

Estudo das relações solo-relevo pela análise geomorfométrica de dados SRTM e TOPODATA e a técnica de recuperação de conhecimento a partir de mapas

Viviana Aguilar Muñoz^{1,2}
Márcio de Morisson Valeriano^{1,3}
Mara de Andrade Marinho Weill⁴

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{viaguila, valerian}@dsr.inpe.br

² Bolsista da CAPES/CNPq – IEL Nacional - Brasil

³ Bolsista do CNPq

⁴ Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI/UNICAMP
13083-970 – Campinas - SP, Brasil
mweill@agr.unicamp.br

Abstract. This work aimed at the development of a simple methodology for discovery the soil-relief relationships, from geomorphometric and published soil maps, whit application of basic digital processing images tools in Geographical Information Systems (GIS) and imaging interpretation techniques. The 1:100 000 soil survey map of São Carlos, São Paulo State, was used as the soil data source; this was accomplished with SRTM data (Shuttle Radar Topography Mission), the local geomorphometric data base TOPODATA, and geomorphometric regional (non-local) variables, extracted from elevation data through algorithms developed within this research. The main results of this work included algorithms for regional analysis of SRTM, a regional geomorphometric data base of São Carlos, a geomorphometric description of the occurring soils and an indication of the geomorphometric variables potentially useful to separate their mapping units.

Palavras-chave: geomorphometry, soil mapping, knowledge discovering approach, geomorfometria, mapeamento de solos, descobrimento de conhecimento, SRTM, TOPODATA

1. Introdução

O relevo (r) é um conjunto de qualidades geométricas da superfície, produto da sua história climática (cl), geológica (ou do material parental: p) e biológica (ou do material orgânico: o); isto sugere que os componentes do relevo poderiam indicar características do clima, da geologia e da biota. Por sua vez, o solo (S) é um material gerado pela interação, na superfície, dessas três variáveis ao longo do tempo (t); assim, uma função $S = f(r, cl, p, o, t)$ ou, como indicado pela metodologia de mapeamento da *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO), inclusive uma simplificação dessa função para $S = f(r)$ contribuiria ao mapeamento do solo numa região (Ollier, 1977; 1981; Bockheim et al., 2005).

Uma grande potencialidade do relevo para o mapeamento de solos é a abordagem quantitativa na divisão do território em unidades de características homogêneas, desde escalas continentais, como as regiões climáticas, até detalhadas, como as partes de uma vertente (Guerrard, 1981). Avanços na geomorfologia quantitativa (*quantitative geomorphology*), conhecida como *geomorfometria*, têm permitido a extração de uma variedade de padrões geométricos do relevo pela aplicação de técnicas de geoprocessamento sobre Modelos Digitais de Elevação (MDE), em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Estes padrões são referidos como *variáveis geomorfométricas* (Mabbutt, 1968; Evans, 1972; Mark, 1975; Hengl e Reuter, 2009); individualmente podem indicar ou até determinar alguma propriedade do solo; em conjunto constituem a rugosidade da superfície e poderiam indicar a separação de unidades de mapeamento.

Na análise das relações solo-relevo desde escalas exploratórias (1:500.000) até semi-detalhadas (1:100.000), as variáveis geomorfométricas comumente consideradas são: (i) a orientação das vertentes, relacionada com a quantidade disponível de energia do sol; (ii) a altitude, relacionada com variações climáticas; (iii) a declividade, relacionada com processos de deposição e/ou agregação; e (iv) o grau de dissecação da paisagem relacionado com erosão (IBGE, 2007); o modelo clássico dos processos geomorfológicos contemporâneos dominantes numa vertente (Dalrymple et al., 1968) apresenta-se de acordo com esta disposição geral.

A disponibilidade de dados topográficos de cobertura nacional como o modelo SRTM (Rabus et al., 2003) e o banco de dados TOPODATA (Valeriano & Rossetti, 2008) vieram possibilitar o aprimoramento do conhecimento das relações solo-relevo e, conseqüentemente, contribuir ao desenvolvimento de metodologias para o mapeamento sistemático de solos no Brasil. No entanto, numa primeira fase, ou fase exploratória, desses projetos é necessário dispor de dados de solo de fontes confiáveis.

