



DISSERTAÇÃO

**ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA BACIA
DO RIBEIRÃO DAS ANHUMAS: ESTABELECIMENTO
DE PRIORIDADES PARA RECUPERAÇÃO POR MEIO
DE ANÁLISE MULTICRITERIAL**

CARLOS EDUARDO DA SILVA FRANCISCO

**Campinas, SP
2006**

INSTITUTO AGRONÔMICO

**CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
TROPICAL E SUBTROPICAL**

**ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA BACIA DO
RIBEIRÃO DAS ANHUMAS: ESTABELECIMENTO DE
PRIORIDADES PARA RECUPERAÇÃO POR MEIO DE ANÁLISE
MULTICRITERIAL**

CARLOS EDUARDO DA SILVA FRANCISCO

Orientador: Dr. Ricardo Marques Coelho

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Agricultura Tropical e Subtropical, na área de concentração de Gestão dos Recursos Agroambientais.

Campinas, SP
Junho 2006

Ficha elaborada pelo Núcleo de Informação e Documentação do
Instituto Agronômico

F819a Francisco, Carlos Eduardo da Silva.
Áreas de Preservação permanente na bacia do ribeirão das
Anhumas: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de
análise multicriterial / Carlos Eduardo da Silva Francisco
2006.
108 f.

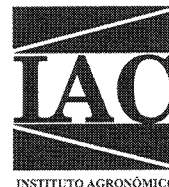
Orientador: Dr. Ricardo Marques Coelho
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) –
Instituto Agronômico

1. Bacia do ribeirão - Anhumas – preservação 2. Bacia
hidrográfica - recuperação ambiental 3. Análise multicriterial
I.Coelho, Ricardo Marques II. Título

CDD 551.49



SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO
AGÊNCIA PAULISTA DE TECNOLOGIA
DOS AGRONEGÓCIOS
INSTITUTO AGRÔNOMICO
Pós-Graduação
Av. Barão de Itapura 1481 Caixa Postal 28
13001-970 Campinas, SP - Brasil
(019) 3231-5422 ramal 194
pgiac@iac.sp.gov.br



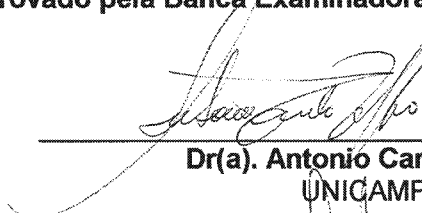
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

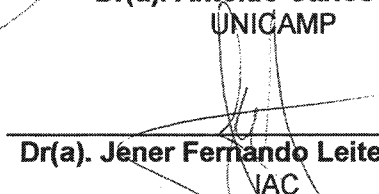
TÍTULO: Áreas de Preservação Permanente na Bacia do Ribeirão das Anhumas: Estabelecimento de Prioridades para Recuperação por meio de Análise Multicriterial

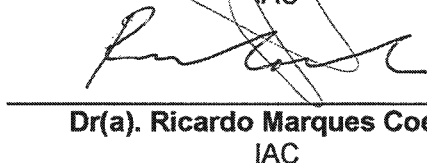
Aluno(a): Carlos Eduardo da Silva Francisco
Processo SAA nº 18022/04

Orientador(a): Dr(a). Ricardo Marques Coelho

Aprovado pela Banca Examinadora:


Dr(a). Antônio Carlos Zuffo
UNICAMP


Dr(a). Jêner Fernando Leite de Moraes
IAC


Dr(a). Ricardo Marques Coelho
IAC

Data de Realização: 27/04/2006


Ana Maria M. A. Lagôa
Coordenadora
Pós-Graduação-Instituto Agrônomo

Aos meus queridos pais Arthur e Heloiza,
pelo amor incondicional aos filhos,
e responsáveis por mais essa vitória.

DEDICO

À Lúcia, cujo incentivo, amor e
companheirismo foram imprescindíveis;
e as minhas duas princesas Ana Luiza e Theodora.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contou com a importante colaboração de pessoas e instituições, as quais ofereço meus sinceros agradecimentos:

Ao orientador profº Dr. Ricardo Marques Coelho, pelo exemplo de paciência, amizade, dedicação, confiança, entusiasmo, obstinação o qual nunca perdeu as esperanças apesar das inúmeras e diferentes dificuldades verificadas ao longo do percurso desse trabalho;

A Dra Roseli Buzanelli Torres, pelo incentivo, dedicação e pela oportunidade de participação no Projeto de Política Públicas do Projeto Anhumas;

Ao geógrafo Samuel Fernando Adami pela criatividade no qual auxiliou nos procedimentos de espacialização dos modelos multicriteriais em ambiente SIG;

A profª Dra. Isabella C. De Maria pelo esforço em aglutinar os alunos de Gestão de Recursos Agroambientais e as várias reuniões realizadas com este propósito;

Ao Dr Antônio Carlos Zuffo pela participação como membro de banca e auxiliar a desvendar a aplicação dos métodos de análise multicriterial;

Ao profº Dr. Jener Fernando Leite de Moraes pela participação como membro de banca e contribuição com importantes sugestões para o término deste trabalho;

Ao programa de pós-graduação do IAC pela oportunidade de realização deste curso;

A todos os professores, funcionários e colegas do curso da pós-graduação pelo aprendizado proporcionado e contribuições mutuas;

Aos funcionários do departamento geoprocessamento pelo carinho e amizade;

Aos Analistas de Projetos Ambientais do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN), Engº Agrº Antônio Carlos Bordignon Junior e Engº Agrº Minoru Iwakani Beltrão; e ao consultor ambiental geólogo Dr. Dirceu Pagotto Stein pelas importantes informações prestadas na área de legislação ambiental;

Aos profissionais da área ambiental que gentilmente responderam aos questionários: Antônio C. Bordignon Junior, Antônio C. Zuffo, Adriano Andreo D. da Silva, Carlos A. Vetorazzi, Elaine Cristina Fidalgo, Gerd Sparovek, Igo F. Lepsch, Isabella C. De Maria, Miguel Cooper, Minoru I. Beltrão, Ricardo R. Rodrigues, Roseli Buzanelli Torres, Rozely Ferreira dos Santos, Samuel F. Adami e Sônia Carmela F. Dechen.

À Agropecuária Anhumas pela permissão de coleta de dados de campo em suas dependências e ao Engº Agrícola Paulo S. G. de Oliveira que intermediou este contato.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram com a elaboração deste trabalho.

BIOGRAFIA

Nascido em Adamantina, S.P. em 02/11/59, formou-se em 1990 como Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal Rural da Amazônia – Belém - Pará. Estagiou no Museu Paraense Emílio Goeldi acompanhando pesquisas na área de Etnociência com os índios Kaiapó, na aldeia Gorotire. No período de 1991 a 2003 trabalhou no Departamento Estadual de Proteção dos Recursos Naturais (DEPRN), órgão ligado a Secretaria do Estado de Meio Ambiente, ocupando nos últimos dois anos o cargo de supervisor na Equipe Técnica de Atibaia – SP.

Atualmente trabalha como consultor na elaboração de projetos de recuperação, planejamento e licenciamento ambiental; e outorgas de obras que utilizam recursos hídricos.



**Anhuma, que seu canto volte um dia,
a ser ouvido nos brejos de Campinas....**

SUMÁRIO

ÍNDICES DE TABELAS.....	x
ÍNDICES DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE ANEXOS.....	xvi
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 Legislação Ambiental.....	03
2.2. Geoprocessamento e SIG.....	08
2.3 Análise multicriterial.....	08
2.4 Vegetação nativa e uso da terra.....	10
3 MATERIAL E MÉTODO.....	12
3.1 Caracterização física da área de estudo.....	12
3.1.1 Localização.....	13
3.1.2 Relevô.....	12
3.1.3 Clima.....	13
3.1.4 Geologia.....	14
3.1.5 Solos.....	15
3.1.6 Uso e cobertura do solo.....	18
3.1.7 Remanescente de vegetação nativa.....	18
3.1.8 Hidrografia urbana.....	19
3.2. Seleção de bacia hidrográfica para recuperação de APP.....	21
3.2.1. Critérios.....	21
3.2.1.1 Área da sub-bacia.....	21
3.2.1.2 Grau de urbanização das sub-bacias.....	24
3.2.1.3 Áreas com risco de inundação.....	26
3.2.1.4 Classe de capacidade de uso da terra.....	26
3.2.1.5 Corredores de vegetação.....	26
3.2.1.6 Densidade de cursos d'água.....	27
3.2.1.7 Vazão média.....	27
3.2.1.8 Matas ciliares.....	27
3.2.1.9 Diversidade de formações florestais.....	28
3.2.1.10 Presença de unidades de conservação (UC).....	29
3.2.1.11 Densidade de vegetação nativa.....	29
3.2.1.12 Fragmentação da vegetação nativa.....	29
3.2.1.13 Distância da sub-bacia à foz do ribeirão das Anhumas.....	30
3.2.2 Análise multicriterial.....	30
3.2.2.1 Pesos dos critérios.....	30
3.2.2.2 Método Programação de Compromisso (<i>Compromise Programming</i> – PC).....	31
3.2.2.3 Método Teoria dos Jogos Cooperativos (<i>Cooperative Game Theory</i> – CGT).....	33
3.3 Áreas de Preservação Permanente (APP): priorização para recuperação.....	33
3.3.1 Planos de Informação.....	33
3.3.1.1 Uso e cobertura do solo.....	34

