

O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista

Renato Alberto Momesso Franco¹
Fernando Braz Tangerino Hernandez¹
Jener Fernando Leite de Moraes²

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP
Caixa Postal 34 - 15385-000 - Ilha Solteira - SP, Brasil
{fbhtang}@agr.feis.unesp.br
{bioramfranco}@yahoo.com.br

²IAC - Instituto Agrônomo de Campinas
{jfmoraes}@iac.sp.gov.br

Abstract: The Coqueiro stream watershed is degraded and silted by the lack of adequate vegetation cover and especially for the irregular use and occupation of Permanent Preservation Areas. The multi-criteria analysis is a tool that brings together diverse characteristics, weights and assigns values to them, assisting in decision making. In the Coqueiro stream watershed has only 7.72% of the riparian forest and forest fragments. The existing riparian vegetation identified in Permanent Preservation Areas (PPA) is 211.62 ha (13.23% of the area of PPA). The Coqueiro stream watershed is located in the northwest of the state of São Paulo, with an area of 190 km². In this context, the study aimed to identify and develop priority map forest restoration through multi-criteria analysis (Compromise Programming) in a Geographic Information System to support decision making in the management of water resources. A high priority was the class with the highest percentage, with 53.20% (681.06 ha) and very high class, with 16.68% (213.55 ha), the middle class with 29.01% (371.44 ha) and the low class with only 1.29% (4.50 ha). The method of multi-criteria analysis in GIS, Compromise Programming was adequate in prioritizing areas for forest restoration, showing their viable geographic spatial within the area analyzed and the high priority class predominated, followed by middle and very high class.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, análise multicritério, tomada de decisão, Geographic Information Systems, Multi-Criteria Evaluation, decision making support.

1. Introdução

O planejamento ambiental é fundamental para conhecer e organizar o espaço e propor informações com agilidade de respostas. As informações ambientais são obtidas durante a fase de diagnóstico, produzindo um grande número de variáveis que durante uma análise ambiental necessitam de critérios para a sua avaliação, o modo é atribuir pesos e valores às mesmas. Em seguida prioriza as diferentes alternativas de modo a facilitar a tomada de decisão por parte do planejador. De acordo com Santos (2004) quando a tomada de decisão envolve informações complexas e muitos agentes e atores envolvidos e diversos ponto de vista, a sistematização das respostas é fundamental. Para contornar essa situação desenvolveram diversos métodos para a tomada de decisão e um dos métodos utilizados é o de análise multicritério, bastante adequado para a aplicação em planejamento ambiental (Zuffo, 1998; Zuffo et al., 2002).

A análise multicritério é um método de análise de alternativas para a resolução de problemas que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar alternativas prioritárias para o objeto considerado (Francisco et al., 2007). No Brasil diversos autores utilizaram a espacialização da análise multicritério em estudos ambientais, com enfoque na priorização de áreas destinadas a restauração florestal e definidas por diversos tipos de metodologia (Ferraz e Vettorazzi, 2003; Valente, 2005; Vettorazzi, 2006; Francisco et al., 2008). Os resultados dos trabalhos mostram que o uso da análise multicritério facilitou à tomada de decisões, indicando as áreas prioritárias à restauração florestal para cada objetivo considerado durante os estudos.

Na microbacia do córrego do Coqueiro restam apenas 7,72% (mata ciliar e fragmentos de mata). A mata ciliar existente identificada dentro da Área de Preservação Permanente é de 211,62 ha (13,23% da área de APP), um resultado abaixo do permitido conforme o Código Florestal (Lei vigente que determina uma distância de trinta metros para rios com largura inferior a 10 metros) (Franco, 2012).

A reposição das matas ciliares é importante para a melhoria das condições hídricas e ambiental das bacias hidrográficas. A reposição florestal com espécies nativas deve ser planejada com critérios, priorizando as principais áreas identificadas na análise da paisagem, pois a sua implantação envolve recursos públicos que não devem ser desperdiçados.

Nesse contexto, o trabalho teve como objetivo identificar e elaborar mapa de zonas prioritárias a restauração florestal utilizando técnicas de análise multicritério (Programação por Compromisso) em um Sistema de Informação Geográfica, como apoio a tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos na microbacia.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo é a microbacia do córrego do Coqueiro localizada na região noroeste do Estado de São Paulo e pertencente à Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHI) de número 18. Essa unidade é composta de 25 municípios, com uma área de drenagem de 6.732 km², que abrangem o Rio São José dos Dourados e Rio Paraná.

