UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

# ANÁLISE MULTICRITÉRIOS NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À CONECTIVIDADE ENTRE FRAGMENTOS FLORESTAIS

**ANDERSON ANTONIO DA CONCEIÇÃO SARTORI**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Agosto – 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

# ANÁLISE MULTICRITÉRIOS NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À CONECTIVIDADE ENTRE FRAGMENTOS FLORESTAIS

**ANDERSON ANTONIO DA CONCEIÇÃO SARTORI**
- Engenheiro Agrônomo -

Orientadora: Prof. Dr. Célia Regina Lopes Zimback

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Agosto – 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Sartori, Anderson Antonio da Conceição, 1980-
S251a Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais / Anderson Antonio da Conceição Sartori. - Botucatu: [s.n.], 2010
xii, 98 f., il., color., grafs., tabs.

Dissertação(Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2010
Orientador: Célia Regina Lopes Zimback
Inclui bibliografia.

1. Combinação Linear Ponderada. 2. Áreas prioritárias. 3. Avaliação Multicriterial. 4. Restauração florestal. I. Zimback, Célia Regina Lopes. II.Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"(Campus de Botucatu).Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**

**CAMPUS DE BOTUCATU**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO: "ANÁLISE MULTICRITÉRIOS NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À CONECTIVIDADE ENTRE FRAGMENTOS FLORESTAIS"

ALUNO: ANDERSON ANTONIO DA CONCEIÇÃO SARTORI

ORIENTADORA: PROFA. DRA. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROFA. DRA. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

PROF. DR. CARLOS ALBERTO VETTORAZZI

PROF. DR. SERGIO LÁZARO DE LIMA

Data da Realização: 31 de agosto de 2010.

## *A Perseverança*

Se há pessoas que não estudam ou que, se estudam, não aproveitam, elas que não se desencorajem e não desistam; se há pessoas que não interrogam os homens instruídos para esclarecer as suas dúvidas ou o que ignoram, ou que, mesmo interrogando-os, não conseguem ficar mais instruídas, elas que não se desencorajem e não desistam; se há pessoas que não meditam ou que, mesmo que meditem, não conseguem adquirir um conhecimento claro do princípio do bem, elas que não se desencorajem e não desistam; se há pessoas que não distinguem o bem do mal ou que, mesmo que distingam, não têm uma percepção clara e nítida, elas que não se desencorajem e não desistam; se há pessoas que não praticam o bem ou que, mesmo que o pratiquem, não podem aplicar nisso todas as suas forças, elas que não se desencorajem e não desistam; o que outros fariam numa só vez, elas o farão em dez, o que outros fariam em cem vezes, elas o farão em mil, porque aquele que seguir verdadeiramente esta regra da perseverança, por mais ignorante que seja, tornar-se-á uma pessoa esclarecida, por mais fraco que seja, tornar-se-á necessariamente forte.

*Confúcio, in 'A Sabedoria de Confúcio'*

# OFEREÇO

***A Deus*** que me deu saúde, paz e disposição nos momentos difíceis para poder chegar até aqui.....

A minha mãe,

***Ester,*** que sempre me apoiou e incentivou em todas as etapas da minha vida, com seu grande amor.....

A minha tia,

***Aparecida,*** pelas palavras carinhosas e pelos conselhos nos momentos difíceis.....

Aos meus primos,
***Anaceli, Vitor Gabriel, Ana Luisa,*** pelo carinho e força que me dão, por estarmos sempre juntos nos momentos mais importantes, por "contar" com vocês.....

**.....dedico**

"É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se a derrota, do que formar fila com os pobres de espírito que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota" Theodore Roosevelt

# AGRADEÇO

A minha orientadora, ***Profa. Dra. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK***, agradeço pela orientação, confiança em mim depositada e pela amizade consolidada nestes anos de convivência,

**Minha eterna gratidão.**

## AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, Campus de Botucatu-SP, pelo excelente curso de pós- graduação, conceituado corpo docente, estrutura física e por me abrir os caminhos do conhecimento científico e pelo crescimento pessoal e profissional.

Ao Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, por conceder-me a oportunidade de desenvolver o trabalho no Laboratório de Geoprocessamento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro, sem o qual a realização da dissertação de Mestrado seria comprometida.

Aos integrantes do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas - GEPAG, pelos ensinamentos recebidos, pela saudável amizade....

***Alessandra Fagioli da Silva, Ana Paula Barbosa, Andre Jim, Clovis Manoel Carvalho Ramos, Diego Augusto de Campos Moraes, Fábio Ávila Nossack, Francienne Gois Oliveira, Juliano Boeck Santos, Leslie Ivana Serino Castro, Luís Gustavo Frediani Lessa, Ramon Felipe Bicudo da Silva, Rodrigo José Pisani, Waylson Zancanella Quartezani,*** pelo apoio recebido, auxílio nos trabalhos, sugestões, críticas, pelos momentos de descontração, carinho, amizade e pela agradável convivência.

Aos Professores e funcionários dos Departamentos de Engenharia Rural e de Recursos Naturais/Ciência do Solo, pela atenção dedicada, pela amizade e por toda ajuda prestada.

Aos funcionários da biblioteca e às secretárias da Seção de Pós Graduação, pela atenção e dedicação.

E a todos que de maneira direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

**Meus mais sinceros agradecimentos.**

# SUMÁRIO

OFERECIMENTOS E AGRADECIMENTOS.....III
LISTA DE FIGURAS ..... X
LISTA DE TABELAS .....XII
RESUMO ..... 1
SUMMARY ..... 3
1. INTRODUÇÃO..... 5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 8
2.1 Geotecnologias e análise ambiental.....8
2.2 Abordagem multicriterial .....11
2.3 SIG e Avaliação Multicritérios.....15
2.4 Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais .....20
2.4.1 Fatores que afetam a conservação da biodiversidade em fragmentos florestais..... .....22
2.5 Restauração uma estratégia para a conservação da biodiversidade ..... 26
3. MATERIAL E MÉTODOS..... 31
3.1 Material.....31
3.1.1 Descrição geral da área de estudo..... 31
3.1.2 Material cartográfico ..... 34
3.1.3 Imagens orbitais..... 35
3.1.4 Mapa de solos ..... 35
3.1.5 Receptor GPS ..... 36
3.1.6 Sistemas computacionais..... 36
3.2 Métodos ..... 37
3.2.1 Uso e cobertura do solo ..... 37
3.2.2 Fragmentos de floresta..... 38
3.2.3 Área nuclear dos fragmentos de floresta ..... 38
3.2.4 Modelo digital de elevação do terreno..... 38

3.2.5 Declividade do terreno ..... 39
3.2.6 Solos ..... 39
3.2.7 Erodibilidade do solo ..... 39
3.2.8 Rede hidrográfica ..... 40
3.2.9 Centros urbanos ..... 40
3.3 Mapas de fatores ..... 40
3.3.1 Proximidade entre fragmentos de maior área nuclear ..... 41
3.3.2 Proximidade da cobertura florestal ..... 42
3.3.3 Proximidade da rede hidrográfica ..... 43
3.3.4 Distância aos centros urbanos ..... 43
3.3.5 Declividade ..... 44
3.3.6 Erodibilidade do solo ..... 44
3.3.7 Restrições ..... 45
3.4 Padronização dos escores dos critérios ..... 45
3.5 Pesos dos critérios ..... 47
3.6 Método da Combinação Linear Ponderada ..... 49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO ..... 51
4.1 Uso e cobertura do solo ..... 51
4.2 Solos ..... 54
4.3 Hidrografia ..... 55
4.4 Definição dos critérios ..... 57
4.4.1 Proximidade entre fragmentos de maior área nuclear ..... 57
4.4.2 Proximidade da cobertura florestal ..... 58
4.4.3 Proximidade da rede hidrográfica ..... 60
4.4.4 Distância aos centros urbanos ..... 62
4.4.5 Declividade ..... 63
4.4.6 Erodibilidade do solo ..... 64
4.4.7 Restrições ..... 65
4.5 Definições dos pesos dos fatores ..... 66

4.6 Áreas prioritárias a restauração florestal gerados pelo método da Combinação Linear Ponderada ..... 68
4.7 Caracterização ambiental das áreas prioritárias para restauração florestal ..... 72
5. CONCLUSÕES ..... 75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 76

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo de fragmentação florestal em paisagens intensivamente cultivadas (A) e estratégias alternativas para lidar com problemas associados coma fragmentação (B).....27

Figura 2. Localização da parte inicial da Bacia do Rio Pardo-SP. .....32

Figura 3. Mapa de solos da Bacia do Rio Pardo-SP (Zimback, 1997)..... ..... .....36

Figura 4. Curva linear de distribuição de aptidão conforme distância mínima e máxima encontrada..... ....47

Figura 5. . Escala contínua de nove pontos usada na comparação pareada entre fatores, na Avaliação Multicritérios. Fonte: Eastman (1999). ..... 49

Figura 6. Representação do processo de avaliação pelo método da Combinação Linear Ponderada (CLP). ..... ..50

Figura 7. Uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Pardo..... 51

Figura 8. Classes de solo presentes na Bacia do Rio Pardo. ..... 54

Figura 9. Rede de drenagem da Bacia do Rio Pardo–SP..... 56

Figura 10. Proximidade entre fragmentos de maior área nuclear, Bacia do Rio Pardo-SP..... 58

Figura 11. Proximidade da cobertura florestal, Bacia do Rio Pardo-SP. ..... 59

Figura 12. Mapa de proximidade da rede hidrográfica da Bacia do Rio Pardo-SP..... 61

Figura 13. Mapa de distância aos centros urbanos na Bacia do Rio Pardo-SP. ..... 62

Figura 14. Mapa declividade da Bacia do Rio Pardo-SP. ..... 64

Figura 15. Mapa de erodibilidade da Bacia do Rio Pardo-SP..... 65

Figura 16. Mapa de áreas de restrição para análise multicritérios da Bacia do Rio Pardo-SP. 66

Figura 17. Mapa de áreas prioritárias à restauração florestal geradas pelo método da Combinação Linear Ponderada. ..69

Figura 18. Áreas prioritárias à restauração florestal geradas pelo método da Combinação Linear Ponderada (cinco níveis de prioridade). 70

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Cartas planialtimétricas ..... 34

Tabela 2. Características do modo de operação do sensor HRC ..... 35

Tabela 3. Classes de área nuclear dos fragmentos de floresta e número de fragmentos ..... 42

Tabela 4. Valores de erodibilidade para classes de solos Wischmeier et al. (1971) ..... 45

Tabela 5. Uso e cobertura do solo para a Bacia do Rio Pardo ..... 53

Tabela 6. Classes de solo presentes na Bacia do Rio Pardo ..... 55

Tabela 7. Pesos de compensação obtidos através da matriz de comparação pareada ..... 67

Tabela 8. Valores de área para os cinco níveis de prioridade..... 71

Tabela 9. Caracterização ambiental das áreas com graus de prioridade alto e muito alto, obtidas pelo método da Combinação Linear Ponderada ..... 73

**RESUMO**

A Bacia do Rio Pardo representa muito bem a situação de grande parte do território, onde a fragmentação florestal é um dos resultados do processo desordenado de uso e ocupação do solo. O objetivo do presente trabalho foi definir as áreas prioritárias para favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais, visando à restauração florestal. Utilizou-se a abordagem multicriterial, em ambiente SIG, com Método da Combinação Linear Ponderada, para combinação dos fatores (características da paisagem) importantes ao objetivo do trabalho. Para estabelecer os fatores, seus respectivos pesos de compensação (expressam a ordem de importância dos fatores no processo de decisão) e restrições (categorias restritivas das características) empregaram-se a Técnica Participatória e o Processo Hierárquico Analítico, no próprio SIG. A princípio os fatores selecionados foram: proximidade entre fragmentos de maior área nuclear; proximidade à cobertura florestal; proximidade à rede hidrográfica; distância aos centros urbanos; erodibilidade; e declividade. Para obtenção desses fatores foram necessários os planos de informação: uso e cobertura do solo; fragmentos de floresta; área nuclear dos fragmentos de floresta; rede hidrográfica; centros urbanos, declividade; e erodibilidade do solo. O resultado obtido foi um mapa de áreas prioritárias, com graus de prioridade representados de forma contínua no espaço de 255 níveis. Para facilitar a visualização e também a análise dos resultados, o mapa foi reclassificado, de maneira a apresentar apenas cinco graus de prioridade. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que: a Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, é adequada ao mapeamento de áreas

prioritárias à restauração florestal em bacias hidrográficas, 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; a análise multicriterial, baseada no Processo Analítico Hierárquico (AHP), é essencial na avaliação dos fatores, emprega uma comparação pareada entre fatores para determinar a importância relativa de cada um deles, reduzindo a subjetividade e subsidiando a geração de melhores cenários ao tomador de decisão; e o mapa de adequação à recomposição florestal da Bacia do Rio Pardo-SP, poderá ser útil no auxílio no planejamento ambiental, proporcionando aos órgãos públicos e agentes ambientais realizar tomada de decisão, baseando-se em um método que leva em consideração a paisagem como um todo e que prioriza a conexão entre os fragmentos florestais.

---

**Palavras-chave:** Combinação Linear Ponderada, Avaliação Multicriterial, Áreas Prioritárias, Restauração Florestal.

**MULTICRITERIA ANALYSIS IN THE DEFINITION OF PRIORITY AREAS FOR CONNECTIVITY BETWEEN FOREST FRAGMENTS.** Botucatu, 2010. 98p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANDERSON ANTONIO DA CONCEIÇÃO SARTORI
Adviser: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

**SUMMARY**

The Pardo River Basin provides a good representation of the situation of the region, where forest fragmentation is a result of the haphazard process of the land use and occupation. The aim of this study was to define the priority areas to facilitate connectivity between forest fragments in order to forest restoration. Multicriteria approach with Weighted Linear Combination was used for combination of factors (landscape features). To establish the factors, their weights compensation (expressing the relative importance of factors in decision making) and the restrictions (restrictive category of characteristics) it was used to Participatory Technical and Analytic Hierarchy Process. The selected factors were: proximity of fragments of larger nuclear area, proximity to forest area, proximity to water, distance to urban centers; soil erodibility, and slope. The result obtained was a map of priority areas, with levels of priority represented on a continuous way, from 0 to 255. To facilitate the visualization and the analysis of results, the map was reclassified, with only five levels of priority. It was concluded, from the results, that the Multicriteria Evaluation ,in a Geographical Information Systems (GIS), is appropriate to the mapping of priority areas for forest restoration in river basins, the method of Weighted Linear Combination is flexible, easy to be implement, and allows the interaction of knowledge (researchers, analysts) and landscape features, determining the robustness of the solution for decision making; multicriteria analysis, based on Analytical Hierarchy Process (AHP), is essential in evaluating the factors, it uses a pair wise comparison between factors to determine the relative importance of each one, reducing subjectivity and subsidizing the creation of better scenarios for the decision maker; and the map of adequacy, for forest recovery River Basin Pardo-SP, can be useful to aid in

environmental planning, enabling public and environmental agents take the decision, based on a method that takes into account the landscape as a whole and that prioritizes the connection between forest fragments.

**Keywords:** Weighted Linear Combination, Multicriteria Evaluation, Priority Areas, Forest Restoration.

# 1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Rio Pardo representa muito bem a situação de grande parte do território brasileiro originalmente coberto pela Mata Atlântica, onde a fragmentação florestal é um dos resultados do processo desordenado de uso e ocupação do solo, especialmente em paisagens intensamente cultivadas.

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.

Na tentativa de garantir a manutenção da estrutura e dos processos de paisagens, tem sido dada muita atenção às ações que buscam a determinação de áreas prioritárias para favorecer a conexão entre os fragmentos florestais, visando à restauração ecológica.

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.

No que se refere à priorização de áreas, a espacialização representa um dos métodos mais eficiente e econômico no manejo de bacias hidrográficas. O objetivo é alcançado quando há uma integração com os diferentes planos de informação da paisagem e suas características e/ou processos, juntamente com os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) que, por sua vez, também possibilitam a produção dos mapas de prioridades em curto espaço de tempo e com confiabilidade.

A avaliação multicriterial é uma das técnicas empregadas para a tomada de decisão que foram incorporadas aos SIGs. Essa integração representa um avanço considerável nas análises envolvendo adequação de uso da terra, em relação às abordagens convencionais de sobreposição (overlay) de mapas.

O sucesso da priorização de áreas é caracterizado pelo processo de tomada de decisão do qual o emprego do Processo Hierárquico Analítico e Técnica Participatória, que consiste na reunião entre especialistas nas diferentes áreas de interesse ao projeto, auxilia na definição dos critérios e dos pesos (fatores). Essa integração entre especialistas e os SIGs colabora para a caracterização do processo de tomada de decisão como um processo socioeconômico, além de ambiental.

A Bacia do Rio Pardo-SP é principal fonte de abastecimento de água dos municípios de Pardinho e Botucatu. Assim depreende-se que a oferta natural de água, em quantidade e qualidade adequadas, depende, entre outros fatores, de um planejamento adequado do uso e cobertura do solo. O manejo dirigido em bacias hidrográficas, notadamente por meio de ações de restauração florestal, tem sido apontado como uma das soluções mais efetivas e econômica para estratégias de ações conservacionistas. O problema é que, mesmo sendo uma solução das mais baratas, a restauração apresenta, ainda assim, um custo elevado, exigindo um planejamento cuidadoso que aponte áreas prioritárias para o investimento de recursos em reflorestamento.

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo definir áreas prioritárias 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). Os objetivos específicos serão:

(1) definir os fatores e seus respectivos pesos, importantes para favorecer conectividade entre os fragmentos florestais;

(2) avaliar, utilizando o Processo Analítico Hierárquico (AHP), a importância e a influência dos fatores e pesos escolhidos, para o processo de tomada de decisão; e

(3) Caracterização ambiental da paisagem de acordo com as áreas prioritárias para restauração florestal.

# 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 Geotecnologias e análise ambiental

O desenvolvimento e aplicação de ferramentas que possam auxiliar na análise ambiental têm sido alvo de inúmeros estudos e pesquisas, com destaque para as geotecnologias.

Na análise ambiental é fundamental a utilização de sistemas de alta capacidade para tratamento e análise de informações multi-temáticas como são as técnicas de sensoriamento remoto e de (SIG) sistema de informações geográficas (FILHO, 1995). Os SIGs têm papel relevante neste estudo por facilitar o gerenciamento de informações espaciais e permitir a elaboração de diagnósticos e prognósticos, subsidiando a tomada de decisões. Já o sensoriamento remoto, devido à rapidez e periodicidade na obtenção de dados primários sobre a superfície terrestre, constituiu-se numa das formas mais eficazes de monitoramento ambiental em escalas locais e globais (SOARES et al., 2007).

O conhecimento do espaço e do território e sua representação são a base para a promoção do desenvolvimento, não apenas no sentido de somar riquezas, mas também de distribuí-las, minimizando possíveis impactos ambientais e sociais resultantes da atividade humana, então se constata a importância que os satélites de sensoriamento remoto desempenham para o conhecimento do espaço geográfico e para análise ambiental (BATISTELLA; MORAN, 2008).

As imagens obtidas através do sensoriamento remoto proporcionam uma visão de conjunto multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre. Esta visão sinóptica do meio ambiente ou da paisagem possibilita estudos regionais e integrados, envolvendo vários campos do conhecimento. Elas mostram os ambientes e a sua transformação, destacam os impactos causados por fenômenos naturais como as inundações e a erosão do solo (freqüentemente agravados pela intervenção do homem) e antrópicos, como os desmatamentos, as queimadas, a expansão urbana, ou outras alterações do uso e da ocupação da terra (FLORENZANO, 2002).

O uso de ambientes computacionais de SIG facilita a integração de dados de sensores remotos com aqueles provenientes de outras fontes, bem como a análise espacial e a modelagem dos ambientes permitindo realizar a projeção de cenários futuros (LANG; BLASCHKE, 2009).

Com ajuda de um SIG, pode-se explicar e visualizar relações espaciais pode representá-las e apresentá-las na forma de mapas. Pode-se, também, desenvolver cenários espaciais e avaliar intervenções. Se, por exemplo, for avaliar as conseqüências de um projeto de construção de estrada através de uma área de proteção ambiental, podendo comparar dois ou mais traçados prováveis, no que se refere aos seus efeitos espaciais. Pode-se contrapor o número e a posição exata, bem como a qualidade dos habitats atingidos e analisar sobre qual dos traçados o efeito da intervenção será menor (LANG; BLASCHKE, 2009).

De acordo com Lang e Blaschke (2009), o Sistema de Informação Geográfica apresenta uma extensa faixa de possíveis aplicações, dentre elas destacam-se descrição e análise da estrutura (quantificação da configuração espacial e diversidade do espaço); detecção (delimitação de objetos, representação da realidade); avaliação de paisagem e habitats e seus prejuízos; planejamento de paisagens (preparo de planos, detecção da condição atual, desenvolvimento de cenários, sistemas de apoio a tomadas de decisão); análise de uso do solo (detecção de tipos de uso e suas mudanças); modelagem da paisagem (avaliação de intervenções, avaliação de variáveis, avaliação de planejamento-modelagem).

Desta maneira, o recente e rápido desenvolvimento da tecnologia de sensoriamento remoto e de SIG contribuíram para a evolução das próprias ciências da terra e ambientais, ao mesmo tempo em que facilitam a inter-relação entre elas. Como ressaltou

Baker (1992), em qualquer ciência o surgimento de novas técnicas não é importante em si mesmo, mas sim por permitir novas descobertas que estimulam o progresso científico.

Nas últimas décadas, a análise ambiental recebeu um impulso bastante grande com o desenvolvimento dos SIGs. Das atividades mais beneficiadas podem ser citados zoneamentos (WEBER; HASENACK, 2000); mapeamento de risco (BARNETCHE; MORETTE, 2004); de vulnerabilidade (BRYAN et al., 2001; MENNELLA et al., 1996); de sensibilidade (ABDEL-KADER et al., 1998; CLAYTON, 1994; LIMA et al., 2008); de impactos ambientais (OMETTO et al., 2005; RUZISKA, 2008) etc. Um passo adiante nessas atividades é a determinação de prioridades, para a qual o SIG também pode ser empregado, dadas as suas capacidades analíticas.

A análise ambiental apoiada em SIG objetiva fundamentalmente gerar novas informações, o que se dá por meio de manipulação e integração com camadas de dados já existentes. Essa nova geração de informações serve para apoiar decisões referentes a áreas. A análise como um processo aqui pode resultar num grau variável de complexidade. Sistemas modernos e mais complexos de apoio a tomadas de decisão oferecem, as opções de combinação das mais diferentes camadas de entrada, dando diferentes pesos para vários critérios de decisão. Assim sendo, regiões delimitadas espacialmente podem ser listadas quanto à sua atratividade ou sensibilidade, dependendo do questionamento (LANG; BLASCHKE, 2009).

As áreas de aplicação são as mais diversas possíveis, podendo ser citadas: risco e prevenção de incêndios florestais (BATISTA, 2004; RIBEIRO et al., 2008); planejamento uso da terra (ANTLE, 2001; PIROLI et al., 2002); manejo florestal (BENATTI et al., 2003; NARDELLI; GRIFFITH, 2003); seleção de áreas prioritárias à conservação (BOJORQUEZTAPIA et al., 1995; DURIGAN et al., 2006; MEDEIROS et al., 2005; OLIVEIRA; DINIZ FILHO, 2007; TABARELLI; SILVA, 2002); gerenciamento de recursos hídricos (ROY; TOLKAMP, 1995); planejamento de áreas verdes urbanas (HÜLSMEYER; SOUZA, 2007; LOBODA; DE ANGELIS, 2005); zoneamentos agrícolas (PANIGRAHY; CHAKRABORTY, 1998); quantificação de conflito em Áreas de Preservação Permanente (NASCIMENTO et al., 2005; SARTORI et al., 2009); estudos faunísticos (DE MARCO; VIANNA, 2005; HARDT; HARDT, 2007; LURTZ et al., 2003); avaliação de habitats (GASPAR; FIDALGO, 2002; NIEMUTH, 2003; SPÍNOLA et al., 2005).

Ao longo dos anos, a sociedade em geral tem aprendido cada vez mais sobre a complexidade dos problemas ambientais. Durante esse processo, têm ocorrido mudanças de percepção que partem da avaliação científica de temas ambientais, em particular em direção a uma análise mais integrada, que forneça vínculos entre as variáveis ambientais e os sistemas humanos; em outras palavras, uma análise que relacione as variáveis biofísicas e as socioeconômicas (BATISTELLA, MORAN, 2008).