O processo de recuperação de conhecimento, ou *knowledge discovery process*, proposto por Qi e Zhu (2003), tem como principal propósito o de reverter o processo de mapeamento, de acordo com a hipótese de que as relações entre diferentes tipos de solo e características da paisagem podem ser reveladas através dos mapas existentes pela aplicação de SIG. Se os mapas disponíveis forem confiáveis e a experiência do especialista em solos puder ser extraída do mapa e apresentada em forma apropriada, novos cientistas poderão reconstruí-la, atualizá-la e até melhorá-la.

Para os parâmetros brasileiros, o Estado de São Paulo conta com um raro conjunto de mapeamento sistemático de solos em escala 1:100.000 desenvolvido pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em convênio com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na década de 1980. Embora a nomenclatura destes mapas não corresponda ao novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, SiBCS, sua utilização é apropriada para os objetivos da fase exploratória no estudo das relações solo-relevo no Brasil.

O principal objetivo deste trabalho foi levantar conhecimento sobre as relações solo-relevo na região de São Carlos, interior de SP, como contribuição ao desenvolvimento de novas metodologias passíveis de aplicação em mapeamento sistemático semi-detalhado de solos no Brasil. Três objetivos específicos permitiram atingir esse propósito: (i) A extração de conhecimento a partir de mapas de solos já publicados; e (ii) A extração de variáveis topográficas regionais a partir dos MDE; e (iii) a indicação de um conjunto de variáveis geomorfométricas, locais e regionais, com potencial de diferenciação entre unidades taxonômicas de solos mapeadas na área de estudo.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

Para o estudo foi selecionada a região de São Carlos, localizada entre os paralelos 22°S e 22°30'S e os meridianos 48°W e 47°30'W, que corresponde à folha SF.23-Y-A-I do sistema cartográfico brasileiro (Figura 1). A região pertence ao sudeste do Brasil, classificada como clima subquente - úmida, tipo tropical, com um a dois meses secos. A temperatura média anual oscila entre 18,1°C e 20°C e a precipitação média anual oscila entre 1751 mm e 2000 mm (Mendonça e Danni-Oliveira, 2007).

Destacam-se na área de estudo os serrotes de Santa Bárbara e Itaguaçu; as serras de São Carlos, Monte Sinai, Atalaia, Cachoeira, São Pedro, Itaqueri, Dos Padres e a Serra grande; os rios Jacaré-Guaçu, Ribeirão do Feijão, Ribeirão do Lobo, Ribeirão Itaqueri, Corumbataí e Passa Cinco; e a Represa do Lobo (IBGE, 1969; IBGE, 1971). Predomina material basáltico e arenitos de idade mesozóica e paleozóica, siltitos e argilitos do paleozóico, intrusões

quaternárias de areias, argilas e arenitos da Formação Rio Claro, aluviões do quaternário, granitos e gnaisses de idade cambriana e pré-cambriana (Brasil, 1983).

A vegetação natural está representada em savanas (cerrado), com vegetação arbórea densa, aberta e gramíneo-lenhosa; floresta estacional semi-decidual, com floresta de montanha e vegetação secundária sem palmeiras; e no contato entre estes dois domínios acham-se pequenas áreas de tensão ecológica. A agricultura ocupa áreas dos três domínios florestais e está representada principalmente em pastagens e culturas cíclicas – permanentes de cana, café, eucalipto e pinheiro (Brasil, 1983; IBGE, 1969; IBGE, 1971).

