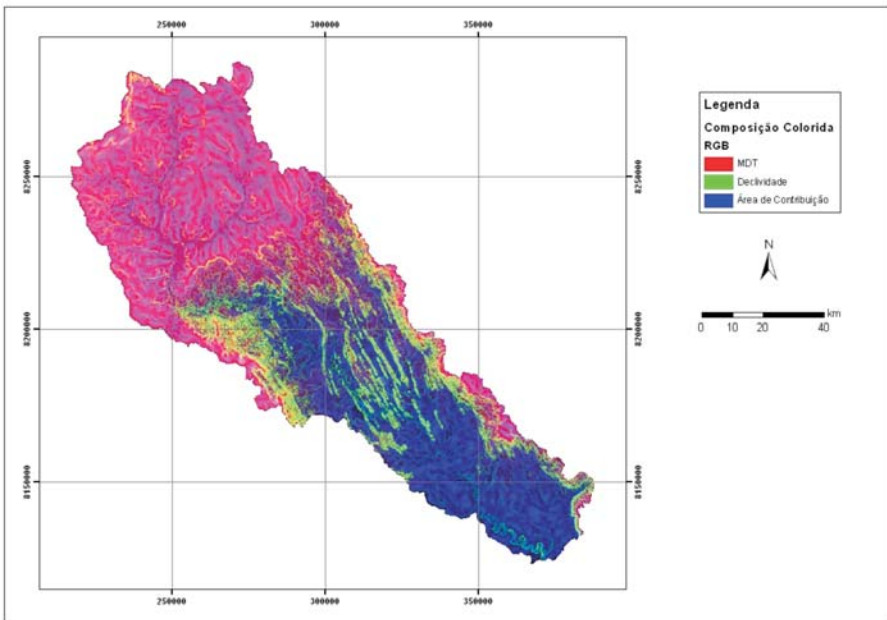


Figura 4 - Composição colorida (RGB): MDT, declividade e área de contribuição.

A técnica de composição colorida demonstra padrões que correspondem aos atributos físicos da bacia. A altimetria é identificada como o principal critério na delimitação das unidades geomorfológicas. Por meio da análise do histograma

de frequência do MDT é possível delimitar as unidades geomorfológicas a partir das frequências de ocorrências das altitudes. Inicialmente foram estabelecidas cinco unidades, com os seguintes intervalos: 440m a 505m, 505m a 600m, 600m a 650m, 650m a 845m e 845m a 1193m.

Após a delimitação dessas cinco unidades, realizou-se um estudo complementar por análise visual de imagem Landsat 7/ETM+ do ano de 2003 (**Figura 5**). A partir desse procedimento pode-se verificar os limites das feições morfométricas aprimorando a delimitação das unidades geomorfológicas do primeiro nível categórico. A delimitação do segundo nível categórico foi estabelecida a partir das singularidades do primeiro nível reconhecíveis pela análise do MDT e da imagem Landsat.

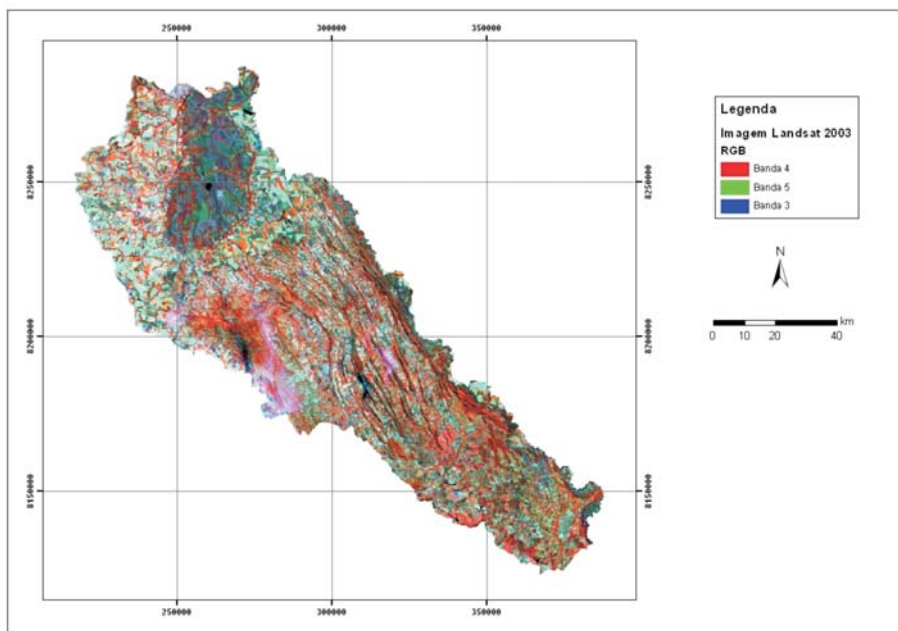


Figura 5 - Imagem Landsat/ ETM+ referente ao ano de 2003 (RGB-453).

A interpretação visual da imagem permitiu contribuir para uma melhor definição das unidades geomorfológicas. Para cada unidade e subunidade foi realizada uma análise estatística da altimetria (**Tabela 1**). A **Figura 6** compara os histogramas de frequência dos dados altimétricos das unidades de relevo do primeiro nível hierárquico.

