

## Mapeamento pedológico em relevos cársticos a partir da análise morfométrica

GUSTAVO FELIPE BALUÉ ARCOVERDE<sup>1</sup>  
MARIA ELISABETE SILVEIRA BORGES<sup>1</sup>  
ÉDER DE SOUZA MARTINS<sup>2</sup>  
VERÔNICA MOREIRA RAMOS<sup>1</sup>  
RENATO FONTES GUIMARÃES<sup>1</sup>  
OSMAR ABÍLIO DE CARVALHO JÚNIOR<sup>1</sup>  
Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

<sup>1</sup>UnB - Universidade de Brasília  
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte - 70910-900, Brasília, DF, Brasil  
gustavofba@ibest.com.br, elisabete\_silveira@yahoo.com.br,  
vmramos@unb.br, osmarjr@unb.br, renatofg@unb.br

<sup>2</sup>Embrapa/CPAC-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados  
Caixa Postal 08223, 73301-970, Planaltina, DF, Brasil  
eder@cpac.embrapa.br

### *Abstract*

The space has elements of physical, biotic and anthropic order that interact and impel other elements of an inferior hierarchy in a successive way which propitiate the formation of emerging properties that feed a system of higher subsequence, configuring what we visually know as landscape. This system possesses its own characteristics in accordance with each area of influence of more predominant elements, where it is possible the determination of patterns and models within a space and temporary scale. This work proposes the modeling of a landscape from geomorphologic variables (an element under geologic and hydrologic influences mainly), based on a digital model of the terrain in a region where the natural process and the anthropic one on the carbonatic rocks are expressive. Due to the drainage shape, the corrosive action on the rocks makes up the main characteristic of the carstic landscape instead of performing the erosive process. The proposed statistical method establishes relationships between morphometric parameters and pedological units.

Keywords : Landscape, Morphometry, Geomorphologic Segmentation, Karstic geomorphology, morphopedologic units, paisagem, morfometria, compartimentação geomorfológica, geomorfologia cárstica, pedoformas.

### **1. Introdução**

O estudo da paisagem vem sofrendo diferentes abordagens nos diversos ramos da ciência, o que gera uma inerente confusão etimológica. No entanto, o que segue como unânime nesse tipo de estudo é a visão da integração dos elementos que possam ser assimilados de forma sensorial. Como o estudo pontual não é requerido, as variáveis conotativas, escalares, temporais e estruturais são de caráter integral, sintético e menos analítico (Appleton, 1980; Brabyn, 2000).

O estudo da dinâmica da paisagem deve considerar modelos estatísticos bem como aspectos quantitativos de funcionamento ambiental (Veldkamp *et al.*, 2001). Os fatores ambientais da paisagem são coordenados entre si e funcionam organizados no espaço como um sistema dinâmico (Lima & Queiroz Neto, 1997). Por exemplo, uma certa litologia e um determinado clima resultarão em algumas formas de relevo que, por sua vez, deve comportar vários tipos de solos, onde estarão vários agrupamentos biológicos (Martins *et al.*, 2003). As relações entre os solos e as formas da paisagem vêm sendo há muito tempo a base do mapeamento de solos (Ippolit, 2003).

Segundo a SAE/PR (1991, apud Cárdenas, 1999), o diagnóstico do meio físico resulta da identificação e avaliação da realidade de um território, no qual se determinam áreas caracterizadas pelos componentes físicos, bióticos, sócio-econômicos e pelas formas de organização resultantes da ação antrópica. Para tanto, deve-se definir as principais interações