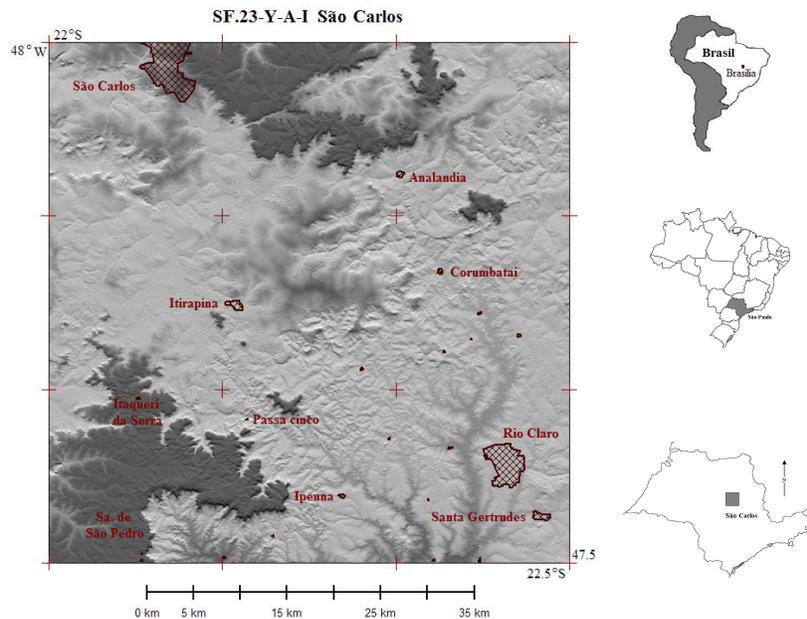


Figura 1. Área de estudo.

2.2 Equipamentos

Para manipulação de dados numéricos na geração de superfícies foram utilizadas as versões 6.0 e 8.0 do aplicativo SURFER (*Golden Software Inc.*, 1995 e 2003). As operações para extração das variáveis regionais e amostragem aleatória foram organizadas na linguagem de programação interna do SIG Idrisi 2.0 – *Idrisi Macro Language (IML)* - (Eastman, 1995). Operações de segmentação e classificação dos dados numéricos foram desenvolvidas em SPRING 4.3 (INPE, 2007) e ENVI, versão 4.3 (*ITT Industries*, 2006). Testes de geoprocessamento e saídas gráficas foram gerados em Idrisi 32 (*Clark Labs*, 2000) e *Global Mapper* versão 9.0 (*Global Mapper Software LLC*, 2007).

2.3 Dados

Foram utilizados dados de altitude do modelo SRTM-90m, acessíveis nos portais <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> e <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>, e da versão brasileira deste modelo, SRTM-30m no projeto TOPODATA (Valeriano e Rosseti, 2008), disponível no portal <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Dentre as variáveis topográficas, ditas locais, disponíveis no banco de dados TOPODATA, foram utilizadas, nas formas numéricas e classificadas, a declividade (*sn*, *sc*) e a curvatura vertical (*vn*, *v5*); e o modelo formas do terreno (*FT*) (Valeriano, 2008).

Os autores da quadrícula de solos São Carlos (Prado et al., 1981) identificaram latossolos (*L*), podzólicos (*P*), areias quartzosas (*AQ*), solos litólicos (*Li*), terra roxa estruturada (*TE*),

solos hidromórficos (*Hi*) e plintossolos concrecionários (*PL*), representadas em três níveis de detalhe, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Unidades de mapeamento e substrato dos solos de São Carlos

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Unidade	Material de origem	
Latosolos (L)	Latosolo Vermelho-Amarelo (LV)	LV-1	São Lucas	Formação Rio Claro (CC) e Formação Pirambóia (GSB)	
		LV-2	Coqueiro	Formação Rio Claro e Serra de Santana (CC) e formações Botucatu e Pirambóia (GSB)	
		LV-3	Laranja Azeda	Formação Rio Claro e Serra de Santana (CC) e formações Botucatu e Pirambóia (GSB)	
	Latosolos (L)	Latosolo Roxo (LR)	LV-4	Três Barras	Formação Itaqueri (arenitos do mesozóico)
			LV-5	Cachim	Coberturas Cenozóicas (CC)
			LV-6	Itororó	Formação Itaqueri (arenitos do mesozóico)
			LRd	Riberão Preto	Grupo São Bento (GSB)
	Podzólicos (P)	Podzólicos Vermelho-Amarelo (PV)	LRe	Barão Geraldo	GSB
			LE-1	Limeira	GSB
			LE-2	Hortolândia	GSB
PV-1			Santa Cruz	Grupo Passa Dois e Grupo Tubarão	
PV-2			Serrinha	GSB	
PV-3			Monte Cristo	Formação Itaqueri (arenitos do mesozóico)	
Areias Quartzosas Profundas (AQ)	Podzólicos Vermelho-Amarelo (PV)	PV-4	Canela	Formação Itaqueri (arenitos do mesozóico)	
		PV-5	Santa Clara	Formação Itaqueri (arenitos do mesozóico)	
		PV-6	Olaria	Grupo Passa Dois e Grupo Tubarão	
Litólicos (Li)	Hromórficos (Hi)	AQ		Formação Rio Claro e Serra de Santana (CC)	
		Li-1		Grupo Passa Dois (sedimentos finos do permiano)	
		Li-2		Formação Arenito Botucatu-Pirambóia (GSB)	
		Li-3		Substrato basalto ou diabásio	
Hidromórficos (Hi)	Orgânicos (Or)	Li-4		Substrato Arenito Bauru	
		Hi		Sedimentos aluvionais argilosos: geli húmico e glei pouco húmico	
Terra Roxa Estruturada (TE)		Or		Sedimentos aluvionais argilosos: depósitos orgânicos	
		TE-1	Estruturada	GSB	
Plintossolos Concrecionários (PL)		TE-2	Itaguaçu	GSB	
				Formação Itaqueri (sedimentos finos de fácies argilosas do arenito)	