3.3.1.2 Vegetação nativa e maciços arbóreos.....	34
3.3.1.3 Núcleos urbanos.....	35
3.3.1.4 Declividade.....	35
3.3.1.5 Erodibilidade dos solos.....	35
3.3.1.6 Malha viária.....	35
3.3.1.7 Capacidade de sustentabilidade da vegetação nativa.....	35
3.3.1.8 Áreas de Preservação Permanente (APP).....	36
3.3.1.9 Leito Maior (várzea).....	38
3.3.2 Mapas de critérios.....	38
3.3.2.1 Proximidade de vegetação nativa.....	38
3.3.2.2 Proximidade de núcleos urbanos.....	40
3.3.2.3 Uso da terra.....	42
3.3.2.4 Vulnerabilidade a erosão.....	44
3.3.2.5 Proximidade de malha viária.....	47
3.3.2.6 Capacidade de sustentabilidade da vegetação nativa.....	49
3.3.2.7 APP em função de ordem de canais de drenagem.....	52
3.3.2.8 Categoria de APP.....	54
3.3.3 Aplicação espacial dos métodos multicriteriais em ambiente SIG.....	56
3.3.4 Pesos dos critérios.....	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4.1 Seleção de bacia hidrográfica.....	58
4.1.1 Pesos e matriz “Pay-off”.....	58
4.1.2 Valoração dos critérios.....	62
4.1.2.1 Área da bacia.....	63
4.1.2.2 Grau de urbanização da bacia.....	63
4.1.2.3 Áreas com risco de inundação.....	64
4.1.2.4 Classe de Capacidade de Uso das Terras.....	64
4.1.2.5 Corredores de vegetação.....	65
4.1.2.6 Densidade de cursos d’águas.....	66
4.1.2.7 Vazão média	66
4.1.2.8 Matas ciliares.....	67
4.1.2.9 Diversidade de formações de vegetação nativa.....	67
4.1.2.10 Presença de Unidades de Conservação.....	68
4.1.2.11 Densidade de vegetação nativa.....	68
4.1.2.12 Fragmentação da vegetação nativa.....	69
4.1.2.13 Influência da bacia para o regime de cheias.....	69
4.1.3 Aplicação dos métodos multicriteriais.....	72
4.2 Áreas de Preservação Permanente: priorização para recuperação.....	76
4.2.1 Mapas de uso atual das terras.....	76
4.2.2 Resultado dos questionários (pesos).....	82
4.2.2.1 Método Programação de Compromisso (<i>Compromise Programming</i> – PC).....	85
4.2.2.2 Método Teoria do Jogos Cooperativos (<i>Cooperative Game Theory</i> – CGT).....	89
5 CONCLUSÕES.....	98
6 REFERÊNCIAS.....	100
7 ANEXOS	105

INDICE DE TABELAS

Tabela 1	Áreas de Preservação Permanente (APP).....	4
Tabela 2	Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão (BERTONI et al., 1999).....	11
Tabela 3	Balanço hídrico normal compensado de Campinas, SP.....	14
Tabela 4	Córregos da bacia do ribeirão das Anhumas e extensão destes com mata ciliar (TORRES et al., 2006).....	28
Tabela 5	Usos da terra da bacia e respectivos valores.....	42
Tabela 6	Classe de declividade, segundo BERTONI, (1990).....	44
Tabela 7	Erodibilidades dos solos da bacia do São Quirino estimada através do namograma de WISCHMEIER & SMITH (1978).....	45
Tabela 8	Classes de erodibilidade segundo FOSTER (1981) e LEVY (1995).....	45
Tabela 9	Sub-grupos de aptidão agrícola e respectivas unidades de mapeamento do solo da bacia.....	50
Tabela 10	Classe de aptidão agrícola conforme RAMALHO FILHO et al. (1998) e valores adotados para respectivo grupo.....	50
Tabela 11	Hierarquia fluvial segundo Strahler e a respectiva valoração.....	52
Tabela 12	Valoração de acordo com o tipo de APP.....	54
Tabela 13	Caracterização da bacia hidrográfica.....	59
Tabela 14	Pesos dados pelos especialistas (peso não normalizados) de 1 a 10 para cada critério e sua moda, média, desvio padrão e média expurgada.....	61
Tabela 15	Frequência de ocorrência dos pesos (1 a 10) em relação aos questionários.....	62
Tabela 16	Área da bacia e os respectivos valores.....	63
Tabela 17	Grau de urbanização.....	64
Tabela 18	Áreas com risco de inundação (BRIGUENTI, 2005).....	64
Tabela 19	Proporção de classes de capacidade de uso nas áreas não impermeabilizadas e ponderação referentes à classe e à urbanização.....	65

Tabela 20	Valoração das bacias para a capacidade de uso das terras.....	65
Tabela 21	Corredores de vegetação.....	66
Tabela 22	Densidade de cursos d'água (km/km ²).....	66
Tabela 23	Valoração do critério vazão média.....	66
Tabela 24	Extensão linear de mata ciliar (TORRES et al., 2006).....	67
Tabela 25	Diversidade de formação de vegetação nativa.....	67
Tabela 26	Presença de Unidade de Conservação (UC).....	68
Tabela 27	Densidade de vegetação nativa.....	69
Tabela 28	Fragmentação de vegetação nativa.....	69
Tabela 29	Distância da bacia até a foz.....	70
Tabela 30	Coeficiente de escoamento superficial da bacia e sua valoração.....	70
Tabela 31	Ponderação dos fatores (CES) e distância (D).....	70
Tabela 32	Capacidade regulatória de vazão na bacia do Anhumas.....	70
Tabela 33	Matriz de pesos normalizados e valores para os critérios das alternativas possíveis (Matriz Payoff).....	71
Tabela 34	Distância (I), conforme fórmula 4 e 5, calculada para as bacias segundo os dois modelos de análise multicriterial.....	74
Tabela 35	Ordem crescente de priorização para seleção da sub-bacia.....	74
Tabela 36	Área e proporção de uso e ocupação do solo em APP.....	76
Tabela 37	Tipos de APP na bacia do São Quirino, de acordo com a Lei 4771/65 e suas alterações (BRASIL, 2001).....	76
Tabela 38	Pesos finais resultantes das notas dos questionários para cada critério para priorização de recuperação de APPs, com sua moda, média, desvio padrão e média expurgada.....	83
Tabela 39	Frequência dos pesos atribuídos pelos especialistas em consulta através de questionários, para critérios para recuperação de APPs.....	84
Tabela 40	Pesos tratados pela da média e moda, normalizados.....	84

Tabela 41	Áreas prioritárias para recuperação de APP, segundo método PC, pesos tratados pela média expurgada e pela moda.....	86
Tabela 42	Áreas prioritárias para recuperação de APP, segundo método CGT, pesos tratados pela média expurgada e pela moda.....	90
Tabela 43	Áreas prioritárias para recuperação de APP, segundo a programação por compromisso (PC) e teoria dos jogos cooperativos (CGT), pesos tratados pela média expurgada.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ilustração de um corte transversal de uma planície de inundação, indicando o nível mais alto (R +), nível mais baixo (R -), Linha de crista da margem: LM (leito maior) e Lm (leito menor); e limite da APP, conforme informações de STEIN, 2006, entrevista.....	5
Figura 2	Localização da bacia do ribeirão das Anhumas, no estado de São Paulo.....	11
Figura 3	Mapa de solos da bacia do ribeirão das Anhumas (GOMES, et al. 2004).....	17
Figura 4	Mapa da bacia do ribeirão das Anhumas e a divisão de sub-bacias: 1-Alto Anhumas; 2-Córrego do Mato Dentro; 3-Médio Anhumas; 4-Córrego São Quirino 5-Baixo-Médio Anhumas; 6-Ribeirão Monte D’este e 7-Ribeirão das Pedras/baixo Anhumas (adaptado de CAMPINAS, 2005).....	23
Figura 5	Bacias hidrográficas do município de Campinas e suas sub-bacias (CAMPINAS, 2005).....	24
Figura 6	Mosaico de fotos (Foto aérea de 2001) da bacia do ribeirão das Anhumas, sub-dividida em sub-bacias, mostrando o avanço da urbanização: 1-Alto Anhumas; 2-Córrego do Mato Dentro; 3-Médio Anhumas; 4-Córrego São Quirino 5-Baixo-Médio Anhumas; 6-Ribeirão Monte D’este e 7-Ribeirão das Pedras/baixo Anhumas.....	25
Figura 7	Situação de Áreas de Preservação Permanente (APP) verificadas na bacia do ribeirão São Quirino.....	36
Figura 8	Maquete do relevo da bacia do São Quirino representando APP de topo de morro, nascentes e cursos d’água.....	37
Figura 9	Levantamento planialtimétrico na escala 1/10.000, proveniente do mapeamento cartográfico IGC (2005), mostrando a situação de APP por topo de morro, nascentes, cursos d’água e lago. Representação: 1 - Topo morro (cota 705 m), 2 – Limite da APP de topo de morro (cota 685 m), 3 - cota de base (650 m); 4 – APP; 5 – várzea (leito maior) e 6 - lago.....	37
Figura 10	Mapa de distância do critério “proximidade de floresta nativa e de maciços arbóreos”.....	39
Figura 11	Mapa de distância aos núcleos urbanos.....	41
Figura 12	Usos da terra da APP na sub-bacia do ribeirão São Quirino, na bacia do ribeirão das Anhumas.....	43

