

Relação entre diferentes usos e coberturas da terra e declividade do terreno: implicações em conservação do solo

Eder Paulo Moreira ¹
Márcio de Morisson Valeriano ¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{eder,valerian}@dsr.inpe.br

Abstract. This study aims to characterize and to evaluate the relationship and suitability of different land use/cover relative to slope classes defined according to land use capacity in the Brazilian land capacity classification system. TM/Landsat image and slope map were processed to generate the land use/cover map and the slope classes of an area in the countryside of São Paulo State, Brazil. The image were segmented by object-based analysis and classified manually. The land use/cover and the slope class maps were overlaid in a geographic information system and its relationship were quantified and analyzed through some statistics. The classes of land use/cover mapped on the area are sugarcane, citrus, pasture, native forest, planted forest and urban area. It was observed that each land use/cover is concentrated in different slope ranges. Some interesting facts concerning the methodological approach and the relationship between the land use/cover and slope classes were discussed. Conflicts of land uses and their suitability in terms of land use capability were found.

Palavras-chave: sloping terrain, soil capacity, land use, erosion.

1. Introdução

Estima-se que milhões de hectares de terras agricultáveis são degradados todos os anos por processos de erosão do solo (Fao, 1995). Estas terras que antes eram produtivas se tornam impróprias ao uso agrícola, eventualmente deixadas em pousio por longos períodos ou reflorestadas. Em alguns casos, técnicas complexas de conservação do solo devem ser adotadas para recuperação de áreas degradadas por erosão. O clima, a topografia do terreno, a cobertura vegetal e as propriedades do solo atuam como fatores que influenciam os processos de erosão. A erosão é acelerada quando a cobertura vegetal é removida parcial ou totalmente do solo, onde ele fica mais exposto as intempéries climáticas. A resposta erosiva às modificações na cobertura natural é mais intensa de acordo com as características topográficas e com as propriedades físicas e químicas do solo. O fator topográfico de erosão, representado por uma combinação entre a declividade e o comprimento de rampa, tem influencia na infiltração da água no solo, no volume de escoamento superficial e sua velocidade ao longo das vertentes (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

A declividade é uma variável geográfica que está presente na legislação brasileira como fator limitante ao uso agrícola. No sistema de capacidade de uso agrícola das terras (Lepsch et al., 1991), níveis de declividade são relacionados diretamente à classe de intensidade de uso permissível, com pequenas nuances devidas a outros fatores, edafoclimáticos. Ela pode ser estimada através de curvas de nível ou pontos de elevação, ou no campo com clinômetros; mais recentemente no contexto das geotecnologias, através da derivação de Modelos Digitais de Elevação (MDE) (Valeriano e Albuquerque, 2010). Com a disponibilização dos dados SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* (Rabus et al., 2003), é possível o mapeamento da declividade em escala de pequena a média para quase toda a superfície terrestre, o que foi feito para o território nacional no escopo do Topodata (Valeriano, 2008). Este trabalho objetiva caracterizar e avaliar diferentes usos e coberturas da terra ante classes de declividade definidas de acordo com a capacidade de uso da terra.

2. Materiais e métodos

A área de estudo (Figura 1) compreende um quadrante de 10x10 km e inclui porções territoriais dos municípios de São Carlos, Analândia e Itirapina, do Estado de São Paulo. Ela possui clima tipo Cwa (classificação Koeppen), com chuvas no verão e seca no inverno. A temperatura máxima é de 28°C no verão e a mínima de 14°C no inverno. Os solos predominantes na região são: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico e Gleissolo (Prado et al., 1981).

