

## **Definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal visando conectividade entre fragmentos: Análise Multicriterial**

Fábio Ávila Nossack<sup>1</sup>  
Anderson Antônio da Conceição Sartori<sup>1</sup>  
Ramon Felipe Bicudo da Silva<sup>1</sup>  
Diego de Campos Augusto Moraes<sup>1</sup>  
Célia Regina Lopes Zimback<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista - UNESP/FCA  
Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas - GEPAG  
Caixa Postal 237 - 18610-307 - Botucatu - SP, Brasil

**Abstract:** The present work aims to define priority areas to provide connectivity among forest fragments in Capivara's watershed, SP to promote forest restoration. The Multicriteria Analysis (MCA) is a method of analysis of alternatives for solving a problem which uses several criteria related to the object of study, and identify possible alternatives to the priority objective considered. The final map of priority areas was classified to better evaluate the relationship of the priority areas for forest restoration in the sub-basin in order to facilitate connectivity between forest fragments, in addition to making it easier to interpret. Were defined for this map five classes of priorities (classes of the same amplitude): very low, low, medium, high and very high. The Multicriteria Evaluation in a GIS environment, it is appropriate to the mapping of priority areas for forest restoration in watersheds in order to facilitate the connection between forest fragments.

**Palavras chave:** forest restoration, priority areas, multicriteria analysis, restauração florestal, áreas prioritárias, análise multicriterial.

### **1. Introdução**

As sociedades e paisagens nas quais estão inseridas apresentam-se em constante transformação devido às mudanças demográficas, sociais e econômicas que se apoiam nos processos naturais, resultando em paisagens moldadas por forças econômicas, pela tecnologia e pelo elevado consumo de energia (Antunes, 2009).

A fragmentação florestal de origem antrópica tem sido uma das principais causas de alteração, tanto na estrutura como nos processos de diferentes paisagens, onde se caracteriza pelo aumento no isolamento dos fragmentos, diminuição em seus tamanhos e aumento da suscetibilidade a distúrbios externos. Esses efeitos promovem, por sua vez, a redução da biodiversidade, da estabilidade dos ecossistemas e sua capacidade de resiliência frente a distúrbios (Sartori, 2010). Na Mata Atlântica, por exemplo, a maior parte dos remanescentes florestais, especialmente em paisagens intensamente cultivadas, encontra-se na forma de pequenos fragmentos, altamente perturbados, isolados, pouco conhecidos e pouco protegidos (Viana, 1995).

A alternativa que se coloca é recuperar os fragmentos e interliga-los com corredores e sistemas agroflorestais de alto fluxo de biodiversidade. Ao se recuperar os fragmentos (frequentemente degradados pela ação antrópica), aumenta-se o potencial destas como "ilhas de biodiversidade". A identificação de áreas e ações prioritárias é o primeiro passo para a elaboração de uma estratégia regional ou nacional para a conservação da diversidade biológica, pois permite ordenar os esforços e recursos disponíveis para conservação e subsidiar a elaboração de políticas públicas de ordenamento territorial. (Sartori, 2010).

A análise multicritérios é um método de análise de alternativas para resolução de um problema que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar as alternativas prioritárias para o objetivo considerado (Francisco et al., 2007).

Malczewski (2006) definiu que no nível mais rudimentar, Sistemas de Informações Geográficas e Análise Multicritérios podem ser pensados como um processo que transforma e

combina dados geográficos e valores de decisões para obter informações para tomada de decisão.

Malczewski (1996) e Malczewski e Jackson (2000) comentaram que o problema de tomada de decisão multicritérios envolve um conjunto de planos alternativos de alocação, avaliados com base em critérios múltiplos, conflitantes e incomensuráveis, por grupos de indivíduos com interesses diversos

Valente e Vettorazzi (2005) empregaram a Análise Multicritérios por meio de um SIG para definir áreas prioritárias para conservação e preservação florestal na bacia do Rio Corumbataí, SP, analisando os fatores proximidade aos fragmentos florestais, proximidade às áreas florestais com maior área nuclear, proximidade à rede hidrográfica, distância às estradas, distâncias às áreas urbanas e vulnerabilidade do solo à erosão.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo definir áreas prioritárias para favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais na Bacia do Rio Capivara-SP, visando a restauração florestal.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido na bacia do Rio Capivara, localizada no município de Botucatu (SP), situada na zona 22 entre as coordenadas planas UTM 758000; 7486000 e 779645; 7456286, com uma área total de 22.216 ha (Figura 1).