Dessa forma, considerando-se que as geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica, sua utilização torna-se imprescindível para a tomada de decisões no âmbito da gestão ambiental estratégica (BATISTELLA, MORAN, 2008).

## 2.2 Abordagem multicriterial

A tomada de decisão em planejamento ambiental necessita de grande número de variáveis do meio físico, biológico, social e econômico, quantificáveis ou não, cujas combinações podem produzir diferentes alternativas de uso. Nesse contexto, ferramentas de análise que permitam reunir essas variáveis, atribuir pesos e valores às mesmas, dando prioridade às diferentes alternativas, facilitam a tomada de decisão. A análise multicriterial é um método de análise de alternativas para resolução de problema que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar as alternativas prioritárias para o objetivo considerado (FRANCISCO et al., 2007). Distintos métodos de análise multicriterial representam diferentes formas de aproximação para a tomada de decisão. Segundo Fidalgo (2003) e Zuffo (1998), a seleção do método depende do problema particular considerado, das preferências do tomador de decisão e de muitos outros fatores.

Os conceitos dos tomadores de decisão são expressos pelos critérios que, são a base do processo de tomada de decisão e que podem ser medidos e avaliados. Para esse autor, o critério é a evidência sobre o qual um indivíduo pode ser designado a um conjunto de decisão, podendo ser de dois tipos: fatores e restrições e podem referir-se tanto atributos do indivíduo como ao conjunto todo de decisão (EASTMAN, 2001).

Os fatores irão realçar ou diminuir a suscetibilidade de uma alternativa específica para uma atividade ou objetivo (EASTMAN, 2001). Para Randhir et al. (2001), os

fatores utilizados no processo de tomada de decisão são aqueles que representam as características críticas de um habitat.

As restrições podem ser entendidas como categorias restritivas das alternativas (fatores), excluindo áreas e limitando espacialmente a distribuição das possibilidades de escolha (EASTMAN et al., 1993).

Para a integração dos diferentes fatores, com base na abordagem multicriterial, vários métodos vêm sendo utilizados, segundo Malczewski (2004), os vários métodos de Avaliação Multicritérios (AMC) que têm sido implementados em ambiente SIG, destaca-se o método Booleano, a Combinação Linear Ponderada (CLP) e suas variantes, o Método do Ponto Ideal, a Análise de Concordância e o Processo Hierárquico Analítico. Dentre esses métodos a Combinação Linear Ponderada e o Booleano são os mais robustos e os empregados com mais freqüência.

Na definição de áreas prioritárias, de acordo com Carver (1991), a lógica booleana não tem apresentado resultados satisfatórios, pela dificuldade de representar os diferentes atributos das paisagens em classes com intervalos discretos o que, por sua vez, acarreta na perda de informação e, provavelmente, na geração de erros no processo de tomada de decisão.

A Combinação Linear Ponderada (MALCZEWSKI, 1996; SAMIZAVA et al., 2008; VETTORAZZI et al., 2000) têm sido empregada em substituição à lógica Booleana na determinação de áreas suscetíveis, de risco e prioritárias.

Segundo Voogd (1983), na Combinação Linear Ponderada os critérios (fatores) são padronizados para uma escala numérica comum, recebendo pesos e sendo combinados por meio de uma média ponderada. O resultado é um mapa de prioridades, que pode ser limitado espacialmente por uma ou mais restrições booleanas (EASTMAN, 2001).

A principal razão da popularidade deste método está na facilidade de sua implementação no ambiente SIGs, usando álgebra de mapas e modelagem cartográfica Berry (1993); Malczewski (2000) ressaltaram a facilidade de entendimento e aplicação do método por parte dos tomadores de decisão.

O método apresenta como principais vantagens em relação à lógica booleana: a representação contínua da paisagem e a possibilidade dos fatores receberem pesos,

de acordo com a importância que possuem para o objetivo do trabalho (CHEN et al., 2001; KANGAS et al., 1998; STORE e KANGAS, 2001).

A representação contínua da paisagem é possível com a padronização dos fatores para uma escala numérica comum, baseada na lógica fuzzy (EASTMAN, 2001). Por essa lógica, um conjunto de valores expressos numa dada escala é convertido em outro comparável, expresso em uma escala normalizada (MALCZEWSKI, 1996). Por esse motivo é comum denominar essa etapa de padronização dos fatores, no ambiente da abordagem multicriterial, de normalização (EASTMAN, 2001; MALCZEWSKI, 1999).

Segundo Zadeh (1965) citado por Malczewki (1999), a teoria dos conjuntos fuzzy é, em resumo, o passo seguinte de aproximação entre a precisão da matemática clássica e a imprecisão do mundo real. O conjunto fuzzy é uma generalização do conjunto ordinário. É definido a partir de um domínio contínuo, com graus de pertinência ou afirmativa de um dado fenômeno. Com o advento dessa teoria ateve uma estrutura conceitual apropriada de tomada de decisão, pois a lógica fuzzy auxilia a diminuir a subjetividade na escolha e aumentar o raciocínio no processo de decisão (CALIJURI et al., 2002).

Para a definição de áreas sensíveis, prioritárias ou de risco, o método da Combinação Linear Ponderada vem sendo empregado em diversos campos da pesquisa. Zhu e Dale (2001) desenvolveram um programa, com base nesse método, e o empregaram para a determinação de áreas prioritárias para o manejo sustentável, tendo em vista a qualidade da água, de uma bacia hidrográfica na região centro-oeste da Austrália. O mesmo programa foi utilizado por Donha et al. (2005) para determinar a fragilidade ambiental de uma área no município de Pinhais, região metropolitana de Curitiba – PR e por Déstro et al. (2009) para determinar áreas de risco ambiental por barragens no Estado de Minas Gerais.

Daí et al. (2001) descreveram que a avaliação ambiental para o planejamento de uso e ocupação do solo, em áreas urbanas, geralmente requer uma grande quantidade de informação de natureza espacial. O estudo ocorreu na cidade Lanzhou e vizinhança, na China. Uma análise por múltiplos critérios foi executada para se avaliar a adequação ambiental ao desenvolvimento para cada categoria, de acordo com fatores apropriadamente determinados e ponderados. Foi gerado um mapa de adequação para cada categoria usando-se um algoritmo de CLP. Os resultados demonstraram que a abordagem empregada (CLP-SIG) apresentou alta funcionalidade para avaliações ambientais.

Tagliani (2002) apresentou um estudo de avaliação de vulnerabilidade ambiental de uma região da Planície costeira do Rio Grande do Sul, através da utilização de AMC no SIG Idrisi 32. Após a definição dos fatores de vulnerabilidade ambiental, foram aplicadas rotinas de apoio à decisão disponível no SIG. Inicialmente os fatores foram padronizados utilizando um conceito relativo, ou fuzzy e, posteriormente, agregados através do método da CLP, para a obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental relativa. O mapa apresentou uma amplitude de valores contínuos variando de 0 (vulnerabilidade baixa) a 255 (vulnerabilidade alta). Segundo o autor, a obtenção de um consenso técnico auxilia a tomada de decisão, aspectos extremamente importantes em programas de manejo integrado de zonas costeiras.

Geneletti (2004) identificou, na Província de Trento, Itália, áreas prioritárias para a conservação de ecossistemas importantes à sua região, com base na abordagem multicriterial – método da Combinação Linear Ponderada. O autor utilizou os fatores raridade, isolamento, distúrbio e área nuclear.

Graravelli et al. (2004) priorizaram áreas para restauração florestal, também com a Combinação Linear Ponderada, no Parque Nacional de Snowdonia, Inglaterra, com base em critérios importantes às espécies florestais da região.

Traficante (2007) apresentou um planejamento ambiental de redes ecológicas para a atenuação da fragmentação do sistema natural. Através do estudo de caso, representado pelo triângulo Agudos – Piratininga - Bauru, no estado de São Paulo, Brasil, ilustrou uma metodologia para projeto de redes ecológicas. Uma vez definida a idoneidade através da abordagem multicriterial – utilizando o método da Combinação Linear Ponderada, são apresentadas três propostas projetais de redes ecológicas. Além do principal objetivo da conservação ambiental, as redes ecológicas propostas também podem cumprir outros objetivos: planejamento da logística de transporte com meios não motorizados e áreas de atividades culturais, educativas e recreativas.

Rahman et al. (2009) desenvolveu um modelo numérico para a avaliação do risco de erosão do solo, em que a análise do escore foi combinado com um sistema de informação geográfica (SIG) para calcular um índice sintético de risco de erosão do solo (SEHI). Para este modelo, nove fatores que têm impacto importante sobre a erosão do solo foram selecionados. Posteriormente, as camadas foram integradas com pesos respectivos

fatores por meio de uma Combinação Linear Ponderada, para derivar um valor SEHI para cada pixel. Com base neste estudo, estratégias abrangentes de gestão de risco de erosão foram antecipadas para a gestão eficiente do desastre erosão presentes e futuras na área.

## 2.3 SIG e Avaliação Multicritérios

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 a denominada Avaliação Multicritérios (AMC). Problemas de decisão espacial normalmente envolvem um grande conjunto de alternativas viáveis e múltiplas. As alternativas são frequentemente avaliados por um número de indivíduos (os decisores políticos, gestores, agentes, pesquisadores, grupos de interesse). Os indivíduos são tipicamente caracterizados por uma única preferência com relação à importância relativa dos critérios com base nos quais as alternativas são avaliadas (MALCZEWSKI, 2006).

Assim, muitos problemas de decisão espacial dão origem para o SIG-baseada na avaliação multicritério (SIG-AMC). Estes dois distintos domínios de pesquisa, SIG e AMC, podem beneficiar-se um ao outro (CHAKHAR; MARTEL, 2003; LAARIBI et al., 1996; MALCZEWSKI, 1999, THILL, 1999). Por um lado, técnicas de SIG e procedimentos têm um papel importante a desempenhar na análise de problemas de decisão. Na verdade, SIG é frequentemente reconhecida como um sistema de apoio à decisão envolvendo a integração de dados espacialmente referenciados em um ambiente de resolução de problemas. Por outro lado, AMC fornece um rico conjunto de técnicas e procedimentos para estruturação de problemas de decisão, e projetar, avaliar e priorizando decisões alternativas. (COWEN, 1988).

Malczewski (2006) definiu que no nível mais rudimentar, SIG-AMC pode ser pensado como um processo que transforma e combina dados geográficos e valores de decisões para obter informações para tomada de decisão. É no contexto da capacidade sinergética de SIG e AMC que um pode ver o benefício para o avanço da investigação teórica e aplicada em SIG-AMC.

Malczewski (2004) afirmou que a integração entre as técnicas de tomada de decisão multicritérios e sistemas de informações geográficas representa um avanço

considerável nas análises envolvendo adequação de uso da terra, em relação às abordagens convencionais de sobreposição (overlay) de mapas. Segundo o autor, a AMC em ambiente SIG pode ser pensada como um processo que combina e transforma dados espaciais e não-espaciais (entrada) e uma decisão resultante (saída). Os procedimentos envolvem a utilização de dados geográficos, as preferências dos tomadores de decisão e a manipulação dos dados e preferências de acordo com regras de decisão especificam. Desta maneira, duas considerações são de importância crítica para a AMC: (1) as capacidades do SIG de aquisição, armazenamento, recuperação, manipulação e análise de dados; e (2) as capacidades dos métodos de tomada de decisão multicritérios (TDMC) em combinar os dados geográficos e as preferências dos tomadores de decisão em valores unidimensionais de decisões alternativas.

Eastman et al. (1995) afirmaram que decisões sobre a locação de terra tipicamente envolvem a avaliação de múltiplos critérios, de acordo com diversos, e em geral conflitantes objetivos. Para os autores, o advento do SIG proporcionou a oportunidade de execução de processos de tomada de decisão, na área ambiental, de forma mais explicitamente racional. Ao mesmo tempo, o ordenamento do território tornou-se cada vez mais complexo. Os princípios do desenvolvimento sustentável, os planejadores do uso terra enfrentam um paradoxo de dois aparentemente contraditórios: a conservação da natureza e desenvolvimento econômico.

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. Esses grupos são caracterizados por preferências especificas, com respeito às importâncias relativas dos critérios, contra o que os planos alternativos são avaliados. De grande importância para os problemas de tomada de decisão no setor público é a busca de consenso entre as várias partes interessadas.

Jankowski; Adrienko e Adrienko (2001) discutiram o papel dos mapas em avaliações multicritérios. Segundo os autores, o apoio à decisão espacial é uma das funções centrais de um SIG. Um dos focos no desenvolvimento de capacidades de apoio à decisão em ambiente SIG tem sido a integração de mapas com modelos de decisão de multicritérios. Ainda de acordo com os autores, o progresso nessa área tem sido devido ao papel limitado desempenhado pelos mapas como instrumentos de apoio à decisão. Assim,

apresentam um protótipo de instrumentos de apoio à decisão espacial, enfatizando o papel dos mapas como uma fonte de estrutura em problemas de decisão espacial multicritérios. Nesses instrumentos, o papel dos mapas vai além da mera exibição do espaço geográfico de decisão e de resultados da AMC. Os mapas tornaram-se um "índice visual" pelo qual o usuário ordena opções de decisão, assinala prioridades e critérios de decisão e aumenta o espaço de saída (outcome) dos critérios pelo conhecimento derivado dos mapas.

Em ambiente SIG, a AMC, por meio de diversas abordagens, como a Booleana, a Combinação Linear Ponderada (CLP) e a Média Ponderada Ordenada (MPO), têm sido empregadas nas mais variadas aplicações, como apresentado a seguir.

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. Os fatores de adequação e a geometria das áreas agrícolas foram incorporados ao modelo, para facilitar a alocação racional de terras para proteção. O modelo foi implementado em um SIG, que proporcionou informações úteis sobre restrições, além de um ambiente adequado para modelagem.

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. Foram considerados fatores ambientais relevantes, tais como clima, solo e relevo, em diferentes resoluções espaciais e temporais. Para a geração dos mapas de fatores padronizados foi usada a função de pertinência *fuzzy*. Os resultados indicaram que as variáveis mais importantes para o desenvolvimento da cultura de aveia foram a precipitação, a altitude e a profundidade do solo. Também identificaram 6.663ha com um nível alto de adequação, que representavam 57% mais que o território então usado para o cultivo não-irrigado da aveia no México Central.

De maneira análoga, Gumbricht et al. (1996) empregaram a abordagem AMC-SIG, na área florestal, para a determinação de áreas adequadas ao reflorestamento com duas espécies de Pinus, no Chipre.

Wang e Medley (2004) também se valeram da tecnologia SIG para desenvolver um modelo baseado em múltiplos critérios, visando à identificação de áreas apropriadas à restauração florestal, em Ohio, EUA, com relação ao seu potencial para conservação de carbono. Os critérios relacionaram-se principalmente às condições do solo e do relevo, favoráveis ao desenvolvimento de florestas. O estudo apresentou um recurso valioso para planejamento ecológico, que prioriza áreas para conservação florestal com base em suas contribuições funcionais para o balanço regional de carbono.

Ferraz e Vettorazzi (2003) utilizaram AMC para identificação de áreas apropriadas à recomposição florestal, com espécies nativas, em fazendas de reflorestamentos, com base em princípios de ecologia da paisagem. Foram estabelecidos cinco critérios para determinação de áreas para recomposição: fertilidade do solo; presença de mata nativa; corpos d água; declividade do terreno; e suscetibilidade do solo à erosão. Esses fatores foram analisados empregando-se o recurso de tomada de decisão multicritérios em um SIG. Como resultado foi obtido um mapa das áreas adequadas à recomposição florestal, segundo os critérios adotados. Com esse mapa realizou-se uma simulação, alocando-se uma nova área de floresta nativa no local estudado e o resultado foi avaliado em nível de paisagem, por meio de índices apropriados.

Valente (2005) definiu áreas prioritárias para conservação e preservação florestal, tendo em vista o incremento da biodiversidade regional. Empregou-se abordagem multicriterial, em ambiente SIG, com método de Média Ponderada Ordenada, para combinação dos fatores (características da paisagem) importantes ao objetivo do projeto. A princípio os fatores selecionados foram: proximidade entre fragmentos de maior área nuclear; proximidade à cobertura florestal; proximidade à rede hidrográfica; distância à malha viária; distância aos centros urbanos; e vulnerabilidade à erosão. O mapa final de áreas prioritárias foi reclassificado em sete classes, que possibilitaram o melhor entendimento das alterações propostas para estrutura da bacia, sendo que a grande maioria das áreas com maior prioridade coincidiu com regiões que concentram sua área de floresta nativa e, ainda, seus melhores fragmentos.

Vettorazzi (2006) avaliou o emprego da Avaliação Multicritérios, em ambiente SIG, por meio da comparação entre os métodos da Combinação Linear Ponderada e da Média Ponderada Ordenada, na geração de mapas de áreas prioritárias à restauração

florestal, na bacia do Rio Corumbatái, SP, visando à conservação de recursos hídricos. Os fatores empregados foram a adequação do uso da terra, a erodibilidade do solo, erosividade da chuva e as proximidades à malha viária e à rede hidrográfica, todos representados como mapas matriciais, em que cada fator foi padronizado a uma escala única e contínua de 256 valores. Os resultados obtidos foram mapas de áreas prioritárias, com graus de prioridade representados de forma contínua no espaço de 256 níveis. Para facilitar a visualização e também a análise dos resultados gerados, os mapas foram reclassificados, de maneira a apresentar apenas cinco graus de prioridade.

Ainda na linha de recomposição florestal, Francisco et al. (2007) aplicam a espacialização da análise multicriterial em sistema de informação geográfica com a elaboração de mapa de priorização de Áreas de Preservação Permanente para recuperação na bacia do córrego São Quirino afluente do ribeirão das Anhumas inserida no município de Campinas, SP. A espacialização da análise multicriterial em SIG pode ser útil no planejamento ambiental de áreas degradadas e de outras áreas que necessitem maior atenção com enfoque ambiental, dentre as quais as Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Outro setor florestal que a abordagem AMC-SIG tem sido utilizada com sucesso é no mapeamento de áreas de risco de incêndios. Vettorazzi et al. (1999) mencionaram que os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), por possibilitarem a análise e modelagem de dados espacialmente referenciados, são um instrumento adequado para o mapeamento e monitoramento de risco de incêndios florestais.

Chen e Blong (2003) desenvolveram uma abordagem integrada, com base em SIG, para a avaliação de risco em acidentes naturais, com referência a incêndios florestais. Segundo os autores, os desafios para se empregar essa abordagem apresentam três componentes: integração de dados, avaliação de riscos e tomada de decisões. Primeiramente, a integração de dados em um SIG é fundamental para tarefas subseqüentes de avaliação de risco e de tomadas de decisão. Foram discutidas várias questões relativas à integração de dados em SIG, tais como escalas geográficas e modelos de dados. Particularmente, a integração entre variáveis do ambiente físico e dados sócio-econômicos foi examinada, com um exemplo da integração entre dados obtidos por sensoriamento remoto e dados censitários. Em segundo lugar devem ser realizadas tarefas específicas de avaliação de riscos, tais como simulação de comportamento de eventos e avaliação de vulnerabilidade, para permitir a compreensão da

complexidade do risco e fornecer suporte à tomada de decisão. Em terceiro lugar, a tomada de decisão envolve preferências espaciais e/ou padrões. Assim os autores apresentam uma abordagem AMC-SIG para tomadas de decisão que incorpora três perspectivas: tipos de dados espaciais, modelos de dados e desenvolvimento de métodos. Foram identificados métodos convencionais e baseados em inteligência artificial, em SIG, para facilitar a tomada de decisões de uma maneira racional e interpretável. Finalmente, os autores concluíram que a abordagem integrada pode ser usada para auxiliar no gerenciamento de risco de desastres naturais, na teoria e na prática.

Silveira et al. (2008) realizou o mapeamento de risco de incêndios florestais na Bacia do Rio Corumbataí, utilizando-se a avaliação multicriterial (Método da Média Ponderada Ordenada) em um Sistema de Informações Geográficas. Os fatores importantes do estudo foram: declividade do terreno, face de exposição ao sol, pluviosidade, proximidade da malha viária. Nas condições atuais de uso e cobertura do solo, bem como de manejo das áreas agrícolas e pastagens, os remanescentes florestais da bacia hidrográfica estão sob séria ameaça de degradação por incêndios florestais.

Existe ainda, na literatura científica, uma série de trabalhos envolvendo a Avaliação Multicritérios em ambiente SIG, nas mias variadas áreas de aplicação, como, por exemplo: seleção de áreas apropriadas à implantação de aterros sanitários (CALIJURI, et al., 2002; SAMIZAVA et al., 2008); planejamento urbano (FARINA, 2006; RODRIGUES; AUGUSTO FILHO 2009; SANTOS, 2005); impactos ambientais causados por redes viárias (BAPTISTA, 2005; SOARES, 2006); recuperação de áreas degradadas por mineração (HICKEY; JANKOWSKI, 1997); planejamento ambiental de parques lineares e corredores verdes (GIORDANO; RIEDEL, 2006; TRAFICANTE, 2007); e identificação de local para construção de um repositório final para os rejeitos radioativos brasileiros, com ênfase no combustível nuclear usado (MARTINS, 2009).

## 2.4 Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais

A conservação da biodiversidade representa um dos maiores desafios deste final de século, em função do elevado nível de perturbações antrópicas dos ecossistemas naturais. Uma das principais conseqüências dessas perturbações é a fragmentação de

ecossistemas naturais. 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 fragmentação florestal de origem antrópica tem sido uma das principais causas de alteração, tanto na estrutura como nos processos de diferentes paisagens (LORD; NORTON, 1990; PUTZ et al., 2001).

A conservação florestal pode ser definida como o conjunto de ações que são realizadas em um ecossistema, tendo em vista sua restauração, sua proteção e, sobretudo, a sustentabilidade da qualidade e quantidade de seus componentes e processos (DUNSTER, DUNSTER, 1996).

O interesse no estudo das conseqüências da fragmentação florestal sobre a conservação da biodiversidade tem aumentado significativamente nos últimos anos (HARRIS, 1984; FORMAN; GODRON, 1986; LOVEJOY et al., 1986; VIANA, 1990; SHAFER, 1990; GRADWOHL; GREENBERG, 1991; VIANA et al., 1992; LAURANCE; BIERREGARD, 1997; GENELETTI, 2004; VALENTE, 2005). A justificativa para este crescente interesse é a constatação de que a maior parte da biodiversidade se encontra hoje localizada em pequenos fragmentos florestais, pouco estudados e historicamente marginalizados pelas iniciativas conservacionistas. Se atendidas as previsões mais otimistas do futuro, os parques e reservas poderão responder pela manutenção de apenas 10% da cobertura natural dos ecossistemas tropicais (GRADWOHL; GREENBERG, 1991).

A fragmentação introduz uma série de novos fatores na história evolutiva de populações naturais de plantas e animais. Essas mudanças afetam de forma diferenciada os parâmetros demográficos de mortalidade e natalidade de diferentes espécies e, portanto, a estrutura e dinâmica de ecossistemas. No caso de espécies arbóreas, a alteração na abundância de polinizadores, dispersores, predadores e patógenos alteram as taxas de recrutamento de plântulas; e os incêndios e mudanças microclimáticas, que atingem de forma mais intensa as bordas dos fragmentos, alteram as taxas de mortalidade de árvores. As evidências científicas sobre esses processos têm se avolumado nos últimos anos (SCHELLAS; GREENBERG, 1997; LAURANCE; BIERREGARD, 1997).

Geneletti (2004) descreveu que a fragmentação de ecossistemas, de maneira geral, caracteriza-se por três principais efeitos: aumento no isolamento dos

fragmentos, diminuição em seus tamanhos e aumento da suscetibilidade à distúrbios externos, tais como invasão por espécies exóticas ou alterações em suas condições físicas. Esses efeitos promovem, por sua vez, a redução da biodiversidade, da estabilidade dos ecossistemas e sua capacidade de recuperação frente a distúrbios (BASKENT, 1999; SAUNDERS et al., 1991).