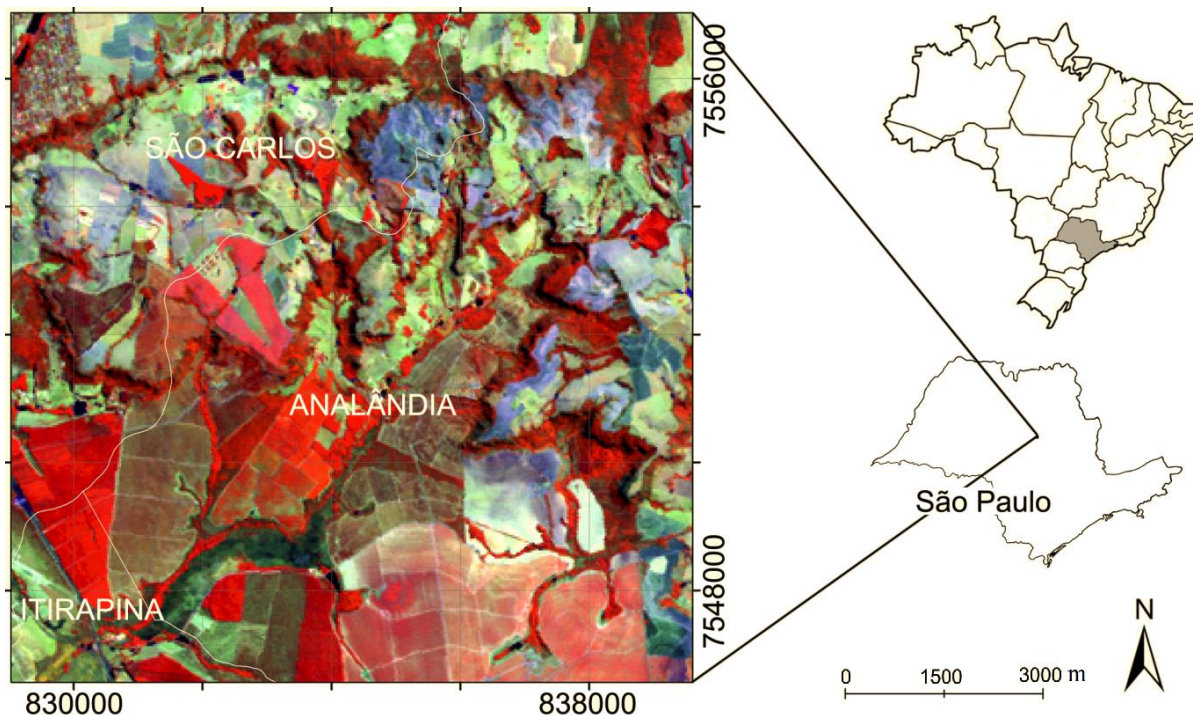


Figura 1. Localização da área de estudo. Imagem TM/Landsat 5 de 19/09/2011.

Os dados do sensor TM/Landsat 5 de 19/09/2011 (órbita/ponto 220/75) foram obtidos no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os quais foram as bandas 3 (0,63 – 0,69 μm), 4 (0,76 – 0,90 μm) e 5 (1,55 - 1,75 μm), usadas para a composição no esquema 453 (RGB). Além disso, foi adquirida uma quadrícula de declividade disponibilizada no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Topodata), elaborada conforme a metodologia descrita por Valeriano (2003) com dados da banda C gerandos na missão SRTM (Rabus et al., 2003).

A imagem Landsat e a de declividade foram recortadas, preservando somente a área de estudo. Ambas foram projetadas no sistema de projeção cartográfica UTM, datum WGS-1984. Para manipulação dos dados em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi necessário o registro da imagem Landsat tendo como base um modelo digital de elevação (MDE) da área, disponibilizado pelo Topodata. A declividade foi fatiada conforme as classes descritas por Lepsch et al. (1991), que levam em consideração suas relações com a capacidade de uso da terra.

A imagem Landsat foi segmentada utilizando o software eCognition (Ecognition, 2012), por meio do algoritmo “multiresolução” (Baatz e Schäpe, 2000). Os parâmetros de segmentação foram aplicados com os seguintes valores: escala=30, cor=0,8, forma=0,2 e compacidade=0,5. As bandas espectrais foram consideradas com pesos iguais. Estes parâmetros foram selecionados após várias tentativas e erros com os diferentes parâmetros combinados. Os objetos (polígonos) gerados foram classificados manualmente, de acordo

com o uso e cobertura da terra estabelecidos com base no conhecimento de campo e em imagens de alta resolução *GeoEye* do ano de 2012, disponíveis na biblioteca do *Google Earth* (acesso em 10 de setembro de 2012). A métrica quantitativa de avaliação da classificação foi o índice de concordância Kappa, testando se este índice foi significativamente diferente de zero (Congalton, 1999). Para essa avaliação, foram selecionados aleatoriamente 100 pontos de referência na imagem.