Tabela 1 - Análise estatística altimétrica das unidades e subunidades geomorfológicas.

Unidades Geomorfológicas	Altitude mínima (m)	Altitude máxima (m)	Média de frequência	Desvio Padrão
PLANALTOS	823,4	1185,9	924,0	52,8
Topos	827,9	1185,9	962,3	47,5
Vales Intraplanáticos	823,4	1057,4	887,8	24,2
PLANALTO DISSECADO	555,6	1002,3	772,5	79,8
Silicáticos	646,0	1002,3	829,5	53,3
Cárstico	555,6	804,8	700,8	39,3
CRISTAS DE UNAÍ	511,0	1005,0	693,1	98,6
Serras	532,0	1005,0	787,2	60,3
Depressões	511,0	764,1	616,9	41,0
TERRAÇOS	502,9	817,8	559,4	38,3
Superior	568,2	817,8	608,5	36,2
Inferior	502,9	589,0	541,6	18,1
PLANÍCIE FLUVIAL	440,0	559,4	494,2	21,8

Desta forma foram definidas as seguintes unidades geomorfológicas no primeiro e segundo níveis categóricos (**Figuras 7 e 8**): Planalto (Topos e Vales

Intraplanálticos), Planalto Dissecado (Silicático e Cárstico), Cristas de Unai (Serras e Depressões), Terraços (Superiores e Inferiores) e Planície Fluvial.

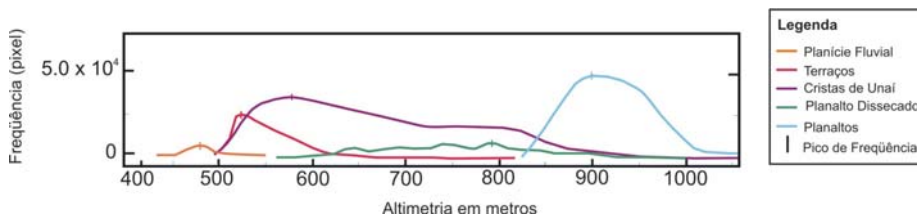


Figura 6 - Análise da frequência de ocorrência das altitudes das unidades geomorfológicas.

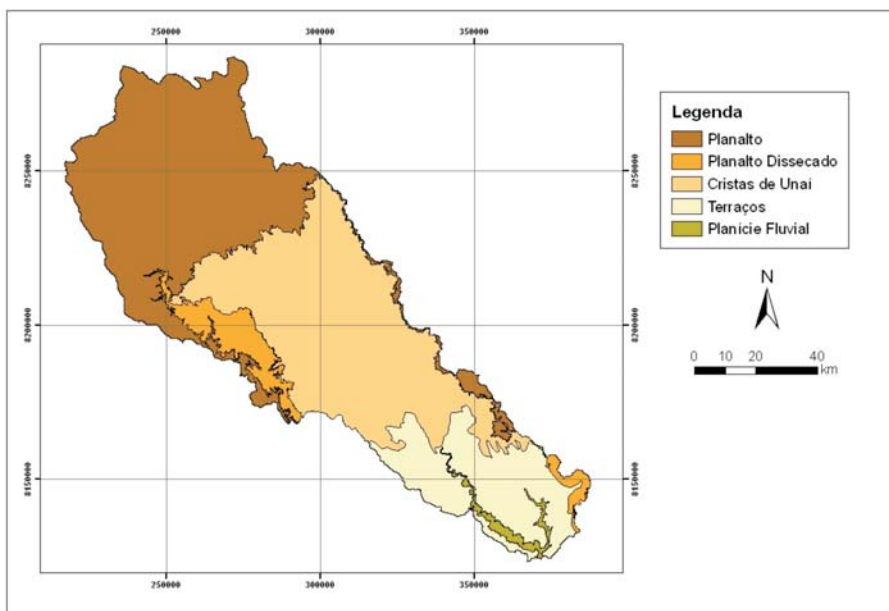


Figura 7 - Compartimentação geomorfológica em primeiro nível da bacia do rio Preto.