Figura 13	Mapa do critério de vulnerabilidade a erosão obtido do cruzamento dos Pis mapa de declividade e mapa de erodibilidade.....	46
Figura 14	Mapa de distância “proximidade de malha viária” mostrando as APPs e a valoração do critério.....	48
Figura 15	Mapa de critério de capacidade de sustentabilidade da vegetação nativa.....	51
Figura 16	Mapa do critério ordem de canais.....	53
Figura 17	Mapa do critério categoria de APP e a valoração de cada tipo.....	55
Figura 18	Página principal do SIG ILWIS ilustrando a espacialização do modelo de análise multicriterial Programação por Compromisso (PC). A fórmula é inserida na linha de comando (A) para processamento do mapa de priorização de APP para recuperação.....	57
Figura 19	Dispersão dos pesos obtidos por meio de questionários, após tratamento das respostas (a) média, (b) moda, para os 13 critérios.....	62
Figura 20	APP da bacia do São Quirino com vegetação secundária em estágio pioneiro de regeneração (BRASIL, 1994), com predominância da espécie <i>Gochnatia polymorpha</i>	78
Figura 21	Bacia do São Quirino: foto aérea de 1972 com seu uso e ocupação.....	79
Figura 22	Foto aérea de 2001 da bacia do São Quirino.....	80
Figura 23	Mapa de uso e ocupação do solo da APP da bacia do São Quirino e a sobreposição dos vários usos agropecuários em APP.....	81
Figura 24	Dispersão das médias de tendência central dos pesos obtidos por consulta aos especialistas, para moda (a) e média (b) dos pesos obtidos por consultas aos especialistas.....	84
Figura 25	Distribuição das prioridades levando em consideração média expurgada e moda, conforme modelo de análise multicriterial Programação por compromisso (PC).....	87
Figura 26	Mapa de priorização para recuperação de APP conforme média expurgada com o uso do método PC.....	88
Figura 27	Mapa de priorização para recuperação de APP conforme moda com o uso do método Programação por Compromisso (PC).....	88

Figura 28	Distribuição das prioridades levando em consideração média expurgada e moda, conforme método de análise multicriterial Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT).....	90
Figura 29	Mapa de priorização para recuperação de APP conforme média expurgada com o uso do método Jogos Cooperativos (CGT).....	91
Figura 30	Mapa de priorização para recuperação de APP conforme moda com o uso do método Jogos Cooperativos (CGT).....	92
Figura 31	Distribuição das frequências de áreas (%) prioritárias para recuperação de APPs, nas medidas de tendência central média expurgada (a) e moda (b) nos métodos CGT e PC.....	94
Figura 32	Distribuição das frequências de áreas (%) prioritárias para recuperação de APPs, na medida de tendência central de média expurgada, nos métodos CGT e PC utilizando os quatro critérios que obtiveram médias dos pesos mais altos: “proximidade de fragmentos e maciços”, “uso da terra”, vulnerabilidade a erosão”, e “categoria de APP”.....	95
Figura 33	Mapa de priorização para recuperação de APP conforme média expurgada com o uso do método Programação por Compromisso (PC) utilizando apenas quatro critérios: “proximidade de fragmentos e maciços”, “uso da terra”, “vulnerabilidade a erosão”, e “categoria de APP”.....	96
Figura 34	Mapa de priorização para recuperação de APP conforme moda com o uso do método Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT) utilizando apenas quatro critérios: “proximidade de fragmentos e maciços”, “uso da terra”, “vulnerabilidade a erosão”, e “categoria de APP”.....	97

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1	Ofício enviado aos analistas para o preenchimento de questionários com o objetivo de seleção de bacia prioritária para recuperação.....	104
Anexo 2	Ofício enviado aos analistas para o preenchimento de questionários com o objetivo de priorização para recuperação de APPs.....	106

FRANCISCO, Carlos Eduardo da Silva. **Áreas de Preservação Permanente na bacia do ribeirão das Anhumas: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial**, 2006. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Pós-Graduação – IAC

RESUMO

A bacia do ribeirão das Anhumas, na região de Campinas, SP, encontra-se com seus mananciais poluídos e assoreados pela falta de cobertura florestal adequada e principalmente pelo uso e ocupação irregular das Áreas de Preservação Permanente (APP). Nessas condições, o regime de vazão dos cursos d'água é alterado, promovendo enchentes sistemáticas, com prejuízos materiais e humanos, além de perda de várias outras funções ambientais dessas APPs. A recuperação ambiental de uma área degradada como essa requer um esforço abrangente, muitas vezes multidisciplinar. A análise multicriterial (AMC) é uma ferramenta que permite reunir características diversas, atribuir pesos e valores às mesmas, auxiliando na tomada de decisão. O objetivo deste trabalho foi aplicar dois métodos de AMC para otimização da seleção de uma bacia hidrográfica para estudo de recuperação ambiental em APP dentro da bacia do ribeirão das Anhumas e para identificação de APPs prioritárias para recuperação na sub-bacia selecionada. Dividiu-se a bacia do ribeirão das Anhumas em sete sub-bacias com o objetivo de selecionar uma delas como bacia-piloto para o planejamento e priorização para recuperação. Foram selecionados treze critérios de natureza ambiental para aplicação da AMC. Usaram-se os métodos de AMC Programação por Compromisso (PC) e o da Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT). A análise multicriterial foi efetiva na seleção de bacias hidrográficas para recuperação de APPs, permitindo o uso de vários fatores no julgamento, com flexibilidade. Apesar dessa objetividade, a interferência do tomador de decisão se mostrou importante para corrigir distorções na análise. Procedimentos complementares essenciais ao sucesso na AMC no contexto estudado foram evitar sobreposição conceitual de critérios, efetuar adequado julgamento de valor para os critérios e usar a experiência do tomador de decisão como complementar aos resultados obtidos com os especialistas. Numa segunda etapa, aplicaram-se oito critérios de natureza ambiental para identificar APPs prioritárias para recuperação, dentro da bacia do córrego do São Quirino. Nessa etapa, usaram-se os mesmos dois métodos para AMC, mas essa análise foi espacializada em Sistema de Informação Geográfica (SIG). A metodologia usada para inserção dos métodos AMC em SIG mostrou a viabilidade de sua espacialização. No estabelecimento de APPs prioritárias para recuperação, quando os pesos foram tratados pela média, a proporção de áreas prioritárias diferiu significativamente quando usada análise por PC de quando por CGT. O tratamento com a moda tendeu a atenuar as diferenças entre os métodos da AMC e entre áreas totais de APP para cada classe de prioridade. Quando os pesos foram tratados pela média, o método PC resultou em maior área com alta e média prioridade para recuperação e o CGT tendeu a aumentar as áreas de APP com baixa e média prioridades em relação ao PC. Essas diferenças não permitem afirmar que um método seja superior a outro, mas que, no caso estudado, um ou outro pode ser usado, a depender do objetivo desejado. Boa disponibilidade de recursos para implementar uma recuperação com urgência aponta para o uso do PC na análise, enquanto uma recuperação efetuada de forma gradual, com liberação mais lenta de recursos pode indicar que o método CGT é mais adequado.

Palavras-chave: planejamento ambiental, Programação por Compromisso, Teoria dos Jogos Cooperativos, sistema de informação geográfica (SIG), auxílio à tomada de decisão.