A escala cartográfica da classificação e da declividade foi compatível com o que se preconiza para mapeamentos a 1:100.000, de acordo com a estrutura e resolução dos dados usados (Hengl, 2006). As classes de uso/cobertura da terra e as de declividade foram sobrepostas utilizando o SIG *ArcGIS* 10 (Esri, 2011), para análises conjuntas e cálculos de área. Posteriormente os dados foram exportados para formato *ASCII* para serem descritos e analisados estatisticamente no ambiente *R* (R Core Team, 2012).

3. Resultados

A metodologia abordada permitiu identificar e quantificar diferentes classes de uso e cobertura da terra (Tabela 1). O mapa de uso e cobertura (Figura 2) apresentou índice de concordância kappa de 84%, valor significativamente diferente de zero (valor $p < 0,01$). As áreas de pasto e mata nativa representaram as maiores áreas no mapa. As culturas de cana-de-açúcar e citrus também ocuparam uma proporção relevante de toda a área mapeada. Estas foram mapeadas separadamente por classe de declividade (Figura 3). As classes de declividade são representadas pelas figuras 2 e 3.

Tabela 1. Área das diferentes classes de uso e cobertura da terra

Classe de uso e cobertura	Área	
	(ha)	%
Área urbana	125,0	1,2
Cana-de-açúcar	1.914,6	19,1
Citrus	1.800,8	18,0
Corpos d' Água	19,0	0,2
Floresta plantada	413,8	4,1
Mata nativa	2.792,0	27,9
Pasto	2.934,8	29,3
TOTAL	10.000,0	100,0

A classe de declividade E (fortemente inclinada) é a mais representativa (Figura 4). As áreas planas a suave-onduladas, classes A, B e C, são ocupadas principalmente por citrus e cana-de-açúcar (Tabela 2 e Figura 6). Na classe de declividade D (áreas inclinadas) prevalece mata nativa e pasto, mas possui expressiva área de citrus e cana-de-açúcar. Já as áreas fortemente inclinadas a escarpadas (classe E, F e G) são ocupadas predominantemente por mata nativa e pasto.