2.4 Processamentos

A recuperação de conhecimento a partir do mapa de solos foi efetivada em ambiente SIG pela digitalização do mapa analógico, a construção de um banco de dados de solos estratificado nos três níveis de mapeamento da quadrícula (sem associações), e a amostragem aleatória desses dados.

A partir dos MDE (30m e 90m) foram extraídas quatro variáveis topográficas regionais, segundo metodologia Muñoz (2009): altura (*a*); dissecação (*d*); amplitude (*i*); e predominância (*p*). Esta etapa do trabalho envolveu as seguintes atividades: (*i*) preenchimento

de falhas do SRTM-90m, como proposto por Valeriano (2004); (ii) cálculo das variáveis numéricas a partir dos MDE por avaliação da dispersão altimétrica (altura máxima, média e mínima), deslocamentos direcionais e geração de planos de informação (PIs) da dispersão, operações lógicas e operações aritméticas entre esses PIs; e (iii) cálculo das variáveis topográficas regionais quantitativas pela classificação das numéricas.

Os dados topográficos locais e regionais foram estruturados em um banco de dados. Todas estas variáveis geomorfométricas foram amostradas a partir do “carimbo amostral” obtido na amostragem aleatória dos mapas de solos nos três níveis de mapeamento.

3. Resultados e Discussão

3.1 Banco de Dados de Solos

Na Figura 3 observam-se os três níveis de estratificação extraídos da quadrícula de solos de São Carlos. O nível N1 é o mais generalizado, com seis classes de solos; no nível N2 há um detalhamento dos latossolos e dos solos hidromórficos; e no nível N3, o maior detalhe da classificação dos latossolos, dos solos podzólicos, dos solos litólicos e da terra roxa estruturada está relacionado com o material parental. As classe NS (não solo) nos três níveis corresponde a todas as ocorrências de associações de solos.

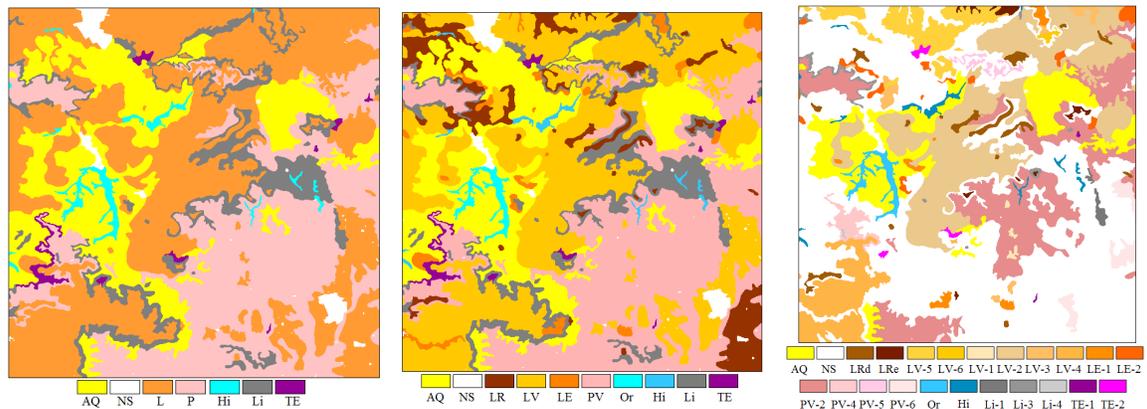


Figura 3. Estratificação dos solos de São Carlos.