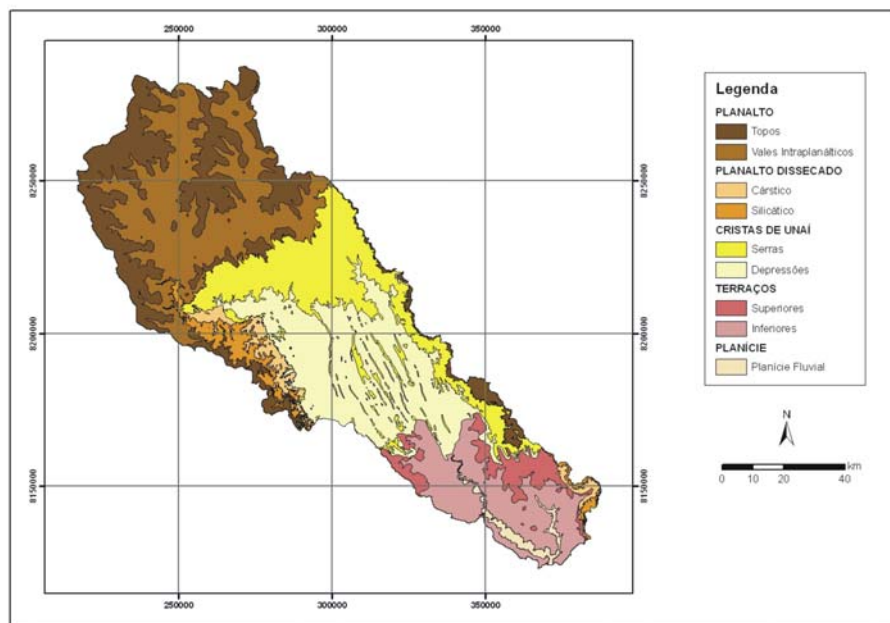


Figura 8. Compartimentação geomorfológica em segundo nível da bacia do rio Preto.

As características dos padrões dessas unidades podem ser descritas considerando a natureza geológica e pedológica.

PLANALTO

A unidade Planalto é definida por superfícies de aplainamento levemente sulcadas por uma rede de drenagem de baixa densidade (Dantas, 2003), e apresenta altitude média de 1004,5m. As formas do relevo foram exemplificadas por um perfil topográfico da unidade em sua porção mais representativa (**Figura 9**). No perfil topográfico constata-se uma amplitude de 150m em uma extensão de 60.000m, mostrando a principal característica da unidade Planalto, que é o relevo plano a suave ondulado, apresentando declividade variando de 0 a 16 graus.

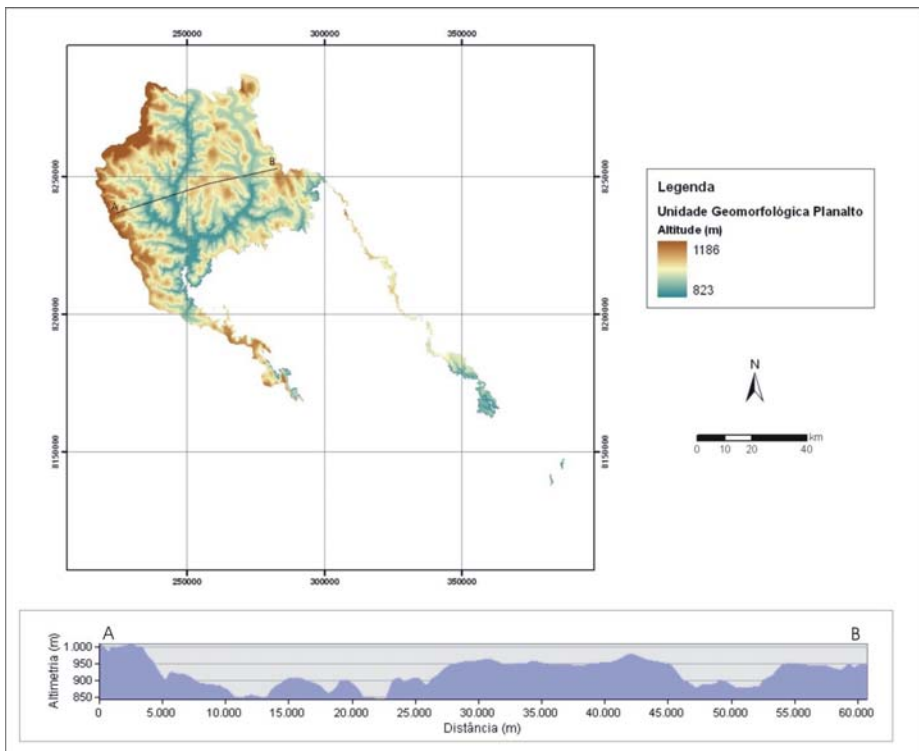


Figura 9 - MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Planalto.

Por ser uma unidade que possui uma extensa área plana, quase não apresenta acúmulo de fluxo. Os solos de maior ocorrência são Latossolos Vermelhos. Ocorrem também áreas com Latossolos Vermelho-Amarelos. Estes solos favorecem a drenagem subsuperficial e a infiltração. Os Cambissolos ocorrem nas vertentes associadas aos vales dos rios e, localmente, com ocorrências de Neossolos Litólicos. Esta unidade encontra-se sobre o Grupo Paranoá, Grupo Canastra e a cobertura detrito-laterítica. Observa-se que o histograma mostra altitudes mais frequentes no intervalo de 870 a 980m (**Figura 5**).

Subunidade Topos

Possui altitude média de 1006,9m. Esta subunidade constitui os interflúvios e caracteriza-se por substratos metassedimentares clásticos. Os solos que predominam nessa unidade são o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Vermelho.

Subunidade Vales Intraplanálticos

Possui altitude média de 940,4m. Esta subunidade é caracterizada por vales de pequeno grau de aprofundamento. Os solos que predominam nesta subunidade são os Cambissolos associados aos Neossolos Litólicos e Gleissolos. A organização dos vales é controlada principalmente por estruturas lineares das rochas, tais como fraturas e falhas. Esta subunidade mostra que as rochas metassedimentares clásticas apresentam pequena espessura e estão sobrepostas a lentes de calcário, que afloram em algumas porções dos vales.