FRANCISCO, Carlos Eduardo da Silva. **Permanent Preservation Areas in the Anhumas watershed: establishing priorities for recovery with multicriterial analysis. 2006. 108 f** Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Pós-Graduação – IAC

ABSTRACT

The Anhumas watershed, in the region of Campinas, São Paulo State, Brazil, is degraded also as a result of unplanned land use of its Permanent Preservation Areas (APP). Therefore, river flow is unstable, promoting frequent flood damages, besides the lack of several environmental functions of its APPs. Environmental recovery of a degraded area requires a comprehensive effort, often multidisciplinary. Multicriterial analysis is a tool which allows gathering a diversity of attributes of the studied subject, weight and value them, helping in the decision making effort. This work aims to apply two methods of multicriteria analysis to optimize the selection of a watershed for environmental recovery studies of APPs in the Anhumas watershed. The Anhumas watershed was divided in seven sub-basins aiming the selection of one of those to implement an environmental planning study and to establish and rank areas that should be prioritized for recovery. Thirteen environmental criteria were selected for application of multicriteria analysis using two methods: Compromise Programming (PC) and Cooperative Game Theory (CGT). Multicriterial analysis proved effective for basin selection, but the decision maker interference was able to improve its results. Important procedures for carrying out such an analysis were to avoid conceptual overlapping among different criteria, to implement appropriate value judgment for each criterion and to use decision maker expertise to supplement weights obtained with specialists. In a second stage, eight environmental criteria were applied for identifying APP areas that should be prioritized for recovery in the São Quirino creek basin. Of the São Quirino basin's 1480 ha, 316 ha were APP. PC and CGT were successfully spatialized in a Geographic Information System (GIS). Weights treated by mean tended to increase differences between PC and CGT, whereas treatment by mode tended to attenuate differences between multicriteria analysis methods. Weight treatment by mean with PC produced more areas with high and medium priority. Weight treatment by mean with CGT increased areas of medium and low priority if compared to PC. Results of analysis indicate that each method can be used for different goals. When resources are abundant and/or there is urgency for environmental recovery, PC can be used; whereas when resource availability is limited and/or recovery can be gradual, CGT might be the recommended method.

Keywords: Anhumas creek, Compromise Programming, Cooperative Game Theory, Environmental Planning, GIS, decision making support

1 INTRODUÇÃO

Áreas de Preservação Permanente (APP) são áreas definidas e protegidas pelo Código Florestal (BRASIL, 2001) e estão localizadas em faixas marginais de cursos d'água, tanques, represas e lagos naturais; ao redor de nascentes; em topo de morros, e em declividades maiores que 100 % entre outras. Apesar dessas áreas serem protegidas por um instrumento legal, verifica-se sua ocupação irregular com agropecuária e uso urbano. Sua importância para a saúde do meio ambiente é indiscutível, “possuindo a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2001).

A grande extensão da degradação a que essas áreas de preservação estão submetidas e as consequências práticas desse fato apontam para a necessidade de recuperação desses ambientes. Todavia, a recuperação ambiental de maneira simultânea em toda área de APP é raramente viável, tornando-se necessária uma sistematização dessa, que leve em consideração a disponibilidade da mão-de-obra e, principalmente, o custo econômico da recuperação que, contraposto aos rendimentos atuais com o uso agrosilvopastoril, dificulta a persuasão do proprietário da terra a trocar o uso econômico convencional pela função ecológica das matas ciliares.

A bacia do ribeirão das Anhumas, na região de Campinas, SP, apresenta elevado grau de degradação ambiental, consequência da falta de planejamento da ocupação da terra, o que permitiu o avanço dos núcleos urbanos e industriais, de maneira desordenada, sobre áreas rurais e de APP. Apenas 5% da extensão dos cursos d'água da bacia do ribeirão das Anhumas estão cobertas com mata ciliar (TORRES et al., 2006). Como consequência, problemas de alagamentos em áreas densamente ocupadas, poluição do ar, do solo e das águas, perda de diversidade biológica, habitações em áreas de risco, dentre outros, ameaçam o ambiente e a qualidade de vida da população (BRIGUENTI, 2005; TORRES et al., 2006).

O planejamento ambiental tem como objetivo organizar uma determinada área visando um melhor desempenho, considerando sua vocação natural. Esse ordenamento pode ser realizado através da organização dos espaços em bacias hidrográficas, consideradas unidades territoriais para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Freqüentemente, 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 manejo. A análise multicriterial é um método de análise de alternativas para a resolução de problemas que utiliza vários critérios. O resultado dessa análise facilita a tomada de decisão, mostrando as alternativas prioritárias para o objetivo considerado.

A espacialização de áreas de interesse, utilizando-se sistemas de informação geográfica (SIG), conceitos da ecologia da paisagem e métodos de análise multicriterial, contribui para que, num programa de políticas públicas, seja elaborado um diagnóstico ambiental daquelas bacias e as APPs com maior grau de degradação sejam priorizadas para recuperação.

Esta dissertação vem contribuir para o diagnóstico sócio-ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão das Anhumas, em Campinas (SP), com o propósito de subsidiar a elaboração de políticas públicas para a recuperação ambiental da bacia.

Neste trabalho, objetivou-se (a) eleger uma sub-bacia, dentro da bacia hidrográfica do ribeirão das Anhumas, prioritária à recuperação ambiental, utilizando-se métodos de análise multicriterial; (b) elaborar o mapa de priorização de APP para recuperação, fazendo-se uso de SIG e análise multicriterial e (c) testar dois métodos de análise multicriterial com fins de planejamento ambiental.

O presente trabalho procura testar as hipóteses de que: (i) a Legislação Florestal não vêm sendo cumprida satisfatoriamente na bacia hidrográfica do ribeirão das Anhumas; (ii) a análise multicriterial (AMC) é uma ferramenta que pode ser utilizada na seleção de sub-bacias e no estabelecimento de APPs prioritárias para recuperação; (iii) os resultados da aplicação dos métodos de análise multicriterial PC e CGT no planejamento de APPs na bacia do ribeirão das Anhumas não diferem para seleção da bacia; (iv) os métodos de análise multicriterial PC e CGT podem ser espacializados no programa ILWIS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Legislação ambiental

A legislação ambiental brasileira contempla inúmeras leis visando a preservação da saúde do meio ambiente, dentre elas, o Código Florestal, Constituição Federal, Lei de Crimes Ambientais, Política Nacional de Meio Ambiente, entre outras. Uma das mais importante é o Código Florestal (BRASIL, 2001) que disciplina o uso e ocupação do solo das Áreas de Preservação Permanente (APP). Logo em sua introdução, o artigo 1º declara que as florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação “são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de propriedade, com as limitações que a legislação em geral e especificamente esta lei estabelecem”. Segundo MACHADO (2004) “o Código Florestal antecipou a noção de interesse difuso, e foi precursor da Constituição Federal quando conceituou meio ambiente como bem de uso comum do povo”.

No parágrafo 1º deste mesmo artigo, ainda prevê que “as ações ou omissões contrárias às disposições deste Código na utilização e exploração das florestas e demais formas de vegetação são consideradas uso nocivo da propriedade, aplicando-se, para o caso, o procedimento sumário no artigo 275, inciso II do Código de Processo Civil”. Portanto, a propriedade tanto localizada na área urbana como na área rural, deve ser utilizada conforme critérios previstos pela legislação ambiental. Seu uso nocivo será coibido através de procedimentos administrativos, cíveis e criminais.

O Código Florestal brasileiro foi editado em sua primeira versão em 1934 e já possuía alguns conceitos de preservação de áreas marginais a cursos d’água, porém não fixava distâncias mínimas a serem preservadas. Em 1965, a lei 4771 definiu as distâncias a serem preservadas das margens dos córregos e rios, deixando, entretanto, sem definições os critérios de distâncias e os parâmetros de proteção para tanques e represamentos artificiais; nascentes e topo de morro. Para cursos d’água com até 10m de largura, a faixa mínima prevista em cada lado da margem, era de 5m. Com a edição da Lei Federal 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (BRASIL, 1979), que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, o legislador já entendia que esta faixa de apenas 5m não era suficiente para cumprir o seu objetivo proposto e agregou uma faixa de 10m como “*non aedificandi*”, estendendo a uma faixa total de 15m nas áreas urbanas (BELTRÃO,

2006-entrevista; BORDIGNON JUNIOR, 2006-entrevista). A lei 7.511, de 7 de julho de 1986, alterou a faixa mínima de preservação permanente de 5 para 30 m de largura para cursos d'água de até 10 m de largura (BRASIL, 1986).

A Resolução do CONAMA nº 4, de 18 de setembro de 1985 (BRASIL, 1985), revogada pela Resolução do CONAMA 302, de 20.3.2002 (BRASIL, 2002), enquadrava as Áreas de Preservação Permanente como Reservas Ecológicas e definiu critérios e parâmetros para as Áreas de Preservação Permanente de lagoas, lagos ou reservatórios de água naturais ou artificiais; de nascentes; topos de morro, montes e montanhas; bordas de chapadas e declarou como de preservação permanente as encostas com declividade superior a 100% ou 45°.