O córrego do Coqueiro é um afluente de margem direita do Rio São José dos Dourados, com 33,59 km de extensão da sua nascente até a sua foz. A área da microbacia é de 190,90 km² e o seu limite envolve os municípios de Jales, Dirce Reis, Palmeira d'Oeste, São Francisco e Urânia, na região noroeste do Estado de São Paulo (Franco e Hernandez, 2009; Franco, 2012). A microbacia foi subdividida em cinco sub-bacias com as seguintes áreas: sub-bacia 1, com 21,793 km²; sub-bacia 2, com 50,28 km²; sub-bacia 3, com 22,23 km² e a sub-bacia 4, com 78,4 km².

2.2. Análise multicritério

O método de análise multicritério utilizado foi a Programação Por Compromisso e o software adotado na análise foi o ILWIS (*Integrated Land Water Information System*) 3.3. (Van Westen e Farifteh, 1997). Esse método faz uma ponderação de cada critério e no conjunto analisado o critério tem a sua importância no estudo.

Para a definição de áreas prioritárias para a recuperação da APP do córrego do Coqueiro, foram adotadas as propostas metodológicas de Francisco (2006) e Francisco et al. (2008). O método procura minimizar a distância de todos os pontos possíveis de ocorrerem em relação a um determinado ponto identificado pelo tomador de decisão (DM), o “ponto meta” (*ideal point*) (Francisco et al., 2008).

A distância métrica é dada pela seguinte equação, de acordo com Zuffo et al. (2002):

$$l_s(x) = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i^s \left| \frac{f_i - f(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right|^s \right)^{1/s} \quad (1)$$

em que: $l_s(x)$ = distância entre a solução obtida com o procedimento metodológico x e a solução ideal; α_i = peso atribuído a cada critério i ; $f_{i,w}$ = pior valor obtido para o critério i ; f_i^* = melhor valor obtido o critério i ; $f_i(x)$ = resultado da implementação da decisão x considerando o critério i ; S =proporcionalidade aplicada aos desvio, sendo $1 \leq S \leq \infty$; neste

trabalho escolheu o valor $S = 1$, de forma a manter todos os desvios de f_i^* proporcionalidade à suas magnitudes.

2.2.1. Pesos dos critérios analisados

Na metodologia empregada por Francisco (2006), foram definidos pesos diferenciados para cada critério analisado. Os pesos foram obtidos através de consulta feita com vários analistas ambientais, que responderam a um questionário e atribuíram valores a cada critério considerado na análise do ribeirão das Anhumas, na região de Campinas. Foram definidos oito critérios e os pesos dos critérios foram agrupados em uma matriz multicritérios (matriz *payoff*). De acordo com Francisco (2008), os pesos correspondem à moda e à média expurgada dos pesos atribuídos pelos especialistas a cada critério. A média expurgada relaciona-se à média dos pesos que satisfazem a condição:

$$\bar{x} - s \leq \alpha_i \leq \bar{x} + s \quad (2)$$

em que: \bar{x} = média de todos os pesos finais; s = desvio-padrão; α_i = peso sugerido pelos especialista.

Na análise realizada por Francisco (2006) constatou-se que o critério “proximidade de vegetação nativa” recebeu a maior frequência de notas máximas.

Para a análise multicritério na microbacia do córrego do Coqueiro foram adotados os mesmos critérios adotados por Francisco (2006). Entretanto, nesta análise aplicaram-se somente quatro critérios com os maiores pesos, conforme descrito: proximidade da vegetação nativa - 0,168; vulnerabilidade - 0,154; uso e ocupação do solo na APP - 0,150; categoria das áreas de preservação permanente - 0,132.

Cabe aqui salientar que na análise multicritério é fundamental a participação de analistas ambientais para a decisão dos critérios e atribuição dos pesos. Na microbacia do córrego do Coqueiro não houve a participação para a definição dos critérios. Optou-se pela consulta bibliográfica e a aplicação do método de Francisco (2006).

A microbacia foi subdividida em cinco sub-bacias conforme critério adotado por Franco (2012).