### 2.4.1Fatores que afetam a conservação da biodiversidade em fragmentos florestais

Os principais fatores que afetam a dinâmica de fragmentos florestais são: tamanho, forma, grau de isolamento, tipo de vizinhança e histórico de perturbações (VIANA et al., 1992). Esses fatores apresentam relações com fenômenos biológicos que afetam a natalidade e a mortalidade de plantas como, por exemplo, o efeito de borda, a deriva genética e as interações entre plantas e animais. A análise desses fatores é fundamental para identificar estratégias conservacionistas e prioridades para a pesquisa, são eles:

***(a) Tamanho de fragmentos***

A relação entre a área dos fragmentos e seus atributos ecológicos, especialmente a diversidade de espécies, é um elemento central da teoria de biogeografia de ilhas (MACARTHUR; WILSON, 1967). A distribuição das classes de tamanho dos fragmentos na paisagem é um elemento importante para o desenvolvimento de estratégias para a conservação da biodiversidade (VIANA et al., 1992).

A definição de fragmentos prioritários para a conservação deve combinar uma análise de outros parâmetros que afetam a sustentabilidade dos fragmentos, além da distribuição das classes de tamanho. Isso inclui grau de isolamento, forma, nível de degradação e risco de perturbação. Nos estudos, devem ser priorizados por um lado, os grandes fragmentos, com menor grau de isolamento, menor nível de degradação, menor risco de perturbação e contexto sócio-cultural favorável. Por outro lado, devem ser priorizados fragmentos pequenos que sejam raros na paisagem, devido à sua localização. Dentre esses destacam-se os fragmentos situados em topografias planas e suaves, em solos férteis e bem drenados e próximos das vias de transporte. Esses fragmentos são raros e, em muitos casos,

apresentam pequenas populações de espécies ameaçadas de extinção (VIANA; PINHEIRO, 1998).

Noss et al. (1997) citaram que fragmentos maiores e conectados são tipicamente melhores, para a conservação da biodiversidade, do que os pequenos e isolados. O primeiro grupo possui espécies e populações em número maior que o segundo e, assim apresenta-se menos suscetível à extinção (espécie, populações e o próprio fragmento).

A definição de estratégias para a conservação da biodiversidade nessas áreas deve ultrapassar os limites das unidades de conservação e considerar as características e potencial de conservação nos fragmentos vizinhos. A identificação de áreas prioritárias para a criação de novas unidades de conservação deve também considerar as características e potencial de conservação nos fragmentos vizinhos. Esse enfoque holístico em nível de paisagem é fundamental para o aumento da eficácia dessas áreas para a conservação da biodiversidade.

***(b) Forma de fragmentos e efeito de borda***

A forma de um fragmento de hábitat esta diretamente ligada à relação entre perímetro e a área desse fragmento. Quanto menor for essa relação, menor também será a borda e vice-versa. A borda pode ser definida como a zona de contato entre dois ambientes. Dessa forma, quanto maior a proporção de borda de um fragmento, menor será a área central, que é a área efetivamente preservada e a mais similar a vegetação original da região (MMA/SBF, 2003).

Yahner (1998) explicou que, como os fragmentos estão inseridos em uma paisagem com estrutura ecológica predominante diferente da sua, existe a formação de uma borda nesses fragmentos, visto a recepção direta de impactos das mais diversas naturezas. Como resultado da borda tem-se as alterações no seu microclima e, por conseqüência, o distúrbio desses fragmentos. Como outro fator que irá interferir nesse efeito de borda Forman (1997) citou, ainda, a forma dos fragmentos.

Em suma, funcionalmente, bordas são áreas onde a intensidade dos fluxos biológicos entre as unidades de paisagem modifica-se de forma abrupta, devido à mudança abiótica repentina das matrizes para os fragmentos e vice-versa (METZGER, 1999). Vista do interior da mata, tal mudança pode ser evidenciada por um aumento da penetração da

luz solar (MURCIA, 1995) e maior incidência de ventos (LAURANCE et al., 1998). Estas alterações podem ocasionar a elevação da temperatura no ambiente (NICHOL, 1994) e o consequente aumento da evapotranspiração (MATLACK, 1993) proporcionando, assim, a diminuição da umidade relativa do solo e do ar (KAPOS, 1989) o que favoreceria o estabelecimento de estresse hídrico (ESSEEN; RENHORN, 1998). Esses processos promovem um conjunto de mudanças no equilíbrio do ambiente, alterando as relações ecológicas entre as populações de fauna, flora e o meio abiótico (RIBEIRO; MARQUES, 2005).

O fator de forma é a relação entre área de um fragmento florestal e o seu perímetro (onde *F*= fator de forma; *Af*= área do fragmento florestal; e *Ac*= área de uma circunferência com mesma área) (Equação 1). É um parâmetro útil para a análise da vulnerabilidade dos fragmentos a perturbações, especialmente através do efeito de borda (VIANA; PINHEIRO, 1998).

$$F = \sqrt{Af/Ac} \qquad (1)$$

Fragmentos de habitats mais próximos ao formato circular tem a razão borda-área minimizada e, portanto, ao centro da área esta equidistante da borda. Sendo assim, a área central encontra-se "protegida" dos fatores externos. Áreas mais recortadas têm maior proporção de bordas que as menos recortadas. Logo, fragmentos com área maiores e menos recortados são preferíveis, porque apresentam menor proporção de borda/área (ALMEIDA, 2008).

Qualquer análise acerca da importância conservacionista de um determinado fragmento (exemplo: análise de impacto ambiental de desmatamentos). Quanto maior o fator de forma, maior é o valor ambiental de um fragmento. Do ponto de vista prático, pode-se utilizar a proporção entre a maior e a menor dimensão de um fragmento como um parâmetro para a análise do fator de forma (VIANA; PINHEIRO, 1998).

***(c) Grau de isolamento e heterogeneidade da paisagem***

O grau de isolamento afeta o fluxo gênico entre fragmentos florestais e, portanto, a sustentabilidade de populações naturais. A conectividade entre os fragmentos

florestais tende a diminuírem paisagem em paisagens mais intensamente cultivadas (VIANA; PINHEIRO, 1998).

O isolamento ao quais os fragmentos são submetidos tem efeito negativo sobre a riqueza das espécies, diminuindo a taxa (porcentual) de imigração e recolonização. A área mínima viável do remanescente para a sobrevivência dos indivíduos varia de acordo com espécie focalizada. Os fragmentos são expostos a mudanças físicas e biogeográficas, em grande ou pequena escala, mas seus efeitos variam conforme as variações do tamanho, forma, posição na paisagem e conectividade. As espécies que conseguem manter-se nos fragmentos tendem a se tornar dominantes, diminuindo a riqueza e equabilidade biológica (HANSON et al., 1990, citado por CASTRO, 2004).

Essa heterogeneidade intra-paisagem aponta para a necessidade de utilizar escalas apropriadas para o estudo da paisagem, em função das características da fragmentação. Os limites geográficos para definição de estratégias conservacionistas devem considerar unidades da paisagem homogêneas quanto às características de fragmentação dos ecossistemas naturais (VIANA; PINHEIRO, 1998).

Metzger (2003) esclareceu que uma paisagem fragmentada, ideal para conservação biológica, tem que ter, além dos grandes fragmentos, uma rede de fragmentos menores interligados por corredores largos e imersos numa matriz permeável, de forma aumentar a conectividade funcional. Metzger (1997) citou que fragmentos com área superior a 0,72 ha têm condições de assumir a função de "stepping-stones" na conexão florestal. Vários trabalhos atestam a importância destas áreas nos fluxos biológicos (METZGER, 2000).

Para Farina (1998) e Roy e Tomar (2000), esses fragmentos de menor tamanho, quando próximos daqueles considerados "focos de biodiversidade" da paisagem, por serem os fragmentos com maior área nuclear, alcançarão mais rapidamente a estabilidade de sua estrutura interna. Esse fato ocorre, ainda segundo os autores, porque será estabelecido e/ou restabelecido o fluxo gênico da paisagem.

***(d) Relações com a população local - grau de isolamento, tipo de vizinhança e histórico de perturbações***

Os fragmentos florestais não existem num vazio humano. Pelo contrário, os fragmentos apresentam uma profunda relação com a sociedade envolvente. Um

dos fatores que melhor explica a estrutura e a dinâmica de fragmentos florestais é o histórico de perturbações. Esse histórico de perturbações é complexo e longo. Inicia-se com as populações ameríndias e suas práticas de manejo e incluem todas as atividades de extração vegetal e animal e o processo de redução da área dos remanescentes florestais no período pós-colombiano (VIANA, 1995).

O processo de fragmentação florestal pode ser descrito (Figura 1), como o resultado de um processo de tomada de decisão dos proprietários e trabalhadores rurais, com base nas suas percepções do ambiente físico e biológico, suas oportunidades e limites para uso econômico; do contexto social, cultural e institucional e da tecnologia disponível para o manejo florestal e agrícola (VIANA; PINHEIRO, 1998).

De maneira geral, esse processo de tomada de decisões resulta na crescente substituição da cobertura florestal por atividades agropecuárias (VIANA, 1995). Existe uma grande lacuna quanto ao entendimento do processo de tomada de decisão de proprietários e trabalhadores rurais. Trata-se de um elemento fundamental para a definição de uma estratégia para a conservação da biodiversidade.

Neste sentido, Forman (1997) considerou como outros fatores importantes às ações de conservação e preservação florestal o aspecto (face de exposição do terreno), a declividade, os tipos de solo e, principalmente, a sua suscetibilidade à erosão.

## 2.5 Restauração uma estratégia para a conservação da biodiversidade

A transformação dos ecossistemas não pode ser considerada de modo isolado do contexto histórico, social, cultural, político e econômico das populações humanas envolvidas (VIVAN, 1998). Assim, como a degradação foi fruto de um processo histórico movido pelo ser humano, a recuperação também depende de ações humanas efetivas e emergenciais. Além da restauração, os modelos de desenvolvimento rural e urbano devem buscar novos caminhos que conciliem as atividades econômicas com a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais.

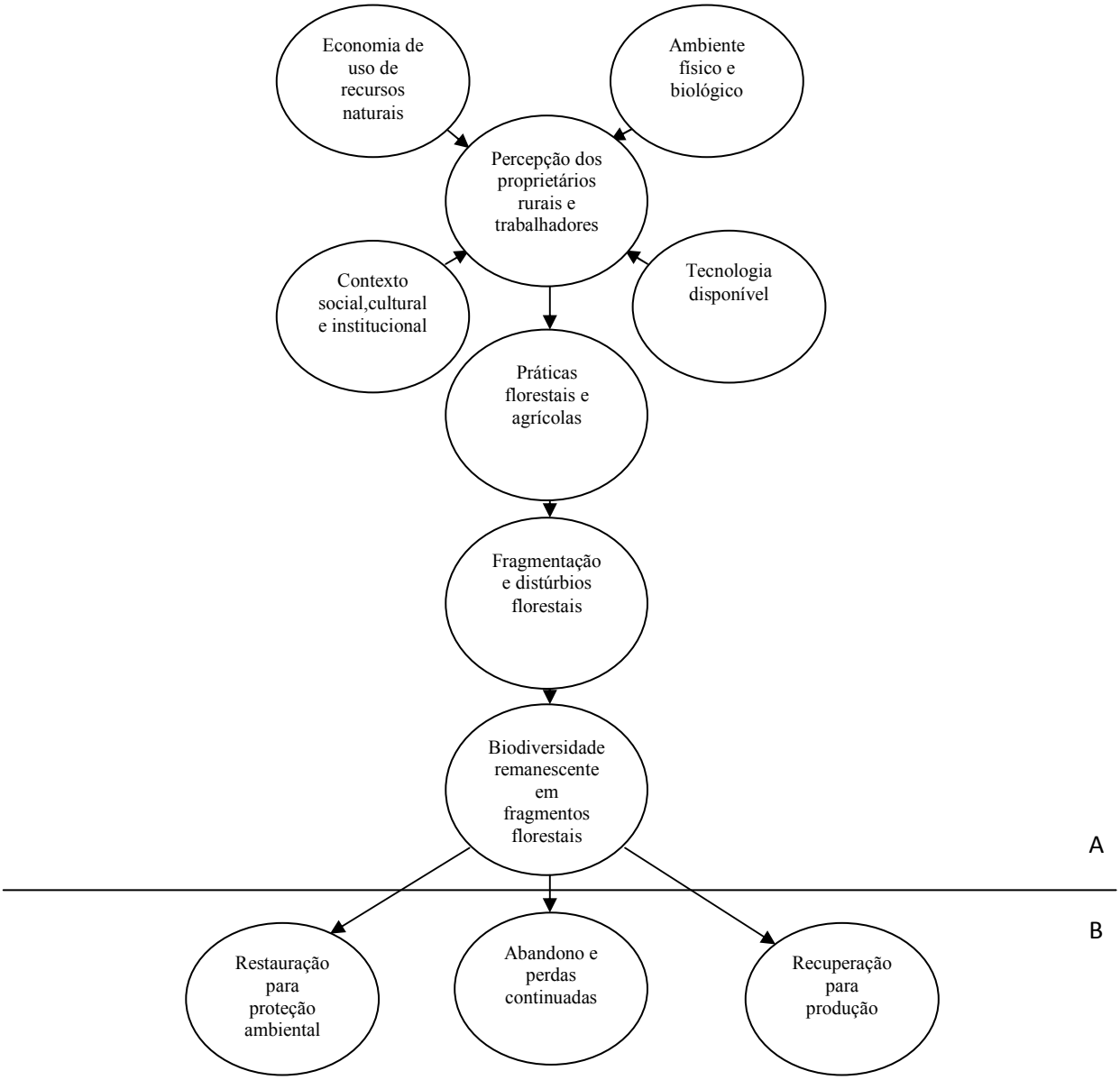


Figura 1. Processo de fragmentação florestal em paisagens intensivamente cultivadas (A) e estratégias alternativas para lidar com problemas associados coma fragmentação (B).O ponto chave deste sistema é o proprietário rural que realiza decisões de uso da terra baseado nas suas percepções acerca do ambiente, economia, tecnologia e contexto social, institucional e cultural (modificado a partir de Viana, 1995).

Restauração de ecossistemas é a denominação que se tem atribuído ao desafio de, por meio de interferências planejadas, reconstruírem a estrutura e criar condições

para que se restabeleçam também os processos ecológicos naturais de cada ecossistema (DURIGAN, 1999). A restauração deve partir do estado de degradação ou conservação em que se encontram os ecossistemas e a paisagem onde estão localizados. Cada situação é única e requerem caminhos específicos, determinados a partir das necessidades e dos objetivos locais, considerando-se as prioridades, as possibilidades e os locais-chave para o início das atividades.

Dentre as áreas prioritárias para as atividades de restauração numa paisagem, têm-se os ecossistemas degradados, as áreas degradadas e as áreas em processo de degradação. Os ecossistemas degradados geralmente tiveram diminuição da sua diversidade e sofreram sucessivas perturbações que levaram à redução da resiliência e perda de estabilidade. A resiliência indica a capacidade do ecossistema de se regenerar após alguma alteração natural ou antrópica, estando relacionada com a saúde do ecossistema (ARONSON et al., 1993). As áreas degradadas são aquelas que, após distúrbio, tiveram eliminados seus meios de regeneração natural Kageyama et al. (1992) sofrendo um processo irreversível com o colapso das comunidades.

As áreas em processo de degradação são frutos de um manejo equivocado dos solos na agricultura, que os têm levado à degradação pela redução da sua fertilidade por causa da destruição da matéria orgânica, eliminação da biota, pela intensidade de uso dos biocidas, lixiviação dos nutrientes e processo erosivo acelerado pela desagregação e compactação do solo (AMADOR, 2003).

Para que a restauração de ecossistemas venha a ser realmente efetivada por proprietários rurais, empresas e órgãos governamentais são prementes o desenvolvimento de alternativas que a viabilizem economicamente. O fator econômico é hoje uma mola que incentiva ou freia as ações em qualquer esfera e deve ser considerado para que a restauração do que já foi degradado e a interrupção e transformação de atividades degradantes realmente ocorram (AMADOR, 2003).

Segundo Souza e Batista (2004), a Ecologia da Restauração é objeto de crescente interesse e pesquisa no Brasil. Apesar das altas taxas de fragmentação na Mata Atlântica e ecossistemas associados, poucas tentativas de restaurar áreas desmatadas, em grande escala, têm sido feitas.

Palik et al. (2000) citaram que o restabelecimento de comunidades de plantas nativas é um objetivo importante de restauração de ecossistemas. Em paisagens complexas, contendo diversos tipos de ecossistema, a restauração requer um conjunto de condições de referência da vegetação para o ecossistema em questão e um modelo preditivo para relacionar a composição da comunidade vegetal e variáveis físicas. A restauração também requer uma abordagem para priorizar esforços, facilitando assim a alocação de recursos institucionais, em geral, limitados. Para os autores, o desenvolvimento de um índice de prioridade para paisagens específica requer uma compreensão dos relacionamentos hierárquicos entre geomorfologia, características do solo e comunidades vegetais, além de objetivos bem definidos de restauração.

A restauração de áreas e ecossistemas degradados é uma necessidade urgente para a reversão da tendência que leva à erosão genética, erosão dos solos e à perda exponencial dos recursos para a vida. O nível de degradação é tal que muitos processos naturais já são irreversíveis e muitas espécies já foram extintas. A restauração de ecossistemas prima por restabelecer condições para o próprio ecossistema se reabilitar (LE FLOC'H e ARONSON, 1995), ou seja, a contribuição humana volta-se a acelerar e potencializar a capacidade natural do ecossistema se curar.

Na natureza, a recuperação de solos degradados pode levar muito tempo, e sua abreviação é um dos objetivos dos projetos de restauração (GÖTSCH, 1995). O restabelecimento de uma cobertura vegetal natural, passando pelos vários estágios sucessionais, devolve ao solo o potencial produtivo de outrora. O ponto de partida para a restauração de florestas é a sucessão natural, a direção que a vida se move no tempo e no espaço. Para aperfeiçoar os processos naturais, pode-se alavancar a sucessão por meio, da criação de condições para o estabelecimento de sementes de diversas espécies, o que pode ser conseguido pelo rápido recobrimento da área com espécies (herbáceas, arbustivas ou arbóreas) de crescimento rápido - as pioneiras; a conexão de áreas florestais próximas; o plantio de espécies dispersas por animais, que podem contribuir muito no fluxo gênico e na dispersão de sementes diversas e o manejo que acompanhe e acelere a dinâmica natural da sucessão (AMADOR, 2003).

Harrington (1999) citou que, embora a idéia de plantios para restauração de ecossistemas seja relativamente recente, muitos dos primeiros plantios de

árvores em grande escala foram realizados com objetivos referidos hoje como de "restauração" ou de "conservação". A restauração de florestas pode ser necessária quando ecossistemas são perturbados por forças naturais ou antrópicas. Os primeiros esforços de restauração ou reabilitação focaram, principalmente, na redução de impactos resultantes de perturbações fora de áreas a serem restauradas, tais como carreamento aos cursos d'água de sedimentos provenientes de ecossistemas severamente perturbados. Programas mais recente de restauração incluem ecossistemas nas quais apenas alguns dos componentes foram perdidos ou alguns dos processos tenham sido impactados.

A alternativa que se coloca é recuperar os fragmentos e interligá-los com corredores e sistemas agroflorestais de alto fluxo de biodiversidade. Ao se recuperar os fragmentos (freqüentemente degradados pela ação antrópica), aumenta-se o potencial destas como "ilhas de biodiversidade''. Ao se interligar os fragmentos através de "corredores de biodiversidade", aumenta-se o fluxo de animais e sementes e, portanto, a colonização das áreas degradadas pelas espécies de plantas e animais presentes nos fragmentos florestais. Estes corredores devem atrair os dispersores da biodiversidade, notadamente animais (especialmente pássaros, mamíferos, insetos e anfíbios). Ao se aumentar a porosidade das paisagens através da adoção de sistemas agroflorestais de alta diversidade e mosaicos de uso da terra diversificados, pode-se obter resultados semelhantes e complementares aos corredores. O desenvolvimento de tecnologias de recuperação de fragmentos degradados, estabelecimento de corredores florestais e paisagens de maior porosidade, constituem-se num dos maiores desafios para as atividades de restauração da biodiversidade em paisagens fragmentadas (VIANA; PINHEIRO, 1998).

# 3.MATERIAL E MÉTODOS

## 3.1Material

### 3.1.1 Descrição geral da área de estudo

A sub-Bacia do alto Rio Pardo localiza-se na região centro sul do Estado de São Paulo, abrangendo áreas dos municípios de Botucatu e Pardinho. A nascente do Rio Pardo, seu principal curso de água, está localizada no município de Pardinho. A área estudada tem início na nascente do Rio Pardo até o local de captação da SABESP, no município de Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil.

A área de estudo possui 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 (CONTE, 1999). O Rio Pardo é afluente direito do Rio Paranapanema, que por sua vez integra a bacia hidrográfica do Rio Paraná.

A Bacia do Rio Pardo está geograficamente localizada entre as coordenadas 23º06’14” e 22º56’07” de latitude sul e, 48º28’37” e 48º20’40” de longitude oeste de Greenwich, com altitudes variando entre 840 e 1.000 m de acordo com o (IBGE, 1969; IBGE, 1982), como mostra a Figura 2.

Vários municípios da região, dentre os quais, Botucatu e Pardinho, bem como parte da área da Bacia do Rio Pardo, encontram-se protegidos pela A.P.A. de Botucatu (Área de Proteção Ambiental), criada pelo Decreto Estadual n.º 20.960 de 8 de junho de 1983. O objetivo da A.P.A. é proteger os recursos naturais de áreas compreendidas nas 3 regiões fisiográficas existentes, sendo elas: Depressão Periférica, Frente e Reverso da "Cuesta" de Botucatu (SOUZA et al., 1985).

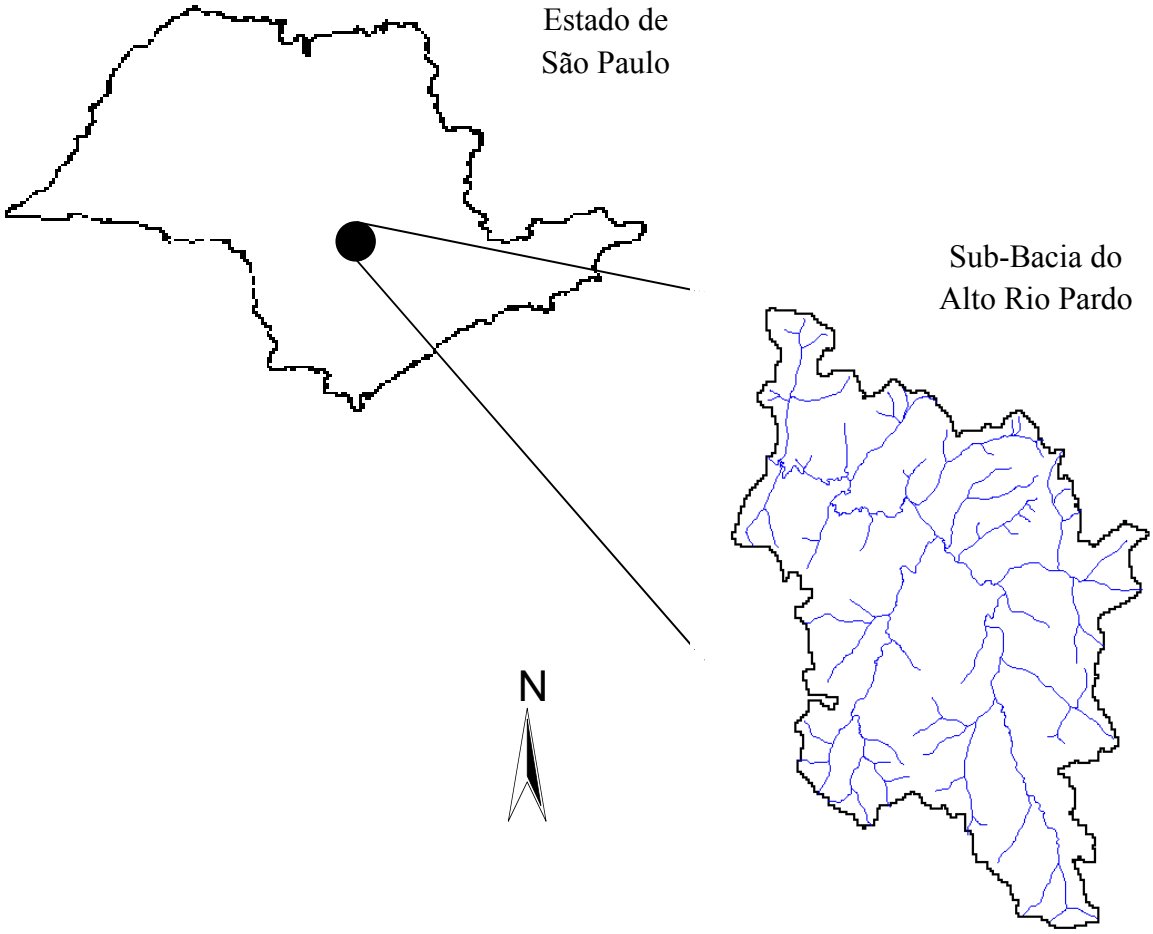


Figura 2. Localização da sub-Bacia do alto Rio Pardo-SP.

