

Definição de áreas prioritárias à adequação do uso da terra por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG

Anderson Antonio da Conceição Sartori¹

Fábio Ávila Nossack¹

Diego Augusto de Campos Moraes¹

Maria Jorgiana Ferreira Dantas¹

Ramon Felipe Bicudo da Silva¹

Célia Regina Lopes Zimback¹

¹ Universidade Estadual Paulista - UNESP/FCA

Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas - GEPAG

Caixa Postal 237 - 18610-307 - Botucatu - SP, Brasil

sartori80@gmail.com, fanossack@fca.unesp.br, diegomoraes@fca.unesp.br,
jorgianaferreira@hotmail.com, ramonbicudo@yahoo.com.br, czimback@gmail.com

Abstract. In the context of environmental planning, land management and natural resources, the use of computer technology has been important for researchers, businesses and public managers. The aim of this study was to define priority areas for analyze the adequacy of land use through multi-criteria analysis in GIS. In many applications of GIS in the field of environmental analysis, is often involved multiple criteria to meet one or more goals. This is called Multicriteria Evaluation (MCE). The map of priority areas for adequacy of use of land in the sub-basin of Rio Pardo, SP, was generated through the integrated analysis of available data on the study area. The priority map identified no areas able or unable, but represented an ability surface where all pixels have a score from 0 (less able) to 255 (more able) resulting from the application of criteria and a weighted analysis. The Multicriteria Evaluation in GIS, is suitable for mapping of priority areas and adequacy of land use in watersheds. The Method of Weighted Linear Combination is flexible, easy to be implemented by determining the robustness of the solution to the process of decision making. The methodology enabled the integration of aspects related to the legislation with landscape features on the adequacy of land use.

Palavras-chave: Multicriteria Evaluation, priority areas, adequacy of land use, Avaliação Multicriterial, áreas prioritárias, adequação do uso da terra.

1. Introdução

A ocupação das terras no Brasil e no mundo está diretamente relacionada às demandas da população pela produção de alimentos, expansão urbana e de sistemas viários, exploração de minérios e combustíveis fósseis, o que no decorrer das gerações passadas à atualidade, proporciona transformações na paisagem em diversas escalas. Em alguns casos, principalmente nas zonas rurais, o processo de ocupação atual dos territórios pode ser consideravelmente reorganizado de modo a permitir a exploração do solo, a transformação da paisagem e o desenvolvimento econômico com sustentabilidade.

Segundo Piroli (2002), a necessidade de um planejamento para a utilização do solo e dos recursos naturais é urgente, pois a forma de ocupação dos espaços agrícolas, desordenada e inconseqüente, tem levado a capacidade das terras ao limite e, em alguns casos, à subutilização. Para o autor, é alarmante a situação da agricultura no Brasil, no entanto, por meio de planejamento em escalas regionalizadas, é possível adequá-la.

No âmbito do planejamento ambiental e gestão do território e dos recursos naturais, o uso de tecnologias computacionais tem recebido importância por parte de pesquisadores, empresas e gestores públicos. O geoprocessamento é uma disciplina do conhecimento que utiliza informações geográficas tratadas e interpretadas através de técnicas matemáticas em ambiente computacional (Piroli, 2002). Esse ramo da ciência assume importante papel nas áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicação, energia e planejamento urbano e rural (Câmarama e Medeiros, 1998).

As ferramentas para o geoprocessamento são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permitem ao pesquisador realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar um banco de dados georreferenciados (Rodrigues, 1990).

Em muitas das aplicações de SIG na área de análise ambiental, é comum o envolvimento de múltiplos critérios para se atender a um ou mais objetivos. É denominada Avaliação Multicritérios (AMC). Problemas de decisão espacial normalmente envolvem um grande conjunto de alternativas viáveis e múltiplas (Malczewski, 2006).

A análise de multicritérios tem sido empregada em diversos estudos relacionados ao planejamento ambiental como: definição de áreas mais adequadas para instalação de empreendimentos, análise de risco ambiental, análise de sensibilidade ambiental e planejamento de uso das terras (Sartori, 2010; Malczewski, 2004; Eastman, 2003).