PLANALTO DISSECADO

A unidade Planalto Dissecado é formada pela erosão lateral das chapadas e caracterizada pelo afloramento de saprólitos de rochas silicáticas e lentes de calcário. A rede de drenagem é do tipo dendrítica e definida pela dissecação de materiais isotropos e de baixa permeabilidade que formam os saprólitos argilosos. As feições cársticas ocorrem especialmente nas porções mais baixas, no contato entre os saprólitos e as lentes de calcário. A altitude média é de 778,5m e constata-se uma amplitude de 100m em perfil topográfico de 14.000m de extensão (**Figura 10**). Apresenta declividade variando de 12 a 50 graus. A partir da análise estatística observa-se que as maiores altitudes estão no intervalo de 643 a 837 metros (**Figura 5**).

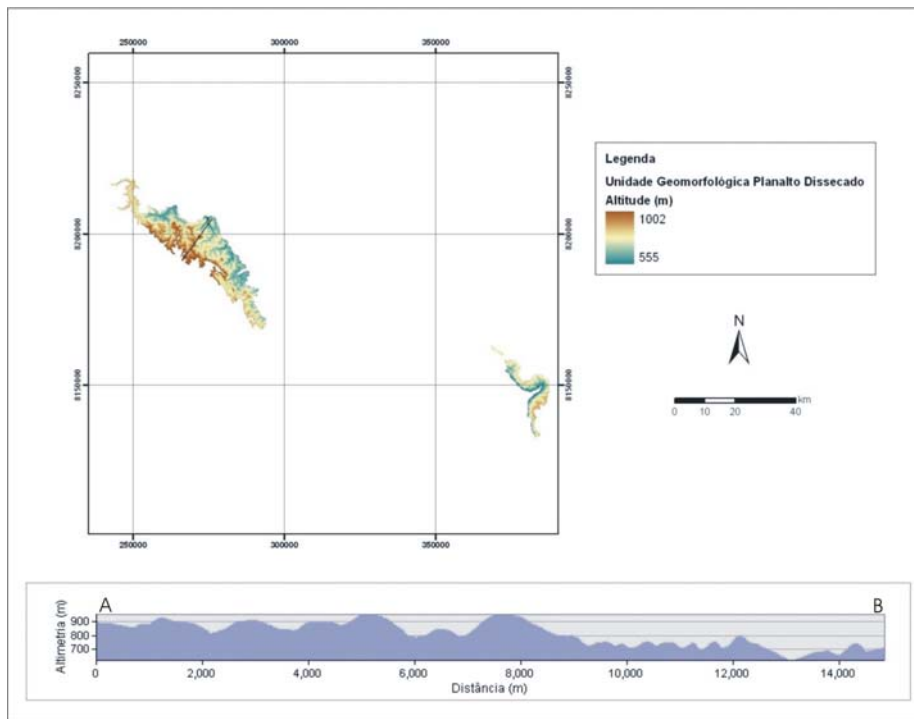


Figura 10 - MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Planalto Dissecado.

Os solos mais importantes são Cambissolos e Neossolos Litólicos em função da alta declividade. Há uma pequena ocorrência de Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo associados aos calcários.

Subunidade Planalto Dissecado Silicático

Representa as porções de Planalto sobre materiais silicático muito intemperizado e dissecado. Possui altitude média de 824,1m, nas porções mais elevadas da unidade Planalto Dissecado. Os solos que predominam nesta unidade são Cambissolo e Neossolo Litólico.

Subunidade Planalto Dissecado Cárstico

Ocorre na base da Unidade Planalto Dissecado e caracterizado por feições cársticas associadas à concentração do fluxo de águas das chapadas que percolam e dissolvem os calcários da Formação Vazante. Possui altitude média de 680,2m. Os solos que ocorrem nesta subunidade são Argissolo Vermelho e Neossolo Litólico. O Argissolo Vermelho ocorre em uma pequena área, a noroeste da subunidade.

CRISTAS DE UNAÍ

A unidade Cristas de Unaí é definida por uma série de serras de orientação NNW intercaladas com depressões. As camadas mostram mergulho forte para SSW. As serras são formadas principalmente por lentes de calcário, o que evidencia uma inversão de relevo, onde as rochas com mais facilidade ao intemperismo químico ocorrem nas porções mais elevadas. Apresenta com altitude média de 758m e, a partir da análise do perfil topográfico (**Figura 11**), constata-se que a unidade apresenta uma amplitude de 100m em uma extensão de 45.000m. Apresenta declividade predominante variando de 9 a 48 graus.

Os solos predominantes nas formações cársticas são os Cambissolos e Neossolos Litólicos, além de Argissolos e Nitossolos nas bases das encostas. O Latossolo Vermelho ocorre nessa unidade, mas nas depressões. Observa-se na análise estatística uma maior frequência de altitudes no intervalo de 525 a 850 metros (**Figura 5**).