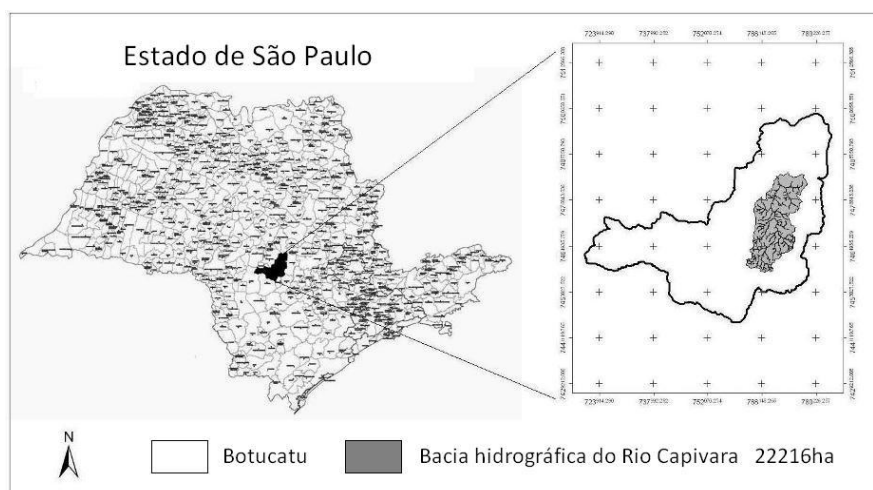


Figura 1. Localização da Bacia do Rio Capivara-SP.

A área de estudo se localiza na região de formação geológica chamada Cuesta Basáltica, caracterizada por três unidades geomorfológicas distintas: 1. Reverso da Cuesta (início do planalto Ocidental), com altitudes entre 700 e 950 m; 2. Front da Cuesta (escarpa arenítica-basáltica); e 3. Depressão periférica com altitudes entre 400 e 600 m.

A vegetação natural da bacia é constituída de três tipos: Floresta estacional semidecidual, principalmente na área denominada Front da Cuesta; Cerradão tanto no Reverso da Cuesta como na Depressão Periférica; e Mata ciliar, ao longo da rede de drenagem da região (Carrega et al., 2009). Áreas de ecótono também são encontradas na transição da Floresta Estacional com Cerradão também conhecido por Savana (Jorge e Sartori, 2002).

### 2.2 Solos

O mapa de solos foi obtido do levantamento pedológico realizado por Pirolí, 2002. Na escala de 1:50.000, os seguintes solos foram determinados: Latossolo Vermelho distrófico

(LVd), Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd1 – textura média), Neossolo Quartzarênico órtico distrófico (RQotípico), Gleissolo Háptico Tb distrófico (GXbd), Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd1 – textura média/arenosa), Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf) e Neossolo Litólico eutrófico (RLe).

### 2.3 Erodibilidade do solo

A erodibilidade do solo refere-se a suscetibilidade do solo à erosão. Determinados solos tem maior facilidade de se desgastarem do que outros, mesmo com condições de cobertura vegetal, declives, chuvas e manejo iguais (LOMBARDI NETO; BERTONI, 1975).

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 (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de erodibilidade para classes de solos segundo (Lombardi Neto e Bertoni, 1975)

Classes de Solos*	Fator K
Latossolo Vermelho distrófico	0,017
Argissolo Vermelho Amarelo distrófico	0,035
Neossolo Quartzarenico órtico típico	0,1448
Latossolo Vermelho Amarelo distrófico	0,013
Nitossolo Vermelho distrófico	0,018
Gleissolo Háptico distrófico	0,0044
Neossolo Litólico eutrófico	0,015
Latossolo Vermelho distroférico	0,012

\*Adaptadas segundo Embrapa (2006)

### 2.4 Rede hidrográfica

O plano de informação rede de drenagens foi gerado pela digitalização dos cursos d'água e represas a partir das cartas planialtimétricas do IGC em escala de 1:10.000.