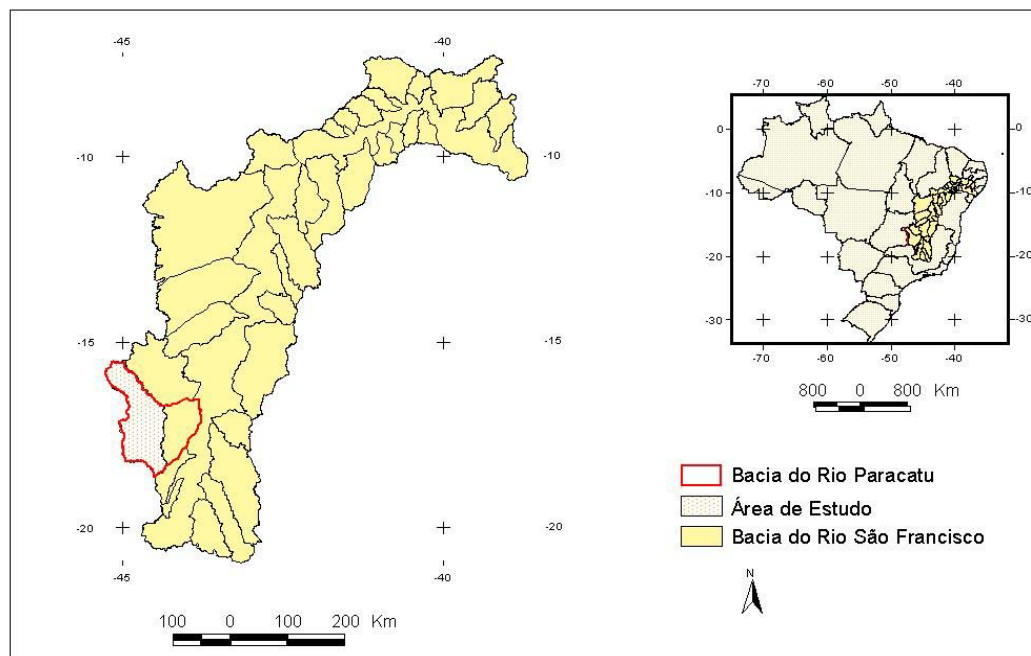
do sistema para simplificar a sua compreensão. Assim, as unidades de paisagem são agrupadas, a partir de variáveis mais perceptíveis e predominantes (Veríssimo, 1998; Cardenas, 1999).

Entre as savanas do mundo, os Cerrados do Brasil Central são as que apresentam a maior biodiversidade. No entanto, vêm sofrendo intensas alterações antrópicas associadas ao avanço da agricultura. Desta forma, a compreensão das paisagens desse ecossistema torna-se importante para a condução de sistemas mais sustentáveis, gerenciando os recursos naturais de forma a prolongar seu uso.

A Mata Seca, formada sobre relevos cársticos, é um tipo de vegetação endêmica na região dos Cerrados. A evolução do relevo cárstico é marcada principalmente pela ação química corrosiva das águas circulantes, bem como processos erosivos de remoção dos detritos residuais insolúveis, comportando também degradação mecânica, em menor grau (Bigarella, 1994). A paisagem superficial caracteriza-se por grandes depressões no terreno, onde se destacam: dolinas, torres, pontes, arcos de pedra, paredões verticais, canhões sumidouros, ressurgências de rios, grutas e abismos. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho é definir, a partir da análise morfométrica, unidades pedológicas em relevos cársticos, apresentando como estudo de caso a região formada por Municípios de Vazante, Paracatu e Unaí (MG).

## 2. Área de estudo

A área de estudo compreende a parte do alto e médio da bacia do rio Paracatu, abrangendo uma faixa de feições contínuas ou interrompidas de feições cársticas. Abrange a região do noroeste mineiro, leste goiano e parte do DF, englobando a região dos municípios de Unaí, Paracatu e Vazante (**Figura 1**).