Malczewski (2004) coloca que a análise da adequação de uso da terra utilizando SIG, tem aplicação em diversas situações com viés ecológico como a determinação de habitat para espécies animais e vegetais; aptidão das terras para agricultura; avaliação e planejamento da paisagem; avaliação de impactos ambientais e planejamento regional. Para tanto, podem ser utilizadas três abordagens em ambiente de SIG, como: sobreposição de informações espaciais, inteligência artificial e método de avaliação por multicritérios. A análise de multicritérios é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (Roy, 1995).

Na área agrícola, Li e Yeh (2001) empregaram a Análise de Multicritério (AMC) em ambiente SIG para o zoneamento de terras. Os autores comentam que o zoneamento de terras agrícolas, para fim de proteção, tem se tornado uma atividade estratégica na redução de perda de áreas com alto potencial agrícola em regiões de rápido desenvolvimento.

A AMC também pode ser empregada, com sucesso, no mapeamento de áreas apropriadas ao plantio de culturas agrícolas. Ceballos-Silva e Lopez-Blanco (2003) utilizaram a abordagem AMC, em ambiente SIG, para identificar áreas adequadas ao plantio de aveia (*Avena sativa L.*) no México Central.

Sartori (2010) também se utilizou da tecnologia SIG para desenvolver um modelo baseado em múltiplos critérios, para favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais na Bacia do Rio Pardo, SP, visando à restauração florestal, utilizando a abordagem multicriterial (Combinação Linear Ponderada).

Assim, o objetivo deste estudo foi definir áreas prioritárias para analisar a adequação de uso das terras quanto à capacidade de uso das terras, áreas de proteção permanente e às características de relevo e solo por meio de análise de multicritérios em ambiente SIG.

2. Material e Métodos

A sub-Bacia do alto Rio Pardo esta se localiza na região centro sul do Estado de São Paulo, abrangendo áreas dos municípios de Botucatu e Pardinho; possui uma área de 148,76 km², sendo que o Rio Pardo, seu principal curso de água, percorre um trecho de aproximadamente 28,7 km desde a sua nascente até o ponto de captação de água pela SABESP.

A Bacia do Rio Pardo está geograficamente localizada entre as coordenadas 23°06'14" e 22°56'07" de latitude sul e, 48°28'37" e 48°20'40" de longitude oeste de Greenwich, com altitudes variando entre 840 e 1.000 m.

2.1 Solos

O plano de informação referente aos solos da bacia do Rio Pardo foi elaborado a partir da digitalização, do mapa do Levantamento Pedológico Semidetalhado da Bacia do Rio Pardo,

escala 1:10.000 Zimback, (1997) adaptado por (Grossi, 2003) onde foram reclassificados, segundo normas da (Embrapa, 2006).

2.2 Erodibilidade do solo

Esse plano de informação foi obtido a partir da reclassificação do mapa de solos, sendo que cada classe de solo foi associada ao valor correspondente de erodibilidade. A erodibilidade do solo tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas unitárias, sendo expresso como a perda de solo por unidade de índice de erosão da chuva, tendo por unidade $t.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$ (Bertoni e Lombardi Neto, 1985).

2.3 Declividade do terreno

O plano de informação declividade do terreno foi produzido a partir do modelo digital do terreno. A partir do modelo foi gerado o mapa de declividade, em porcentagem, que, posteriormente, foi reclassificado em sete categorias, conforme França (1963), ou seja: 0-3%; 3-6%; 6-12%; 12-20%; 20-40%; e acima de 40%.

2.4 Mapeamento das Áreas de Preservação Permanentes (APP's)

Para a definição das áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água, utilizou-se o programa Autodesk Map na obtenção do "buffer" de 30m para cada lado de toda rede de drenagem da bacia. Esse limite está fundamentado na resolução CONAMA nº 303/2002, Art.3º "constitui Área de Preservação Permanente a área situada em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima de trinta metros, para o curso d'água com menos de dez metros de largura", e no Código Florestal (Lei 4.771/1965), que considera essas áreas, cobertas ou não por vegetação nativa.

2.5 Capacidade de uso da terra

O estudo de capacidade de uso da terra foi feito a partir da metodologia proposta por Lepsch (1991), através do cruzamento do mapa de solos com o mapa das classes de declive. Esta avaliação é hierarquizada por grupos, classes, subclasses e unidades de capacidade de uso.