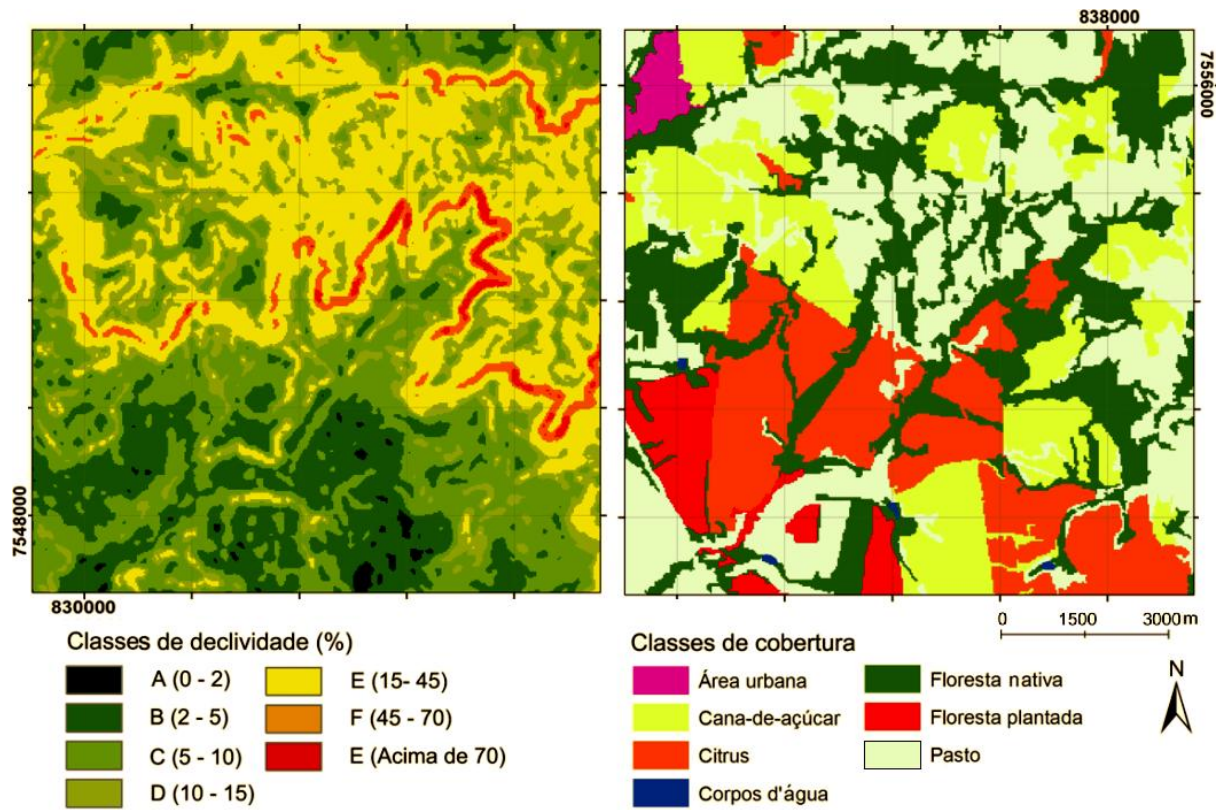


Figura 2. Mapas de classes de declividade e de uso e cobertura da terra.

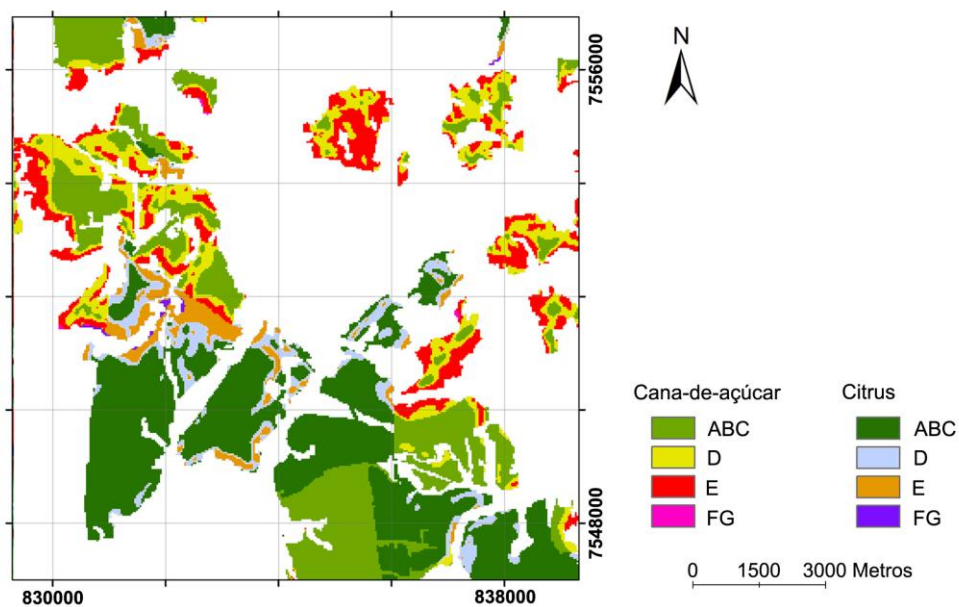


Figura 3. Mapa das áreas de cana-de-açúcar e citrus por classes de declividade (ABC: 0-10%, D: 10-15%, E: 15-45, FG: Acima de 45%).

Tabela 2. Relação entre as áreas das classes de uso e cobertura da terra e classes de declividade

Uso e Cobertura	Classes de declividade (%)							Total
	A (0-2)	B (2-5)	C (5-10)	D (10-15)	E (15-45)	F (45-70)	G (>70)	
au	0,0 (0,0)	9,7 (0,8)	52,4 (2,2)	18,0 (1,2)	19,9 (0,8)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	100 (1,3)
ca	0,6 (27,5)	18,3 (22,6)	30,0 (19,6)	27,0 (28,5)	24,0 (14,2)	0,2 (0,9)	0,0 (0,1)	100 (19,2)
c	1,3 (53,8)	29,6 (34,3)	44,9 (27,6)	14,3 (14,2)	9,5 (5,3)	0,4 (2,0)	0,0 (0,1)	100 (18,0)
fp	0,4 (3,9)	42,1 (11,2)	48,7 (6,9)	7,3 (1,7)	1,5 (0,2)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	100 (4,1)
mn	0,0 (2,8)	7,1 (12,7)	21,0 (20,0)	15,9 (24,5)	45,1 (38,9)	8,9 (74,0)	2,0 (74,1)	100 (28,0)
p	0,2 (12,0)	9,8 (18,5)	23,6 (23,6)	18,4 (29,9)	44,7 (40,6)	2,6 (23,1)	0,7 (25,6)	100 (29,4)
Total	0,4 (100)	15,6 (100)	29,3 (100)	18,2 (100)	32,4 (100)	3,4 (100)	0,8 (100)	100 (100)

au: área urbana; ca: cana-de-açúcar; c: citrus; fp: floresta plantada; mn: mata nativa; p: pasto.