**Figura 1:** Localização da área de estudo.

A região possui clima quente-úmido, chuvoso sazonalmente – Aw, segundo Köpen - passando a moderadamente em direção nordeste, com temperaturas médias anuais oscilando entre 21° a 24°C, podendo atingir 11°C nos meses no inverno. Em relação à geologia regional, a área está inserida na porção leste da Província Tocantins, Faixa Brasília. Entre as

principais feições cársticas podemos destacar: grupo Bambuí, localização centro-sul, juntamente com o subgrupo Paraopebas (neoproterozóico) com siltitos, calcários, pelitos, dolomitos e verdetes; formação Vazante-Paracatu (proterozóico médio), na parte ocidental da bacia, compreendendo ardósias, fosforitos, quartzitos, dolomitos, cherts, conglomerados: inserindo-se nesta está o Grupo Canastra, possuindo quartzitos, filitos e xistos. (Pedrosa Soares *et al.*, 1994).

### 3. Modelo Digital do Terreno (MDT)

O MDT da área de estudo foi confeccionado na escala 1:100.000, com resolução espacial de 40 metros, a partir da correção das curvas de nível, pontos cotados, assim como a edição de lagoas e a correção da direção de fluxo (*softwares ArcView e ArcInfo*). O módulo utilizado, TOPOGRID, foi desenvolvido para a confecção de MDTs aplicados em estudos hidrológicos, já que este combina a interpolação local, como o utilizado no inverso do quadrado da distância, com a interpolação global, como o interpolador *kriging* (ESRI, 1993).

A partir do MDT foi extraída a declividade do terreno, direções de fluxo hídrico superficial (aspecto), as curvaturas do terreno e a área de contribuição da bacia. Essas informações morfométricas são variáveis importantes na modelagem matemática dos ecossistemas (Ramos *et al.*, 2003).

Outro importante parâmetro extraído do MDT foi à área de contribuição. Vários autores desenvolveram metodologias para a determinação de área de contribuição (O'Callaghan e Mark, 1984; Costa Cabral e Burges, 1994), dentre elas destaca-se a desenvolvida por Quinn *et al.* (1991), que efetua o cálculo distribuindo o fluxo de forma proporcional entre as células localizadas à jusante, de acordo com a declividade local. Este método obteve melhores resultados para aplicação em áreas de fluxo convergente (Tarboton, 1997).

### 4. Composição colorida e compartimentação da Paisagem

O MDT e os mapas derivados gerados foram exportados para o programa ENVI. Foi realizado o realce digital por composição colorida dos mapas morfométricos com o propósito de realçar os padrões hidrogeomorfológicos (Panquestor, 2002). Neste procedimento geram-se imagens coloridas por um processo que combina três imagens morfométricas com as três cores primárias: vermelho, verde e azul (RGB). A predominância de uma das cores representa certo domínio na dinâmica da paisagem, permeando-se desde o entalhamento, transporte até a acumulação na bacia. Na **Figura 2** as cores “RGB” estão associadas respectivamente ao MDT, declividade e área de contribuição.

A compartimentação geomorfológica foi realizada a partir da estatística dos parâmetros morfométricos. O histograma de frequência dos valores hipsométricos evidencia as zonas que possuem uma homogeneidade de processos geomorfológicos: entalhamento, acumulação ou dissolução cárstica (**Figuras 3 e 4**).

A declividade evidencia os processos de pedogênese e de dissolução cárstica. Visando as distintas toposseqüências, foram definidas 5 classes de declive: relevo plano (0-3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), forte ondulado (20-45%), e escarpado (> 45%) (Soil Survey Staff, 1951 *apud* Resende *et al.*, 2002) (**Figura 5**). Na área estão presentes formas de relevo que estão nos estágios de evolução cárstica desde juventude à maturidade.