Subunidade Serras

Representa os alinhamentos formados pelo contato entre lentes de calcário e rochas silicáticas. O relevo positivo das serras deve-se à acumulação de sílica

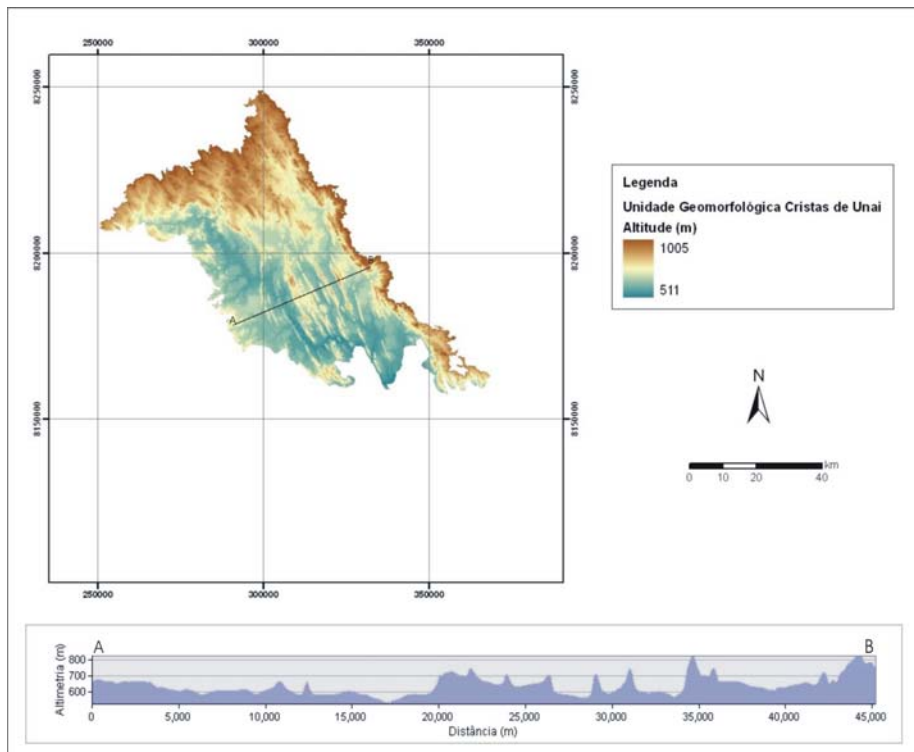


Figura 11 - MDT da unidade geomorfológica Cristas de Unai.

no contato entre esses materiais, o que aumenta a resistência ao intemperismo químico e físico. Possui altitude média de 768,5m, nas porções mais elevadas da unidade Cristas de Unai e conseqüente maior declividade nas vertentes das serras. Nas encostas das serras verifica-se a presença de feições cársticas sobre as rochas carbonáticas da Formação Vazante e Sub-Grupo Paraopeba. Os solos que predominam nesta unidade são Neossolos Litólicos e Cambissolos, além de Argissolos Vermelhos e Nitossolos nas encostas.

Subunidade Depressões

Caracterizada por porções relativamente planas e sobre materiais de origem

silicáticos que ocorrem entre as serras. Esta subunidade constitui a porção mais plana da unidade Cristas de Unai e mostra altitude média de 637,5m. Os solos que predominam são Neossolo Litólico, Cambissolos e Latossolos.

TERRAÇOS

Os Terraços são associados ao que foi designado por Dantas (2003) como pertencente à Depressão Sanfranciscana. Esta unidade é caracterizada por depósitos fluviais formados durante o Quaternário. Mostra altitude média de 659,5m e, a partir do perfil topográfico, constata-se que a unidade apresenta uma amplitude de 100m em uma extensão de 25.000m (**Figura 12**). Verifica-se que o padrão de relevo suave ondulado ao longo da unidade. Apresenta declividade variando de 0 a 4 graus, ocorrendo em pequenas áreas declividade de 31 graus, no contato entre depósitos de diferentes idades. Esta uma unidade apresenta elevada acumulação de fluxo.

Os solos que ocorrem em maior quantidade são os Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos. Observa-se na análise estatística que as frequências de altitudes estão no intervalo de 525 a 600 metros (**Figura 5**).

Subunidade Terraços Superiores

Esta subunidade representa as porções com depósitos fluviais mais antigos e mais elevados na unidade Terraços. Apresenta altitude média de 639m e relevo suave ondulado. Os solos que ocorrem nesta subunidade são Cambissolos, Latossolos Vermelhos, Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolos Litólicos.