Atualmente, a Lei Federal 4771/65, alterada pela lei 7803/89 (BRASIL, 1989) e medida provisória 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, artigo 2º, e Resolução CONAMA 302/02 e 303/02 (BRASIL, 2002) define as faixas de preservação permanente da seguinte forma:

Tabela 1 – Áreas de Preservação Permanente (APP)

CRITÉRIOS							
LARGURA DO CURSO D'ÁGUA (m)					RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS		
					ÁREA DO ESPELHO D'ÁGUA (ha)		
	menos 10	10 a 50	50 a 200	200 a 600	URB. CONS*.	RURAL	
					> 20	<20	> 20 < 20
APP	30	50	100	200	30	100	15
SITUAÇÃO	NASCENTES	LAGOS NATURAIS	DECLIVIDADES	TOPO MORROS (elevação > 50 m e declividade >30%)	MONTANHAS/ SERRAS (elevação > 300 m; independe da declividade)		
	APP	50 m	50 m	> 100%	TERÇO-SUPERIOR/LINHA DE CUMEADA	TERÇO-SUPERIOR/LINHA DE CUMEADA	

* Área urbana consolidada (Resolução do CONAMA 302 e 303/02)

Essas áreas protegidas, as APPs, “localizadas em cada posse ou propriedade, são bens de interesse nacional e espaços territoriais especialmente protegidos, cobertos ou não por vegetação, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2001;

BRASIL, 2006). Assim, um agricultor que renovar seu pasto ou efetuar o cultivo em APP infringirá os dispositivos da lei, tanto do Código Florestal (BRASIL, 2001), bem como, da lei dos Crimes Ambientais (BRASIL, 1998).

A delimitação das APPs é feita em faixa marginal e a partir do nível mais alto das águas (BRASIL, 2001). Entende-se como nível mais alto (R +) a ruptura de declividade positiva que define a crista da margem (LM), situada ao sopé das encostas adjacentes (Figura 1). Esta situação caracteriza a planície de inundação ou planície aluvial de um curso d'água ligadas aos cursos fluviais e comumente chamadas de várzeas, que têm como característica principal sofrerem cheias no período de maior pluviosidade. Quando, por exemplo, essas várzeas naturais são modificadas por obras hidráulicas de drenagem para fins agrícolas, com o rebaixamento do lençol freático e alterada sua condição natural de sazonalidade, então, por critério adotado pelos órgãos ambientais competentes, a APP, nesses casos, é delimitada a partir do leito menor (Lm), ou seja, do nível mais baixo das águas. Isto não elimina, conforme diz a lei, a obrigação de delimitar a APP a partir do nível mais alto das águas (LM), ou seja, a partir do limite da planície de inundação (STEIN, 2006-entrevista).

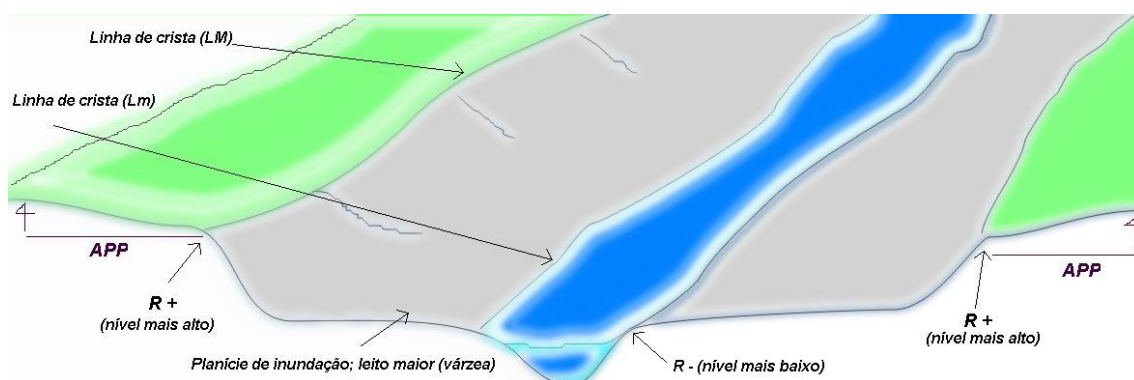


Figura 1 – Ilustração de um corte transversal de uma planície de inundação, indicando o nível mais alto (R +), nível mais baixo (R -), Linha de crista da margem: LM (leito maior) e Lm (leito menor); e limite da APP, conforme informações de STEIN, 2006-entrevista.

O limite da faixa de APP pode ser ampliado em razão da largura média da calha menor de um determinado trecho do curso d'água sofrer um aumento. Por exemplo, no caso da bacia do ribeirão das Anhumas a faixa mais extensa de APP é de 50m, pois a largura média medida num determinado trecho da foz do ribeirão foi de 16m. No entanto, se a largura média a montante da foz do ribeirão das Anhumas for menor que

10 metros, a faixa de APP neste trecho passará a ser de 30 metros, e assim, sucessivamente.

Uma situação problemática é a das nascentes intermitentes, ou seja, aquelas nascentes onde o afloramento do lençol freático ocorre apenas na época de maior pluviosidade. Estas são “medidas num raio mínimo de 50m de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte” (BRASIL, 2001; BRASIL, 2002). Essa condição, que é prevista e protegida em lei e que, no entanto, por sofrerem alterações adversas do meio ambiente, como desmatamentos, uso agrícola das APPs, impermeabilização do solo a montante das cabeceiras decorrentes da urbanização e inobservância de práticas de conservação do solo, entre outras, podem secar definitivamente ou enquanto perdurarem as interferências e os desequilíbrios.

Nos casos comprovados de modificações das condições naturais da nascente, recomenda-se uma análise geológica e/ou pedológica para justificar a eventual inexistência de água e a perda da função de recarga do aquífero. Vale ressaltar, que caso esta distância mínima de 50 m não estiver sendo suficiente para proteger a bacia hidrográfica contribuinte, esta faixa de APP poderá ser ampliada. Geralmente, este procedimento é realizado nos órgãos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado São Paulo (DEPRN) através de uma consulta a assessoria de geologia para avaliar se esse raio mínimo é suficiente para preservação das condições ecológicas da nascente (BORDIGNON JUNIOR, 2006-entrevista).

Como informado anteriormente, o Código Florestal (BRASIL, 2001) não define os limites de APPs para reservatórios artificiais e lagoas naturais. A Resolução do CONAMA 4/85 (BRASIL, 1985) definiu os limites de APPs dessas situações, distinguindo áreas urbanas de áreas rurais. Para áreas rurais estipulava-se uma faixa de APP de 50 m para represamentos com até 20 ha de espelho d'água e 100 m de APP para represamentos maiores que aquela superfície. Em áreas consideradas urbanas a faixa de APP era reduzida de 100 para 30 m, em se tratando de espelho d'água com superfície superior a 20 ha. Porém, como não se definiram critérios para as áreas urbanas (BRASIL, 1985), invariavelmente essas faixas eram reduzidas de 100 para 30 m quando localizadas em áreas de expansão urbana. Atualmente, essas questões estão ultrapassadas com a Resolução do CONAMA 302/02 (BRASIL, 2002), que para áreas urbanas consolidadas define faixa de APP de 30 m e para áreas rurais 100 m, para espelho d'água com superfície superior a 20 ha e 15 m as faixas de APPs para

represamentos com espelhos d'água inferiores a 20 ha (Tabela 1), se localizadas em áreas rurais.

Outras situações de APPs definidas pela legislação (BRASIL, 2001; BRASIL, 2002) são as de topo de morros, montanhas e serras. Inicialmente para delimitar a APP de topo de morro tem que caracterizar a situação de morro, que é definido como a “elevação do terreno com cota de topo em relação à base entre 50 e 300 m e declividade na encosta de maior declive maior que 30%”. Para delimitar a APP dividi-se a altitude do morro por 3, demarcando o terço-superior no terreno. Quando se verifica uma sequência de morros a menos de 500 m um do outro é formada uma linha de cumeeada, que é o divisor de águas (BRASIL, 2002). Em se tratando de serras e montanhas com elevação superior a 300 m, a delimitação do limite de APP no terço-superior independe da declividade (STEIN, 2006-entrevista).

Existem outros espaços protegidos pela legislação ambiental que são as Reservas Legais e as Unidades de conservação. A Reserva Legal é definida como “área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas” (BRASIL, 2001). Esta lei, bem como, BRASIL (2006) e SÃO PAULO (2006) definem e regulamentam seu uso e recomposição.

Conforme a lei 9.985, de 18 de julho de 2000, “unidade de conservação (UC) é definida como o espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção”. Ainda, segundo essa mesma lei, as UC estão divididas em dois grupos diferentes, e os mesmos subdivididos em categorias de unidades de conservação distintas:

I – Unidades de Proteção Integral: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio da Vida Silvestre;

II – Unidades de Uso Sustentável: Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável, e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

2.2 Geoprocessamento e Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Geoprocessamento é definido como “a tecnologia de coleta e tratamento de informação espacial e de desenvolvimento de sistemas que o utilizam” (RODRIGUES, 1988).