2.2.2. Proximidade da vegetação nativa

Esse mapa foi criado a partir do mapa de fragmentos florestais oriundos do Plano de Informação (PI) Uso e Ocupação do Solo em formato *shapefile*. Em seguida o formato *shapefile*, foi convertido para *raster* (matricial) e na opção *Raster Operations*, item *Distance Calculation* foi gerado um mapa de proximidade (distância) a partir dos fragmentos florestais identificados.

A distância mínima estabelecida foi de 50 metros, medidos na borda de cada fragmento de vegetação nativa, de modo que esse fragmento tivesse alguma influência na ocorrência de chuva de sementes em áreas próximas a APP e assim a maior prioridade para recuperação das áreas mais próximas aos fragmentos e dentro deste raio de ação.

As distâncias dos fragmentos foram normalizadas na escala de 1 a 2 através de uma função linear decrescente, por meio da opção *Imagem Processing*, item *Stretch*.

2.2.3. Uso e ocupação do solo na área de preservação permanente

Na análise priorizou-se a recuperação de áreas do uso e ocupação do solo que o tornam mais desprotegido da ação erosiva da água e do vento. As classes existentes no uso e ocupação do solo na microbacia receberam pesos, conforme a Tabela 1.

Priorizou-se a classe de várzea, atribuindo peso 2. A razão é que as várzeas identificadas são áreas que foram desmatadas em decorrência da agricultura intensiva e do uso inadequado

do solo que acelerou o processo erosivo na região e favoreceu a deposição de sedimentos nas cotas mais baixas do terreno. São áreas com solos saturados de água, com predomínio de macrófitas aquáticas, principalmente a do gênero *Typha*.

Tabela 1. Classe de uso e ocupação do solo na microbacia do córrego do Coqueiro.

Classes de uso	Valoração
Açude	2,0
App degradada	2,0
Construção	1,8
Cultura arbórea	1,4
Cultura herbácea	1,4
Pasto sujo	1,4
Solo exposto	2,0
Tanque de subsuperfície	2,0
Várzea	2,0

Para as classes açude e tanque de subsuperfície priorizaram o peso 2, pois esses locais são importantes à cobertura vegetal para a proteção dos recursos hídricos. O tanque de subsuperfície é um reservatório escavado fora do álveo de curso d'água e dentro da área de preservação permanente e tem como finalidade o armazenamento de água e uso na irrigação.

2.2.4. Categoria das áreas de preservação permanentes

As categorias das áreas de preservação permanente (APP) foram definidas a partir do Código Florestal Brasileiro e enquadrada nos artigos 2º e 3º da Lei nº 4.771, alterada pela Lei 7.803/89 e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001.

Para as nascentes foi definido um *buffer* de 50 metros e para os cursos d'água, inferior a 10 metros de largura determinou-se um *buffer* de 30 metros. O PI de entrada no SIG foi à hidrografia, onde foi elaborado o *buffer* a partir da rede de drenagem. Em seguida o polígono categorias das áreas de preservação permanente foi transformado para *raster*, identificado de acordo à valoração das categorias e normalizado.

As áreas de nascentes tem um papel fundamental na produção de água e a sua conservação deve ser prioritária. Na microbacia do córrego do Coqueiro foram identificadas 187 nascentes e apenas três nascentes estão de acordo com a Lei (Franco, 2012).

Segundo a metodologia de Francisco (2006) adotou-se os valores para as nascentes e rede de drenagem, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Categorias de áreas de preservação permanente na microbacia do córrego do Coqueiro.

Tipos de APP	Valoração
Nascentes	2,00
Entorno dos canais de drenagem	1,75

2.2.5. Vulnerabilidade à erosão

Para a elaboração do PI vulnerabilidade à erosão é preciso duas informações: erodibilidade do solo e declividade.

A determinação do valor de erodibilidade do solo da microbacia foi elaborado a partir do mapa pedológico do Estado de São Paulo (Oliveira et al., 1999) e o valor de K para o tipo de solo foi determinado através do levantamento de informação sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo (Silva e Alvares, 2005). Os autores definiram o valor médio

de 0,0425 (t.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹) para a classe Argissolos no Estado de São Paulo, e com a classe de interpretação para a erodibilidade dos solos é considerada um valor alto.