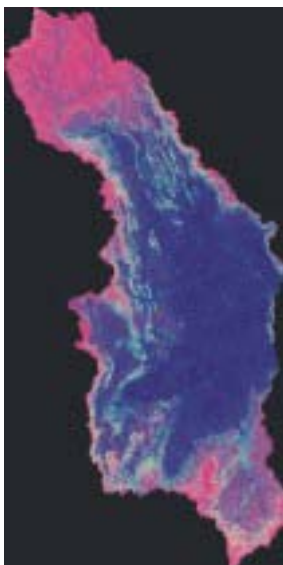


Figura 2: Composição Colorida

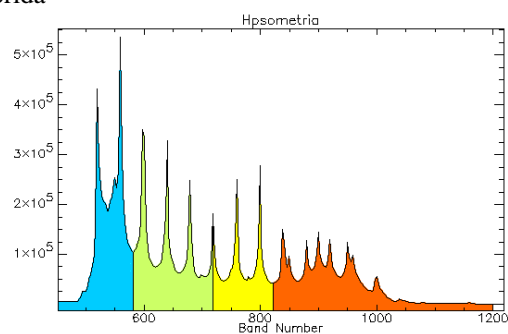


Figura 3: Histograma hipsométrico com padrões geomorfológicos.

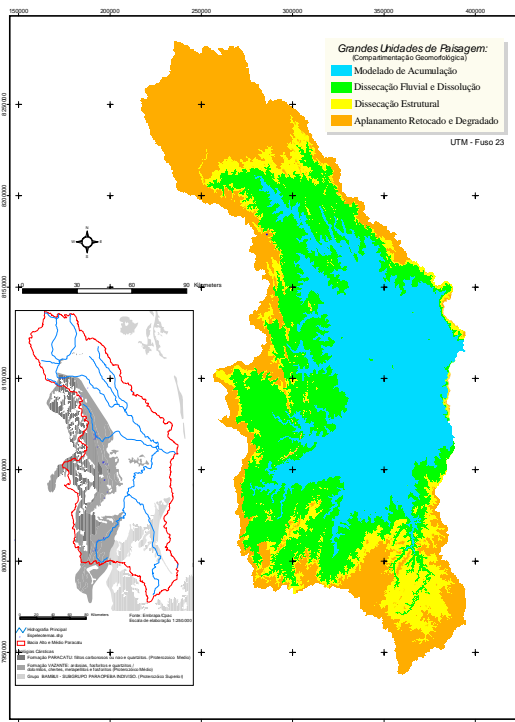


Figura 4: Grandes Unidades de Paisagem.

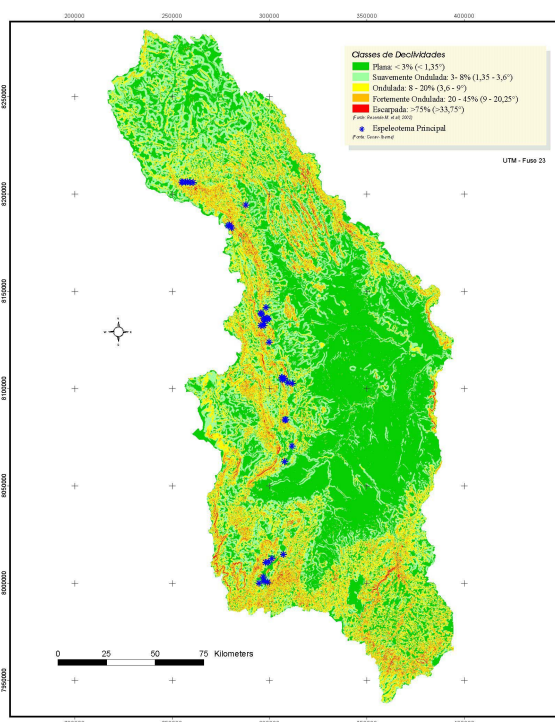


Figura 5: Classes de declividade e espeleotemas

**Tabela 1 – Características das Unidades de Paisagem.**

Unidades de Paisagem	Area (Ha)	Proporção %
Modelado de Acumulação	919.970,400	30,411
Dissolução e Denudação Moderada	851.100,160	28,135
Dissolução e Denudação Acentuada	474.234,400	15,677
Aplainamento Retocado e Degradado	779.793,120	25,777
<b>Total</b>	<b>3.025.098,080</b>	<b>100,000</b>

**Tabela 2 – Declividade das Unidades.**

Unidades de Declividade	Proporção %
Plano	43,977
Suave Movimentado	28,679
Movimentado	17,037
Forte Movimentado	9,321
Escarpado	0,986

## 5. Mapa pedológico-morfométrico

Este ensaio se baseia na identificação de unidades de mapeamento pedológicas e posterior classificação mediante um classificador supervisionado de imagem.