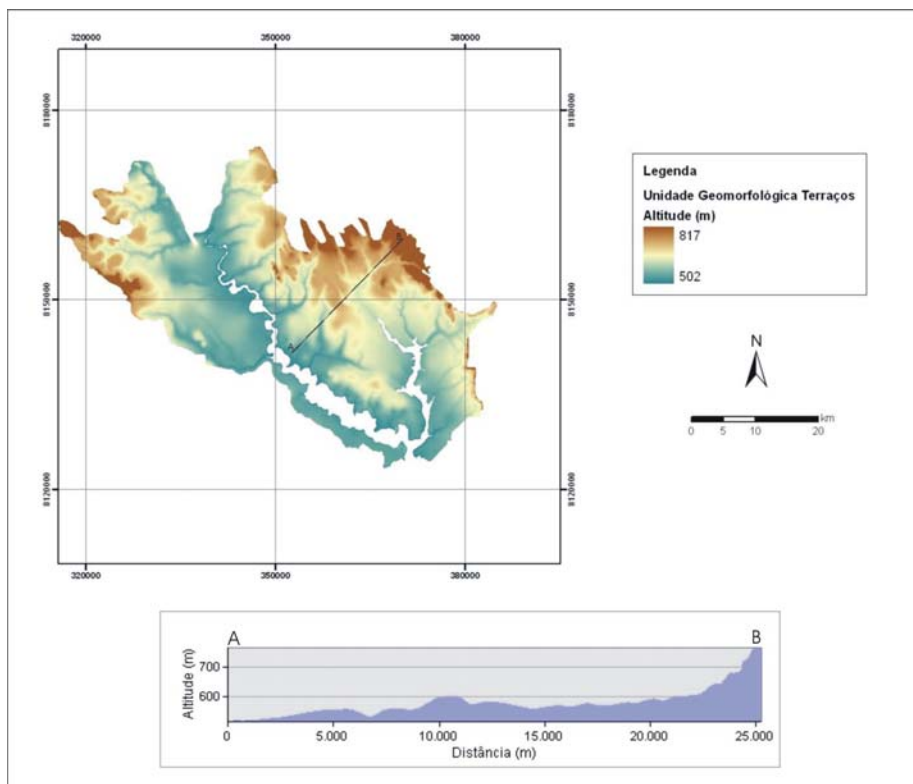


Figura 12 - MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Terraços.

Subunidade Terraços Inferiores

Formado por depósitos mais jovens e com granulometria mais arenosa que a subunidade Terraços Superiores. Possui altitude média de 545,9m em relevo mais plano, onde ocorrem Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho- Amarelos e Neossolo Quartzarênico.

PLANÍCIE FLUVIAL

Representa o leito atual da planície do rio Preto. Esta unidade apresenta altitude média de 499,5m e, a partir do perfil topográfico, constata-se que a unidade

apresenta uma amplitude de 20m em uma extensão de 3.000m (**Figura 13**). Verifica-se que o padrão de relevo suave ondulado ao longo da unidade. Apresenta declividade variando predominantemente de 0 a 6 graus. Nas porções mais planas pode-se observar o padrão meandrante do rio, onde a acumulação de fluxo é a maior encontrada na bacia.

O Neossolo Flúvico é a classe de solo predominante da unidade. Observa-se na análise estatística que a maior frequência de altitudes ocorrem na unidade no intervalo de 480 a 505 metros (**Figura 5**).

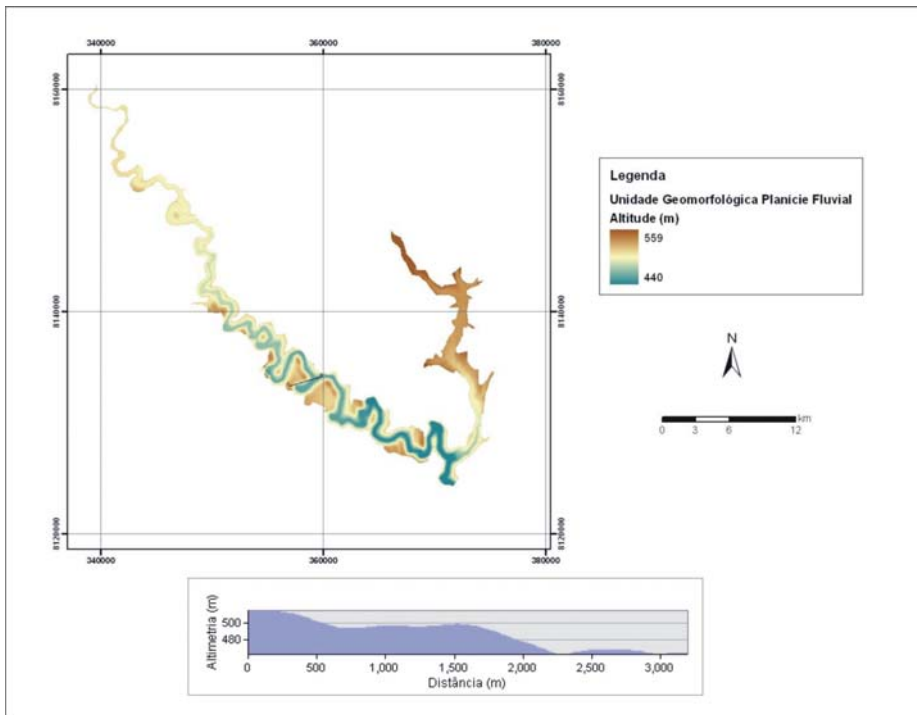


Figura 13 - MDT e perfil da unidade geomorfológica Planície Fluvial.