O mapa de declividade foi determinado através das classes de declividade, segundo Lepsch et al. (1991) conforme a Tabela 3. Os maiores pesos foram atribuídos às classes de declividade mais acentuadas e a prioridade foi dada para essas classes. A partir da sobreposição dos mapas de erodibilidade e declividade foi obtido o mapa de erodibilidade do solo o qual em seguida foi normalizado e valorado entre 1,0 e 2,0.

Tabela 3. Classes de Declividade e valoração dos pesos.

Classe de declividade (%)	Pesos
0 - 3	1,0
3 - 6	1,2
6 - 12	1,4
12 - 20	1,6
20 - 45	1,8
>45	2,0

2.2.6. Integração dos Planos de Informação

Definidos os critérios para todos os PIs e os seus respectivos pesos, foi elaborado o mapa de prioridade de recuperação da APP. Na linha de comando no ambiente SIG foi inserida a Equação 3; nota-se que todos os PI são multiplicados por um fator que corresponde ao peso médio atribuído pelos especialistas, conforme propôs Francisco (2006) e a equação foi montada da seguinte maneira:

$$priori = (0,168 * (2 - PVN)) + (0,132 * (2 - cateAPP)) + (0,154 * (2 - vul)) + (0,150 * (2 - usoAPP)) \quad (3)$$

sendo: *PVN*- proximidade da vegetação nativa; *cateAPP*- categoria das áreas de preservação permanente; *vul*- vulnerabilidade a erosão; *usoAPP*- uso e ocupação do solo na APP.

Após a obtenção do resultado o PI foi reclassificado em quatro classes de prioridade para a recuperação, a saber: Muito Alta, Alta, Média e Baixa.

3. Resultados e Discussão

A aplicação do método de Análise Multicritério utilizando a Programação por Compromisso (*Compromise Programming* - PC) para a identificação de áreas de APPs prioritárias à restauração, recomendada por Francisco (2006), foi adequada para o estudo e mostrou-se a viabilidade de sua espacialização. Entretanto, em estudo de análise multicritério é importante efetuar um adequado julgamento dos critérios para cada PI utilizado na análise ambiental, através da abordagem participatória de especialistas de diversas áreas do conhecimento. Neste caso não houve a participação dos especialistas e as definições dos critérios e pesos foram adotadas a partir da consulta bibliográfica citada anteriormente.

A partir da integração dos PIs vulnerabilidade à erosão, categoria das Áreas de Preservação Permanente, proximidade da vegetação nativa e uso ocupação do solo na APP e os seus respectivos pesos médios, foi elaborado o mapa de prioridade para a restauração florestal na microbacia (Figura 1).

Os resultados das classes de prioridade estão na Tabela 4 e a classe de prioridade alta foi a que apresentou a maior porcentagem, com 53,20% (681,06 ha) e a classe muito alta com 16,68% (213,55 ha). A classe média com 29,01% (371,44 ha) e a menor foi a classe de prioridade baixa, com valor de 1,10% (14,12 ha).

Nas áreas prioritizadas na classe “alta”, o uso e ocupação predominante é a várzea, com 44,4% (572,3 ha) da área total passível de restauração e em seguida a classe de uso pastagem com 6,3% (81,3 ha).