Segundo o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981), afloram na área duas formações geológicas: nas partes mais altas, acompanhando o divisor de

águas da bacia, aparecem arenitos mais resistente ao intemperismo, pertencentes ao Grupo Bauru, Formação Marília e, nas áreas inferiores do relevo, formando uma faixa relativamente estreita, margeando os cursos d'água, rochas basálticas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral e as feições geomorfológicas estão associadas, maior parte das vezes, com o embasamento rochoso local.

A área em estudo encontra-se no Planalto Ocidental Paulista que é formado por um planalto extremamente festonado e variado, com o relevo uniforme, extensos espigões de perfis convexos e cimos ondulados, com terminações laterais lobadas, constituindo baixas e amplas colinas que avançam em direção aos vales dos principais rios, só raramente interrompido pelo aforamento de camadas mais resistentes ao intemperismo, como é o caso da formação Marília. Nesse caso, o relevo termina frequentemente em escarpas abruptas, torna-se mais acidentado, apresentando vertentes de perfis côncavos e desníveis de até 100m, embora os cursos dos rios apresentem pequena declividade no seu leito. Nos locais onde os cursos d'água escavam o seu vale, descobrindo a Formação Serra Geral, o relevo é mais acidentado, convexo e os leitos dos rios mais declivosos, tornando-se as águas rápidas, sendo comum o aparecimento de saltos e cachoeiras (ALMEIDA, 1964).

De acordo com Zimback (1997), a área é composta pelos solos: Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico, Latossolo Roxo Distrófico, Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico, Solos Litólicos Distrófico e Solos Hidromórficos Distrófico Indiscriminados, todos distróficos e textura variando de média a muito argilosa. Estes mesmos solos foram reclassificados por Grossi (2003), segundo EMBRAPA (1999) como: Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Distroférrico, Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Neossolo Lítólico Distrófico e Gleissolo Distrófico, respectivamente.

Com relação ao clima, a região pode ser enquadrada como tendo um clima mesotérmico, com estação mais seca no inverno e identificada como Cwa, segundo a classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais torno de 20ºC e o índice pluviométrico entre 1.100 e 1.700 mm anuais (CARVALHO; JIM, 1983) podendo, segundo Leopoldo et al. (1998), atingir valores superiores a 1.800 mm anuais.

Do ponto de vista da vegetação, a biodiversidade é expressiva. Estão presentes matas de transição e atlântica, vegetação de cerrado e campo cerrado, contando

ainda, segundo Tornero (1996), com "(...) espécies isoladas do Pinheiro-do-Paraná (*Araucaria brasiliensis*), testemunho de um clima pretérito mais frio."

Ainda em termos ambientais, deve-se destacar a erosão que ocorre em algumas áreas em função das características naturais dos solos. Esse processo natural tem-se intensificado em razão de práticas inadequadas de uso e manejo do solo, acarretando, entre outras coisas, o depauperamento do solo e o assoreamento de rios e represas. Algumas áreas do município de Botucatu possuem alto grau de criticidade em relação à erosão. Grande parte da vegetação nativa foi suprimida para dar espaço às atividades agropecuárias, e, em alguns casos, para o reflorestamento com espécies exóticas. Segundo Tornero (1996), em estudo comparativo entre os anos de 1962 e 1977, confirma o aumento da área ocupada por lavouras anuais e reflorestamento, ao mesmo tempo em que se verifica uma redução da área ocupada por mata e mata ciliar na Microbacia Hidrográfica da Cabeceira (ampliada) do Rio Pardo. Além disso, a Bacia sofre também as conseqüências causadas pelo uso indiscriminado de agrotóxicos e despejo de esgotos domésticos, com baixa freqüência de tratamento.

### 3.1.2 Material cartográfico

Para a vetorização das curvas de nível e da rede de drenagem, foram utilizadas as cartas planialtimétricas do IBGE em escala 1:50.000, com eqüidistância vertical entre as curvas de nível de 20m. As cartas foram editadas em 1969 pelo Instituto Brasileiro de Geografia (IBGE, 1969), com articulação expostas na Tabela 1.

Tabela 1. Cartas planialtimétricas

| Codificação Internacional | Nome da folha |
|---|---|
| SF-22-Z-D-III-1-NE-C | Pardinho |
| SF-22-R- IV-3 | Botucatu |

### 3.1.3 Imagens orbitais

Para o mapeamento do uso e cobertura do solo foram empregadas imagens orbitais obtidas pelo sensor HRC (High Resolution Camera ou Câmera Pancromática de Alta Resolução) a bordo do satélite CBERS 2B. O sensor HRC possui uma única banda espectral, que opera no espectro do visível e infravermelho próximo e destaca-se pela alta resolução espacial que oferece (com 2,7 metros).

Foram necessárias duas cenas para o recobrimento de toda a área da bacia. Essas cenas são referentes à passagem do dia 12 de julho de 2008. Na tabela 2 podem ser observadas as características do modo de operação do sensor HRC, a bordo do satélite CBERS 2B.

Tabela 2. Características do modo de operação do sensor HRC

| Sensor | Bandas Espectrais | Resolução Espectral | Resolução Espacial | Resolução Temporal | Res. Radiométrica | Área Imageada |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HRC | PAN | 0,50 - 0,80µm | 2,7 m | 130 dias | 8 bits | 27 km (nadir) |

Fonte: CBERS/INPE, 2007.

### 3.1.4 Mapa de solos

Foi utilizado como base de dados para a vetorização na tela do computador o mapa semidetalhado de solos, escala 1:10.000, mostrado na Figura 3.

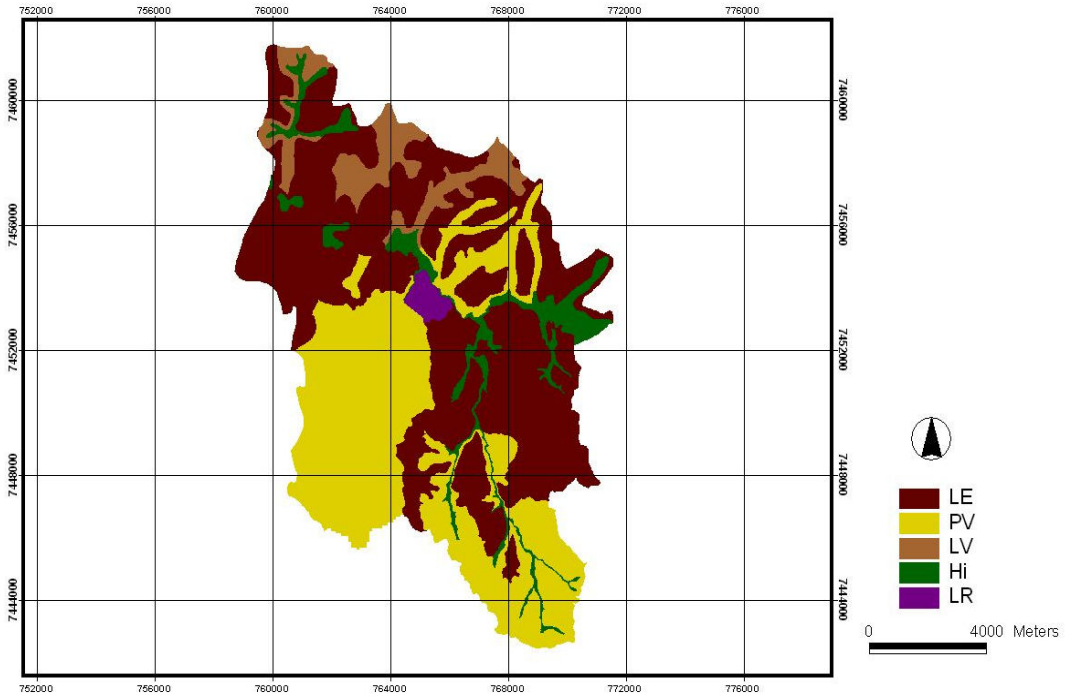


Figura 3. Mapa de solos da sub-Bacia do alto Rio Pardo-SP (Zimback, 1997).

### 3.1.5 Receptor GPS

Para as verificações de campo referentes ao processamento digital das imagens de satélite, foi empregado um receptor GPS de navegação (Global Positioning system).

### 3.1.6 Sistemas computacionais

Foram utilizados os seguintes sistemas computacionais: IDRISI Andes (Eastman, 2006) para o processamento digital de imagens orbitais, operações de análise espacial e processo de tomada de decisão; CartaLinx da Clark Labs (1999) foi utilizado na vetorização em tela para elaboração do mapa de solos e uso e ocupação; CAD para a

vetorização das curvas de nível e rede de drenagem e o Patch Analyst extensão do ArcGIS, para a análise espacial das manchas de floresta nativa da paisagem.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Uso e cobertura do solo

O mapa de uso e cobertura do solo foi produzido pelo processamento digital das imagens orbitais.

Foi feita a correção geométrica utilizando o modelo de transformação polinomial de primeiro grau e o método de interpolação pelo vizinho mais próximo. Para essa correção haverá a identificação e o registro das coordenadas de pontos, denominados de controle, e que foi comum entre as imagens digitais CBERS 2B e uma imagem do satélite LANDSAT-5 que, por sua vez, representou as coordenadas reais.

Devem-se distribuir os pontos de controle de forma homogênea nas duas imagens. A posição da maioria desses pontos deve coincidir com interseções da malha viária e confluência de rios. O registro das coordenadas desses pontos foi feito com a digitalização em tela, nas imagens CBERS 2B e LANDSAT-5, no próprio programa de processamento digital de imagens.

As classes de uso e cobertura do solo foram definidas a partir do conhecimento de campo e pontos coletados com GPS.

O mosaico das imagens foram convertido para o formato *bmp através do programa computacional CartaLinx da Clark Labs (1999) para as devidas interpretações. Na seqüência, as imagens foram vetorizadas e poderá determinar as unidades de ocupação nas imagens. Com os polígonos vetorizados as imagens foram exportadas para o IDRISI Andes, elaborando-se dessa forma os mapas finais e as quantificações totais e específicas de cada cobertura vegetal.

### 3.2.2 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. Esses fragmentos foram individualizados, isto é, passaram a receber identificadores únicos.

### 3.2.3 Área nuclear dos fragmentos de floresta

Área nuclear é definida como a área interna de um fragmento que não sofre efeito de borda, sendo que essa borda é a região do fragmento sob maior influência das ações antrópicas. Para este estudo considerou-se a faixa de borda como 50 metros.

O plano de informação área nuclear dos fragmentos de floresta e suas quantificações de áreas foram produzido a partir do plano de fragmentos de floresta, no Patch Analyst extensão do ArcGIS.

Os fragmentos com área menor que 6,3ha foram eliminados, pois estes não apresentam área nuclear, considerando um efeito de borda de 50 metros (18.5 pixel). Para o restante dos fragmentos, com a eliminação da faixa com largura de 50 m a partir de suas respectivas bordas, obteve-se a área nuclear desses fragmentos.

### 3.2.4 Modelo numérico do terreno

As cartas planialtimétricas do IBGE (1969) foram utilizadas no estudo, com uma eqüidistância vertical das curvas de nível de 20 metros, não permitem uma visualização contínua das altitudes da área de estudo. Devido a esse fator, é necessária a geração de uma superfície com valores que variam continuamente no espaço, cujo valor em um determinado ponto depende dos valores vizinhos (EASTMAN, 1999). O Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT). O MDT é utilizado para modelagem de informações de altimetria ou propriedades do solo, sendo importante, dentre outros fatores, para análises da superfície e subsuperfície do terreno.

A determinação dos valores entre as curvas de nível é possível através da interpolação dos dados. A Modelagem *Triangulated Irregular Network* (TIN) é a estrutura

mais comum utilizada para modelagem de superfícies contínuas usando dados vetoriais. Através da triangulação, os valores das altitudes foram utilizados como vértices na geração de triângulos, resultando na triangulação da área da bacia hidrográfica. Finalmente, é gerado um modelo *raster* da superfície onde os topos de morros e depressões são modeladas de acordo com as tendências dos dados mais próximos.

### 3.2.5 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%.

### 3.2.6 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).

### 3.2.7 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. 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; LOMBARDI NETO, 1985).

### 3.2.8 Rede hidrográfica

A rede hidrográfica foi gerado pela digitalização dos cursos d'água e represas a partir das cartas topográficas do IBGE, na escala 1:50.000. O detalhamento da rede hidrográfica foi elaborada em tela dos cursos d'água de ordens menores e represas construídas após a edição dos mapas, tendo como base imagens do satélite CBERS 2B sensor HRC de resolução espacial 2,7 metros.

### 3.2.9 Centros urbanos

Os centros urbanos foram extraídos do mapa de uso e cobertura do solo.

## 3.3 Mapas de fatores

Na definição dos critérios e, posteriormente, dos pesos de fatores, empregou-se a Técnica Participatória proposta por Eastman (2001), Malczewski (1999), Chen et al. (2000) e Valente (2005), que se constitui na reunião e consulta a especialistas das diferentes áreas de interesse do trabalho.

Para aplicação dessa técnica, foi feita uma reunião no Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciada (GEPAG) da Faculdade de Ciências Agronômica - FCA/UNESP, onde conta com vários integrantes de diversas formações e consultados outros pesquisadores de diferentes áreas de conhecimento.

Dessa forma todos os especialistas contribuiram com o projeto, sugerindo fatores (características/atributos da paisagem), explicando o motivo dessa escolha que foram importantes aos objetivos do trabalho

Nessa reunião foi apresentado o resumo do projeto inicial, sem os fatores previamente escolhidos; e uma tabela a ser preenchida com os fatores considerados e pesos (escala de 1 a 10) que foram atribuídos, a cada um desses fatores.

Ao final do processo de revisão de literatura, avaliação de projetos desenvolvidos e da Técnica Participatória foram eleitos os fatores.

Foram elencados seis fatores juntamente com as áreas restritivas de acordo com o objetivo em definir áreas prioritárias para favorecer a conectividade em fragmentos florestais na Bacia do Rio Pardo, visando à restauração ecológica.

### 3.3.1 Proximidade entre fragmentos de maior área nuclear

A elaboração desse fator foi estabelecida de acordo com Valente, (2005) por meio da seleção do plano de informação fragmentos florestais que, quando descontados de uma determinada área considerada como borda, ainda apresentem área nuclear. Para o cálculo das métricas considerou-se uma borda de 50 metros para cada fragmento de mata. Esta borda segundo Murcia (1995) é à distância na qual os efeitos de borda tendem a desaparecer.

Primeiramente os fragmentos foram divididos em classes, de acordo com o tamanho de sua área nuclear (Tabela 3), tendo por base o plano de informação área nuclear dos fragmentos de floresta e depois foram estabelecidas as distâncias entre as classes de tamanho.

Primeiramente as áreas nucleares dos fragmentos foram divididas em classes; para a definição dessas classes considerou-se: apenas os fragmentos com área nuclear acima de 1 ha; então a primeira classe estabelecida foi entre 1 – 9 ha são os de maior freqüência na bacia e que se encontram mais distribuídos por sua paisagem, mas que para esse fator, são os de menor interesse; e foram estabelecidas mais quatro classes com freqüência de área nuclear menor.

Logo em seguida foi estabelecido que cada classe de área nuclear passou a constituir um novo mapa, a partir dos quais foram gerados mapas com distancias entre as áreas nucleares dos fragmentos de floresta, sendo que cada mapa foi associado ao limite da bacia para ter-se essas distâncias somente dentro da área da bacia.

Próximo passo foi à normalização (padronização para uma única escala, nesse caso, variando de 0 a 255 bytes) desses mapas de distancia, para posterior combinação de todos os mapas de fatores. Para a normalização dos valores de distancias, foi empregada uma função linear decrescente. Desta forma foram obtidos os maiores valores (ex. 255), ou seja, maior prioridade, próximos à área nuclear dos fragmentos de floresta.

Para compor o mapa de fator, todos esses mapas foram novamente unidos. Com essa união foram obtidos valores acima de 255 bytes, tornando necessária uma nova normalização de valor para gerar o mapa final. Dessa vez foi utilizada uma função linear crescente, que tem a propriedade de manter a escala de importância do mapa original.

Tabela 3. Classes de área nuclear dos fragmentos de floresta e número de fragmentos

| Área nuclear dos fragmentos (ha) | Número de fragmentos |
|---|---|
| 0 – 0,9 | 182 |
| 1 – 9 | 69 |
| 10 – 49 | 18 |
| 50 – 75 | 2 |
| 76 - 96 | 1 |

### 3.3.2 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.

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.

A distância entre os fragmentos de uma paisagem contribui para caracterização de sua configuração e fornece um indicativo sobre seu nível de fragmentação florestal (TUNER e GARDNER, 1990; YONG e MERRIAN, 1994; VALENTE, 2005)

### 3.3.3 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 Pardo. 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.

Foram considerados, na geração de áreas prioritárias à restauração florestal, apenas aspectos da paisagem, naturais ou antrópicos, não considerando na análise a recomendação quanto à largura de faixas, como consta do Código Florestal.

### 3.3.4 Distância aos centros urbanos

Por meio deste fator é possível verificar se a interferência humana nas proximidades das cidades está desfavorecendo a conservação dos fragmentos florestais, pois neste caso, estes podem ficar mais vulneráveis ao fogo, animais domésticos, caça, desmatamento, invasões, etc. Modificando, assim, o grau de conservação dos fragmentos florestais. Então para o sucesso na determinação de áreas a conexão entre fragmentos é interessante que sejam priorizadas as áreas mais distantes dos centros urbanos.

As distancias aos centros urbanos foram determinadas tendo por referência o plano de informação centros urbanos. Em seguida, utilizando o limite da bacia, produziu-se um mapa com as distancias aos centros urbanos somente para área de estudo.

Como para esse fator, quanto mais próximo a um centro urbano menor a importância (prioridade) da distância e para a sua normalização empregou-se uma função linear crescente.

### 3.3.5 Declividade

Para elaboração desse mapa de fator, utilizou-se o plano de informação com classes de declividade, em porcentagem, foi obtido a partir da Modelagem Digital do Terreno. Com esse fator foi dada maior atenção as áreas em maiores declividades. Nessa condição eles estarão mais suscetíveis à erosão, podendo ser uma ameaça a conservação e sobre tudo à preservação florestal (ROSA et al., 2000).

Essa ameaça é mais bem entendida considerando-se que esses solos, com cobertura inadequada ou descobertos, podem ser os causadores de deslizamentos, produzindo sedimentos que juntamente com outros danos, podem afetar as áreas florestais que já alcançaram a estabilidade de sua estrutura interna ou as outras que estão caminhando nesse sentido.

A produção desse fator teve por base os planos de informação declividade (%), onde foi aplicada uma função linear crescente, sendo assim, a imagem desse fator foi normalizada (0 – 255 bytes) de maneira a ter maior prioridade para os maiores valores de declividade.

### 3.3.6 Erodibilidade do solo

Alguns autores como Adinarayana et al. (1999); Richardson e Gatti (1999) utilizaram diretamente a erodibilidade como um fator, em análises espaciais envolvendo vários critérios, o que foi escolhido para o presente estudo.

O mapa do fator foi obtido a partir da reclassificação do mapa de solos, sendo que cada classe de solo foi associada ao valor correspondente de erodibilidade (Tabela 4). 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).

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. Desse modo, obtiveram-se os valores iguais e/ou próximos a 255 a classe de solo de maior erodibilidade.

Tabela 4. Valores de erodibilidade para classes de solos Wischmeier et al. (1971)

| Classes de Solos* | Fator K |
|---|---|
| Latossolo Vermelho Distrófico | 0,018 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico | 0,047 |
| Neossolo Lítólico Distrófico | 0,052 |
| Gleissolo Distrófico | 0,031 |
| Latossolo Vermelho Distroférrico | 0,014 |

*Adaptadas segundo Embrapa (2006)

### 3.3.7 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 urbanas. Isto significa que o mapa final de áreas prioritárias considerou apenas o território dentro dos limites da bacia, exceto as áreas ocupadas por áreas de floresta nativa, corpos d'água e áreas urbanas. Desse modo, para elaboração do mapa de restrições associou-se o plano de informação limite da bacia com o plano contendo as feições floresta nativa, corpos d'água e área urbana, extraídas do mapa de uso e cobertura do solo.

## 3.4 Padronização dos escores dos critérios

A padronização é essencialmente um processo de conversão dos valores dos dados originais em escores de aptidão ao propósito desejado, aplicando-se os critérios pré-estabelecidos através de expressões de pertinência a conjuntos, isto é, de sua associação ao conjunto de áreas para definir áreas prioritárias para favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais na Bacia do Rio Pardo, SP, visando à restauração ecológica.

A padronização é necessária para uniformizar as unidades de todos os mapas, atribuindo-lhes uma escala comum de valores de aptidão para que possam ser agregados para a gerar um mapa final de aptidão, pois cada mapa possui unidades temáticas diferentes. A proximidade entre fragmentos de maior área nuclear, distância aos centros

urbanos, proximidade á cobertura florestal e distância da rede de drenagem esta em metros, a declividade esta em porcentagem e erodibilidade do solo esta em classes.

Devido às diferentes escalas utilizadas na mensuração dos critérios, é necessário que os fatores sejam padronizados, e que eles sejam transformados, se necessário, de tal maneira que todos os mapas de fatores sejam correlacionados positivamente com a adequação. Voogd (1983) revisou vários procedimentos de padronização, tipicamente usando os valores mínimos e máximos como referências na escala. O procedimento mais simples é a transformação linear (Equação 2):

$$X_i = (R_i - R_{min}) / (R_{max} - R_{min})*m \qquad (2)$$

sendo:

R o escore (original) e m um multiplicador arbitrário.

Além de permitir a transformação das unidades das variáveis para uma única base de mensuração, a padronização também serve para hierarquizar internamente cada variável, descrevendo como a aptidão à implantação de áreas prioritárias para favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais varia espacialmente.

No presente caso, os valores de todas as variáveis foram escalonadas para o intervalo de um byte (0 a 255). A forma como a aptidão varia com a distância podem assumir vários aspectos, de acordo com outros fatores locais. Por exemplo, com relação distância à cobertura florestal, quanto mais próximo de um fragmento se situar uma área, mais apta esta área será a restauração ecológica.

Assim, a aptidão máxima (255) pode ser atribuída à menor distância e a aptidão mínima (0) à maior distância de um fragmento encontrada na região em estudo, e os escores de aptidão podem ser linearmente distribuídos entre estes dois extremos (Figura 4).

O uso da classificação contínua dos dados através de funções *fuzzy* permite reter a variabilidade dos dados na integridade, sem as simplificações ou generalizações das análises booleanas, onde uma área só pode ser classificada em apta ou inapta a um determinado propósito. A padronização foi feita para um intervalo em nível de byte, entre 0 e 255, utilizando-se funções *fuzzy* de pertinência a conjunto específicas para cada variável, de acordo com os critérios anteriormente estabelecidos, através da rotina FUZZY do programa IDRISI.