CONCLUSÃO

Os padrões morfométricos na bacia do rio Preto são organizados de acordo com níveis altimétricos bem demarcados. Constata-se a presença de cinco unidades geomorfológicas estabelecidas a partir da comparação do MDT e seus mapas derivados com a imagem Landsat 2003. A interpretação visual da imagem possibilitou definir melhor os limites das cinco unidades e suas respectivas subunidades geomorfológicas: Planalto (Topos e Vales Intraplanálticos); Planalto Dissecado (Silicático e Cárstico); Cristas de Unai (Serras e Depressões); Terraços (Superiores e Inferiores); Planície Fluvial. Por ser uma área predominantemente composta por intercalações de rochas carbonáticas e silicáticas, a bacia apresenta formas típicas do relevo cárstico, especialmente nas unidades Cristas de Unai e Planalto Dissecado. As porções mais elevadas das unidades Planalto e Planalto Dissecado o material de origem é formado por rochas metassedimentares clásticas. As unidades Terraços e Planície Fluvial são formadas por materiais depositados pela evolução fluvial do Rio Preto durante o Quaternário. A metodologia utilizada possibilitou descrever as formas do relevo e correlacionar com os aspectos geológicos e pedológicos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido durante a realização deste trabalho do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de pesquisa dos professores Osmar Abílio de Carvalho Júnior e Renato Fontes Guimarães, como também, pelo financiamento dos Projetos: (a) “Estudo da dinâmica da agricultura por análise multitemporal de imagens de sensores orbitais na bacia hidrográfica do rio Paracatu” referente ao edital MCT/CNPq

02/2006 Universal e (b) “Modelo Integrado para o monitoramento e desenvolvimento sustentável da bacia do São Francisco” referente ao edital MCT/CNPq/MMA/MI/CT-HIDRO – nº 035/2006.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELL, J.C., CUNNINGHAM, R.L., HAVENS, M.W. (1994) Soil drainage class probability mapping using a soil-landscape model. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 464–470.
- BIGARELLA, J.J; BECKER, R.D. & PASSOS, E. (1996) Paisagem cárstica. In: _____. *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais*. v.1. Florianópolis: UFSC., Cap. 5. p. 242-308.
- BULTER D.R. & WALSH S.J. (1998) The application of remote sensing and geographic information systems in the study of geomorphology. *Geomorphology*, 21: 179–349.
- CASSETI, V. (1981) *Estrutura e Gênese da Compartimentação da Paisagem de Serra Negra (MG)*. Goiânia: Editora da EFG.
- CHAPLOT, V., WALTER, C., CURMI, P. (2000) Improving soil hydromorphy prediction according to DEM resolution and available pedological data. *Geoderma*, 97: 405–422.
- CHORLEY R.J. (1972) *Spatial Analysis in Geomorphology*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- CHRISTOFOLETTI, A. (2001) Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A.J. T. & CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p 415–440.
- DALY, C., NEILSON, R.P., PHILLIPS, D.L. (1994) A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *J. Appl. Meteorol.*,

33: 140–158.

- DANTAS, M.E. (2003) Geomorfologia. In: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI (Org.). *Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno - Fase I*. 1ª ed. Rio de Janeiro, v.2, p. 01-29.
- DAVIS J.C. (1973) *Statistics and Data Analysis in Geology*. Chichester: John Wiley and Sons.
- DIKAUR. & SAURER H. (1999) *GIS for Earth Surface Systems*. Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1999) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa: Produção de Informação.
- EVANS, L.S. & MCCLEAN. C.J. (1995) The land surface is not unifractal: variograms, cirque scale and allometry. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl.* – Band 101, 127-147.
- EVANS, L.S. (1984) Correlation structures and factor analysis in the investigation of data dimensionality: statistical properties of the Wessex land surface. In: International Symposium on Spatial Data Handling'84, *Proceedings*, Geogr. Inst., Universität Zürich, Switzerland, 1:98-116.
- GESSLER, P.E., MOORE, A.W., MCKENZIE, N.J., RYAN, P.J., (1995) Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9: 421–432.
- GOTTFRIED, M., PAULI, H., GRABHERR, G. (1998) Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: a new view of the alpine-nival ecotone. *Arct. Alp. Res.*, 30(3): 207–221.
- GUISAN, A., THEURILLAT, J.-P., KIENAST, F. (1998) Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. *Journal of Vegetation Science*, 9: 65–74.
- GYLE, W.F. (1961) Morphometric analysis and the world-wide occurrence of stepped

erosion surfaces. *Journal of Geology*, 69: 388–416.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO, A.P.F.; MARTINS, E.S.; FUCKS, S.D. & CARVALHO JUNIOR, O. A.; SANTOS, N.B.F. & REATTO, A. (2002) Morfometria como Suporte para Elaboração de Mapas Pedológicos: I. Bacias Hidrográficas Assimétricas. *Documentos - Embrapa Cerrados*, 68:1-25.

HERMUCHE, P.M.; ANDRADE, A.C.; GUIMARÃES, R.F.; LEAL, L.R.; CARVALHO JUNIOR, O.A.; MARTINS, E.S. (2003a) Compartimentação geomorfológica em escala regional da bacia do rio Paranã. *Geoverj*, 1:372-381.

HERMUCHE, P.M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO, A.P.F.; MARTINS, E.S.; FUCKS, S.D. & CARVALHO JUNIOR, O.A. (2003b) Processamento digital de imagens morfométricas para subsidiar o mapeamento pedológico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte (MG). *Anais XI SBSR*. São José dos Campos : INPE, p. 123-130.