O procedimento metodológico adotado possui os seguintes passos: (a) fatiamento dos mapas morfométricos, (b) seleção das regiões de interesse (amostras) por tabulação cruzada, (c) classificação por Máxima Verossimilhança (MaxVer) e (d) ajuste vetorial das classes.

Para o fatiamento dos mapas morfométricos foi adotado como base o mapa de solos da Embrapa na escala 1: 250.000 (Naime e Motta, 1998), verificando o comportamento destes de acordo com cada unidade. As análises foram, na maior parte das vezes, realizadas mediante a observação visual pelas composições coloridas e empiricamente na verificação dos valores morfométricos. As principais características adotadas foram (**Tabela 3**):

- O MDT foi fatiado em os intervalos hipsométricos correspondentes aos solos com maior extensão, como nos Latossolos e Cambissolos.
- A declividade foi fatiada nos intervalos definidos por Resente *et al.* (2002) como pela verificação empírica nas imagens de composição colorida.
- O aspecto identificou as zonas onde o escoamento estaria sem uma direção preferencial (áreas planas, depressões e lagoas cársticas) onde ocorrem solos hidromórficos como GLEISSOLO HÁPLICO.
- A área de contribuição auxiliou na identificação de classes de solos hidromórficos ao longo dos corpos hídricos lineares.
- As curvaturas em planta e em perfil foram eficazes na definição de solos com horizonte B textural, localizadas em áreas com topo convexo e base côncava.

Uma importante consideração é que as áreas com convexidades em perfil e em planta definem os solos mais evoluídos, Latossolos Vermelhos, enquanto os que possuem curvatura em planta pouco definida com uma curvatura em perfil convexa, constituem latossolos menos profundos (Ippoliti, 2003). Além disso, as faixas de transição caracterizadas pelo processo de translocação de ferro e plintização são identificadas por regiões planas, suave-côncavas e bordejando os latossolos.

Após o fatiamento dos parâmetros morfométricos realizou-se a intersecção dos dados obtendo amostras padrão de cada unidade de solo. As áreas pré-selecionadas foram utilizadas como amostras na classificação supervisionada por MaxVer. Foram consideradas para a classificação as imagens do MDT, declividade, área de contribuição e curvatura em perfil.

Uma comparação do mapa de solos da EMBRAPA (**Figura 8**) com o mapa final de solos proposto, escala 1:100.000, (**Figura 7**) permite observar uma semelhança entre os dois. No entanto, o mapa proposto apresenta um maior detalhamento dos limites e subdivisão de unidades de mapeamento.