2.6 Mapas de fatores

Na definição dos critérios e, posteriormente, dos pesos de fatores, empregou-se a Técnica Participatória proposta por Eastman (2001), Valente (2005) e Sartori (2010), que se constitui na reunião e consulta de especialistas das diferentes áreas de interesse do trabalho.

Foram elencados quatro fatores juntamente com as áreas restritivas de acordo com o objetivo em definir áreas prioritárias para analisar a adequação de uso das terras.

- Fator capacidade de uso da terra

A imagem de fator *capacidade de uso da terra* foi submetida a uma função linear decrescente Assim, a imagem desse fator foi padronizada para (0 a 255) desse modo, obtiveram-se os valores iguais e/ou próximos a 255 a classe de capacidade de uso da terra de maior adequação ao uso agrícola (Figura 1).

- Fator Áreas de Preservação Permanentes (APP's)

Para elaboração desse mapa de fator produziu-se o mapa de distância a partir do buffer das APP's. Esse, associado aos limites da bacia, possibilitou ter as distancias somente dentro dos limites da Bacia do Rio Pardo. O mapa final foi normalizado (escala 0 – 255 bytes) com uma função linear crescente (Figura 2).

- Fator declividade

A produção desse fator teve por base os planos de informação declividade (%), onde foi aplicada uma função linear decrescente, sendo assim, a imagem desse fator foi normalizada (0

– 255 bytes) de maneira a ter maior prioridade para os menores valores de declividade (Figura 3).

- Fator Erodibilidade do solo

O mapa de erodibilidade do solo foi submetido a uma função linear decrescente, assim a imagem desse fator foi padronizada para (0 a 255). Desse modo, obtiveram-se os valores iguais e/ou próximos a 255 a classe de solo de menor erodibilidade (Figura 4).

- Restrições

Foram considerados como restrições para o propósito deste trabalho os limites da bacia, as áreas de floresta nativa, corpos d'água e as áreas APP. Isto significa que o mapa final de áreas prioritárias considerou apenas o território dentro dos limites da bacia para a adequação de uso das terras.

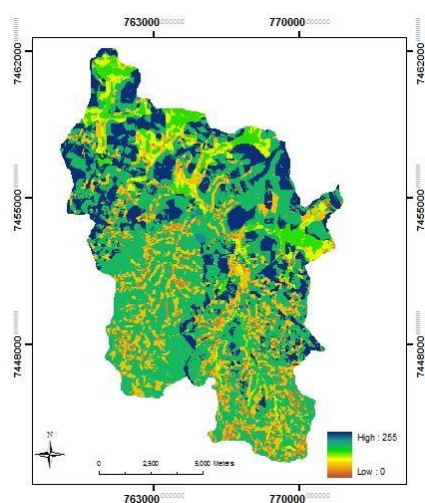


Figura 1. Fator capacidade de uso da terra

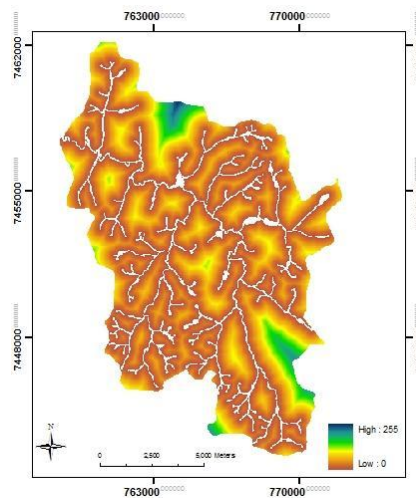


Figura 2. Fator Áreas de Preservação Permanentes (APP's)