O objetivo principal do geoprocessamento, segundo CÂMARA et al. (1996), é o de fornecer ferramentas computacionais para o tratamento de informação geográfica. Estas ferramentas chamadas de “sistema de informação geográfica” (SIG) armazenam a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica. O SIG possui as seguintes características: integrar numa única base de dados cartográficos, dados de censo e cadastros urbanos e rurais, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como, para consultar, recuperar, visualizar e *plotar* o conteúdo da base de dados geocodificados.

Os SIGs, segundo ALVES (1990), são destinados ao tratamento de dados referenciados espacialmente (georreferência). Estes sistemas permitem a manipulação dos dados de diversas fontes como mapas, imagens e cadastros. O SIG permite ampla utilização dos dados no planejamento urbano regional, estudo de recursos naturais, análise multitemporal, avaliação e caracterização de bacias hidrográficas, e servir de suporte a decisão em ambiente SIG (CÂMARA et al., 1996).

2.3 Análise 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 características tão diversas, 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 (FIDALGO, 2003; ZUFFO, 1998).

Existe um grande número de métodos de análise multicriterial para auxílio à tomada de decisão. Diferentes métodos geralmente representam diferentes formas de aproximação para a tomada de decisão. A seleção do método depende do problema particular considerado, das preferências do tomador de decisão e de muitos outros fatores. ZUFFO et al. (2002) testaram cinco métodos de análise multicriterial para auxílio à tomada de decisão em planejamento de recursos hídricos: método da Programação por Compromisso, método da Teoria dos Jogos Cooperativos; método Analítico Hierárquico e outros dois métodos baseados nas relações hierárquicas (Electre II e Promethee II). Foram incorporados à análise 20 critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Dentre nove alternativas de tomada de decisão examinadas, cinco métodos apontaram para a mesma alternativa ideal, e quatro deles também coincidiram na indicação de uma segunda alternativa, mostrando a adequabilidade da utilização de diferentes técnicas de análise multicriterial na tomada de decisão em projetos de caráter ambiental.

Os métodos de análise multicriterial podem ainda ser trabalhados em ambiente SIG, facilitando e tornando mais factíveis os trabalhos dos tomadores de decisão em planejamento ambiental. A comparação espacial em ambiente SIG com imagens no formato *raster* de alternativas de manejo em uma planície fluvial é apresentada conceitualmente como um problema de tomada de decisão com abordagem multicriterial por TKACH & SIMONOVIC (1997). A análise das estratégias de manejo da planície fluvial da região do vale do “Red river” é escolhida como um estudo de caso para ilustrar a técnica de “programação de compromisso” em ambiente SIG. Conforme esses autores, uma técnica de tomada de decisão multicriterial foi desenvolvida combinando a técnica convencional de “programação de compromisso” com tecnologia SIG. Esta nova técnica é referida pelos autores como “programação de compromisso espacial” (SCP). A principal contribuição da técnica proposta é sua habilidade em atender a distribuição espacial desigual dos valores dos critérios na avaliação e ordenação das alternativas. SCP é usada para determinar a melhor alternativa para cada locação geográfica dentro da região de interesse.

THINH & HEDEL (2004), descrevem uma extensão da “programação de compromisso” (PC) na “programação de compromisso” *fuzzy* (FCP). Para isso, combinam a modelagem *fuzzy*, a “programação de compromisso” (PC) e o SIG, criando um ambiente *fuzzy* de “programação de compromisso” para avaliação ecológica de opções de uso da terra com um programa AML.

VALENTE (2005), empregou a abordagem multicriterial em ambiente SIG, com o método da média ponderada ordenada, para combinação de fatores (características da paisagem) importantes ao objetivo do projeto. O método multicriterial utilizado em ambiente SIG foi o “processo hierárquico analítico” (AHP). Este método, conforme SAATY (1994), baseia-se na comparação par-a-par dos critérios considerados.

Para identificação de áreas para recomposição florestal, FERRAZ et al. (2003), desenvolveu uma metodologia para aplicação dos conceitos de ecologia da paisagem no planejamento do uso da terra em áreas de reflorestamento por meio da utilização de SIG. Para tanto, estabeleceu cinco critérios para determinação de áreas para recomposição: fertilidade de solos, vegetação nativa existente, corpos d’água, declividade e suscetibilidade a erosão. Esses fatores foram analisados, empregando-se os recursos de análise multicriterial, em ambiente SIG. Ressalta-se que nos trabalhos acima citados os modelos de análise multicriterial já faziam parte do programa do SIG.

Em função do exposto, acredita-se que a espacialização da análise multicriterial em SIG possa ser útil no planejamento ambiental em áreas degradadas e em outras áreas que necessitem maior atenção com enfoque ambiental, dentre as quais as APPs.

2.4 – Vegetação nativa e uso da terra

As Áreas de Preservação Permanente que perderam sua cobertura florestal nativa e encontram-se degradadas pelo uso intensivo da agropecuária podem ser recuperadas mediante isolamento das condições antrópicas com o objetivo de propiciar a regeneração natural das espécies nativas. Essa condição é satisfeita quando, nas proximidades da área a ser recuperada existir remanescente de vegetação nativa de forma que os meios bióticos ligados à flora e fauna estejam presentes e consigam atuar como precursores de banco de sementes e plântulas. O estabelecimento desse banco de semente é realizado pelos agentes dispersores como, por exemplo, a avifauna, morcegos e o vento (CRESTANA et al., 2004).

Em experimento conduzido em APP localizada em bioma de cerrado, (LIMA & RODRIGUES, 2006-entrevista) verificaram a regeneração abundante de espécies dos estágios sucessionais pioneiros com predominância de quatro espécies nativas, em área cultivada há anos com cana-de-açúcar. Observaram através deste estudo que fragmentos de vegetação nativa distante 50m da APP podem propiciar um significativo aporte de sementes para a área a ser recuperada.

Com a finalidade de recuperação de bacia hidrográfica, VALENTE (2005) priorizou a união dos fragmentos florestais nativos, independente do seu tamanho, de modo a restabelecer a conectividade entre os mesmos. Desse modo, quanto mais próximo um fragmento do outro, maior prioridade se deu para escolha desses fragmentos para recuperação visando a interligação dos mesmos.

Nos principais tipos de uso do solo, conforme estudo de BERTONI et al. (1999), pastagens, culturas anuais e perenes (Tabela 2) tiveram diferenças significativas nas perdas de solo e água, em comparação com o solo protegido com mata.

Tabela 2 – Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão (BERTONI et al., 1999).

Tipo de uso	Perdas de	
	Solo	Água
	toneladas/ha	% da chuva
mata	0,004	0,7
pastagem	0,4	0,7
cafezal	0,9	1,1
algodão	26,6	7,2

JOLY et al. (2001), no Projeto Jacaré-Pepira, para demonstrar a eficiência da mata ciliar na conservação da estabilidade do solo, reproduziram três situações distintas (solo exposto, pastagem e mata), verificando perdas de sedimento por erosão na ordem de 15.900, 245,57 e 0,896 kg/ha/ano, respectivamente. Ou seja, no solo exposto ocorreram perdas de aproximadamente 16 toneladas/ha/ano de solo em detrimento de apenas 900 g/ha/ano em situação de solo coberto com mata ciliar.

Alguns solos são mais susceptíveis a processos erosivos do que outros, mesmo quando o uso, declividade, precipitação e as práticas de conservação são as mesmas. Portanto, a erodibilidade mede a diferença existente entre os solos em decorrência das suas propriedades intrínsecas. A erodibilidade é influenciada pelas seguintes propriedades do solo: (a) as que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de retenção de água; (b) as que resistem às forças de dispersão, ao impacto das gotículas de água, à abrasão e às forças de transporte pela chuva e escoamento superficial (BERTONI et al., 1999).

3 MATERIAL E MÉTODO

Esse capítulo está dividido em duas partes, a primeira relaciona-se ao material e método utilizados para a seleção de sub-bacia piloto com o objetivo de recuperação e a segunda descreve os métodos utilizados para priorizar a recuperação ambiental de Áreas de Preservação Permanente (APP) daquela bacia visando a sua adequação à legislação florestal.

3.1 Caracterização física da área de estudo

3.1.1 Localização

A bacia hidrográfica do ribeirão das Anhumas está delimitada pelas coordenadas UTM, zona 23, de 22° 45'01" a 22°56'11" S e 46°58'42" a 47°07'01" W (Figura 2), correspondendo a uma superfície de 15.024,82 ha, aproximadamente 150 km². Tem sua maior parte inserida no município de Campinas e uma pequena parte no município de Paulínia (TORRES et al., 2006).