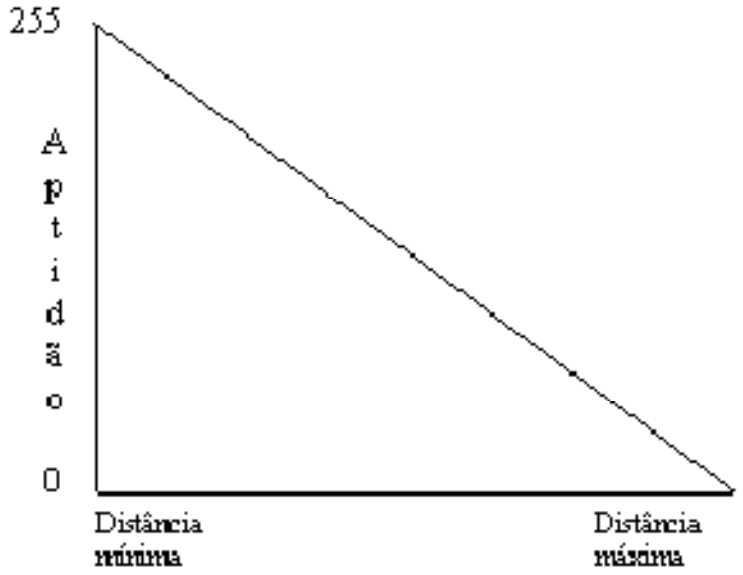


Figura 4. Curva linear de distribuição de aptidão conforme distância mínima e máxima encontrada.

### 3.5 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 (CONINE et al., 2004; VALENTE e VETTORAZZI, 2005; TRAFICANTE, 2007).

Os pesos expressam a importância, ou ordem de importância, dos fatores no processo de tomada de decisão, e devem ser determinados a partir de estudos na literatura existente, por experiências em aplicações já realizadas ou, ainda, através da Técnica Participatória. Em trabalhos estudados por Valente (2005), vários autores propõem o emprego da Técnica Participatória, que consiste na reunião entre especialistas nas diferentes áreas de interesse ao projeto, para auxiliar na definição dos critérios (fatores) e dos respectivos pesos.

A atribuição de pesos aos critérios consiste em definir a quantificação da importância de cada um deles no processo de decisão. Vários métodos foram desenvolvidos para auxiliar a definição dos pesos de compensação dos fatores, dentre eles o da ordenação, da

escala de pontos, da distribuição de pontos e o método baseado na comparação de critérios dois-a-dois (RAMOS e MENDES, 2001). Valente (2005) comenta que o mais promissor e utilizado é o método da Comparação Pareada, desenvolvido por Saaty (1977) no contexto do Processo Hierárquico Analítico e adaptado por Rao et al. (1991), para pela primeira vez ser utilizado em um SIG.

Fazer comparações simultâneas entre critérios pode se tornar uma tarefa em que a dificuldade aumenta diretamente proporcional ao aumento do número de critérios envolvidos no processo. Uma maneira de facilitar este processo é restringir as comparações sempre a dois critérios e desenvolver quantas comparações for necessário para contemplar todos os critérios existentes. Estas comparações podem ser organizadas em uma tabela de comparações, o que possibilita uma organização estruturada do processo. Este é o Método da Comparação Pareada, que é baseado na elaboração de uma matriz de comparação entre os fatores, de acordo com a importância relativa entre pares de fatores.

Os valores são derivados de uma escala contínua de nove pontos (Figura 5). Por exemplo, se o analista (ou grupo, na Técnica Participatória) conclui que proximidades a estradas é muito fortemente mais importante que declividade, na determinação da adequação para implantação industrial, ele entraria com o valor 7 na escala. No caso inverso (declividade é muito fortemente mais importante que proximidade a estradas), o analista entraria com o valor 1/7.

Na atribuição de pesos, um indivíduo, ou grupo, compara todos os possíveis pares e entra com os valores em uma matriz de comparação pareada. Uma vez que a matriz é simétrica, somente a metade triangular inferior necessita ser preenchida. As células remanescentes foram as recíprocas das preenchidas. É importante ressaltar que, se existir evidência empírica sobre a eficácia relativa de um par de fatores, essa evidência pode ser usada nessa etapa.

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

Menos importante Mais importante

Figura 5. Escala contínua de nove pontos usada na comparação pareada entre fatores, na Avaliação Multicritérios. Fonte: Eastman (1999).

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. Assim, o procedimento aceita os pesos quando a TC for menor que aquele limiar. Ao contrário, o procedimento WEIGHT analisa a matriz para determinar onde se encontram as inconsistências lógicas.

### 3.6 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 (Figura 6). Devido aos pesos terem de somar 1, o mapa de adequação resultante terá uma variação de valores como aqueles dos mapas de fatores padronizados que foram usados. Após todos os fatores terem sido incorporados, o mapa de adequação resultante é então multiplicado por cada uma das restrições, para eliminar as áreas não adequadas. No IDRISI, um módulo especial chamado MCE foi criado para empreender esses passos com a máxima eficiência.

Todos os programas de SIG possuem as rotinas básicas para a aplicação deste método. A questão básica, entretanto, reside na padronização dos escores dos critérios e a atribuição de pesos.

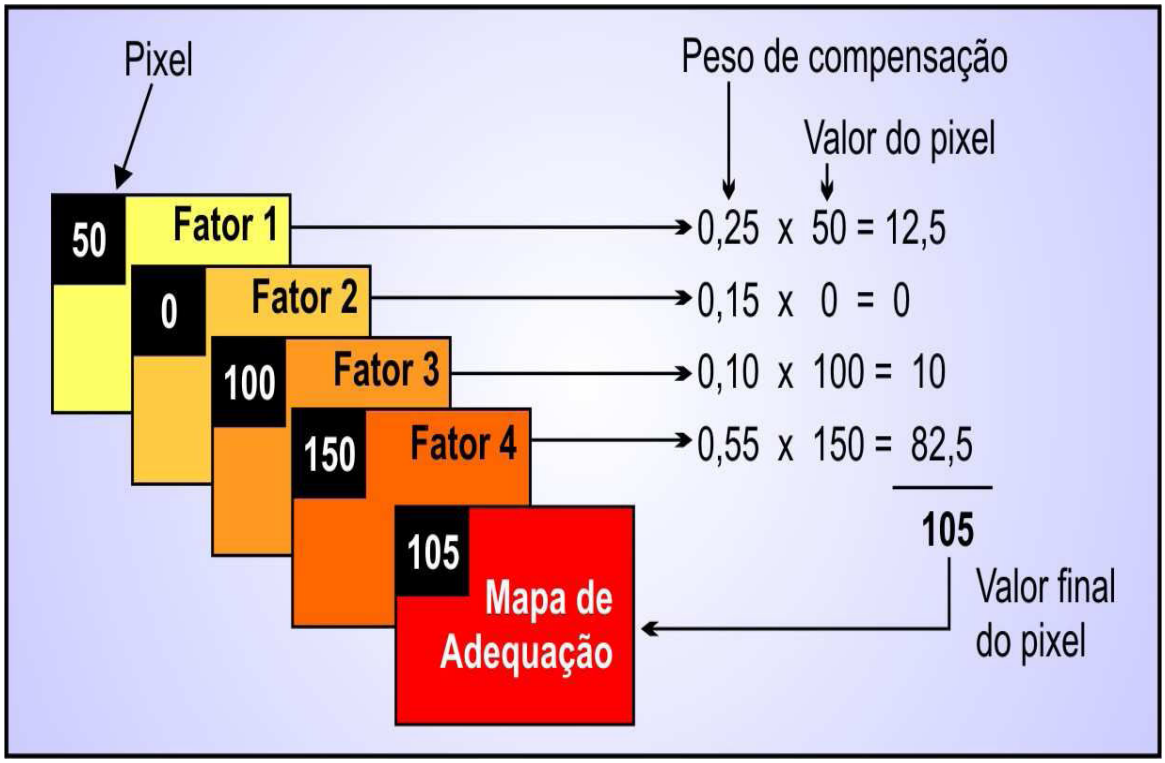


Figura 6. Representação do processo de avaliação pelo método da Combinação Linear Ponderada (CLP).

# 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1 Uso e cobertura do solo

O mapa de uso e cobertura do solo da sub-Bacia do alto Rio Pardo está apresentado na Figura 7.

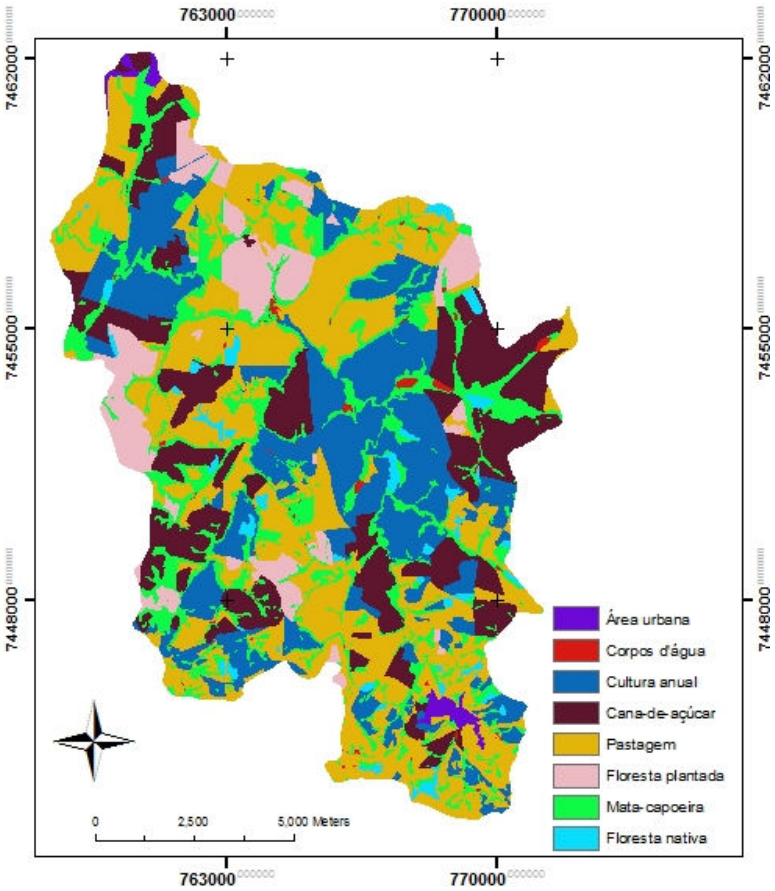


Figura 7. Uso e cobertura do solo da sub-Bacia do alto Rio Pardo em 2009.

Com o mapa de uso e cobertura do solo observou-se que na bacia existe o predomínio do uso agrícola do solo como, cultura anual, cana-de-açúcar, pastagem e floresta plantada.

Foi verificado em campo que grande parte da vegetação nativa foi suprimida para dar espaço às atividades agropecuárias, e, em alguns casos, para o reflorestamento com espécies exóticas e também devido à expansão da cana-de-açúcar. Tornero (1996) detectou o aumento da área ocupada por lavouras anuais e reflorestamento, ao mesmo tempo em que se verificou uma redução da área ocupada por mata nativa e ciliar.

Existem muitas áreas de mata em regeneração, principalmente em áreas de borda dos fragmentos de floresta, com muitas espécies pioneiras, típica de capoeira, dada a proximidade das áreas urbanas e utilizadas com agropecuária durante muitos anos. Poucas áreas vegetadas no município são matas "primárias" e, dada a dificuldade de diferenciação nas imagens, optou-se pela inclusão de capoeiras junto à classe mata-capoeira.

Conforme a Tabela 5, aproximadamente 32% de sua área está ocupada por pastagem, 22% por culturas anuais e 18% por cana-de-açúcar. A pastagem está espalhada em toda parte da bacia, em diferentes formas de manejo, onde se encontram em níveis diferentes de degradação e/ou recuperação para mata secundária. As culturas anuais e cana-de-açúcar encontram-se em regiões de topografia mais planas, principalmente, na parte mediana da bacia, próximo ao município de Botucatu.

A floresta nativa e mata capoeira correspondem, respectivamente, a apenas 2,2% e 16,2% da área da bacia, sendo que as maiores manchas de vegetação florestal estão associadas às regiões com predomínio de pastagem.

Apesar das florestas representarem cerca de 18% da cobertura de toda a Bacia do Rio Pardo-SP, deve-se ressaltar que esta distribuição ocorre principalmente onde está localizada a nascente do Rio Pardo. Fator relevante, visto que a cobertura vegetal, principalmente quando composta de florestas, segundo Netto (1998), apresentam os maiores valores de infiltração de água no solo, diminuindo o escoamento superficial e protegendo assim, a nascente do Rio Pardo.

Tabela 5. Uso e cobertura do solo para a sub-Bacia do alto Rio Pardo

| Uso e cobertura do solo | Área | |
|---|---|---|
| | (ha) | (%) |
| Área urbana | 126,54 | 0,82 |
| Corpos d'água | 84,46 | 0,54 |
| Cultura anual | 3.392,96 | 22,08 |
| Cana-de-açúcar | 2.818,91 | 18,33 |
| Pastagem | 4.912,90 | 31,96 |
| Floresta plantada | 1.222,97 | 7,95 |
| Mata-capoeira | 2.473,98 | 16,2 |
| Floresta nativa | 339,87 | 2,21 |
| Total | 15.372,58 | 100 |

Pela distribuição dos usos detectou-se que a maior parte da bacia está sendo utilizada com culturas agrícolas, fator que pode determinar maiores perdas de solo devido à grande mobilização deste. Com a mecanização das lavouras e consequente erosão, ocorre diminuição da espessura do solo e, consequentemente, a diminuição do teor de matéria orgânica e de outros nutrientes. A diminuição no teor de matéria orgânica afeta não só a fertilidade natural do solo, mas também diminui a sua resistência ao impacto das gotas de chuva, ocasionando um aumento nas taxas de escoamento superficial (GUERRA, 1998).

A intensificação do uso do solo na bacia, em termos da conversão de habitats naturais em áreas agrícolas, pastagens ou áreas urbanas, têm sido consideradas a principal forma de impacto ambiental decorrente das atividades humanas. A forma de uso da terra está relacionada com alterações nas interações bióticas e com a disponibilidade dos recursos nos ecossistemas, determinando uma série de problemas ambientais em âmbito local e regional (MATSON et al., 1997).

A vegetação pode ser considerada um importante indicador das condições ambientais de uma região, pois protege o solo, reduz o transporte de sedimentos e o assoreamento dos recursos hídricos, além de servir de habitat para animais silvestres, contribuindo para a manutenção da diversidade biológica. Entretanto, nos últimos anos, a redução de áreas naturais na bacia tem levado à fragmentação florestal em que a vegetação natural é interrompida por barreiras antrópicas, como a proximidade das cidades de Botucatu e Pardinho, estradas, etc.

## 4.2 Solos

Plano de informação 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), com mapa disposto na Figura 8.

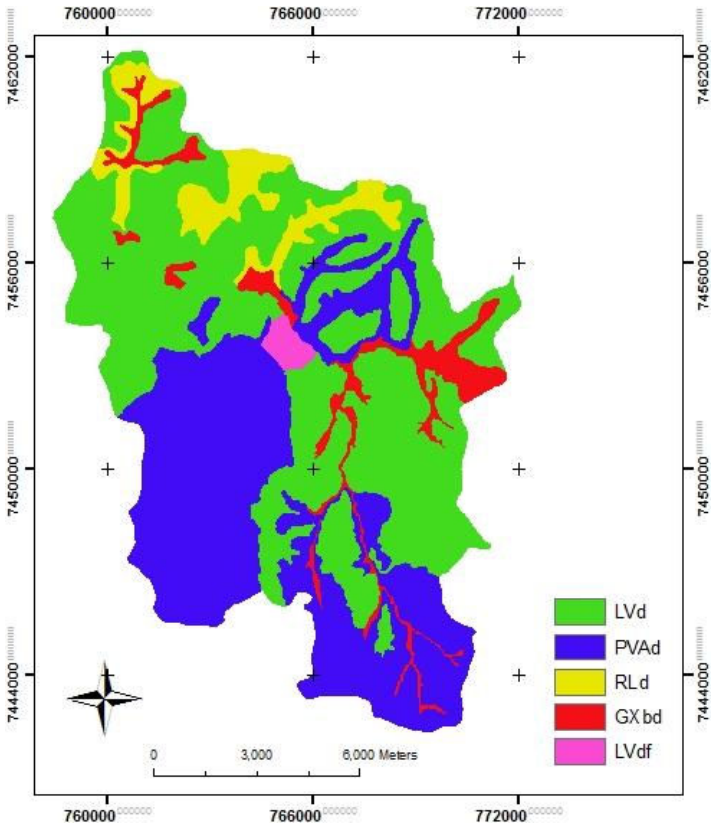


Figura 8. Classes de solo presentes na sub-Bacia do alto Rio Pardo.

A Bacia do Rio Pardo tem aproximadamente 49,85% de sua área ocupada com Latossolo Vermelho distrófico; 36,43% com Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico; 6,5% Neossolo Lítólico distrófico; 6,28% com Gleissolo Háplico e apenas 0,95% com Latossolo Vermelho Distroférrico. A distribuição desses grandes grupos de solos pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6. Classes de solo presentes na sub-Bacia do alto Rio Pardo

| Classes de solo | Área | |
|---|---|---|
| | (ha) | (%) |
| Latossolo Vermelho Distrófico | 7.663,47 | 49,85 |
| Argissolo Vermelho Amarelo | 5.599,60 | 36,43 |
| Neossolo Litolico | 997,76 | 6,5 |
| Gleissolo Háplico | 965,44 | 6,28 |
| Latossolo Vermelho Distroférrico | 146,351 | 0,95 |
| Total | 15.372,58 | 100 |

Pelo mapa de solos (Figura 8) pode-se constatar que na região mais alta da bacia, onde está localizada a nascente do Rio Pardo, existe a predominância de solo Argissolo Vermelho-Amarelo. Por se tratar de um solo extremamente suscetível aos processos erosivos, que apresentam grandes perdas de solos (Bertoni e Lombardi Neto, 1985) está região merece especial atenção, para que a nascente do Rio Pardo não seja no futuro comprometida por processos de assoreamento.

### 4.3 Hidrografia

A rede hidrográfica (Figura 9) foi gerada pela digitalização dos cursos d'água e represas a partir das cartas topográficas do IBGE, na escala 1:50.000. A atualização da rede hidrográfica foi elaborada em tela dos cursos d'água de ordens menores e represas

construídas após a edição dos mapas, tendo como base imagens do satélite CBERS 2B sensor HRC de resolução espacial 2,7 metros.

O Rio Pardo, principal curso de água da bacia percorre um trecho de aproximadamente 27,6 km, da sua nascente até o ponto de captação de água pela SABESP. A Bacia Experimental do Rio Pardo-SP foi classificada como sendo bacia de 4ª Ordem de Ramificação, possuindo uma distribuição espacial da rede de drenagem do tipo Dendrítica ou Arborescente, com valores de densidade de drenagem, fator de forma e coeficiente de compacidade de 1,16; 0,44 e 1,72, respectivamente (GROSSI, 2003).

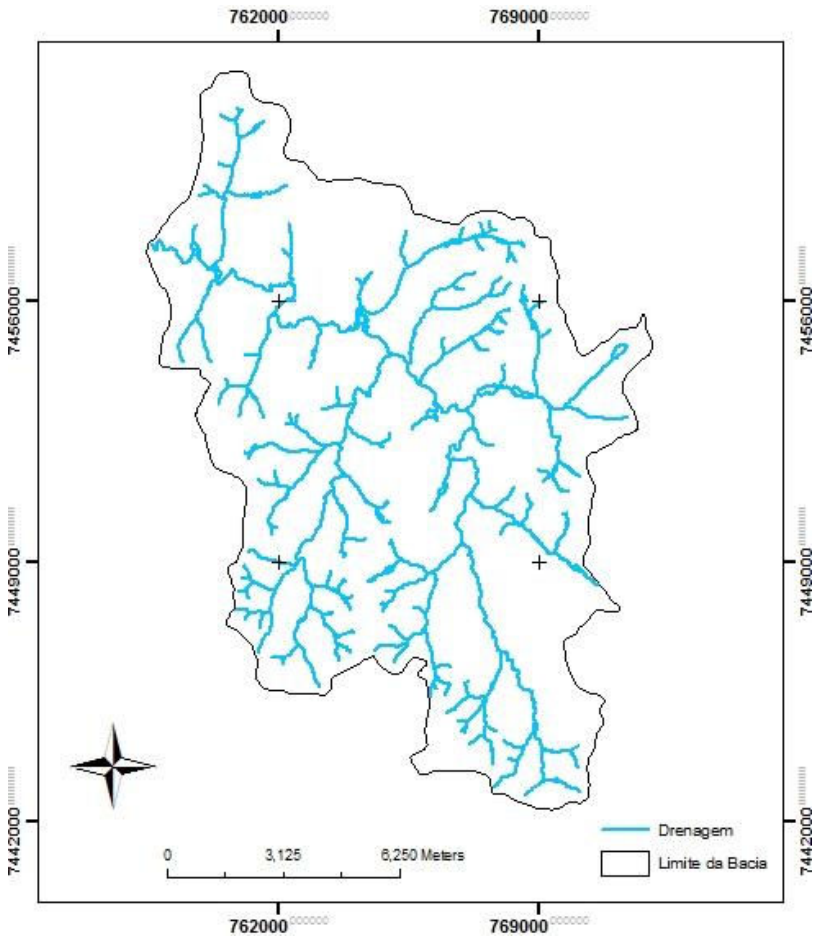


Figura 9. Rede de drenagem da sub-Bacia do alto Rio Pardo–SP.

## 4.4 Definição dos critérios

Com aplicação da Técnica Participatória, bem como processo de revisão de literatura, avaliação de projetos desenvolvidos, foram definidos os seguintes fatores, tendo em vista o objetivo da AMC: Proximidade entre fragmentos de maior área nuclear; Proximidade da cobertura florestal; Proximidade da rede hidrográfica; Distância aos centros urbanos; Declividade; e Erodibilidade do solo.

### 4.4.1 Proximidade entre fragmentos de maior área nuclear

Com a elaboração desse fator (Figura 10), as regiões de maior importância, na bacia, foram aquelas com os fragmentos com maior área nuclear e, ainda, mais próximos uns aos outro. Segundo Forman e Godron (1986), área nuclear é um bom descritor, pois consideram que para a manutenção da biodiversidade animal e vegetal de uma paisagem, esta deve conter fragmentos florestais com tamanho suficiente para conter e manter tanto as espécies generalistas como as especialistas.

Para Turner e Gardner (1990), um fragmento pode ser grande o suficiente para ter algumas espécies, mas não conter área nuclear suficiente para suportar essas espécies e, sobretudo, manter a integridade de sua estrutura natural. Então foram selecionados fragmentos que apresentam áreas nucleares acima de 1 ha.

Quando esses fragmentos estão conectados existe, portanto, um ganho para a biodiversidade regional, porque aumenta a capacidade desses fragmentos de abrigar espécies e populações, em contrapartida à tendência de extinção (espécies, populações e o próprio fragmento) dos fragmentos pequenos e isolados (NOSS et al., 1997; FARINA, 1998; VALENTE, 2005). De acordo com objetivo do trabalho foi estabelecido o favorecimento da conexão entre os fragmentos levando em consideração os tamanhos onde ocorrem áreas nucleares.

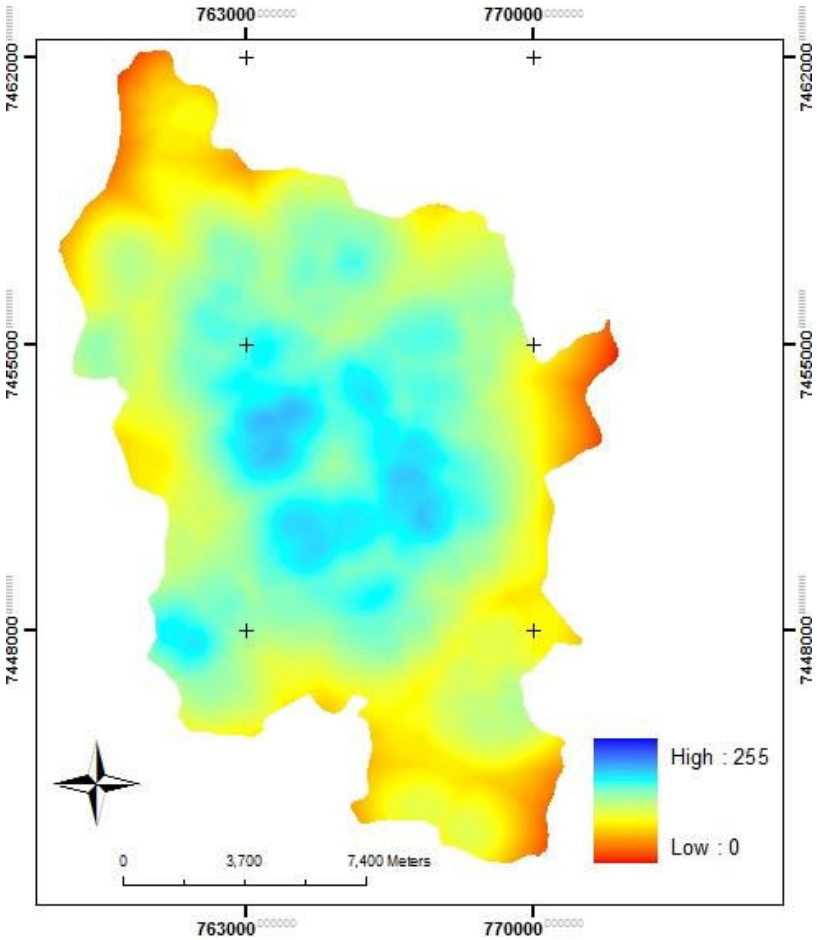


Figura 10. Mapa fator proximidade entre fragmentos de maior área nuclear na sub-Bacia do alto Rio Pardo-SP, com normalização (0 a 255 bytes), função linear decrescente.