### 2.5 Fragmentos de floresta

Para a geração desse plano de informação foi extraído do mapa de uso e cobertura do solo os fragmentos de floresta nativa. O mapa de uso e ocupação foi desenvolvido durante o primeiro semestre de 2010, obtido através da atualização do mapa desenvolvido em 2005 pelo Plano Diretor Municipal de Botucatu e com visitas em campo. Então esses fragmentos foram individualizados, isto é, passaram a receber identificadores únicos.

### 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). Foram elencados três fatores juntamente com as áreas restritivas de acordo com o objetivo definir áreas prioritárias para favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais

- *Fator Proximidade da cobertura florestal*

Com esse mapa de fator foram priorizadas as uniões entre os fragmentos de floresta, independentemente de seus tamanhos. A partir do plano de informação fragmentos de floresta gerou-se um mapa com distâncias entre os fragmentos (Figura 2)..

Esse mapa foi associado ao limite da bacia e, em seguida, foi normalizado (escala 0 a 255 bytes) com uma função linear decrescente. Assim ficou garantido que quanto mais próximo à cobertura florestal maior a importância (prioridade) da distancia, sendo que os maiores valores (ex.: 255), esta associado aos fragmentos de floresta nativa.

*- Fator Proximidade da rede hidrográfica*

Para elaboração desse mapa de fator produziu-se o mapa de distância aos corpos d'água, a partir do plano de informação rede hidrográfica. Esse, associado aos limites da bacia, possibilitou ter as distancias somente dentro dos limites da bacia do Rio Capivara. O mapa final foi normalizado (escala 0 – 255 bytes) com uma função linear decrescente. Desse modo obtiveram-se os valores iguais e/ou próximos a 255 da rede hidrográfica (Figura 3).

*- Fator erodibilidade*

A imagem de fator erodibilidade do solo foi logo submetida a uma função linear crescente Assim, a imagem desse fator foi padronizada para (0 a 255) através de uma função linear crescente. Deste modo, obtiveram-se valores iguais e/ou próximos a 255 a classe de solo de maior erodibilidade (Figura 4).

*- Restrições*

Foram considerados como restrições para o propósito deste trabalho a ocupação antrópica na bacia, as áreas de floresta nativa e corpos d'água. Isto significa que o mapa final de áreas prioritárias considerou apenas o território dentro dos limites da bacia para a restauração florestal (Figura 5).

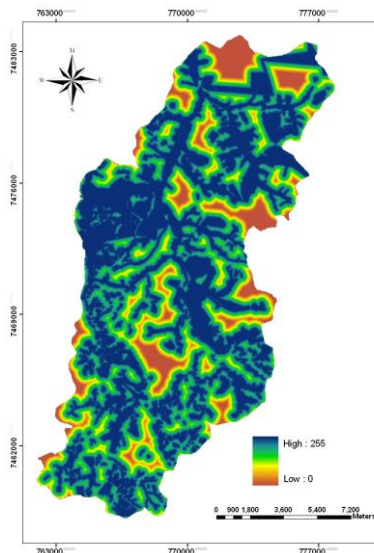


Figura 2. Fator proximidade da cobertura florestal.

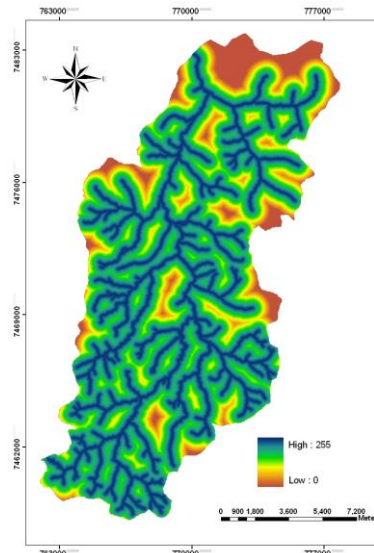


Figura 3. Fator proximidade da drenagem.

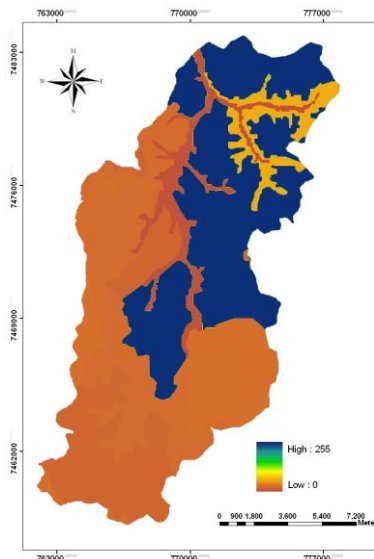


Figura 4. Fator erodibilidade do solo.