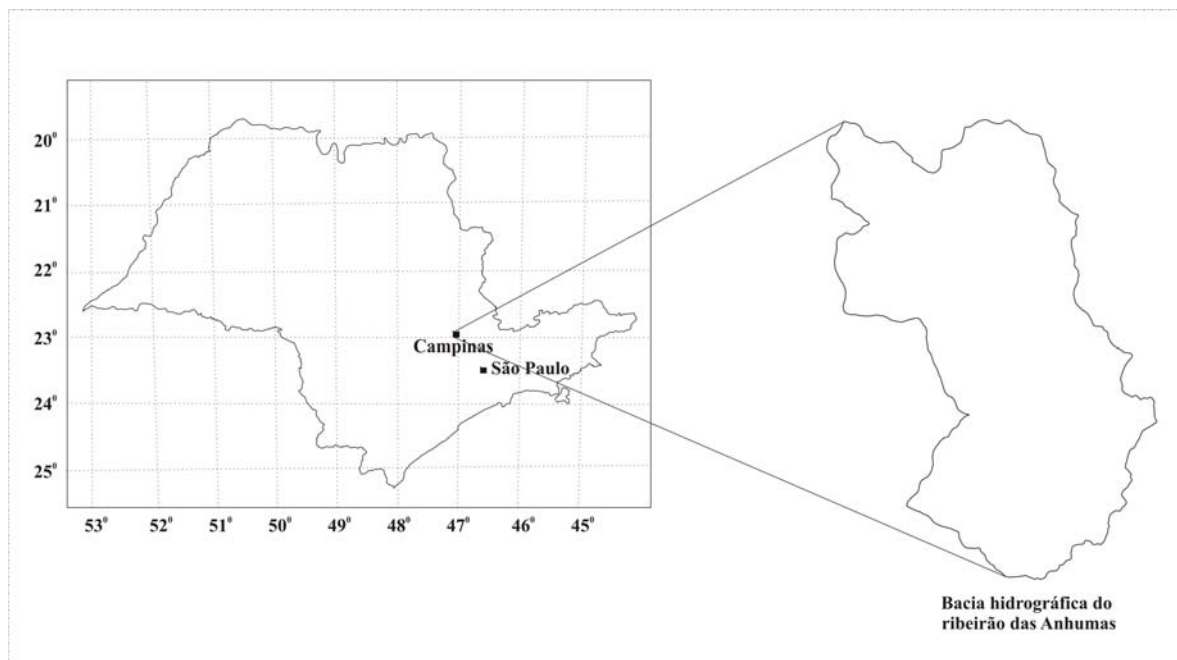


Figura 2 - Localização da bacia do ribeirão das Anhumas, no estado de São Paulo.

3.1.2 Relevo

A bacia do ribeirão das Anhumas situa-se em uma área de transição entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica Paulista. Ao norte e ao nordeste da bacia ocorre, predominantemente, relevo de colinas amplas, que se apresenta como uma superfície contínua e pouco dissecada, com inclinação em direção ao rio Atibaia. Ao leste encontra-se relevo de colinas médias e amplas, as quais apresentam-se mais elevadas à medida que esse relevo é sustentado por rochas mais resistentes, o que caracteriza relevo de colinas e morrotes. Ao oeste, encontra-se o relevo de colinas amplas. Ao sul, encontram-se colinas pequenas e morrotes, que apresentam blocos rochosos esparsos por todo o terreno, que refletem o substrato gnáissico que os suporta. Ao longo da bacia, as planícies aluvionais apresentam, com raras exceções, superfícies reduzidas (INSTITUTO GEOLÓGICO, 1993).

3.1.3 Clima

Os dados relativos ao clima da bacia foram os obtidos no posto meteorológico da Fazenda Santa Eliza, do Instituto Agrônomo. A distribuição pluvial segue o regime típico das zonas tropicais de baixa altitude, ou seja, verão chuvoso e inverno seco. Os dados de temperatura assinalam valores inferiores a 18 °C durante o inverno e superiores a 24 °C durante o verão, sendo junho o mês mais frio (17,1 °C) e janeiro o mais quente (23,1 °C). Os dados dos valores médios de temperatura do ar e da precipitação pluvial encontrados permitem identificar o clima, segundo o sistema de Köppen, como do tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de inverno seco (Tabela 3).

Tabela 3 – Balanço hídrico normal compensado de Campinas, SP (674 m, 22°54'lat.S, 47°05'long. W). Armazenamento de água no solo igual a 125 mm.

Mês	Temp	ETo	Prec	Saldo	Neg.Acu.	Armazen.	ETr	Deficit	Exced.
	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Mm
Jan	23,1	113	240	127	0	125	113	0	127
Fev	23,5	102	191	89	0	125	102	0	89
Mar	23,0	102	147	45	0	125	102	0	45
Abr	21,1	77	71	-6	6	119	77	0	0
Mai	18,7	57	65	8	0	125	57	0	2
Jun	17,4	47	49	1	0	125	47	0	1
Jul	17,3	46	37	-9	9	116	46	0	0
Ago	18,9	60	37	-23	32	97	57	3	0
Set	20,1	71	66	-5	37	93	70	1	0
Out	21,2	87	124	36	0	125	87	0	4
Nov	22,0	97	138	41	0	125	97	0	41
Dez	22,5	107	217	110	0	125	107	0	110
Ano	20,7	966	1382	414	N.A.*	N.A.	962	4	419

* N.A.: não aplicável

Fonte: SAAE(1959/87) e Centro de Ecofisiologia e Biofísica – IAC

3.1.4 Geologia

De acordo com levantamento realizado pelo INSTITUTO GEOLÓGICO, (1993), a região da bacia hidrográfica do ribeirão das Anhumas está assentada, ao oeste, sobre diabásios de idade jurássico-cretácea, que ocorrem sob a forma de *sills*, gnaisses do período Proterozóico Médio (complexo Itapira), aluviões do período Quaternário e, em menor proporção, hornblenda-biotita granitos (suíte granítica Jaguariúna) referidos ao Proterozóico Superior. Ao leste da bacia predominam gnaisses bandados ou indiferenciados e, em pequena proporção, milonitos/protomilonitos/ultramilonitos (Zona de Cisalhamento de Campinas) referidos ao Proterozóico Superior/Cambro-Ordoviciano e aluviões de idade quaternária. Na porção sul da bacia predominam os gnaisses do Proterozóico Médio (Complexo Itapira), seguidos em extensão por ritmitos turbóticos e arenitos de idade carbonífera-permiana (Subgrupo Itararé), com pequena ocorrência de aluviões do Quaternário. Na porção norte, predomina os sedimentos (diamictitos, arenitos e ritmitos) do subgrupo Itararé, seguidos de diabásios e, pequena proporção (~20 %) de gnaisses, granitos e aluviões. Na porção central da bacia ocorrem diamictitos do subgrupo Itararé, diabásios, granitos e gnaisses, seguidos em extensão de arenitos do subgrupo Itararé, milonitos e aluviões.

3.1.5 Solos

Os solos mapeados na bacia hidrográfica do ribeirão das Anhumas (GOMES et al., 2004) distribuem-se em cinco ordens dentro do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999): Latossolos, Argissolos, Gleissolos, Nitossolos e Neossolos (Figura 3).

Os Latossolos ocupam cerca de 48 % nas porções centro-oeste, norte e nordeste. Estes solos são acentuadamente drenados (Latossolos argilosos) a fortemente drenados (latossolos de textura média) e muito profundos. A saturação por bases é variável, observando-se desde solos com elevada saturação por alumínio (distróficos álicos) até aqueles com saturação por bases elevada (eutróficos). Os latossolos eutróficos na área são aqueles cujo material de origem tem maior influência do diabásio, e ocorrem na porção centro-oeste da bacia estudada. A textura dos latossolos é, mais freqüentemente, argilosa, podendo ser encontrados latossolos de textura média no norte e nordeste da bacia, quando influenciados por sedimentos da formação Itararé, e latossolos de textura muito argilosa, quando mais influenciados por materiais originários do diabásio (latossolos vermelhos eutroféricos e distroféricos). Em algumas unidades de solo mapeadas, os latossolos ocorrem em associações ou com inclusões de Nitossolos.