### 4.4.2 Proximidade da cobertura florestal

Considerou que áreas próximas à vegetação nativa são mais adequadas à recomposição, pelo fato de aumentar a continuidade da vegetação natural, aumentando assim as possibilidades de troca genética e a área contínua disponível para os movimentos da fauna local. Na Figura 11 foram estabelecidos valores de 0-255 onde os valores máximos são os de maior prioridade.

A fragmentação de ambientes naturais da Bacia do Rio Pardo-SP causou muitas mudanças físicas e ecológicas como resultado da perda e isolamento de hábitat.

Conforme as paisagens florestais tornam-se fragmentadas, as populações das espécies são reduzidas, os padrões de migração e dispersão são alterados e os habitats tornam-se expostos a condições externas adversas anteriormente inexistentes, o que resulta, em última análise, numa deterioração da diversidade biológica ao longo do tempo (NASCIMENTO e LAURANCE, 2006).

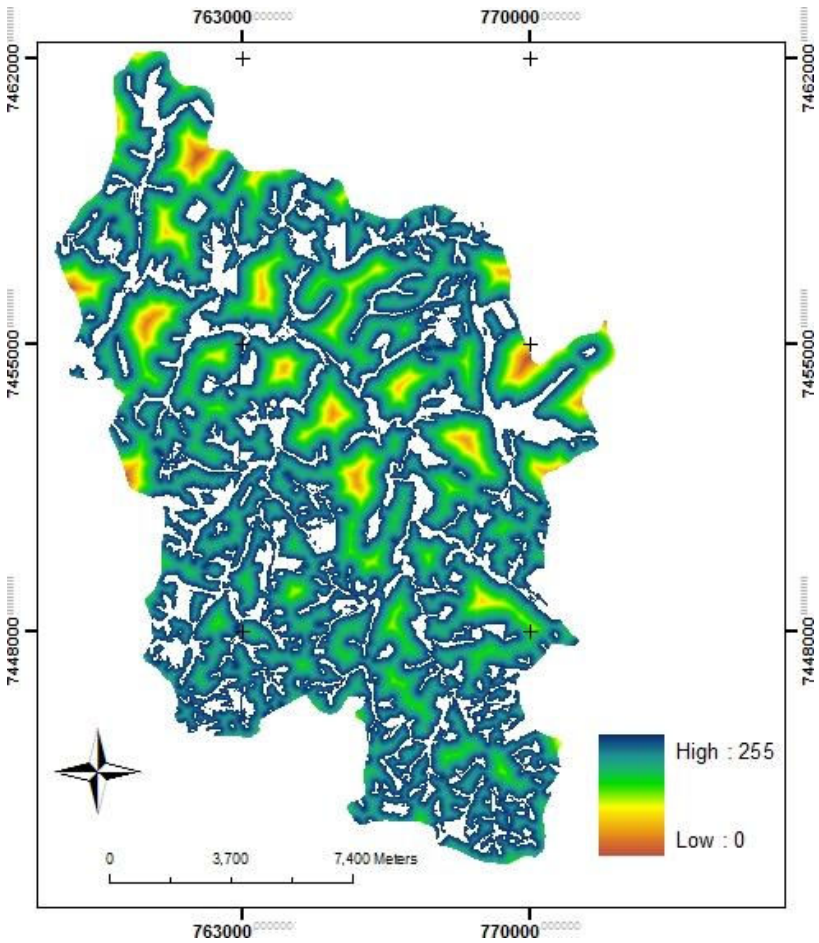


Figura 11. Mapa fator proximidade da cobertura florestal, na sub-Bacia do alto Rio Pardo-SP, com normalização (escala 0 a 255 bytes), função linear decrescente.

Na maioria das vezes, os fragmentos florestais estão isolados, sem ligações com outras áreas de vegetação natural. Deve-se buscar uma integração destas áreas para a obtenção de maior biodiversidade local, pois é o que vai possibilitar a sustentação das populações de animais e vegetais existentes. Atendida essa condição, o estabelecimento ou

incremento da estrutura interna do “novo fragmento” será alcançado em menor tempo e esses remanescentes de floresta passarão a contribuir para o estabelecimento da integridade natural da paisagem (ROY e TOMAR, 2000). No caso da Bacia do Rio Pardo-SP foram levados em consideração fragmentos maiores, optando-se por utilizar todos os fragmentos independente de tamanho, para favorecer a conectividade florestal.

### 4.4.3 Proximidade da rede hidrográfica

Os rios e suas matas ciliares são elementos de extrema importância para a manutenção da biodiversidade, formando corredores ecológicos que, somados, compõem uma grande rede que integra toda a bacia hidrográfica e também diferentes ecossistemas (KAGEYAMA e GANDARA, 2004). Para a Bacia do Rio Pardo-SP considerou-se que áreas mais próximas aos corpos d’água foram mais adequadas à recomposição, devido ao fato de a água ser essencial à fauna, à necessidade de maior proteção dos recursos hídricos e à ocorrência de atividades de lazer nestes locais. Na Figura 12 foram estabelecidos valores de 0-255 onde os valores máximos são os de maior prioridade.

Outro fator considerado importante à conservação dos recursos hídricos por meio de restauração florestal é a proximidade à rede hidrográfica. Está sendo considerado que a cobertura florestal é importante à geração de água de qualidade em uma bacia hidrográfica, independentemente da sua distância aos elementos da rede de drenagem, porém essa importância, em geral, cresce à medida que a distância para o corpo d’água, ou nascente, diminui. Já às margens dos corpos d’água a vegetação florestal, à semelhança de faixas de proteção, é uma das medidas de proteção para os mananciais, como descrito por Vetorazzi (2006).

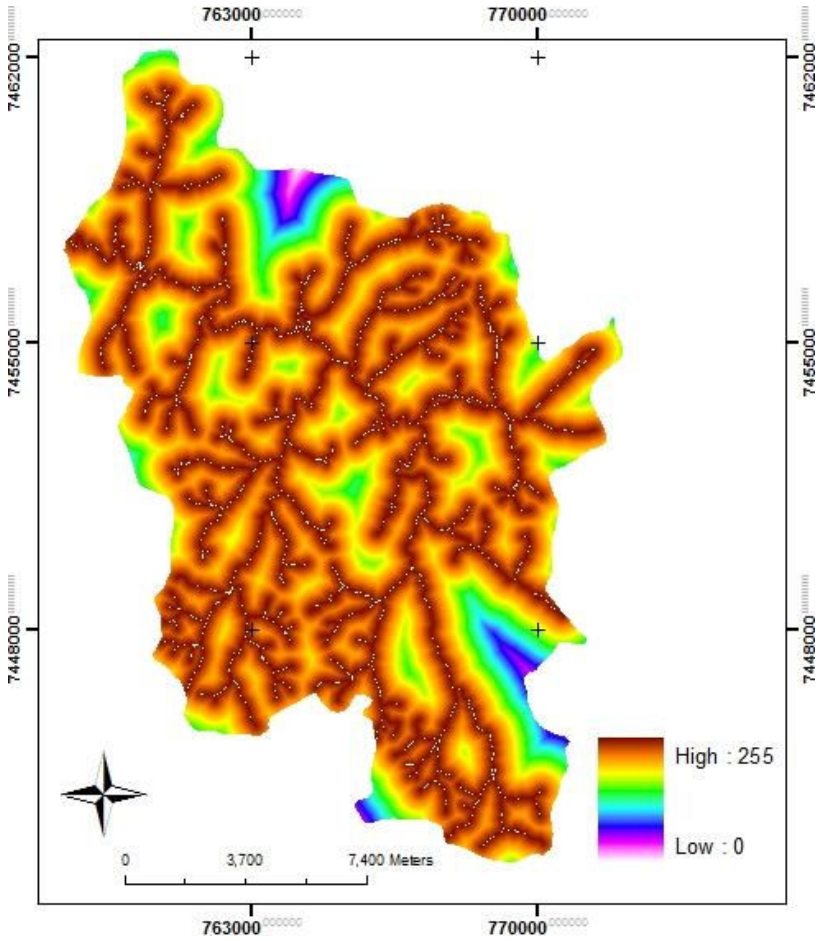


Figura 12. Mapa de fator proximidade da rede hidrográfica da sub-Bacia do alto Rio Pardo-SP, com normalização (escala 0 a 255 bytes), função linear decrescente.

### 4.4.4 Distância aos centros urbanos

Para definir as áreas que irão favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais na Bacia do Rio Pardo, SP, visando à restauração ecológica, foram priorizadas as áreas mais distantes dos centros urbanos. Na Figura 13 foram estabelecidos valores de 0-255 onde os valores máximos são os de maior prioridade.

Os fragmentos próximos aos centros urbanos sofrem com a constante ameaça de redução de sua área ou, mesmo, de sua extinção total, em função do

uso inadequado dessas áreas (Gutzwiller e Barrow, 2003), aumento do risco de incêndios (Chen et al., 2001) e pela própria expansão das áreas urbanas (Sauders et al., 1991), dentre outros fatores.

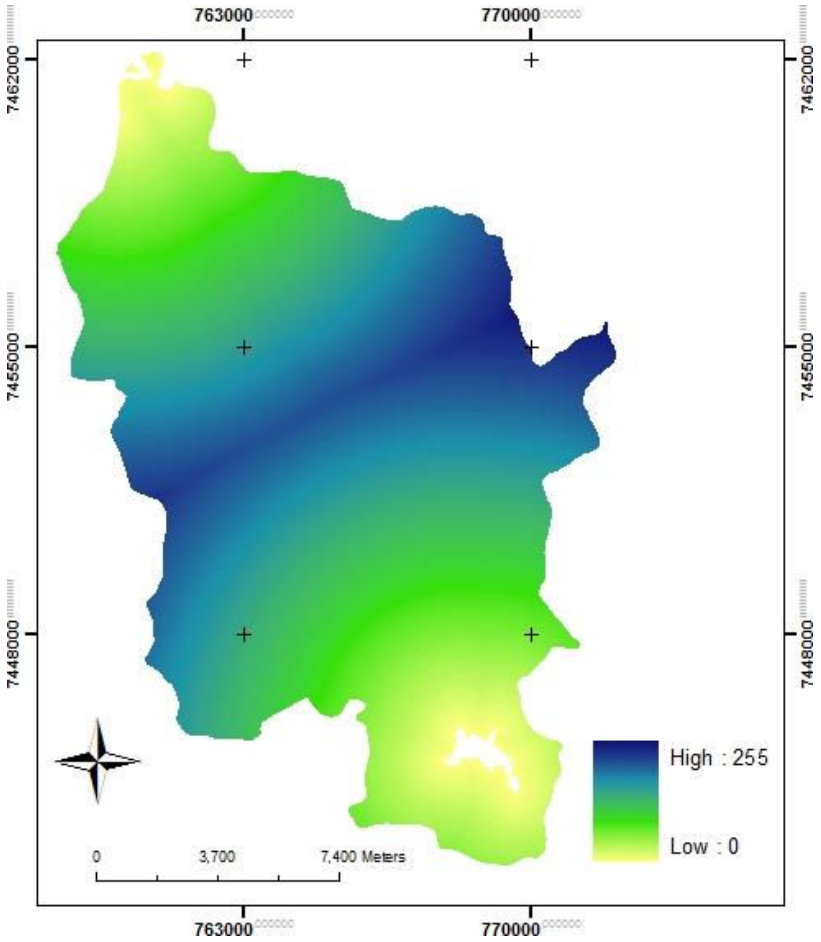


Figura 13. Mapa fator distância aos centros urbanos na Bacia do Rio Pardo-SP, com normalização (0-255) função linear crescente.

A perturbação introduz uma série de novos fatores na história evolutiva de populações naturais de plantas e animais. Essas mudanças afetam de forma diferenciada os parâmetros demográficos de mortalidade e natalidade de diferentes espécies e, portanto, a estrutura e dinâmica de ecossistemas. No caso de espécies arbóreas, a alteração na abundância de polinizadores, dispersores, predadores e patógenos alteram as taxas de

recrutamento de plântulas; e os incêndios e mudanças microclimáticas, que atingem de forma mais intensa as bordas dos fragmentos, alteram as taxas de mortalidade de árvores (SCHELLAS e GREENBERG, 1997; LAURANCE e BIERREGARD, 1997). O mapa da Figura 13 demonstra bem o efeito da perturbação na prioridade na escolha de áreas a serem restauradas, onde os valores altos encontram-se mais distantes das áreas urbanas.

### 4.4.5 Declividade

Na Bacia do Rio Pardo da área total, cerca de 90% tem uma declividade variando de 0 até 12%. As maiores declividades são encontradas ao longo do Front da Cuesta, na faixa leste e sul, nas proximidades da nascente do Rio Pardo, em Pardinho-SP, então esse fator levou em consideração essa áreas para serem priorizadas à conectividade dos fragmentos. Na Figura 14 foram estabelecidos valores de 0-255 onde os valores máximos são os de maior declividade e, consequentemente, os de maior prioridade à restauração.

Dentro de uma paisagem, o relevo pode, portanto, ter uma influência decisiva na colonização vegetal, devido ao papel que o mesmo tem em diversos fatores ecológicos. Inclinações maiores das encostas significam maior escoamento de água e, portanto, menor disponibilidade hídrica. Dependendo da direção em que o terreno está voltado, a área apresentará maior ou menor insolação e temperatura disponível às plantas. Além disso, declividade, elevação e posição na paisagem, tem uma grande influência no desenvolvimento do solo, na incidência luminosa, na temperatura e no vento (KIMMINS, 1987). Na parte inicial da bacia, visualmente pode-se observar que as rampas voltadas para oeste predominam em relação às outras direções.

Para o sucesso das ações de conservação e preservação florestal, devem também ser priorizados os locais com elevado potencial de erosão, que está diretamente relacionado ao tipo de solo e à declividade, sendo potencialmente mais erodíveis os solos com maiores porcentagens de areia em sua composição e em terrenos com maior declividade.

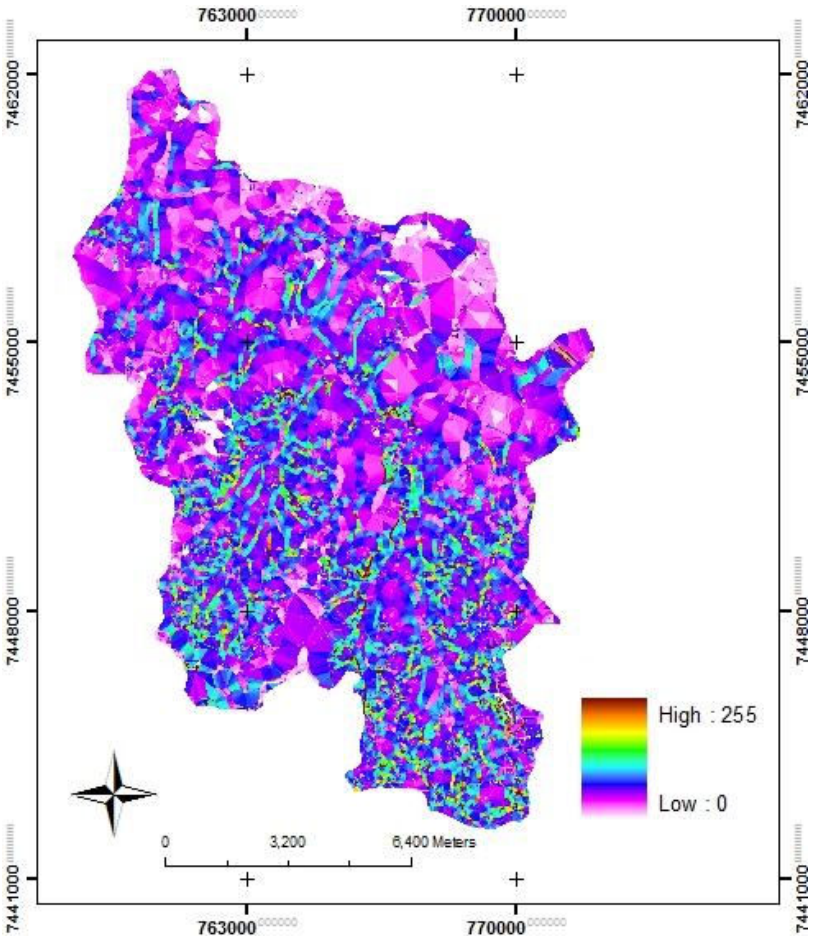


Figura 14. Mapa fator declividade da sub-Bacia do alto Rio Pardo-SP, com normalização (0–255 bytes) função linear crescente.

### 4.4.6 Erodibilidade do solo

Propriedades físicas (estrutura, textura, permeabilidade e densidade) e químicas dos diferentes tipos de solos geram efeitos distintos no processo de erosão. Estas propriedades causam maior ou menor resistência à ação da água mesmo em condições semelhantes de chuva, topografia e cobertura vegetal (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). Denomina-se esta diferença no processo erosivo de erodibilidade do solo, que é a suscetibilidade ou vulnerabilidade do solo à erosão. Assim, é coerente a inclusão da erodibilidade entre os fatores de importância a serem considerados em uma análise de múltiplos critérios, com o objetivo de

identificar áreas prioritárias à restauração florestal. Na Figura 15 foram estabelecidos valores de 0-255 onde os valores máximos são os de maior erodibilidade e de prioridade à restauração.

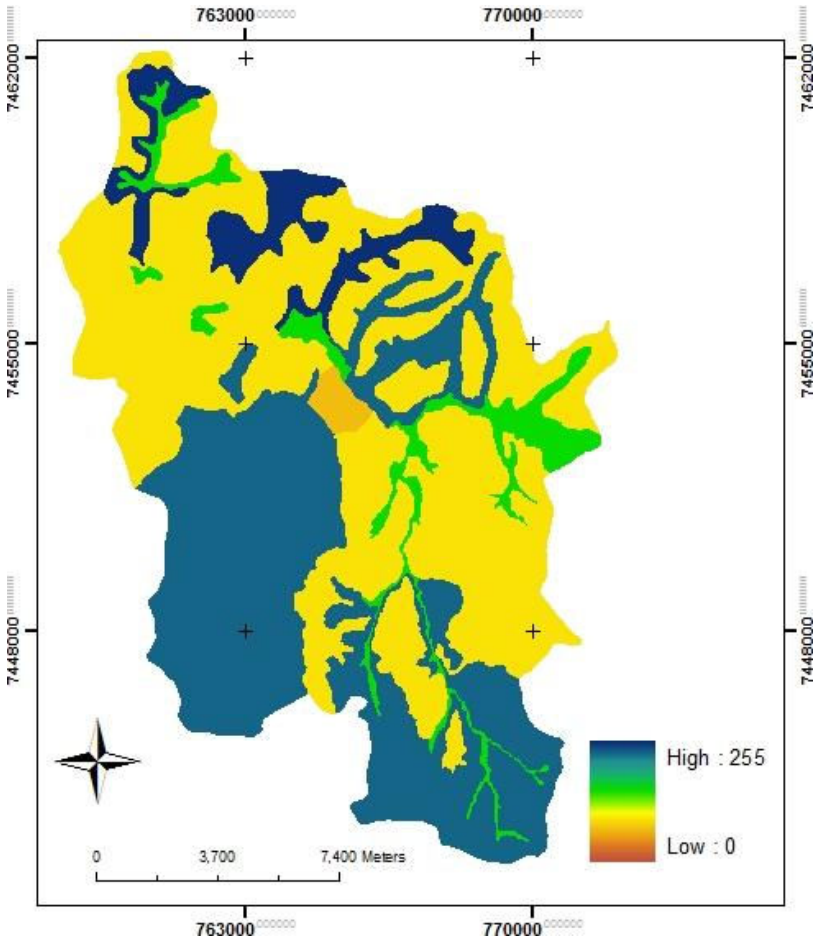


Figura 15. Mapa fator de erodibilidade da sub-Bacia do alto Rio Pardo-SP, com normatização (0 a 255) através de uma função linear crescente.

### 4.4.7 Restrições

Na produção da imagem de restrições, obteve-se imagem booleana onde o valor 0 (zero) foi atribuído aos pixels correspondentes às áreas onde não foi considerada a possibilidade de restauração florestal (floresta nativa, corpos d'água e as áreas urbanas) e o valor 1 (um) às áreas onde poderia ocorrer a restauração (Figura 16).

As restrições foram entendidas como categorias restritivas das alternativas (fatores), excluindo áreas e limitando espacialmente a distribuição das possibilidades de escolha como descrito por Eastman et al. (1993).

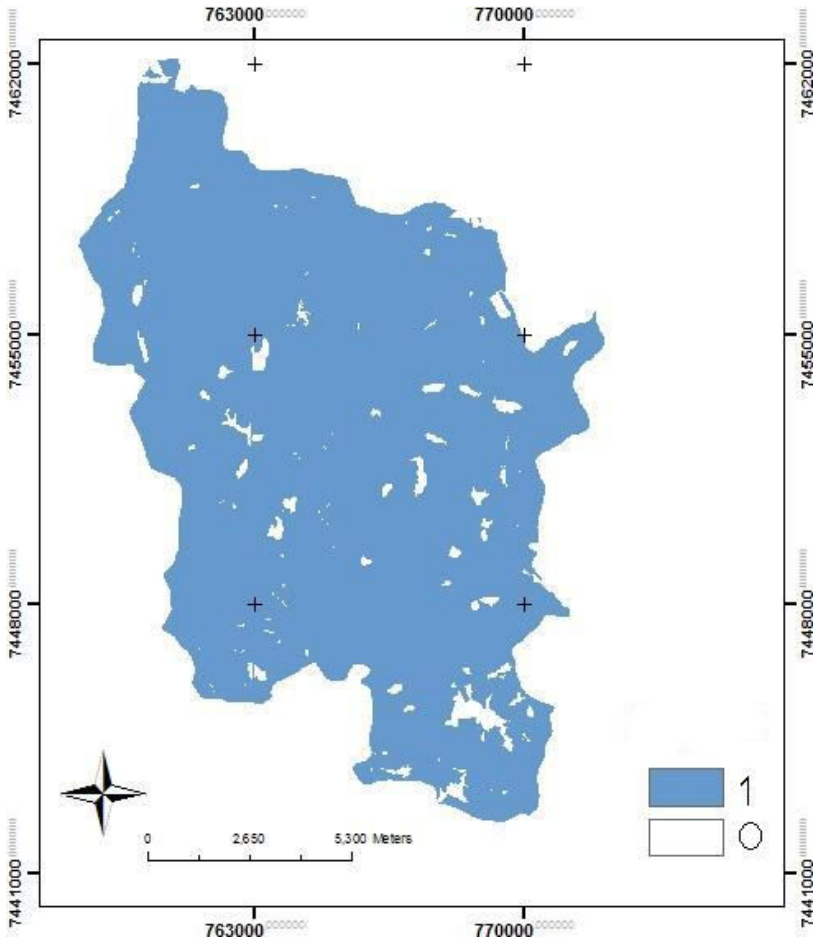


Figura 16. Mapa de áreas de restrição para análise multicritérios da sub-Bacia do alto Rio Pardo-SP.

### 4.5 Definições dos pesos dos fatores

Considerando que as variáveis que interferem na escolha de áreas prioritárias à restauração florestal na Bacia do Rio Pardo, SP contribuem com pesos diferenciados no processo final de decisão, estabeleceu-se uma ponderação, de acordo com a

importância de cada uma para a aptidão da área, visando favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais.