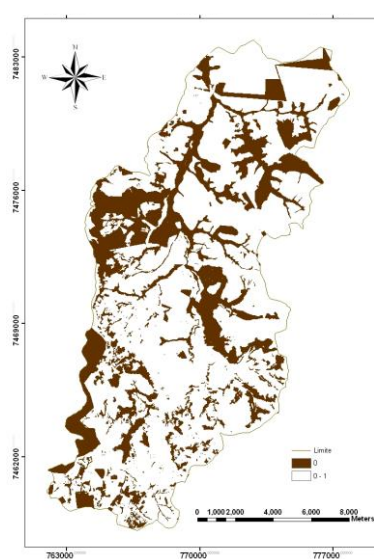


Figura 5. Restrições.

## 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 6).

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

Devido ao fato de a matriz de comparação pareada (Tabela 2) 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.

Tabela 2. Pesos de compensação obtidos através da matriz de comparação pareada

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Pesos
Fator 1	1			0,0751
Fator 2	5	1		0,03332
Fator 3	7	2	1	0,5917

Notas: Taxa de Consistência (TC) = 0,01

Fator 1: Fator Erodibilidade do solo; Fator 2: Proximidade a rede hidrográfica, Fator 3: Proximidade da cobertura florestal

## 2.8 Método da 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

O mapa de áreas prioritárias a restauração florestal na Bacia do Rio Capivara, SP, foi gerado pelo método da Combinação Linear Ponderada 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 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. O mapa de critérios gerado nos mostra áreas com maior prioridade para a implementação de projetos de recomposição ou restauração florestal, visando à conexão de fragmentos florestais.

O mapa final de áreas prioritárias (Figura 7) foi reclassificado para melhor avaliar a relação das áreas prioritárias à restauração florestal na sub-Bacia do Rio Capivara, SP, visando favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais, além de tornar mais fácil a interpretação do mapa. Foram definidas para este mapa em cinco classes de prioridades (classes de mesma amplitude): muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

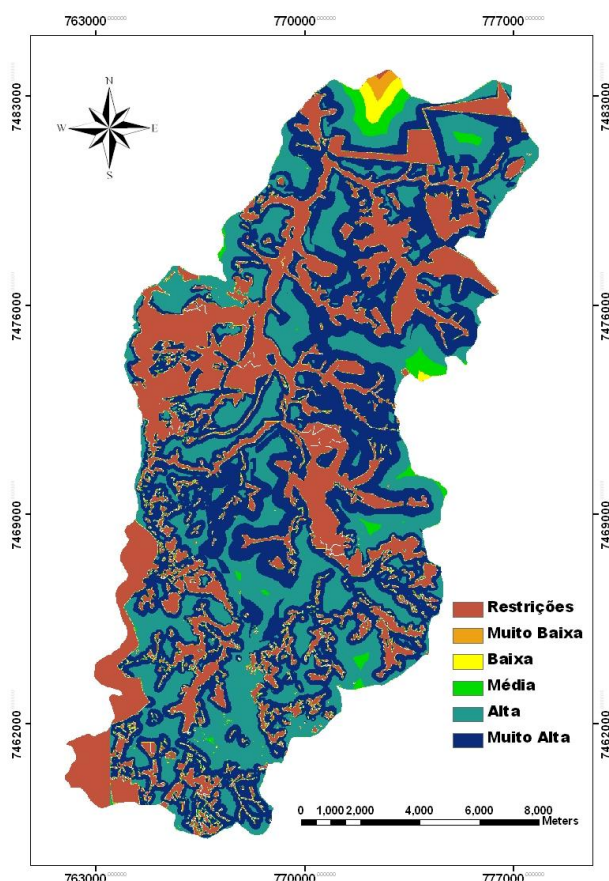


Figura 7. Mapa de áreas prioritárias a restauração florestal geradas pelo método da Combinação Linear Ponderada.

Através da análise do mapa gerado pode-se perceber que a classe com maior prioridade é aquela que melhor corresponde às áreas onde devem ser feitos os projetos de recuperação florestal. Os fatores utilizados nesta definição formam um conjunto de características cruciais na gestão de informações ambientais.