**Tabela 3** – Relação entre parâmetros morfométricos e as unidades de solos.

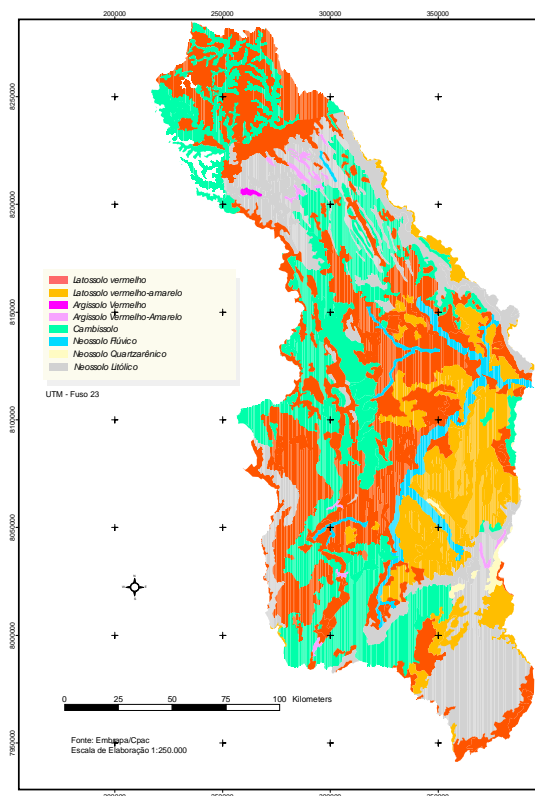
Intervalos dos Parâmetros Morfométricos da Composição para Subsídio à Classificação Supervisionada							
Mapas morfométricos	Mín - Máx.	Latossolo Vermelho	Latossolo Verm. Amarelo	Lat. Amarelo a lat. Verm. Amarelo	Cambissolo	B Texturais	Gleissolo Háplico/Lagoas
<i>MDT (m)</i>	480 - 1192	500 - 1200	300 - 800	Adaptação do Latossolo Vermelho à Litologia (grupo Areado e Mata da Corda)	550 - 1.000	> 600	
<i>Declividade (°)</i>	0 - 55	0,1 - 1,3	1,4 - 4		7 - 20	3 - 8	
<i>Área de Contribuição (m)</i>	> 40	200 - 800	500 - 1.000		80 - 200	200 - 1.000	
<i>Curvatura em Perfil (%)</i>	-4,87 - 5,66	–	–		–	> 0,5	
<i>Aspecto</i>	-1 - 360	–	–	–	–	–	-1

Continuação	Faixa de Transição - Proces. Plintização	Gleissolo Melâ/Organossolo	Neo. Quartzarênico a Lat. Verm. Amar.	Neo Flúvico	Neo Regolítico <sup>1</sup>	Neo Litólico
		–	–	Adaptação do Latossolo Vermelho - Amarelo à Litologia (grupo Areado e Mata da Corda)	300 - 500	650 - 820
	0,1 - 1,5	0,1 - 1	0,1 - 0,5		20 - 33	>33
	5.000 - 15.000	1.000.000 - 25.000.000	>100.000.000		80 - 150	40 - 80
	–	–	–		–	–
	–	–	–		–	–

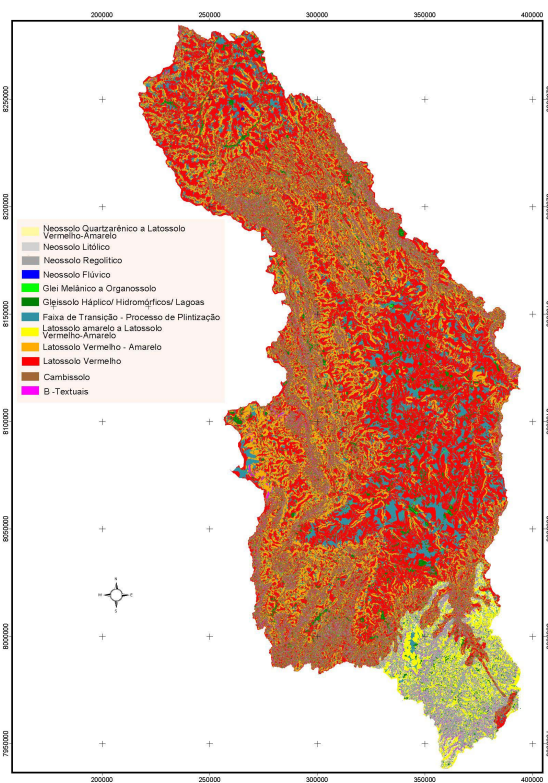
## 6. Conclusão

O estudo da paisagem demanda etapas no seu entendimento, uma delas é o levantamento de informações que possam indagar novos questionamentos e direcionar estudos de campo. A caracterização morfométrica em ambiente de SIG possibilita uma generalização cartográfica com baixo custo.