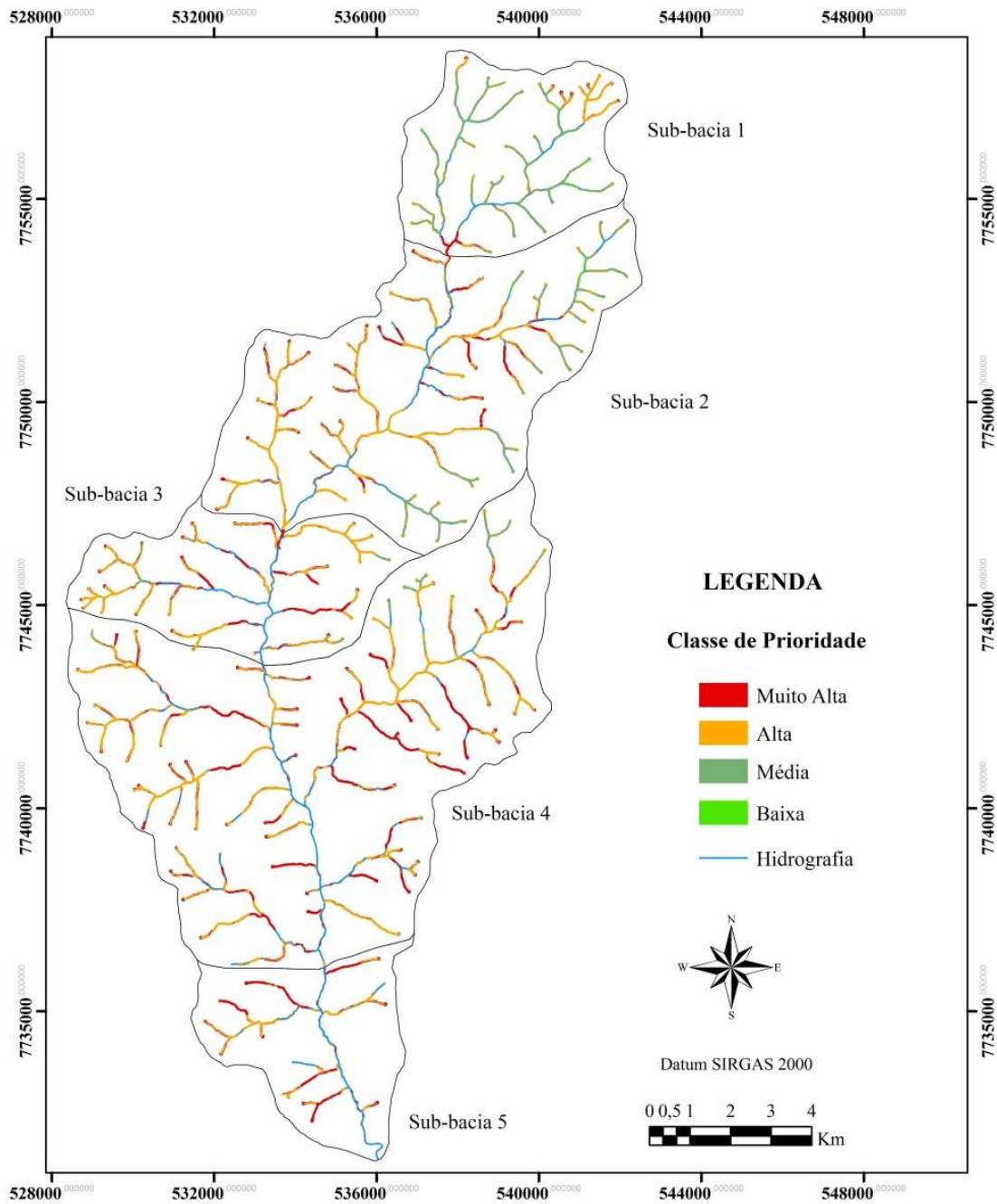


Figura 1. Mapa de prioridade da microbacia do córrego do Coqueiro.

Tabela 4. Classe de prioridade para a restauração da microbacia do córrego do Coqueiro.

Classe de prioridade	Área (ha)	%
Alta	681,12	53,20
Muito Alta	213,55	16,68
Média	371,44	29,01
Baixa	14,12	1,10
Total	1280,23	100,00

Para a classe “Muito Alta” de prioridade o uso predominante foi a pastagem, com 26,1% (336,4 ha), a APP degradada e o pasto sujo ficaram com 1,3%.

Na classe “média” de prioridade o tipo de uso predominante foi à várzea, com 15,5% (199,2 ha) e a classe “baixa” com o mesmo tipo de uso, com 1,1%. A várzea foi considerada com peso 2, priorizando essa área para a recuperação devido a transformações ocorridas no passado, com a retirada da mata ciliar e a formação de áreas ocupadas por macrófitas aquáticas.

Francisco (2006) obteve para o Ribeirão Anhumas, no município de Campinas, valores percentuais de 53,90% na classe “média” de prioridade, 30,11% na classe “baixa” e 14,64% na classe “alta”. Neste caso, a análise multicritério utilizou oito critérios na avaliação; entretanto, o mesmo autor realizou simulações com quatro critérios e obteve resultados próximos aos realizados com oito critérios. Segundo o autor isso deve-se a sobreposição conceitual de critérios.