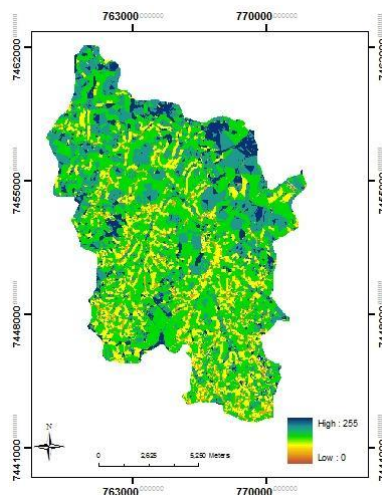


Figura 3. Fator declividade

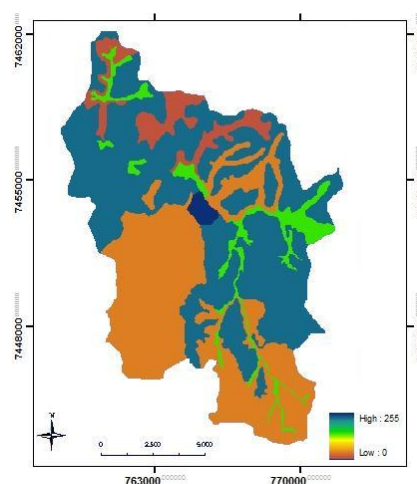


Figura 4. Fator Erodibilidade do solo

2.7 Pesos dos critérios

Para calcular o peso para cada fator foi utilizada o processo de tomada de decisão conhecido como Análise Hierárquica Analítica (Saaty, 1977). Este método emprega uma comparação pareada entre fatores para determinar a importância relativa de cada um deles. Os valores são derivados de uma escala contínua de nove pontos (Figura 5)

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremamente	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fortemente	Muito fortemente	Extremamente




Figura 1. Escala contínua de nove pontos usada na comparação pareada entre fatores, na Avaliação Multicritérios. Fonte: Eastman (2001).

Tabela 1. Pesos de compensação obtidos através da matriz de comparação pareada

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Pesos
Fator 1	1				0,0823
Fator 2	2	1			0,1276
Fator 3	3	2	1		0,2257
Fator 4	5	5	3	1	0,5644

Notas: Taxa de Consistência (TC) = 0,02

Fator 1: Fator Erodibilidade do solo; Fator 2: Fator declividade; Fator 3: Fator Áreas de Preservação Permanentes (APP's); Fator 4: Fator capacidade de uso da terra.

Devido ao fato de a matriz de comparação pareada apresentar múltiplos caminhos (ou maneiras) pelos quais a importância relativa dos critérios pode ser avaliada, é possível também determinar o grau de consistência atingido no desenvolvimento dos pesos. Saaty (1977) indicou o procedimento pelo qual um índice de consistência conhecida como Taxa de Consistência (TC), pode ser obtido. A TC indica a probabilidade de os valores da matriz ter sido gerado ao acaso (ou randomicamente). De acordo com autor, as matrizes com TC maiores que 0,10 devem ser reavaliadas.

2.8 Combinação Linear Ponderada

Um dos métodos mais empregados na AMC é a Combinação Linear Ponderada-CLP (Voogd, 1983). Uma vez que os mapas de critérios (fatores e restrições) tenham sido gerados, é uma simples questão de multiplicar cada mapa de fator (isto é, cada célula, ou pixel, de cada mapa) pelo seu peso, e então somar os resultados

3. Resultados e Discussão

Os pesos, calculados a partir da matriz de julgamento, para os fatores: erodibilidade do solo, declividade, Áreas de Preservação Permanentes (APP's) e capacidade de uso da terra foram: 0,0823, 0,1276, 0,2257 e 0,5644 respectivamente. A taxa de consistência (TC) dos pesos encontrada para este estudo foi de 0,02, indicando que o julgamento apresentou consistência aceitável, ou seja, menor que 0,1 (10%). Essa ponderação tem influência direta sobre a espacialização das áreas prioritárias para analisar a adequação de uso das terras a serem geradas pela análise.

A Figura 6 mostra o mapa de áreas prioritárias para adequação de uso das terras na sub-Bacia do Rio Pardo, SP, foi gerado através da análise integrada dos dados disponíveis sobre a área em estudo, segundo os critérios e pesos estabelecidos pela Técnica Participatória. Pode-se observar que o mapa não identificou as áreas aptas ou inaptas, mas representou uma superfície de aptidão onde todos os pixels possuem uma nota de 0 (menos apto) a 255 (mais apto), resultante da aplicação dos critérios e da análise ponderada.

A partir dessa superfície foi possível estabelecer um limiar para a seleção das melhores áreas, ou efetuar uma hierarquização das células (pixel) de forma a selecionar apenas as melhores áreas para a exploração agrícola das terras, e nestas isolar uma ou mais áreas contíguas. Dessa forma, o mapa permitiu uma visão geral de como a paisagem da bacia se comporta em termos de aptidão à implantação de uma estratégia de adequação agrícola. Com

isso gerou a possibilidade de escolha dos locais dentro das áreas mais aptas e que merecem um estudo mais detalhado.