A tabela 2 indica que 48,9% da cana-de-açúcar, 75,8% do citrus e 91,2% da floresta plantada estão sob as classes de declividade A, B e C, respectivamente. Pelo menos 48% do pasto e da mata nativa estão nas classes de declividade E, F e G (Tabela 3). O citrus e a cana-de-açúcar estão ocupando áreas com declividades médias de 7,9 e 10,3%, respectivamente. Já o pasto e a mata nativa são as classes de uso e cobertura que possuem as maiores declividades médias. O terceiro quartil indica que (Tabela 3) 75% das áreas de citrus, cana-de-açúcar e floresta plantada estão sob declividades de até 13,9%, e que somente 5% das áreas destas três coberturas estão situadas em declividades acima de 18,4, 21,6 e 11,95%, respectivamente.

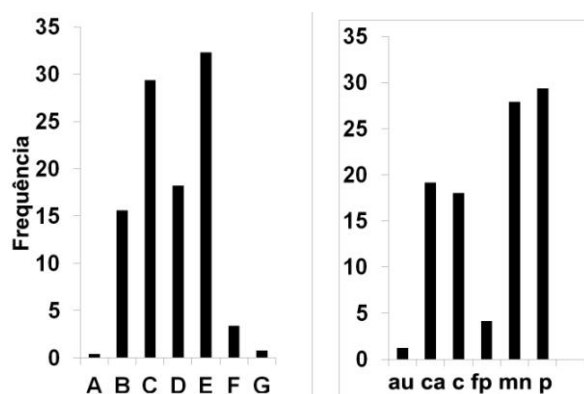


Figura 4. Histogramas das classes de declividade e de uso e cobertura da terra. (au: área urbana; ca: cana-de-açúcar; c: citrus; fp: floresta plantada; mn: mata nativa; p: pasto).

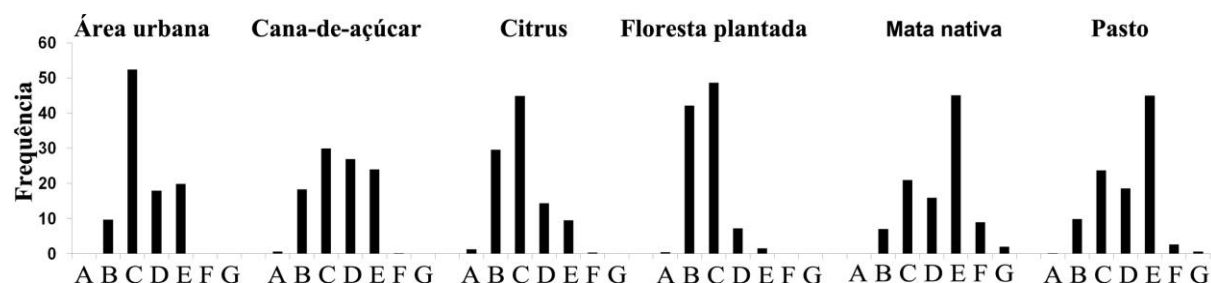


Figura 5. Histogramas das classes de uso e cobertura da terra por classe de declividade.

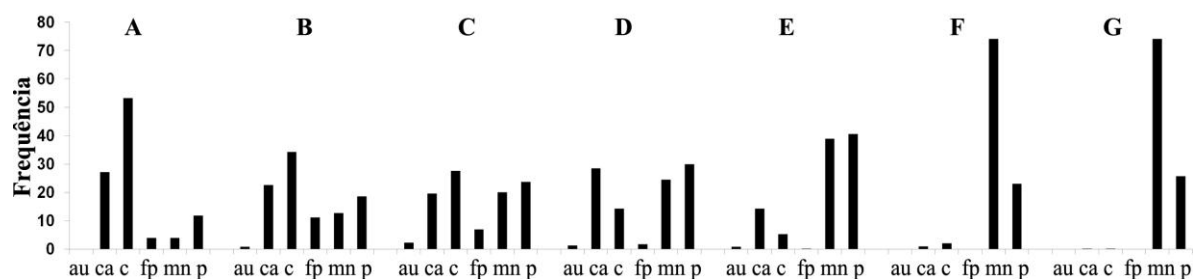


Figura 6. Histogramas das classes de declividade por classe de uso e cobertura da terra.