Para definir o primeiro grupo de pesos, os chamados pesos de fatores, por meio da Técnica Participatória (Eastman, 2001), utilizou-se o método da Comparação Pareada, proposto por Saaty (1977) no contexto do Processo Hierárquico Analítico. Elaborou-se uma matriz de comparação pareada entre os fatores (Tabela 3), de acordo com a importância relativa entre pares de fatores.

Para a escolha da matriz considerou a Taxa de Consistência (TC) e a ordem de importância dos fatores previamente estabelecida (Técnica Participatória e revisão de literatura). Segundo Saaty (1980), a TC indica a probabilidade de que os valores de comparação entre os fatores tenham sido gerados aleatoriamente. O referido autor citou que os valores de TC devem sempre estar abaixo de 0,10 e, no caso de estarem acima desse valor, há a necessidade de reorganização da matriz, alterando-se os valores de comparação entre os fatores.

Tabela 7. Pesos de compensação obtidos através da matriz de comparação pareada

| | Fator 1 | Fator 2 | Fator 3 | Fator 4 | Fator 5 | Fator 6 | Pesos |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fator 1 | 1 | | | | | | 0,0854 |
| Fator 2 | 1 | 1 | | | | | 0,0840 |
| Fator 3 | 1 | 2 | 1 | | | | 0,1168 |
| Fator 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | | | 0,1516 |
| Fator 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | | 0,1911 |
| Fator 6 | 5 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0,3713 |

Notas: Taxa de Consistência (TC) = 0,04

Fator 1: Erodibilidade do solo; Fator 2: Declividade; Fator 3: Proximidade da rede hidrográfica; Fator 4: Distância aos centros urbanos; Fator 5: Proximidade da cobertura florestal;e Fator 6: Proximidade entre fragmentos de maior área nuclear.

A taxa de consistência (TC) obtida para a matriz foi de 0,04 (valor menor que 0,10) que indica que os valores de comparação entre os fatores foram gerados aleatoriamente, não havendo a necessidade de reorganização da matriz, por meio da alteração dos valores de comparação entre fatores

O fator de maior peso foi proximidade entre fragmentos de maior área nuclear (0,3713), seguido de proximidade da cobertura florestal (0,1911), proximidade da rede hidrográfica (0,1516), distância aos centros urbanos (0,1168), declividade (0,0840), erodibilidade (0,0854). Essa ponderação tem influência direta sobre a espacialização das áreas prioritárias à restauração florestal a serem geradas pela análise. Verificou-se, neste caso, certa concentração das áreas próximas aos fragmentos que apresentem áreas nucleares e o fator proximidade entre fragmentos de maior área nuclear foi o que recebeu o maior peso.

## 4.6 Áreas prioritárias a restauração florestal gerados pelo método da Combinação Linear Ponderada

A Figura 17 mostra o mapa de áreas prioritárias à restauração florestal na Bacia do Rio Pardo, SP, 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 restauração florestal, 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 restauração. Com isso gerou a possibilidade de escolha dos locais dentro das áreas mais aptas e que merecem um estudo mais detalhado.

O mapa de áreas prioritárias à restauração florestal geradas pelo método da Combinação Linear Ponderada (Figura 17) é uma importante ferramenta para tomada de decisão em planejamento ambiental necessita de grande número de variáveis do meio físico, biológico, social e econômico, quantificáveis ou não, cujas combinações podem produzir diferentes alternativas de uso. Nesse contexto, ferramentas de análise que permitam reunir essas variáveis, atribuir pesos e valores às mesmas, dando prioridade às diferentes alternativas, facilitam a tomada de decisão (FRANCISCO et al., 2007).

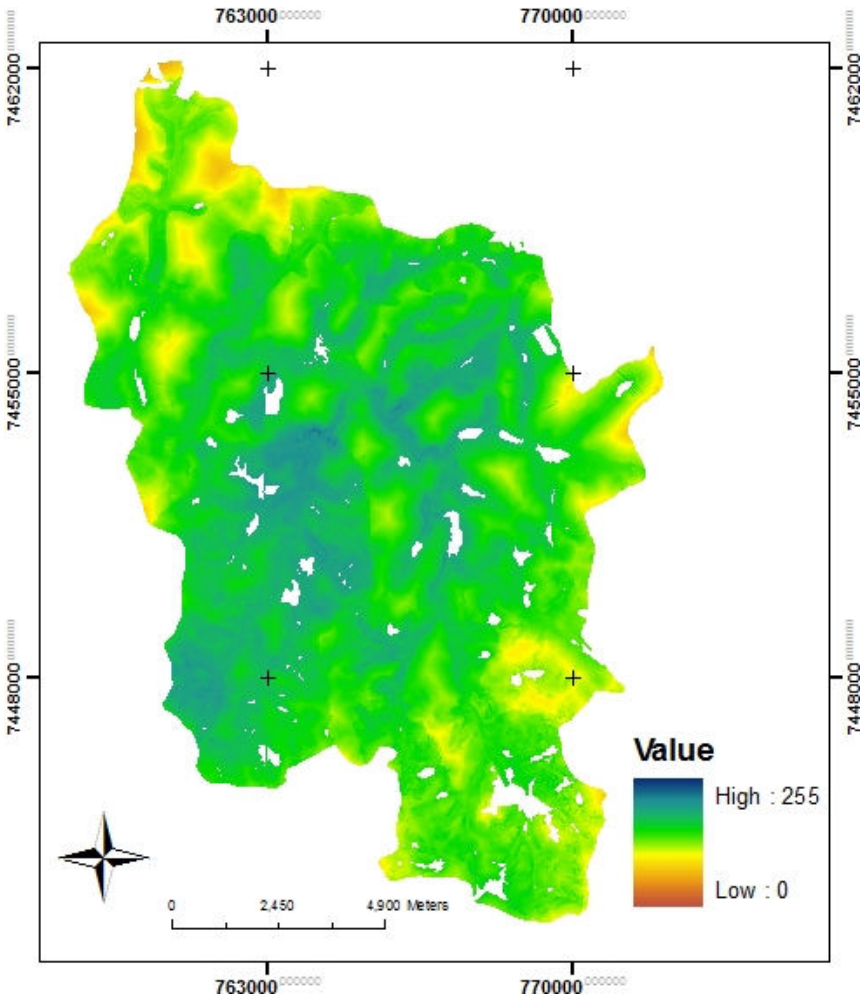


Figura 17. Mapa de áreas prioritárias à restauração florestal geradas pelo método da Combinação Linear Ponderada.

O mapa final de áreas prioritárias (Figura 18) foi reclassificado para melhor avaliar a relação das áreas prioritárias à restauração florestal na sub-Bacia do alto Rio Pardo, SP, visando favorecer a conectividade entre os fragmentos florestais, além de tornar mais fácil a interpretação do mapa.

Foram definidas para o mapa de áreas prioritárias à restauração florestal em cinco classes de prioridades (classes de mesma amplitude): muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. O intervalo de classe foi determinado a partir da avaliação do histograma dos mapas (0-255 bytes).

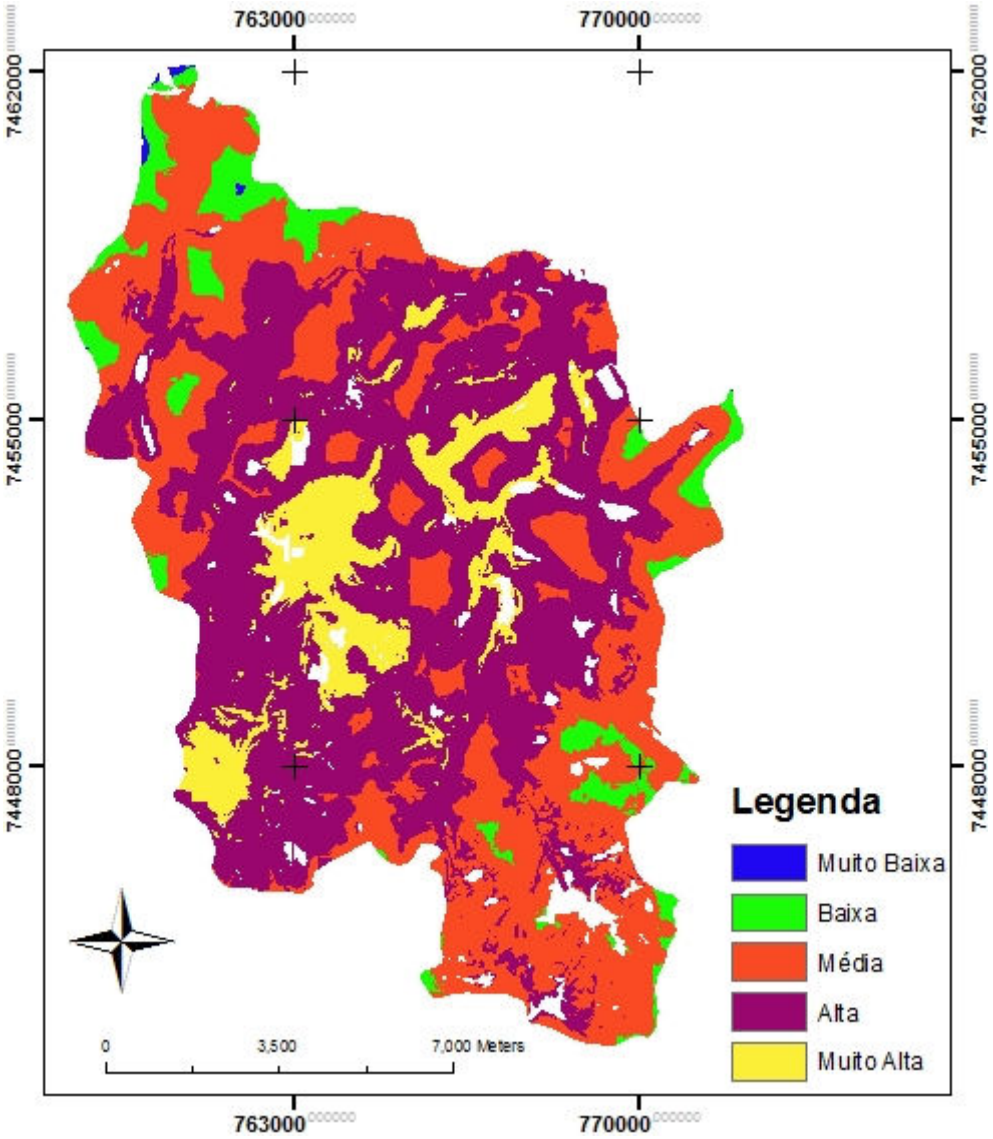


Figura 18. Áreas prioritárias à restauração florestal geradas pelo método da Combinação Linear Ponderada (cinco níveis de prioridade).

A análise visual do mapa com os cinco níveis categóricos de prioridade já possibilita uma primeira inferência sobre sua adequação. Pode-se observar no mapa gerado pelo método da CLP (Figura 17) que os valores de área são crescentes até o nível alto, decrescendo no muito alto, com uma concentração elevada no nível médio + alto (84,05%), como pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8. Valores de área para os cinco níveis de prioridade

| Nível de prioridade | Área | |
|---|---|---|
| | (ha) | (%) |
| Muito baixo | 19,69 | 0,13 |
| Baixo | 842,09 | 5,68 |
| Médio | 5.227,62 | 35,27 |
| Alto | 7.229,83 | 48,78 |
| Muito alto | 1.502,39 | 10,14 |
| Total | 14.821,62 | 100,00 |

Deve-se ressaltar que o valor da área total da bacia que consta na Tabela 8 refere-se à área total passível de restauração, isto é, aplicadas as devidas restrições apresentadas na Figura 16.

No mapa gerado pela CLP, especificamente para as áreas classificadas como de prioridade alta e muito alta, pode-se perceber nitidamente a influência dos fatores proximidade entre fragmentos de maior área nuclear e proximidade da cobertura florestal na espacialização dessas áreas, porque são fatores com os maiores pesos de compensação na análise (Tabela 8). Embora o fator proximidade da rede hidrográfica tenha peso de compensação menor que os anteriores, também teve influência no resultado, como pode ser claramente observado nas classes alta e muito alta (Figura 17).

A priorização de áreas realizada nas Figura 17 e 18 ocorreu de maneira a promover, primeiro a união dos fragmentos de floresta com maior área nuclear (prioridade muito alta) e, a partir dessa união, à sucessiva expansão dessas regiões de prioridade muito alta à muito baixa, respeitando-se, de maneira geral, a importância dos fatores no processo de tomada de decisão.

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 à medida que se obtêm maior detalhamento e maior número de fatores. A conexão entre os fragmentos com maior área nuclear, segundo Lathrop et al. (1998) e Geneletti (2004), favoreceu as ações de conservação

florestal porque, de acordo com os autores, essa conexão contribui para restauração da paisagem e incremento de sua biodiversidade.

Segundo Valente (2005), para os casos em que não é possível, a princípio, a união física entre os maiores fragmentos, como ocorre em algumas regiões da bacia, a conectividade pode ser feita por meio de fragmentos menores (independentemente de sua área nuclear). Ressalta-se, dessa maneira, a importância do fator proximidade entre fragmentos para esse mapa de prioridades. Metzger (2003) também concordou que, para a conservação biológica além de terem-se os grandes fragmentos, é necessária a presença de uma rede de fragmentos menores para que se aumente a conectividade funcional de uma paisagem.

O fator proximidade à cobertura florestal além de possibilitar a conexão florestal colaborou, juntamente com o fator proximidade entre fragmentos de maior área nuclear, para que houvesse a definição de grande parte das áreas com maior prioridade em regiões da bacia, que concentram as maiores áreas de floresta nativa. Assim como Metzger (1997) que ressaltou a importância da proximidade entre remanescentes de floresta e os fragmentos com área superior a 0,72ha tem condições de assumir uma função de conexão florestal, por ser útil a locomoção de animais e dispersão de sementes na paisagem.

## 4.7 Caracterização ambiental das áreas prioritárias para restauração florestal

Para a caracterização ambiental das classes como de graus alto e muito alto de prioridade, foi elaborado o cruzamento entre os mapas finais de prioridade (pelo desmembramento das do mapa de prioridade em dois mapas distintos: mapa de classe com grau alto e mapa de classe de grau muito alto) e três planos de informação selecionados (uso e cobertura do solo, solo e declividade do terreno), conforme a Tabela 9.

Nesse diagnóstico foi caracterizado o tipo de ocupação atual e, principalmente, as potencialidades de recuperação dessas áreas, de forma a permitir a definição de ações de manejo para desencadear e conduzir os processos naturais de recuperação, possibilitando que a vegetação natural se restabeleça, com consequente redução de ações para a adequação ambiental.

Tabela 9. Caracterização ambiental das áreas com graus de prioridade altos e muito altos, obtidos pelo método da Combinação Linear Ponderada

| Grau de prioridade | Uso e cobertura do solo* | Classes de Solo* | Declividade do terreno (%)* |
|---|---|---|---|
| Alto | Cultura (25,6%)<br>Cana-de-açúcar (17,5%)<br>Pastagem (31%)<br>Floresta plantada (6,9%)<br>Mata /capoeira (19%) | LVd (47,06%)<br>PVA (38,38%)<br>RL (7,18%)<br>GX (5,9%)<br>LVdf (1,45%) | 0-3 (2,80%)<br>3-6 (11%)<br>6-12 (40,83%)<br>12-20 (31,67%)<br>20-40 (12,80%)<br>>40 (0,94%) |
| Muito alto | Cultura (20,8%)<br>Cana-de-açúcar (11,4%)<br>Pastagem (20%)<br>Floresta plantada (3,7%)<br>Mata /capoeira (39%) | LVd (3,62%)<br>PVA (86,95%)<br>RL (3,22%)<br>GX (6%)<br>LVdf (0,2%) | 0-3 (7,44%)<br>3-6 (23,42%)<br>6-12 (46,90%)<br>12-20 (18,01%)<br>20-40 (3,93%)<br>>40 (0,3%) |

* % de área representativa de cada plano de informação.

No cenário gerado pela caracterização ambiental, verificou-se que na área classificada como de prioridade alto para restauração florestal, o uso predominantemente é a pastagem (31%), seguida de culturas anuais (25,6%) e mata/capoeira (19%). Para a área classificada como de grau de prioridade muito alto, o uso maior é para mata/capoeira (39%), seguida de culturas anuais e pastagem (20,8 e 20%), respectivamente. Com isso pode-se deduzir que áreas que apresentam grau de prioridade muito alto encontram-se mais preservada quanto à vegetação florestal.

Quanto aos solos, verificou-se uma predominância de LVd e PVA (47,06 e 38,38%) nas áreas de grau de prioridade alto, seguido de outras classes solos com

porcentagens menores; já para a área de prioridade classificada em muito alto, o predomínio de solo é PVA (86,95%).

Na determinação do plano de informação erodibilidade foi associado a cada classe de solo o valor de erodibilidade correspondente, então se estabeleceu as classes de erodibilidade (muito alta = RL, alta = PVA, média = GX, baixa = LVd, muito baixa = LVdf).

A ocorrência de solos susceptíveis à erosão (RL e PVA), traduzida pelos valores altos de erodibilidade nas classes de prioridade à restauração florestal, faz com que estas se tornem com maior prioridade ainda. As áreas reflorestadas propiciam maior estabilidade e proteção aos solos com alta erodibilidade.

Com relação à declividade do terreno, observou-se que 40,83% e 46,90% da área apresentou declividade de 6-12%, para as áreas de grau de prioridade alto e muito alto, respectivamente. Desta forma devem-se direcionar as ações de restauração florestal as áreas de maior declividade (12% ou mais), pois nessa condição estas áreas estarão mais suscetíveis à erosão, podendo ser uma ameaça a conservação e sobre tudo à preservação florestal (45,41% e 22,24%).

Essa ameaça é mais bem entendida, considerando-se que esses solos com cobertura inadequada ou desnudo podem ser os causadores de deslizamentos, produzindo sedimentos que juntamente com outros danos, podem afetar as áreas florestais que já alcançaram a estabilidade de sua estrutura interna ou as outras que estão caminhando nesse sentido.

Dessa forma, a caracterização ambiental das áreas prioritárias, corresponde basicamente no estabelecimento de ações que resultam na conservação, manejo e restauração das áreas com potencial, conforme as características do ambiente. Áreas de corredores de interligação de fragmentos, áreas de solo raso e/ou com baixa infiltração e baixa aptidão agrícola e solos com declividade alta devem ter prioridade no planejamento da restauração florestal.

## 5. CONCLUSÕES

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

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

2) 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;

3) A análise multicriterial, baseada no Processo Analítico Hierárquico (AHP), é essencial na avaliação dos fatores, emprega uma comparação pareada entre fatores para determinar a importância relativa de cada um deles, reduzindo a subjetividade e subsidiando a geração de melhores cenários ao tomador de decisão;

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

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-KADER, A. F.; NASR, S. M.; EL-GAMILY, H. I.; EL-RAEY, M. Environmental sensitivity analysis of potential oil spill for Ras-Mohammed coastal zone, Egypt**. Journal of Coastal Research**, Tallahassee, v. 14, n. 2, p. 502-511, 1998.

ADINARAYANA, J.; RAO, K. G.; KRISHNA, N. R.; VENKATACHALAM, P.; SURI, J. K. A rule-based soil erosion model for a hilly catchment. **Catena**, Amsterdam, v. 37, n. ¾, p. 309-318, 1999.

ALMEIDA, C. G. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná.** Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2008. 72 f.

ALMEIDA, F. F. M de. **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista**. São Paulo: Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1964. 99p.

AMADOR, D. B. **Restauração de ecossistemas com sistemas agroflorestais**. In: Kageyama, P; Oliveira, R.; Moraes, L. Engel, V. ; Gandara, F.. (Org.). Restauração ecológica de ecossistemas tropicais. 1 ed. Botucatu: FEPAF, 2003, v. 1, p. 3-340.

ANTLE, J. M.; CAPALBO, S. M.; MOONEY, S.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. H. Economic Analysis of Agricultural Soil Carbon Sequestration: An Integrated Assessment Approach. **Journal ofAgricultural and Resource Economics** 26(2), p. 344-367, 2001.

ARONSON, J.; FLORET, C. FLOC´H, E. OVALLE, C. PONTANIER, R. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semiarid lands. **Restoration Ecology** v.1(3), p.168-186, 1993.

AUTODESK. **AutoCAD Map 2002**. San Rafael, 1999

BAKER, W.; CAI, Y. The r.le programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. **Landscape Ecology**. v. 7. P. 291-302, 1992.

BAPTISTA, A. C. **Análise da paisagem e identificação de áreas suscetíveis a movimentos de massa na APA Petrópolis – RJ: subsídio ao planejamento urbano**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa –MG. fevereiro de 2005. 110 p.

BARNETCHE, D.; MORETTI, S. D. Mapeamento de risco de deslizamentos e enchentes da bacia do Rio Vadik: aspectos físicos e ocupação urbana. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2004, Florianópolis. **Anais**...Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 102-116.

BASKENT, E. Z. Controlling spatial structure of forested landscapes: a case study towards landscape management. **Landscape Ecology**, v 14, p. 83-87, 1999.

BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta** 34 (2), Mai/Ago, Curitiba, PR. 2004, p. 237-241.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. **Geoinformaçao E Monitoramento Ambiental Na America Latina.** Ed. SENAC SAO PAULO. 1ª Edição – 2008, p. 288.

BENATTI, J. H.; MCGRATH, D. D.; OLIVEIRA, A. C. M. Políticas Públicas e Manejo Comunitário de Recursos Naturais na Amazônia. **Ambiente & Sociedade** – Vol. VI nº. 2 jul./dez. 2003.

BERRY, J. K. Cartographic modeling: the analytical capabilities of GIS. In: GOODCHILD, M.; PARKS, B.; STEYAERT, L. **Environmental modeling with GIS**. Oxford University Press, 1993. P.58-74.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 368p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BOJORQUEZTAPIA, L. A.; AZUARA, I.; EZCURRA, E.; FLORESVILLELA, O. Identifying conservation priorities im Mexico throug Geographical Information Systems and modeling. **Ecological Aplications**, Washington, v. 5, n.1, p. 215-231, 1995.

BRYAN, B.; HARVEY, N.; BELPERIO, T.; BOURMAN, B. Distributed process modeling for regional assess,ent of coastal vulnerability to sea-level rise. **Environmental Modeling and Assessment**, Bussum, v. 6, n. 1, p. 57-65, 2001.

CALIJURI, M. L.; MELLO, A. L. O.; LORENTZ, J. F. Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão. Informática Pública, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, p. 231-250, 2002.

CARVALHO, W.A., JIM, J. **Áreas de proteção ambiental:** Região da "Serra de Botucatu" e Região da "Serra de Fartura"**.** Botucatu: Instituto Básico de Biologia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Apulista, 1983. 47p.

CARVER, S. J. Integrating multi-criteria evaluation with Geographical Information Systems, **International Journal of Gographical Information Systems**, v.5, n.3, p.321-329, 1991.

CASTRO, G. C. **Análise da estrutura, diversidade florística e variações espaciais do componente arbóreo de corredores de vegetação na região do Alto Rio Grande, MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Lavras: UFLA. 2004. 83 p.

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.

CHAKHAR, S.; MARTEL, J-M. Enhancing geographical information systems capabilities with multi-criteria evaluation functions. **Journal of Geographic Information and Decision Analysis**, v.7, p. 47–71. 2003.

CHEN, K. P.; BLONG, R. Towards na integrated approach to natural hazards risk assessment using GiS: With reference to bushfires. **Environmental Management**, New York, v. 31, n. 4, p. 546-560, 2003.

CHEN, K. P.; BLONG, R.; JACOBSON, C. MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and gIS for risk decision-making in natural hazards. **Environmental Modeling e Software**, v.16, n.4, p.387-397, 2001.

CLAYTON, I. Sensitivity modeling data base provides GIS capabilities for non-GIS users. **Earth Observation Magazine**, Aurora, v. 3, n. 7, p. 25-28, 1994.

CONINE, A.; XIANG, W.N.; YOUNG, J.; WHITLEY, D. Planning for multipurpose greenways in Concord, North Carolina. **Landscape Urban Planning.** n. 68, p. 271–287, 2004.

CONTE, M. L. **Aspectos quantitativos e qualitativos das águas da Bacia Experimental do Rio Pardo – Região de Botucatu, SP**. Botucatu, 1999. 157p. Tese (doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

COWEN, D. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? **Photogrammetric Eninnering and Remote Sensing**. V. 54, n. 11, p. 1511-1555. 1988.