No mapa gerado pela CLP, especificamente para as áreas classificadas como de prioridade alta e muito alta, pode-se perceber nitidamente a influência do fator proximidade entre fragmentos na espacialização dessas áreas, porque é o fator com o maior peso de compensação na análise (Tabela 2). Embora os fatores proximidade da rede hidrográfica e erodibilidade tenham pesos de compensação menores que o anterior, também influenciou no resultado, como pode ser claramente observado.

Em função dos pesos atribuídos aos fatores, foi possível o detalhamento para as classes de maior prioridade. Jiang e Eastman (2000) também comprovaram a possibilidade de aumento no número de classes a medida que se obtém maior detalhamento e maior número de fatores.

Após a reclassificação dos valores em faixas, foi possível calcular suas respectivas áreas. A Tabela 3 discrimina os valores das áreas por classe e sua porcentagem na sub-bacia.

Tabela 3. Valores das áreas para os cinco níveis de prioridade.

Nível de Prioridade	Área	
	(ha)	(%)
Restrições	6750.44	30.36
Muito baixo	48.46	0.21
Baixo	108.48	0.48
Médio	327.54	1.47
Alto	9275.07	41.72
Muito Alto	5721.22	25.73
Total	22231.22	100.00

O fator proximidade à cobertura florestal além de possibilitar a conexão florestal colaborou, juntamente com os demais fatores, para que houvesse a definição de grande parte das áreas com maior prioridade em regiões da bacia, que concentram as áreas de floresta nativa. Assim como Metzger (1997) que ressaltou a importância da proximidade entre remanescentes de floresta e o quanto estes tem condições de assumir uma função de conexão florestal, por ser útil à locomoção de animais e dispersão de sementes na paisagem.

#### 4. Conclusão

A partir das condições específicas em que foi realizado o estudo e dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

A Avaliação Multicriterios, em ambiente SIG, é adequada ao mapeamento de áreas prioritárias à restauração florestal em bacias hidrográficas, visando favorecer a conexão entre os fragmentos florestais;

O método da Combinação Linear Ponderada e 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;

A caracterização ambiental da paisagem de acordo com as áreas prioritárias para restauração florestal estabeleceu basicamente as áreas com potencial para ações que resultam na conservação, manejo e restauração das mesmas, conforme as características do ambiente;

O incremento de outros fatores pode contribuir para um maior refinamento do mapa final de critérios. A avaliação multicriterial pode ser utilizada com outros objetivos embasados na análise ambiental.

#### 5. Referências

Antunes, L. R.. **Diagnóstico Ambiental da Paisagem do entorno do reservatório do Rio Atibainha, Nazaré Paulista, SP: Uso do mapeamento espacial e social da região como ferramenta para o planejamento agroecológico.** 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal De São Carlos, Araras, 2009. Disponível em: <[http://www.btd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=3544](http://www.btd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3544)>. Acesso em: 03 nov. 2010.

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

Carrega, E. F. B.; Campos, S.; Jorge, L. A. B. Evolução do uso do solo e vegetação natural na bacia do rio Capivara, Botucatu -SP. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 35-48, 2009.

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.

Francisco, C. E. S.; Coelho, R. M.; Torres, R. B.; Adami, S. F. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2643-2650.

Jorge, L. A. B.; Sartori, M. S. Uso do solo e análise temporal da ocorrência de vegetação natural na Fazenda Experimental Edgárdia, em Botucatu-SP. **Revista Árvore**, n. 26, v. 5, p. 582-592, 2002.

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.

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.

Metzger, J. P. Relationships between landscape structure and tree species diversity in tropical forests of south-east Brazil. **Landscape and Urban Planning**, v. 37, p. 29-35, 1997.

Pioli, E.L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de Botucatu – SP**. 2002. 122p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

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

Sartori, A. A. C.. **Análise Multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Botucatu, 2010.

Valente, R.O.A.; Vettorazzi, C.A. A abordagem multicriterial na definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.15.50.42/doc/1681.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2010.

Viana, V.M. Conservação da biodiversidade de fragmentos de florestas tropicais em paisagens intensivamente cultivadas. In: **Abordagens interdisciplinares para a conservação da biodiversidade e dinâmica do uso da terra no novo mundo**. Belo Horizonte/Gainesville: Conservation International do Brasil/Universidade Federal de Minas Gerais/ University of Florida, 1995. p. 135-154.

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