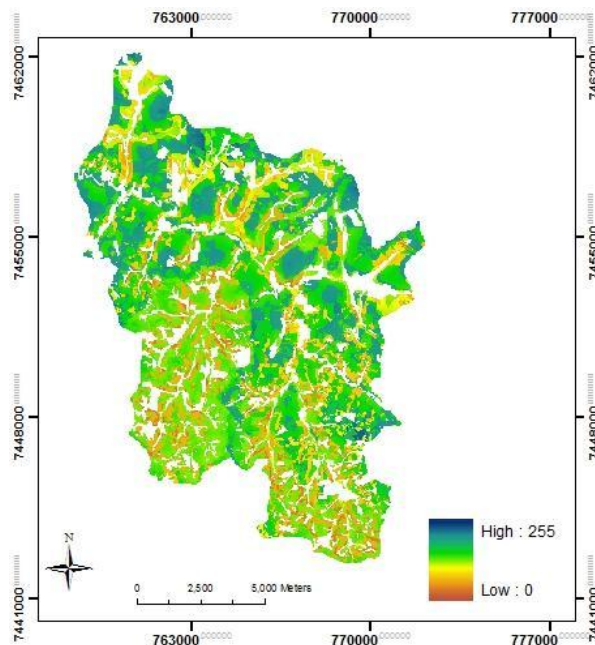


Figura 6. Escala contínua de adequação de uso agrícola (0 a 255).

O mapa final de áreas prioritárias (Figura 7) foi reclassificado para melhor avaliar a relação das áreas prioritárias no processo de avaliação da adequação de uso das terras na sub-Bacia do Rio Pardo, SP, além de tornar mais fácil a interpretação do mapa. Foram definidas para o mapa de áreas prioritárias em quatro classes de prioridades (classes de mesma amplitude): muito baixa, baixa, média, alta. O intervalo de classe foi determinado a partir da avaliação do histograma dos mapas (0-255 bytes).

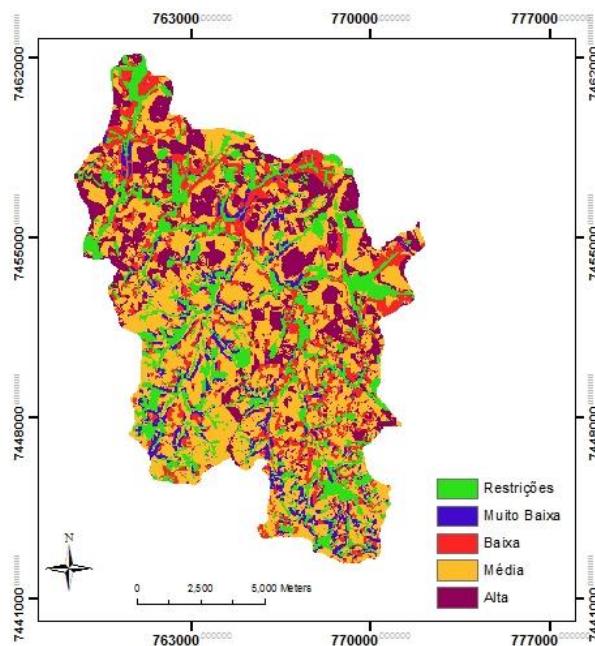


Figura 7. Mapa de classes de adequação de uso agrícola das terras.

A partir do mapa de adequação de uso das terras (Figura 7) foi possível calcular no SIG a área de cada classe, em valores absolutos, como mostra a (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de área para os cinco níveis de prioridade

Nível de prioridade	Área	
	(ha)	(%)
Muito baixa	1.082,76	7,04
Baixa	2.352,60	15,30
Média	6.411,63	41,70
Alta	2.585,11	16,81
Restrições	2.940,40	19,13
Total	14.821,62	100,00

Analisando-se a Figura 7 e Tabela 2 observa-se que, a maior parte da área apresenta valores de médio a alto grau de adequação de uso, onde é possível observar que as áreas determinadas como de alta e média adequação de uso agrícola apresentam-se distribuídas ao longo de toda sub-bacia. Para essas áreas, pode-se perceber nitidamente a influência do fator capacidade do uso da terra, porque é o fator com maior peso de compensação na análise (Tabela 1). Embora o fator Áreas de Preservação Permanentes tenha peso de compensação menor, também teve influência no resultado, como pode ser claramente observado nas classes alta e muito alta (Figura 7).