3.2 Banco de dados de variáveis topográficas

A altitude na área de estudo varia aproximadamente entre as cotas 497m e 1080m; sua distribuição de frequências tem um comportamento tri-modal que reflete três níveis altimétricos: a depressão periférica, o planalto basáltico e as serras do planalto. A declividade varia entre 0.14% e 174%; sua distribuição de frequências mostrou um comportamento assimétrico com maiores frequências entre 2% e 35% ou relevo suave ondulado. A curvatura vertical se apresenta entre 0.3°/m e 0.4°/m; sua distribuição tem comportamento simétrico, com predomínio de valores entre -0.09°/m e -0.0001°/m, que ocupam o sopé das escarpas e os talwegues; os valores convexos ocupam principalmente as cotas maiores dos três níveis altimétricos e ocorrem em proporção ligeiramente maior aos valores côncavos. Áreas retilíneas predominam nos planaltos. Na quadrícula predominam a forma divergente-retilínea, seguida pela convergente-côncava e a divergente-convexa, as menos frequentes são convergente-retilínea e planar-retilínea (Figura 4).

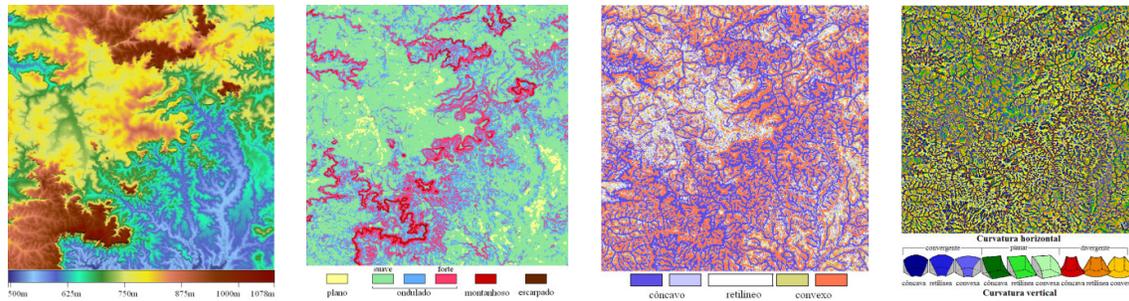


Figura 4. Esquerda à direita: altitude, declividade, curvatura vertical e formas do terreno em São Carlos.

Nas duas resoluções de pixel (30m e 90m), a distribuição de frequências da altura, a dissecação e a amplitude teve comportamento assimétrico de cauda direita. Os valores da altura e da dissecação na área de estudo variaram entre 0m e 400m aproximadamente, com valores mais frequentes entre 10m e 90m. Na depressão periférica e no planalto basáltico as alturas se distribuem entre muito-baixas e médias, nas serras entre média e muito-alta. Observou-se predomínio das classes baixas da dissecação. Os valores da amplitude se situaram entre 0 e 320m com máxima frequência entre 30m e 50m. Nas escarpas se localizam os valores máximos, menos frequentes, destas três variáveis. O predomínio altimétrico esteve caracterizado pela distribuição simétrica das altitudes entre -190m e +203m; a predominância topográfica permitiu a discriminação de patamares e várzeas assim como de talwegues e morros testemunhos (Figura 5).