A cobertura que ocupa faixas maiores de declividade é a mata nativa (Figura 7). Ela está em declividades que variam de 0,6 a 122,3%, geralmente presente nos vales e nas áreas escarpadas. A floresta plantada e o citrus são os que estão concentrados nos ambientes mais planos (Figura 7); 75% do citrus e da floresta plantada estão entre 3,5 e 7,2% e 3,9 e 9,9% de declividade, respectivamente. É interessante notar que a área urbana, a cana-de-açúcar, o citrus e a floresta são mais abundantes na classe de declividade C e a mata nativa e o pasto na classe E (Figura 5).

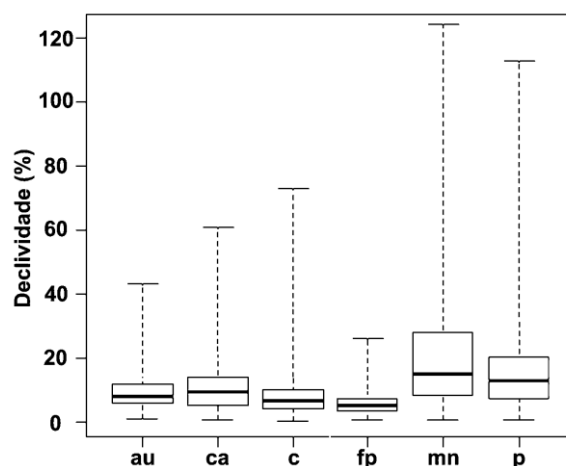


Figura 7. Box-plot das classes de uso e cobertura da terra em função da declividade (au: área urbana; ca: cana-de-açúcar; c: citrus; fp: floresta plantada; mn: mata nativa; p: pasto).

Tabela 3. Valores estatísticos da declividade por classes de uso e cobertura da terra

	au	ca	c	fp	mn	p
Média	10,3	10,3	7,9	5,6	20,5	15,4
Mínimo	0,8	0,6	0,3	0,4	0,6	0,4
Máximo	41,7	58,8	71,2	24,0	122,3	110,8
1º quartil	5,6	5,2	3,9	3,5	8,1	7,0
Mediana	8,1	9,2	6,4	4,9	14,7	12,7
3º quartil	11,7	13,9	9,9	7,2	28,0	20,0
90º percentil	20,08	18,47	14,46	10,06	45,36	29,19
95º percentil	26,76	21,69	18,44	11,95	56,54	37,85

au: área urbana; ca: cana-de-açúcar; c: citrus; fp: floresta plantada; mn: mata nativa; p: pasto.

4. Discussão

Os tamanhos das áreas totais cultivadas (soma das áreas de cana-de-açúcar, citrus e floresta plantada) por classes de declividades possuem ordem decrescente da seguinte forma:

C, B, D, E, A, F e G. Esta ordem pode ser devido a vários fatores como, maior produtividade agrícola, fácil acesso e possibilidade de uso de máquinas agrícolas, representatividade de cada classe de declividade em relação a outra, conscientização em relação à legislação e aos prejuízos causados ao solo etc. Embora as áreas cultivadas englobem todas estas classes de declividade, este estudo mostrou que uma parcela muito pequena ($< 2\%$) ocupa as classes F e G (Tabela 2), o que é restringido pela legislação vigente, que proíbe cultivo agrícola em declividades acima de 25° (45%).

Em termos de conservação do solo, Lepsch et al. (1991) relatam que as classes de declividade A, B, C e D permitem o uso de máquinas agrícolas. As classes A, B e C não oferecem problemas com relação a processos erosivos do solo, porém as práticas de conservação do solo devem ser adotadas para o caso de uso intensivo desses solos, principalmente os da classe C. Já para a classe D os autores descrevem que, a depender do tipo de solo, são áreas facilmente erodíveis, que necessitam de práticas complexas de conservação para sua utilização. A classe de declividade E abrange uma faixa extensa de declividade (15 a 45%) e é recomendável somente o uso máquinas agrícolas especiais ou mais leves. As classes F e G não são recomendáveis para o uso agrícola.