DAÍ, F. C.; LEE, C. F.; ZHANG, X. H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study**. Engineering Geology**, Amsterdam, v. 61, n. 4, p. 257-271, 2001.

DE MARCO, P. J.; VIANNA, D. M. Distribuição do esforço de coleta de Odonata no Brasil – subsídios para escolha de áreas prioritárias para levantamentos faunísticos. **Lundiana**, v. 6:p.13-26, 2005.

DÉSTRO, G. F. G.; INOJOSA, F. C. P.; DIAS, J.; BOTTURA, G. Áreas de risco ambiental por barragens no Estado de Minas Gerais. **Anais** XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5193-5200.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v.10, n.1, p.175–181, 2006**.**

DUNSTER, J.; DUNSTER, K. **Dictionary of natural resource management**. Vancouver: University of British Columbia, 1996. 379 p.

DURIGAN, G. Técnicas silviculturais aplicadas à restauração de ecossistemas. In*:* I SIMPÓSIO SOBRE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA DE ECOSSISTEMAS NATURAIS. **Anais**, 1999. Piracicaba, SP.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M. F.; FRANCO, G. A. D. C.; RATTER, J. A. Seleção de fragmentos prioritários para a criação de unidades de conservação do cerrado no estado de São Paulo. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 23-37, dez. 2006.

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.

EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows user's guide**. Worcester: Clark University, 1995. 109 p.

EASTMAN, J. R.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. **GIS and decision making**. Genebra: UNITAR, 1993. 112 p. (Enplorations in Gographic Information Systems Technology).

EASTMAN, J.R. **IDRISI 32 for Windows**: guide to GIS and image processing. Massachusettes: Clark University, 1999. 2v.

EASTMAN, J.R. **Idrisi 15: The Andes Edition**.Worcester, MA: Clark University, 2006.

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.

ESSEEN, P.; RENHORN, K. Edge effects on an epiphytic lichen in fragmented forests. **Conservation Biology,** v. 12, p.1307-1317. 1998.

FARINA, A. **Principles and methods in landscape ecology**. Londres: Chapman e Hall, 1998. 235 p.

FARINA, F. C. Abordagem sobre as técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento e gestão urbana. **www.ebape.fgv.br/cadernosebape**, Volume IV, Número 4, Dezembro 2006.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de Ecologia da Paisagem. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 27, n. 4, p. 575-583, 2003.

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de diagnóstico ambiental de planejamentos ambientais**. - 2003. 276 p. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, SP, 2003.

FILHO, V. M. **Gerenciamento de bacias hidrográficas com aplicação de técnicas de geoprocessamento**. In.:TAUK-TORNISIELD, S. M. *et al.* Análise ambiental: estratégias e ações. Rio Claro: CEA-UNESP, 1995. p.135-139.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: Difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v.17, p. 24-29, 2002.

FLORES, C. A.; GARRASTAZU, M. C.; HASENACK, H.; WEBER, E. Zoneamento edáfico para as culturas da mamona, soja, girassol e canola na região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 26 p. Embrapa Clima Temperado. Documentos, 174.

FORMAN, R. T. T.; COLINGE, S. K. Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. **Landscape and Urban Planning**. V. 37, p. 129-135, 1997.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley, 1986. 619p.

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.

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.

GASPAR, J.; FIDALGO, B. Evolução do Uso Solo e Avaliação do Valor Paisagístico e de Recreio na Área de Paisagem Protegida da Serra do Açor. Lisboa. Portugal. **Silva Lusitana 10**(2): p. 179 - 194, 2002.

GENELETTI, D. A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley. **Land Use Policy**, v. 21, p. 149-160, 2004.

GENELETTI, D. Using spatial indicators and value functions to asses ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 5, p. 1-15, 2004.

GIORDANO, L. C.; RIEDEL, P. S. GIS and remote sensing techniques to plan environmental linear parks. **Revista Brasileira de Cartografia,** N. 58/02, Agosto, 2006.

GÖTSCH, E. **O Renascer da agricultura**. AS-PTA, Rio de Janeiro. 1995. 22p.

GRADWOHL, J.; GREENBERG, R. Small forest reserves: **making the best of a bad situation**.*Climatic change*, v. 19*,* p. 235-256, 1991.

GRARAVELI, A.; GOOD, J. E. G.; WILLIAMS, J. H. Determining priority areas for native woodland expansion and restoration in Snowdonia National Park, Wales. **Biological Conservation**, v. 115, p. 395-402, 2004.

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 Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, 2003.

GUERRA, A.J.T. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T., CUNHA, S.B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.149-209.

GUMBRICHT, T.; McCARTHY, J.; MAHLANDER, C. Digital interpretation and management of land cover: a case study of Cyprus. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 6, n. 4, p. 273-279, 1996.

GUTZWILLER, K. J.; BARROW JUNIOR, W. C. Influences of orads and development on bird communities in protected Chihuahuan desert landscapes **Biological Conservation,** v. 113, p.225-237, 2003.

HANSON, J. S.; MALASON, G. P.; ARMSTRONG, M. P. Landscape fragmentation and dispersal in a model of riparian forest dynamics. **Modeling**, Amsterdam, v. 49, n. 4, p. 277-296. 1990.

HARDT, L. P. A.; HARDT, C. Avaliação da qualidade da paisagem como fundamento à gestão urbana e regional: estudo de caso em Piraquara, Paraná, Brasil. **Anais** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5301-5307.

HARRINGTON, C. A. Forests planted for ecosystem restoration or conservation. **New Forests**, Dordrecht, v. 17, n. 1/3, p. 175-190, 1999.

HARRIS, L.D. **The fragmented forest**. Chicago: University of Chicago Press, 1984. 211p.

HICKEY, R.; JANKOWSKI, P. GIS and environmental decision-maling to AID smelter reclamation planning. **Environment and Planning**, London, v. 29, n. 1, p. 5-19, 1997.

HULSMEYER, A. F.; SOUZA, R. C. A. Avaliação das áreas permeáveis como subsídio ao planejamento de áreas verdes urbanas de Umuarama-PR. **Akrópolis**, v. 15, n. 1 e 2, p. 49-59, jan./jun. 2007.

IDRISI Andes Edition 15.0. Disponível em: <http://www.idrisi.com.br/andes/main.htm>. Acesso em 10 dez. 2008.

INPE. CBERS: Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. Disponível em: <http://www.cbers.inpe.br> . Acesso em: 03 out. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta do Brasil**. Mapa color, 55,3x51,4cm (folha SF – 22 – R – W – IV – 3 Botucatu). Escala 1:50.000, 1969.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Carta do Brasil**. Mapa color, 55,3x51,4cm (folha SF – 22 – Z – D – III – 1 Pardinho). Escala 1:50.000, 1982.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, Escala 1:500.000, 1981. 2v.

JANKOWSKI, P.; ANDRIENKO, N.; ANDRIENKO, G. Map-centred exploratory approach to multiple criteria spatial decision making. **Internationa Journal of Geographical Information Science**, Abingdon, v. 15, n. 2, p. 101-127, 2001.

JIANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **International Journal of Geografhical Information Science**, v.14, n.2, p.173-184, 2000.

KAGEYAMA, P. Y., REIS, A., CARPANEZZI, A. A. Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, 1992. **Anais**. p. 1.

KAGEYAMA, P. e GANDARA, F. B. 2004. Recuperação de Áreas Ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; FILHO, H. F. L. (Ed.). Matas Ciliares: Conservação e Recuperação. 2ª Ed. EdUSP. São Paulo.

KANGAS, J.; ALHO, J.; KOLEHMAINEN, O.; MONONEN, A. Analyzing consistency of expert'judgments – case of forest biodiversity. **Forest Science**, v.44, p.603-609, 1998.

KAPOS, V. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. **Journal of Tropical Ecology, v.** 5, p.173-185. 1989.

KIMMINS, J. P. 1987. Forest ecology. Macmillan, London. 531 pp.

LAARIBI, A.; CHEVALLIER, J. J.; MARTEL, J. M. A spatial decision aid: a multicriterion evaluation approach. Computers, **Environment and Urban Systems**, v. 20, p. 351–366. 1996.

LABODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência Guarapuava**, PR v.1 n.1 p. 125-139 jan./jun. 2005.

LANG, S.; BLASCHKE,T. **Analise Da Paisagem Com SIG.** Ed. Oficina De Textos. 1ª Edição – 2009, p. 424.

LATHROP, R. G.; BOGNAR, J. A. Applying GIS and landscape ecological principles to evaluate land conservation alternatives. **Landscape and Urban Planning**. V.41, p.27-41, 1998.

LAURANCE, S. G., HUTCHINGS, R. W. e LOVEJOY, T. E. Effects of forest fragmentation on recruitment patterns in Amazonian tree communities. **Conservation**
**Tropical forest remnants**. Chicago: University of Chicago Press, 1998. 615p.

LAURANCE, W. F. e BIERREGAARD, Jr. R. O. Tropical forest remnants, ecology, management, and conservation of fragmented communities. Chicago. 507p, 1997.

LE FLOC'H, E. e ARONSON, J. Écologie de la restauration. Définition de quelques concepts de base. **Natures – Sciences – Sociétés**, Hors-serie, 1995. p. 29-35.

LEOPOLDO, P.R., STERNBERG, S., SALATI, E. Tendências de alterações no regime pluviométrico da região central do Estado de São Paulo, Brasil. In: CONGRESO

LATINOAMERICANO DE INGENIERIA RURAL, 2, CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERIA RURAL, 5, 1998, La Plata. **Libro de las Memórias**...Avances en el manejo del suelo e água en la Ingeniería Rural Latinoamericana, La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, 1998. 6p. (Paper ICR52) (CD-ROM).

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.

LIMA, M. V.; BRITO, D. D.; MILANELLI, J. C. C. Mapeamento da sensibilidade ambiental a derrames de óleo em Ilhabela, São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, N$^{o}$ 60/02, agosto 2008.

LOMBARDI NETO, F., BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: IAC, 1975. 12p.

LORD, J. M.; NORTON, D. A. Scale and the spatial concept of fragmentation. **Conservation Biology**, v. 2, n. 4, p. 197-262, 1990.

LOVEJOY, T. E.; BIERREGARD, R. O.; RYLANDS, A. B.; MALCOLM, J. R.; QUINTELA, C. E.; HARPER, L. H.; BROWN, K. S.; POWELL, G. V. N.; SCHUBART, H. O. R.; HAY, M. B. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. In: SOULE, M.E., ed**. Conservation biology**. Massachusetts: Sinauer Press, 1986. p. 257-285.

LURTZ, P. W. W.; GEDDES, N.; LLOYD, A. J.; SHIRLEY, M. D. E.; RUSHTON, S. P.; BURLTON, B. Planning a red squirrel conservation area: using a spatially explicit population dynamics model to predict of felling and forest design plans. **Forestry**, Edinburgh, v. 76, n.1, p. 95-108, 2003.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The theory of island biogeography**. Princeton: Princeton University Press, 1967. 203 p.

MALCZEWSKI, J. A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. **International Journal of Geographical Information Systems**, Abigdon, v. 10, n. 8, p. 955-971, 1996.

MALCZEWSKI, J. GIS and multicriteria decision analsis. New York: John Wiley, 1999. 362 p.

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.

MALCZEWSKI, J. On theuse of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. **Transaction in GIS**, v.4, n.1, p.5-22, 2000.

MALCZEWSKI, J.; JACKSON, M. Mjlticriteria spatial allocation of educational resources: an overview. **Socio-Economic Planning Sciences**, New York, v. 34, p. 219-235, 2000.

MARTINS, V. B. **Metodologia baseada em Sistema de Informação Geográfica e Análise Multicritério para a seleção de áreas para construção de um repositório para o combustível nuclear usado.** Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, julho de 2009. 124 p.

MATSON, P. A., W. J. PARTON, A. G. Power, and M. Swift. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. Science **277:**504–509.

MATLACK, G.R. Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States. **Biological Conservation,** v.6, p.185-194. 1993.

MEDEIROS, J. D.; SAVI, M.; BRITO, B. F. A. Seleção de áreas para criação de Unidades de Conservação na Floresta Ombrófila Mista. **Biotemas**, 18 (2): p.33 - 50, 2005.

MENNELLA, V. G.; BORGHI, P.; MARCELLARI, E.; PORCEDDU, P. R. Territorial vulnerability evaluation in Tiber watershed. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 41, n. 2, p. 183-200, 1996.

METZGER, J. P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas in: SIMPÓSIO DE RESTAURAÇAO DE ECOSSISTEMAS DEGRADADOS COM ESPECIES NATIVAS. São Paulo, 2000. **Anais.** São Paulo: Edusp, 2000. P. 7-11.

METZGER, J. P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas? In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. cap.3, p. 51-76.

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.

METZGER, J.P. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. **Anais** da Academia Brasileira de Ciências. v.71, n. 3-I, 445-463, Rio de Janeiro. 1999.

MMA/SBF – Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Biodiversidade e Floresta. Biodiversidade Brasileira.: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros. Brasília, 2003. 52 p.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in Ecology and Evolution**, v.10, p. 58-62. 1995.

NARDELLI, A. M. B.; GRIFFITH, J. J. Mapeamento conceitual da visão de sustentabilidade de diferentes atores do setor florestal brasileiro. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, Apr. 2003 .

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.;RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E**.** Delimitação automática de áreas de preservação permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Alegre. **Anais** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2289-2296.

NASCIMENTO, H.E.M. E LAURANCE, W.F. 2006. Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. **Acta Amazônica**. 36, 183-192.

NETTO, A.L.C. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, A.J.T., CUNHA, S.B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceito**s**. 3.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.93-148.

NICHOL, J.E. An examination of tropical rain forest microclimate using GIS modeling. **Global Ecology and Biogeography Letters,** v**.** 4, p.69-78. 1994.

NIEMUTH, N. D. Identifying landscapes for greater praire chicken traslocation using habit models and GIS: a case study. **Wildlife society Bulletin**, Bethesda, v. 31, n. 1, p. 145-155, 2003.

NOSS, R. F.; O'CONNEL, M. A.; MURPHY, D. D. **The science of conservation of planning**: habit-based conservation under the endangered species. Washington DC: Act. Island, Press, 1997. 154 p.

OLIVEIRA, G.; DINIZ FILHO, J. A. F. Teoria unificada da macroecologia e seleção de áreas prioritárias para conservação no Cerrado**. Anais** do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007, Caxambu – MG.

OLIVEIRA, M. Z.; VERONEZ, M. R.; TURANI, M.; REINHARDT, A. O. Imagens do *Google Earth* para fins de planejamento ambiental: uma análise de exatidão para o município de São Leopoldo/RS. In: **Anais** XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1835-1842.

OMETTO, A. R.; MANGABEIRA, J. A. C.; HOTT, M. C. Mapeamento de potenciais de impactos ambientais da queima de cana-de-açúcar no. In**: Anais** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2297-2299.

PALIK, B. J.; GOEBEL, P. C.; KIRMAN, L. K.; WEST, L. Using landscape hierarchies to guide restoration of disturbed ecosystems. **Ecological Appications**, Washington, v. 10, n. 1, p. 189-202, 2000.

PANIGRAHY, S.; CHAKRABORTY, M. Na integrated approach for potato crop intensification using temporal remote sensing data**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p. 54-60, 1998.

PIROLI, E. L.; BECKER, E. L. S.; BOLFE, E. L.; PEREIRA, R. S. Geographic information system and satellite image to analyse the arroio do meio microbasin land use – Santa Maria – RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.3, p.407-413, 2002.

PUTZ, F. E.; BLATE, G. M.'; REDFORD, K. H.; FIMBEL, R.; ROBINSON, J. Tropical forest management and conservation of biodiversity: an overview. **Conservation Biology**, v. 1, n. 15, p. 7-20, 2001.

RAHMAN, M. R.; SHIA, Z. H.; CHONGFA, C. Soil erosion hazard evaluation—An integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies. **Ecological Modelling**, v. 220, p. 1724–1734, 2009.

RAMOS, R. A. R.; MENDES, J. F. G. Avaliação de aptidão do solo para localização industrial: ocaso de Valença. **Revista Engenharia Civil**, n.10, p. 7-29, 2001.

RANDHIR, T. O.; O'CONNOR, R.; PENNER, P. R.; GOODWIN, D. W. A watershed-based land prioritization model for water supply protection. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 143, n. 1/3, p. 47-56, 2001.

RAO, M. S. V.C.; SASTRY, P. D.; YADAR, K.; KHAROD, S. K.; PATHAN, P. S.; DHINWA, , K. L.; MAJUMDAR, D.; PHATA, K. **A weighted index model for urban suitability assessment – a GIS approach.** Bombay: Metropolitan Regional Development Authority, 1991. 134p.

RIBEIRO, L.; KOPROSKI, L. P.; STOLLE, L.; LINGNAU, C.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. B. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a Fazenda experimental do Canguiri, Pinhais-PR. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

RIBEIRO, S.; MARQUES, J. C. B. Características da paisagem e sua relação com ocorrência de bugios-ruivos em fragmentos florestais no vale do Taquari, RS. **Natureza e Conservação**. v. 3, n. 2, p. 65-78. 2005.

RICHARDSON, M. S.; GATTI, R. C. Prioritizing wetland restoration activity within a Wisconsin watershed using GIS modeling. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 54, n. 3, p.537-542, 1999.

RODRIGUES, V. L.; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento geotécnico como base para o planejamento urbano e ambiental: município de Jaú (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n.1, p. 01-15, março de 2009.

ROSA, D.; MORENO, J. A.; MAYOL, F.; BONSÓN, T. Assessment of soil erosion vulnerability in westerm Europe and potential impact on crop productivity due to loss of soil depth using the Impelero model. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.81, p.179-190, 2000.

ROY, P. S.; TOMAR, S. Biodiversity characterization at landscape level using geospatial modelling technique. **Biological Conservation**, v. 95, p. 95-109, 2000.

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.

RUZISCA, A. A. **Impactos ambientais sobre os recursos hídricos para abastecimento público em São José dos Campos - SP**. Dissertação (Mestrado Análise Geoambiental) – Universidade de Guarulhos, Guarulhos, 2008. 133 f.

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

SAATY, T. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980. 287p.

SAMIZAVA, T. M.; KAIDA, R. H.; IMAI, N. N.; NUNES, J. O. R. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. In: **PLURIS** - 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável. Braga. 2008. p. 1-12.

SANTOS, V. S. **Modelagem da geração e distribuição de viagens para escolas utilizando cellular automata e avaliação multicritério**. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) – USP, 2005. São Carlos.

SARTORI, A. A. C.; BARBOSA, A. P.; PISANI, R. J.; OLIVEIRA, F. O.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento de conflitos de solo em áreas de preservação permanente na Bacia Experimental do Rio Pardo - São Paulo – Brasil. **Anais** XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6197-6202.

SAUNDERS, D. A.; HOBBS, R. J.; MARQUES, C. R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. **Conservation Biology**, v. 5, p. 18-32, 1991.

SCHELLAS, J.; GREENBERG, R. **Forest patches in tropical landscapes**. Washington; Island Press, 1997. 426p.

SHAFER, C. L. Nature reserves**: island theory and conservation practice**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1990. 185p.

SILVEIRA, H. L. F.; VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. O. A. Avaliação multicriterial no mapeamento de risco de incêndios florestais, em ambiente SIG, na bacia do Rio Corumbataí, SP.**R. Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.259-268, 2008.

SOARES, C. B. S. S.; TEIXEIRA, W. G.; PINTO, W. H. A.; COSTA, L. A. Geotecnologia aplicada ao estudo da dinâmica do uso e cobertura da terra na Área de Proteção Ambiental (APA) Encontro das Águas - Iranduba (AM). In: **Anais** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3163-3170.

SOARES, U. P. **Procedimento para a localização de terminais rodoviários interurbanos, interestaduais e internacionais de passageiros**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, setembro de 2006. 343 p.

SOUZA, A. J.; ANDRADE, F. C.; TOLEDO PIZA, M. A. B.; CONTE, M. L. Aspectos físicos do município de Botucatu. In: Botucatu: pólo de desenvolvimento regional, 1985, Botucatu. **Mimeog**...Botucatu: 1985. 34p.

SOUZA, F. M.; BATISTA, J. L. F. Restoration of seasonal semidecidous forests in Brazil: influence of age and restoration design on Forest structure. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 191, p. 185-200, 2004.

SPÍNOLA, C. M.; TIMO, T. P. C.; CAMPOS FILHO, E. M.; BECHARA, F. C.; BARRETO, K. D.; CAMARGO, F. R. A. Uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para avaliar a relação entre mastofauna e mosaico fitofisionômico numa área de plantio de *Eucalyptus* da Votorantim Florestal. **Anais** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2397-2399.

STORE, R.; KANGAS, J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habit suitability modeling. **Landscape and Urban Planning**. V.55, p.79-93, 2001.

TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. Áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga. In: **Araújo et al. (Ed) Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Universidade Federal do Pernambuco, Recife. p.47-52, 2002.

TAGLIANI, C. R. A. **Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações**. Curitiba: FatorGIS, 2002. 8 p.

THILL, J. C. **Multicriteria decision-making and analysis**: A Geographic Information Sciences approach. New York: Ashgate, 1999. 354 p.

TORNERO, M. T. **Fotointerpretação da Cobertura Vegetal e da Rede de Drenagem da Bacia Experimental do Rio Pardo, no período de 15 anos**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1996. 129p. Dissertação de Mestrado.

TRAFICANTE, C. **Ecologia da paisagem para avaliação da idoneidade de redes ecológicas, como subsídio para o planejamento territorial**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2007. 136 f.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity. New York: Springer Verlag, 1990, 536p.

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.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C.. A abordagem multicriterial na definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005 Goiânia. **Anais**...Goiânia: INPE, 2005.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conserva de recursos hídricos**. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" USP, 2006. Piracicaba. 151 p.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B.; VALENTE, R. O. A. **Monitoramento de risco de incêndios florestais com auxílio de sistemas de informações geográficas**. In: SEAB. Sensoriamento remoto e SIG aplicados ao planejamento ambiental. Botucatu: FCA/UNESP, 1999. p.45-48.

VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. O. A.; BALLESTER, M.V. R. Forest fire hazard mapping in a GIS environment for a river basin in the state of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., Lake Buena Vista, **Proceedings**. Ann Arbor: ERIM International, 2000. V.1, p.10-12.

VIANA, V. M. Biologia e manejo de fragmentos florestais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos do Jordão, 1990. **Anais.** Curitiba: SociedadeBrasileira de Silvicultura/Sociedade de Engenheiros Florestais, 1990. p. 113-118.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais.**SÉRIE TÉCNICA IPEF**, v. 12, n. 32, p. 25-42, dez. 1998.

VIANA, V. M.; TABANEZ, A. A. J.; MARTINS, J. L. A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS *NATIVAS,* 2, São Paulo, 1992. **Anais**. São Paulo: Instituto Florestal de São Paulo, 1992. p. 400-407.

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.

VIVAN, J. **Agricultura e florestas** - princípios de uma interação vital. AS-PTA, Livraria e Editora agropecuária, Rio de Janeiro. 1998. 207 p.

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

WANG, D. H.; MEDLEY, K. E. Land use model for carbon conservation across a Midwestem USA landscape. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdan, v. 69, n. 4, p. 451-465, 2004.

WEBER, E.; HASENACK, H. Avaliação De Áreas Para Instalação De Aterro Sanitário Através De Análises Em Sig Com Classificação Contínua Dos Dados. **Natureza e Conservação**. v. 3, n. 2, p. 65-78. 2000.

WISCHMEIER, W.H., JOHNSON, C. B. e CROSS, B.V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and constrution sites. **Jour. Soil Wat. Conserv**., v.26, 189-193.

YAHNER, R. H. Changes in wildlife communities near edges. **Conservation Biology**, v. 2, p. 333-339, 1998.

Yong, A. G.; MERRIANM, H. G. Effects of forest fragmentation on the spatial genetic structure of *Acer sacvharum* Marsh. (sugar maple) population. **Heredity**, v.1, p.277-289, 1994.

ZADEH, L. H. Fuzzy sets. Information and Control, v.8, p.438-353, 1965.

ZHU, X.; DALE, A. P. JavaAHP: A Web-based decision analysis tool for natural resource and environmental management. Environmental Modelling and Software, v. 16, n. 3, p. 251-262, 2001.

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

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. USP, São Carlos, 1998.