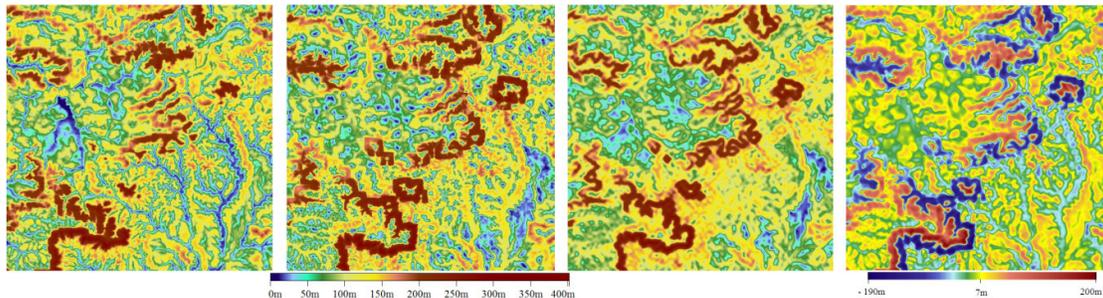


Figura 5. Esquerda à direita: altura, dissecação, amplitude e predominância do relevo em São Carlos

3.3 Relações Solo Relevo

No nível N1 observou-se que os latossolos (maior proporção da quadrícula) se destacam por ocupar altitudes elevadas, e terrenos alto predominantes. Os solos podzólicos (segunda maior área na quadrícula) destacam-se por ocuparem as menores altitudes e terrenos de baixa predominância. As areias quartzosas se destacam por ocuparem o planalto basáltico. Os solos litólicos se destacam por ter os maiores valores da altura, dissecação e amplitude. Os solos hidromórficos se destacam por ter as menores declividade e altura e por ocuparem os terrenos mais baixo-predominantes. A Terra roxa estruturada (que cobre a menor proporção da área de estudo) ocupa as maiores altitudes, e, como os solos litólicos, tem valores altos de altura, dissecação e amplitude.

No segundo nível de generalização (N2) observou-se que as três unidades de latossolos conservaram em geral as características do nível N1, mas poderia ser separada pela altitude. Destacou-se neste nível de generalização que os solos gley e os orgânicos, que no N1 foram agrupados como solos hidromórficos só tiveram valores semelhantes da altura.

No nível N3 os LV-6 se destacam dos outros LV por apresentarem valores geomorfométricos maiores, principalmente da altura, amplitude e predominância; os LV-2 se diferenciam dos outros LV por possuírem valores negativos da curvatura vertical e da

predominância. Os solos LRd se diferenciam dos LRe principalmente pela amplitude. Os solos LE-1 se diferenciam dos LE-2 principalmente pela predominância. Os solos PV-2 e PV-6 se diferenciam dos solos PV-4 e PV-5 pela curvatura vertical e pela predominância negativas; a amplitude dos solos PV-5 é muito maior à amplitude dos outros solos podzólicos, enquanto os solos PV-6 se destacam pela sua amplitude muito menor. Os Li-4 se destacam dos outros Li por ocuparem as maiores altitudes, curvatura vertical, altura e predominância; os Li-3 diferenciam-se entre os Li por terem os maiores valores da amplitude e da dissecação. Os solos TE-1 e TE-2 se diferenciam principalmente pelos valores da altura, amplitude e predominância.

Os conjuntos de variáveis geomorfométricas que poderiam auxiliar na separação de solos foram indicados pela avaliação da probabilidade de ocorrência de uma classe de solo numa classe geomorfométrica. Selecionaram-se somente as classes geomorfométricas com probabilidade de ocorrência acima de 50% numa classe de solos. Observou-se, por exemplo, que o relevo suave-ondulado poderia separar o grupo L, AQ e Hi dos outros solos; o relevo muito côncavo separa os Li; os Hi podem ser diferenciados pela altura forte, o relevo baixo predominante, a dissecação e a amplitude leves; o grupo Li e TE podem ser separados dos outros solos pela amplitude muito alta. Na Tabela 2 apresenta-se o grupo de variáveis que, a partir deste estudo e no nível geral, poderia contribuir na diferenciação dos solos da quadrícula de São Carlos.

Tabela 2. Variáveis geomorfométricas para diferenciação de classes de solo no nível N1 em São Carlos

	L	P	AQ	Li	Hi
P	<i>s, p</i>				
AQ	<i>p</i>	<i>s</i>			
Li	<i>s, v, i, p</i>	<i>v, i</i>	<i>s, v, i</i>		
Hi	<i>a, d, i, p</i>	<i>s, a, d, i</i>	<i>a, d, i</i>	<i>s, v, a, d, i</i>	
TE	<i>s, i</i>	<i>i, p</i>	<i>s, i, p</i>	<i>v, p</i>	<i>s, a, d, i, p</i>

s: declividade; *v*: curvatura vertical; *a*: altura; *d*: dissecação; *i*: amplitude (m); *p*: predominância; L: latossolos; P: podzólicos; AQ: areias quartzosas; Li: litólicos; Hi: hidromórficos.