A cana-de-açúcar é o cultivo que mais preocupa em termos de conservação do solo na área. Mais que metade da área de seu cultivo se encontra sobre as classes D e E. Já o citrus e a floresta plantada possuem menos que 10% na classe de declividade E e situam-se majoritariamente em classes A, B e C.

É interessante notar que a mata nativa é a que proporcionalmente ocupa menos as áreas planas ou quase planas, visível no box-plot e no primeiro quartil (Tabela 3). Essas informações indicam que as áreas mais planas, que antes eram ocupadas com florestas nativas, foram desmatadas e estão sendo usadas com a agricultura e silvicultura.

Quanto aos dados em si, alguns aspectos metodológicos merecem considerações práticas. A média, em porcentagem, pareceu não descrever a declividade dos polígonos mapeados apropriadamente, pois é uma variável não-linear que tende a ter valor infinito quando se aproxima de 90° . A porcentagem não é uma expressão proporcional, como a unidade de medida grau, não sendo recomendável para cálculos de médias neste caso. A mediana, por sua vez, indica a declividade acima ou abaixo da qual 50% da área de uso e cobertura está presente, sem operações algébricas entre seus valores. Assim, a mediana (2º quartil) e demais quartis e percentis são teoricamente apropriados e pareceram descrever melhor os dados. Nota-se que as médias possuíram valores superiores às medianas.

A classe de declividade A (0-2%) foi menos representativa na área do que o esperado, pois somente 1,3% da área total pertence a esta classe. Talvez isto seja devido à escala de trabalho e à natureza dos dados de elevação SRTM, que não é um modelo de elevação do terreno mas da superfície, sendo sensível às variações de elevação da vegetação e outras coberturas e usos da terra. Estas variações podem causar a subestimação das áreas planas do relevo.

5. Conclusões

A pastagem e a mata nativa estão dentro de uma faixa de declividade mais abrangente. Já as culturas agrícolas estão presentes em ambientes de declividade mais baixa.

Uma proporção da área ocupada pela agricultura, principalmente cana-de-açúcar, encontra-se em classes de declividades que favorecem processos de erosão intensos, se técnicas de conservação do solo não forem adotadas.

Alguns aspectos metodológicos importantes foram apresentados, no que diz respeito às estatísticas e aos dados utilizados, como as concernentes à não-linearidade da declividade em porcentagem e a possibilidade de subestimação de áreas planas pela declividade.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES pelo apoio à pesquisa e pela bolsa de estudos concedida ao primeiro autor. Ao INPE e a SELPER pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa e pela organização do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

Referências Bibliográficas

Baatz, M.; Schäpe, A. **Multiresolution segmentation - An optimization approach for high quality multi-scale image segmentation**, 2000. Disponível em: <www.ecognition.cc/download/baatz_schaepe.pdf>. Acesso em: 02 abril. 2012.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 395p.

Congalton, R.G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and Practices**. London: Lewis Publishers, 1999. 137p.

Ecognition. **eCognition Developer 8.7 User Guide**, 2011. 248 p. Disponível em: <www.eCognition.com>. Acesso em: 02.abril.2012.

ESRI. **ArcGIS Desktop, Versão 10**. Environmental Systems Research Institute. Redlands, California, 2011.

FAO. **Dimensions of need - An atlas of food and agriculture**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995. 127p.

Hengl, T. Finding the right pixel size. **Computer & Geosciences**, v. 1, n. 32, p. 1283-1298, 2006.

Lepsch, I.F.; Belinazzi Junior, R.; Bertolini, D.; Espindola, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4a aproximação do manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

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.

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Disponível em: <<http://r-project.org/>>. Acesso em: 25.mar.2012.

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, p. 241-262, 2003.

Valeriano, M. M. Mapeamento da declividade em microbacias com sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 303-310, 2003.

Valeriano, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. 72 p. (INPE-15318-RPE/818).

Valeriano, M. M.; Albuquerque, P. C. G. **Topodata: Processamento dos dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2010. 79 p. (INPE-16702-RPQ/854).