As áreas com baixa adequação agrícola aparecem distribuídas em maior concentração nas áreas com maiores declividades ao longo do Front da Cuesta, na faixa leste e sul, nas proximidades da nascente do Rio Pardo, em Pardinho-SP porção norte, onde o relevo varia de ondulado, forte ondulado. Então essas áreas são de menos prioridade a adequação de uso.

4. Conclusão

A Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, é adequada ao mapeamentos de áreas prioritárias à adequação do uso das terras em bacias hidrográficas. O planejamento racional de uso dos recursos naturais, em escala local, regional ou nacional, é necessário, pois o uso das terras, sem planejamento adequado, faz com que as mesmas fiquem cada vez mais empobrecidas e com menor produtividade. No entanto, em função do grande crescimento do setor agropecuário brasileiro, a falta de avaliação da aptidão agrícola de terras, ou capacidade de uso de solos, para a elaboração e implantação de planejamentos de uso sustentável das terras, tem se tornado frequente, podendo ocasionar impactos negativos ao ambiente.

O método da Combinação Linear Ponderada é flexível, fácil de ser implementado e permite a interação de conhecimentos (pesquisadores, analistas) e de características da paisagem, determinando a robustez da solução para o processo de tomada de decisão

Salienta-se que a proposta desta metodologia, onde vários critérios foram utilizados, a seleção e a definição dos pesos referentes a cada um podem variar de acordo com as características da área, com o interesse e o objetivo do estudo. Entretanto, ela possibilitou a integração dos aspectos referentes à legislação com as características da paisagem na avaliação da adequação de uso das terras.

5. Referências

Câmara, G.; Medeiros, J. S. **Princípios básicos em geoprocessamento**. In: Assad, E. D.; Sano, E. E. Sistema de informações geográficas, segunda edição, Brasília, DF: Embrapa, 1998. Cap. 1, p. 3-12.

Ceballos-Silva, A.; Lopez-Blanco, J. Delineation of suitable areas for crops using a Multi-Criteria Evaluation approach and land-use/cover mapping: a case study in Central Mexico. **Agricultural Systems**, Kidlington, v. 77, n. 2, p. 117-136, 2003.

Eastman, J. R. **Idrisi Kilimanjaro: guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, 2003. 328p. Manual Version 14.00

Piroli, E.L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de Botucatu – SP**. Botucatu, SP: UNESP, 2002. Originalmente apresentada como tese, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 2002. p. 122.

Li, X.; Yeh, A. G. O. Urban simulation using principal components analysis and cellular automata for land-use planning. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 68, n. 4, p. 341-351, 2001.

Malczewski, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, New York, n. 62, p. 3-65, 2004.

Malczewski, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 7, August 2006, p. 703–726.

Rodrigues, M. Introdução ao Geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1990. p. 1-26.

Roy, P. T. J. C.; Sluis, J. W.; Tolkamp, H. H. Primavera: Decision support system for integral water management. **European Water Pollution Control**. New York, v. 5, n. 1, p. 6-9, 1995.

Sartori, A. A. C. **Análise Multicritérios na Definição de Áreas Prioritárias à Conectividade entre Fragmentos Florestais**. Botucatu, 2010. 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

Zimback, C. R. L. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Pardo no Municípios de Pardinho e Botucatu**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 1997. 55p.

Grossi, C. H. **Sistema e Informação Geográfica – Basins 3.0 na Modelagem hidrológica da Bacia Experimental do Rio Pardo, SP**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 2003.

Embrapa – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos: Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 2006. 212 p.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livrocere, 1985. 368p.

França, G. V. A classificação de terras de acordo com sua capacidade de uso como base para um programa de conservação de solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1, 1963. Campinas. **Anais...** São Paulo: Secretária da Agricultura, Divisão Estadual de Máquinas Agrícolas, 1963. P. 399-408.

Lepsch, I.F.; Bellinazzi JR., R.; Bertolini, D.; Espíndola, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4. ed. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

Eastman, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: **Idris 32 release 2: guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, Clark Labs, 2001. . 2, p. 1-22.

Valente, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, 2005. Piracicaba. 121 p.

Saaty, L. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, San Diego, v 15, p. 234-281, 1977.

Voogd, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983. 370 p.