Desta forma, o presente trabalho possibilitou um refinamento do mapa de solos, escala 1:250.000 para um na escala de 1:100.000, utilizando parâmetros morfométricos. Isto demonstra que a metodologia é apropriada para levantamentos de solos de áreas extensas. Deve-se realçar que os resultados obtidos devem ser validados com dados de campo.



**Figura 8** – Mapa de solos original, escala 1:250.000 (Naime e Motta, 1998).



**Figura 7** – Mapa de solos proposto por este trabalho.

## Referências Bibliográficas

AB'SABER, A. Potencialidades paisagísticas brasileiras. In: *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. p. 9-26.

BEVEN, K. J. and KIRKBY, M.J. *A Physically based, variable contributing area model of basin hydrology*. Bulletin of Hydrological Sciences, 1979. p 43-69.

BIGARELLA, João José; BECKER, Rosemari D.; SANTOS, Gilberto F. dos; *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. fundamentos geológico-geográficos*, ed. Santa Catarina: UFSC. vol. 1, 1994. UFSC, 1996. p. 242-308. Cap. 5.

BIRKELAND, P. W. *Soils and geomorphology*. 1<sup>st</sup> ed. New York: Oxford University Press, 1984.

CÁRDENAS, Flor Patricia Angel; *Zoneamento geoambiental de uma parte da bacia do rio Nechí – Colômbia, por meio de técnicas de geoprocessamento*. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Brasília: UnB, 1999.

DIETRICH, W. E, WILSON C.J., MONTGOMERY, D.R. e MCKAN J. *Analysis or erosion thresholds, Channel Networks and Landscape Morpholgy using a Digital Terrain Model*, jour of Geology, v.101, p.161-180, 1993.

DIETRICH, W. E. e MONTGOMERY, D. R. SHALSTAB: *A Digital Terrain Model for mapping shallow landslide potential*. National Council for Air and Stream Imporvement, 1998.

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

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, DNPM. *Geologia do Brasil*. Ed. Brasília: DNPM, 1984.

NAIME, U.J. e MOTTA, P.E.F. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da Região Geoeconômica de Brasília-Minas Gerais. EPAMIG/Embrapa, 1998, 213 p.



O'LOUGHLIN, E. M. *Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis*. Water Resources Research, vol. 22, nº 5, 1986. p. 794-804.

PANQUESTOR, E. K. et al. 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: geoprocessamento*, Brasília, v. 5, n. 1, p. 87-99, 2002.

QUINN, P.; BEVEN, K.; CHEVALLIER, P. and PLANCHON, O. *The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models*. In: BEVEN, K.J. and MOORE, I.D. (ed.). *Terrain Analysis and distributed modeling in hidrology*. John Wiley & Sons, Chischester, England, 1991. p. 63-84.

RAMOS, V. M. *A modelagem matemática no estudo dos movimentos de massa: aplicação de um modelo de previsão de áreas susceptíveis a escorregamentos rasos na área do subúrbio ferroviário de Salvador (BA)*. Dissertação de mestrado, Brasília: ICH/UNB, 2003. 91 p.

RAMOS, V. M. et al. *Avaliação de metodologias de determinação do cálculo de áreas de contribuição*. Brasília: [s.n., 2003-?]

RESENDE, Mauro, CURI, Nilton, REZENDE, B.S., CORRÊA, G.F., *Pedologia, base para distinção de ambientes*. NEPUT. 4ª Ed., Viçosa, MG. 2002.

SILVA, E. et al. *Paisagem: regressão e prognose como elementos para avaliação da ocupação e mudanças do espaço rural*. Disponível em: <http://gipaf.cnptia.embrapa.br/itens/publ/sober/sober.html#Trabalhos>, 1999.

SILVA, V. C. *Erosão atual, erosão potencial e aporte de sedimentos na Bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF)*. Tese de doutorado, Brasília: IG/UNB, 2001.