4. Conclusões

Pela aplicação conjunta da metodologia *knowledge discovery process* sobre mapas preexistentes e confiáveis de solos e de técnicas de geoprocessamento sobre os MDE, foi possível levantar conhecimento sobre as relações solo-relevo na região de São Carlos. A partir dos resultados pode-se ainda concluir que: (i) os algoritmos desenvolvidos neste trabalho são apropriados para a extração das variáveis geomorfométricas regionais na resolução de 30m e 90m; (ii) na escala 1:100.000 os solos puderam ser descritos pelas características locais e regionais do relevo; (iii) classes de variáveis geomorfométricas, cada uma a seu modo, indicaram de dois a três conjuntos de classes de solo e pelo menos uma variável geomorfométrica permitiu a separação entre duas classes de solos.

Referências Bibliográficas

BRASIL. **Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1983. 780p. 6 mapas col. (Projeto RADAMBRASIL: Levantamento de Recursos Naturais, 32).

Bockheim, J. G.; Gennadiyev, A. N.; Hammer, R. D.; Tandarich, J. P. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p.23-36, 2005.

Dalrymple, J.B., Blong, R.J., Conacher, A.J. A hypothetical nine unit landsurface model. **Zeitschrift Für Geomorphologie**, v. 12, p. 60-76, 1968.

Evans, I. S. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. J. (Ed.). **Spatial analysis in geomorphology**. London: Harper & Row, Publishers, 1972. 393p. ISBN: 06-041272-0. part I, geral, p.17-90.

Gerrard, A. J. **Soils and landforms**. 1.ed. London: George Allen & Unwin, 1981. 219p.

Hengl, T.; Reuter, H. **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, 2009. 765p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 320p. ISBN: 978-85-240-3722-9. ISSN: 0103-9598.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Cartas topográficas de Itirapina e Rio Claro**: SF.23-Y-A-I-3, SF.23-Y-A-I-4, 1:50.000. São Paulo: IBGE, 1969.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Cartas topográficas de São Carlos e Corumbataí**: SF.23-Y-AI-1, SF.23-Y-A-I-2, 1:50.000. São Paulo: IBGE, 1971.

Mabbutt, J.A. Review of Concepts of Land Classification. In: Stewart G.A. **Land Evaluation: Papers of a CSIRO Symposium organized in Cooperation with UNESCO**. Vitoria: Macmillan of Australia, 1968. cap.1: Principles of Land Classification and Evaluation, p.11-28.

Mark, D. M. Geomorphometric parameters: a review and evaluation. *Geografiska Annaler. Series A, Physical geography*, v.57, n.3/4, p.165-177, 1975.

Mendonça, F.; Danni-Oliveira, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206p.

Muñoz, V. A. Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo. 2009. 112 p. (INPE-15796-TDI/1531). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/03.25.15.09>>. Acesso em: jun. 2010.

Ollier, C. D. Terrain classification: methods, applications and principles. In: HAILS, J. R. (Ed.). **Applied geomorphology: a perspective of the contribution of geomorphology to interdisciplinary studies and environmental management**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1977. cap. 8, p.277-316.

Prado, H. Oliveira, J. B., Almeida, C.L.F. **Carta pedológica semidetalhada de São Carlos: SF.23-Y-A-I, 1:100 000**. São Paulo: Instituto Agrônômico (IAC), 1981.

Qi, Feng; Zhu, A-Xing. Knowledge discovery from soil maps using inductive learning. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n. 8, p. 771-795. 2003.

Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. The shuttle radar topography mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241-262, 2003.

Valeriano M.M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 72p. (INPE- 10550-RPQ/756).

Valeriano, M. M.; Rosseti, D. F. **TOPODATA**: seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2008. 50p. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/topodata/documentos.php>>. Acesso em: 05 jan. 2009.