Na sub-bacia 1 a classe média ficou com 60,33% (107,12 ha) e a classe alta com 30,33% (53,83 ha), esta sub-bacia foi a única que apresentou maior porcentagem na classe de prioridade média.

Na sub-bacia 2 a classe de prioridade alta ficou com 57,30% (200,6 ha), a classe muito alta com 21,48% (75,2 ha), a classe média com 19,94% (1969,8 ha) e a classe baixa com apenas 1,29% (4,50 ha). Na sub-bacia 3 com 64,53% (105,6721 ha) na classe de prioridade alta, a classe muito alta com 31,24% (51,1614 ha) e a classe média com 3,71% (6,06 ha). Na sub-bacia 4 a classe de prioridade alta ficou com 56,32% (283,04 ha) e a classe muito alta com 37,46% (188,25 ha).

De acordo com Francisco (2006) a aplicação da Programação por Compromisso é satisfatória quando aplicada em situações em que os gestores tenham recursos e urgência para a recuperação florestal.

A checagem em campo das áreas definidas na análise multicritério permitiu comprovar as áreas na análise e o resultado mostrou-se eficiente na determinação das áreas prioritárias a restauração florestal. Em áreas degradadas identificadas em campo a análise priorizou as classes “alta” e “muito alta”.

4. Conclusões

O método de análise multicritério em SIG, Programação por Compromisso foi adequada na priorização de áreas para a recuperação florestal, mostrando a sua espacialização geográfica viável dentro da área analisada e a classe de prioridade alta predominou, seguido pelas classes média e muito alta.

As classes de prioridade média e muita alta refletem as regiões mais críticas, onde medidas mitigadoras de reflorestamento devem ser aplicadas em curto prazo para a melhoria da qualidade ambiental na microbacia.

O mapa final produzido pode ser considerado uma ferramenta de gestão para auxiliar o processo de tomada de decisão, pois fornecem subsídios técnicos que refletem a situação do uso e ocupação da microbacia do córrego do Coqueiro.

Agradecimentos

Este trabalho teve apoio financeiro do MCT/CNPq/CT-Agro/CT-Hidro/Mapa-SDC-SPAENº44/2008 - Recuperação de Áreas Degradadas - CNPq .

Referências Bibliográficas

Ferraz, S.F.B.; Vettorazzi, C. A. Identificação de áreas para a recomposição florestal com base em princípio de Ecologia de Paisagem. *Revista Árvore*, v. 27, n. 4, p. 575-583, 2003.

Francisco, C. E. S. **Áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão das anhumas: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial**. 2006. 108 f. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas. 2006.

Francisco, C. E. S.; Coelho, R. M.; Torres, R. B.; Adami, S. F. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p.1-13, 2008.

Francisco, C. E. S.; Coelho, R. M.; Torres, R. B.; Adami, S. F. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2007, p.2643-2650.

Franco, R. A. M. **Indicadores ambientais e planejamento integrado dos recursos hídricos na microbacia do córrego do Coqueiro**, 2012. 252f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira. 2012.

Franco, R. A. M.; Hernandez, F. B. T. Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 772-780, 2009.

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: 4.a. aproximação**. Campinas: SBCC, 1991. 175 p.

Oliveira, J. B.; Camargo, M. N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agronômico/ EMBRAPA Solos, 1999. 64 p.

Santos, R. F. **Planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Texto, 2004. 184 p.

Silva, A. M.; Alvares, C. A. Levantamento de informação e estruturação de um banco de dados sobre a erodibilidade de classes de solos no Estado de São Paulo. **Geociência**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

Valente, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para a conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicritério em ambiente SIG**, 2005.121 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

Van Westen, C.; Farifteh, J. **ILWIS: user's guide**. Enschede, ITC. 510p.

Vettorazzi, C. A. **Avaliação multicritério, em ambiente SIG, na definição de área prioritárias a restauração florestal visando à conservação dos recursos hídricos**, 2006. 151 f. Tese (Livre Docência em Topografia) - Escola Superior de "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006.

Zuffo, A. C. **Seleção e aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento ambiental de recursos hídricos**, 1998. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.

Zuffo, A. C.; Reis, L. F. R.; Santos, R. F.; Chaudhry, F. H. Aplicação de métodos multicritérios ao planejamento dos recursos hídricos. **Rev. Bras. Rec. Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 81-102, 2002.