HILL, M.O. (1991) Patterns of species distribution in Britain elucidated by canonical correspondence analysis. *Journal of Biogeography*, 18: 247–255.

HORTON R.E. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *The Geological Society of America Bulletin*, 50: 275–370.

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

HUTCHINSON, M.F., BISCHOF, R.J. (1983) A new method for estimating the spatial distribution of mean seasonal and annual rainfall applied to Hunter Valley, New South Wales. *Austral. Meteorol. Mag.*, 31: 179–184.

JELASKA, S.D., ANTONIĆ, O., NIKOLIĆ, T., HRSAK, V., MISKO P., KRIZAN, J. (2003) Estimating plant species occurrence in MTB/64 quadrants as a function of DEM-based variables—a case study for Medvednica Nature Park, Croatia. *Ecological*

Modelling, 170: 333–343.

- LANE S.N., CHANDLER J.H. & RICHARDS K.S. (1998) *Landform Monitoring, Modelling and Analysis*. Chichester: John Wiley and Sons.
- LEAL, L.R., ANDRADE, A.C., PANQUESTOR, E.K., RAMOS, V.M., GUIMARÃES, R.F., MARTINS, E.S. & CARVALHO JUNIOR, O.A. (2003) Definição de unidades geomorfológicas a partir de imagens de dados morfométricos na bacia do Rio Grande (BA). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003, Belo Horizonte. *Anais XI SBSR*. São José dos Campos: INPE, p. 2055-2062.
- LEE, K.-S., LEE, G.B., TYLER, E.J. (1988) Thematic Mapper and digital elevation modeling of soil characteristics in hilly terrain. *Soil Science Society of America Journal*, 52: 1104–1107.
- MELTON M.A. (1958) Correlation structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. *Journal of Geology*, 66: 442–460
- MILIAREISIS, G.C. (2001) Geomorphometric mapping of Zagros Ranges at regional scale. *Computers & Geosciences*, 27: 775–786
- MOORE, I.D., GESSLER, P.E., NIELSEN, G.A., PETERSEN, G.A. (1993) Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 443–452.
- MORRE I.D., GRAYSON, R.B. & LADSON A.R. (1991) Digital terrain modelling: a review of hydrological geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*, 5: 3-30.
- OLIVEIRA, B.M.L., RAMOS, V.M., CARVALHO JUNIOR, O.A., GUIMARÃES, R.F., BETTIOL, G.M., GOMES, R.A.T.; MARTINS, E.S. & REATTO, A. (2005) Avaliação do uso da morfometria como suporte para a elaboração de mapa pedológico na bacia do Ribeirão da Pedreira - DF. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. *Anais XII SBSR*. São José dos Campos: INPE, p. 3167-3174.

- PANQUESTOR, E. K., CARVALHO JUNIOR, O.A., LEAL, L.R., ANDRADE, A.C., MARTINS, E.S. & GUIMARÃES, R.F. (2002) Associação do processamento digital de imagens ao uso de parâmetros morfométricos na definição de unidades de paisagem da bacia do rio Corrente (BA). *Espaço e Geografia*, 5(1): 87-99.
- PINTO, M. N. (1993) Paisagens do cerrado no Distrito Federal. In: PINTO, M. N. (Org.). *Cerrado: Caracterização, ocupação e perspectivas*. 2ª ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, Cap. 17. p.511-541.
- PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PARACATU - PLANPAR (1998) Relatório de inventário dos recursos hídricos.. In: Sistema de Informação de recursos hídricos. Disponível em: http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/docs/planos_diretores/BaciaRioParacatu/plano_diretor2.asp. Acessado em: 03/06/2007.
- PRATT, W K. (1991) *Digital image Processing* John Wiley, New York.
- SCHIMIDT, J. & DIKAU, R. (1999) Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models – semantics, methods, future needs. In: DIKAU, R. & SAURER, H. (Eds.). *GIS for Earth Surface Systems - Analysis and Modelling of the Natural Environment*. Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, pp. 153-173.
- SCHOBENHAUS, C. (1984) As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. In: SCHOBENHAUS, C. (Org.). *Geologia do Brasil- texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2500000*.. Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, Cap. 6, p.251-299.
- SCHUMM S.A., (1956) Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *The Geological Society of America Bulletin*, 67: 597–646.
- SCISLEWSKI, G.; FRASCA, A. A. S.; ARAÚJO, V. A.; RODRIGUES, J. B.; GONÇALVES, H. S. (2003) Geologia. In: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI (Org.). *Zoneamento Ecológico-*

Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno - Fase I. 1ª ed., Rio de Janeiro, v.1, p. 09-15.

STRAHLER A.N. (1952) Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography.

The Geological Society of America Bulletin, 63: 1117–1142.

WILSON J.P. & GALLANT J.C. (2000) *Terrain Analysis: Principles and Applications*.

New York: John Wiley and Sons.

YAMADA, S. (1999) Mountain ordering, a method for classifying mountains based on their morphometry. *Earth Surfaces and Landforms*, 24: 653–660.