Os Argissolos ocupam cerca de 48 % da área da bacia com ocorrência mais representativa em suas porções leste, sudeste e sul. Estes solos apresentam textura variável de arenosa a média, em superfície, sobre média a argilosa, em subsuperfície. Sua saturação por bases é, na maioria dos casos, baixa (distróficos), encontrando-se, porém, pequena proporção de argissolos com média a elevada saturação do complexo de troca por cátions básicos (eutróficos) em áreas de relevo mais ondulado com litologia gnáissica ou granítica (sudeste e centro-oeste da bacia), em associação com Neossolos Litólicos ou não, e também em áreas com grande influência do diabásio, no noroeste da bacia, próximo à foz do Anhumas no rio Atibaia. Os Argissolos na bacia são em geral profundos e, mais raramente, pouco profundos, estes últimos nas áreas de relevo mais ondulado relacionadas ao embasamento cristalino. São solos mais freqüentemente bem drenados, quando de textura mais grossa (e.g. arenosa/média) e pequena relação textural B/A, ou bem moderadamente drenados, quando com relações texturais B/A mais elevadas (GOMES et al., 2004)

No mapa de solos da bacia hidrográfica (GOMES et al., 2004), as unidades de mapeadas como Gleissolos ocupam cerca de 4 % da superfície, nas várzeas do ribeirão

das Anhumas e de seus afluentes, sendo mais freqüentes ao longo do canal principal (ribeirão das Anhumas), principalmente no médio e baixo curso. São solos com elevada variabilidade em suas propriedades intrínsecas, tais como profundidade, textura e fertilidade natural. As unidades de Gleissolo na área mapeada apresentam, com freqüência, inclusão de Neossolos Flúvicos, não ocorrendo os Neossolos, porém, como componente principal em nenhuma unidade de solo da bacia.

3.1.6 Uso e cobertura do solo

Os dados de uso e cobertura do solo foram obtidos do mapa de Uso e Cobertura do Solo da bacia do ribeirão das Anhumas (TORRES et al., 2006). Na bacia do ribeirão das Anhumas verifica-se a ocupação mais antiga de Campinas, e 50 % de sua área encontra-se com urbanização consolidada. Esse mapa baseou-se no mosaico de fotos aéreas do ano de 2001 e imagem de satélite CBERS e abril de 2005. Apesar de ter sido usado o mapa preliminar, com checagem de campo ainda incompleta para alguns usos (p.ex., vegetação nativa/reflorestamento), considerou-se sua exatidão suficiente para o presente estudo.

3.1.7 Remanescente de vegetação nativa

Apesar de se verificar alguns remanescentes de cerrado, o município de Campinas está inserido no domínio de mata Atlântica (IBGE, 1993). Segundo CHRISTOFOLETTI & FEDERICI (1972), a cobertura vegetal de Campinas era originalmente constituída por florestas, campos cerrados e cerrados. Atualmente, cerca de 95 % da vegetação nativa remanescente de Campinas é constituída pelas matas (KRONKA et al., 2005). Dos 159 fragmentos remanescentes do município de Campinas identificados por SANTIN (1999), 33 ocorrem na bacia do ribeirão das Anhumas (TORRES et al., 2006). A Reserva Municipal da Mata de Santa Genebra, com 250,36 ha de área total, é o maior fragmento do município de Campinas, mas como se encontra em um divisor de águas, apenas 40,46 ha da reserva está dentro da bacia do ribeirão das Anhumas.

Em conjunto, mesmo considerando toda a Reserva Municipal da Mata de Santa Genebra, os remanescentes de vegetação nativa ocupam uma área muito reduzida, apenas 445,55 ha, ou seja, 2,96 % do território da bacia do ribeirão das Anhumas. Essa porcentagem é próxima à que encontramos para o município como um todo, onde a vegetação nativa cobre uma área de apenas 2,6 %, segundo os dados de (KRONKA et al., 2005).

Dos 33 fragmentos ocorrentes na bacia do ribeirão das Anhumas, 31 são constituídos por remanescentes de floresta estacional semi-decidual, apenas um é de cerrado, um constitui-se numa área de transição entre floresta estacional semi-decidual e cerrado e sete de floresta paludosa (TORRES et al., 2006). Existem atualmente apenas seis fragmentos de cerrado em todo o município, o que corresponde a irrisórios 3,3% da vegetação remanescente. Os campos cerrados, formação associada à origem do nome da cidade (“Campinas do Mato Grosso”), já não existem mais no município (SANTIN, 1999).

3.1.8 Hidrografia urbana

Segundo TORRES et al. (2003), os córregos localizados nas áreas centrais encontram-se canalizados ou revestidos, recebendo esgoto sem tratamento (córrego Proença e Orozimbo Maia). Os dois principais cursos d’água da cabeceira urbanizada do ribeirão das Anhumas são o córrego Proença e o córrego Orozimbo Maia. Ambos recebem a maior parte das águas pluviais e do esgoto domiciliar da região central da cidade. A área drenada por estes afluentes caracteriza-se por ser densamente urbanizada e impermeabilizada (TORRES et al., 2006).

O córrego Proença possui sua nascente no bairro Jardim Itatiaia, e drena parte da área central da cidade e do bairro Cambuí, recebendo as águas do sistema de drenagem e de esgoto desses bairros. No seu início, na avenida Princesa D’Oeste, o córrego encontra-se canalizado e, posteriormente, revestido parcialmente e com vias expressas marginais. Após o cruzamento com a avenida Moraes Sales, onde se inicia a avenida José de Souza Campos (via Norte-Sul), o córrego possui em seu entorno, ao longo de aproximadamente 300m, uma área que foi integrada à estrutura urbana como área verde. As praças Augusto César e Ralph Stettinger são um exemplo de uso mais adequado das margens do córrego, embora a mata ciliar não esteja preservada. No entanto, a jusante, ao longo da via Norte-Sul, o córrego foi novamente canalizado e aterrado, numa tentativa de se evitar as cheias no local. A avenida expressa e o comércio localizado nas áreas marginais sofrem sazonalmente com o problema, pois vários pontos críticos de alagamentos, com enxurradas invadindo vias e comércios, podem ser identificados ao longo da Norte-Sul (TORRES et al., 2006).

Mas é no encontro do córrego Proença com o córrego Mato Dentro, onde se forma o Anhumas, que se verifica, nitidamente, o descaso de longa data do poder

público em relação às condições naturais, de infra-estrutura e com a população que reside próxima às margens do ribeirão das Anhumas. Neste curso d'água, que dá nome à bacia, são registradas as mais frequentes e graves cheias, devido ao padrão social da população atingida (TORRES et al., 2006).

Uma das áreas mais atingidas pelas enchentes localiza-se na rua Moscou, conhecida como favela da Moscou, na margem esquerda do ribeirão das Anhumas, no bairro Parque São Quirino. Nessa área há uma grande concentração de moradores, com muitas residências nas margens do ribeirão. Pouco acima, na margem direita do Anhumas, localiza-se a foz do córrego Brandina, que vem da região do “Shopping Center” Iguatemi e do bairro Vila Brandina, junto à avenida Carlos Grimaldi. Nessa região, quando da ocorrência de chuvas intensas, há um grande aumento no volume e na vazão do ribeirão, devido à contribuição desses afluentes. Pode-se, também, constatar na área o assoreamento do ribeirão das Anhumas, com a formação de um grande banco de areia, o que ocasiona o alagamento de vias, residências e campos de futebol marginais (TORRES et al., 2006).

O bairro Parque Imperador, próximo à foz do córrego São Quirino, no ribeirão das Anhumas, localizado no médio Anhumas, em consequência de fortes chuvas foi drasticamente atingido na enchente do dia 17/02/03, em função, principalmente, do rompimento de represas artificiais localizadas em áreas rurais próximas (TORRES et al., 2006).

Todos esses afluentes de 1ª, 2ª e 3ª ordens e o ribeirão das Anhumas (4ª ordem) vão abastecer o rio Atibaia, considerado de 5ª ordem, importante manancial regional e formador do rio Piracicaba.

3.2 Seleção de bacias hidrográficas para recuperação de APP

3.2.1 Critérios

Para a seleção das bacias hidrográficas levou-se em consideração 13 critérios, descritos abaixo, considerados relevantes por serem indicadores dos aspectos representatividade, fragilidade, contribuição ao regime das águas e potencial para recuperação das bacias.

3.2.1.1 Área da sub-bacia

A área da sub-bacia é um critério correlacionado com a superfície de captação de água superficial, possibilidade de maior diversidade de usos, entre outras, todos importantes para produção de água na bacia. O critério pressupõe que quanto maior a área maior é a importância da bacia.

Os dados planialtimétricos utilizados provêm das cartas topográficas (IGC) escala 1:10.000, de onde elaborou-se o mapa-base digital (TORRES et al., 2006). A partir do mapa-base digital, e utilizando SIG, foi efetuada a divisão da bacia do ribeirão das Anhumas em sete bacias hidrográficas, partindo-se inicialmente na divisão adotada pela Secretaria de Planejamento, Desenvolvimento Urbano e meio Ambiente (CAMPINAS, 2005). Os critérios utilizados para a divisão foram: divisor topográfico de águas e os limites das áreas urbanizadas (Figura 4).

A bacia do ribeirão das Anhumas é oficialmente dividida, conforme SEPLAMA (CAMPINAS, 2005) (Figura 5), em 6 sub-bacias – córregos Proença e Mato Dentro, no alto curso; o próprio ribeirão das Anhumas junto com o córrego São Quirino, no médio-baixo curso; o médio Anhumas; o ribeirão das Pedras; o córrego da Fazenda Monte d’Este, e afluentes da margem esquerda do rio Atibaia. A área pertencente ao município de Paulínia corresponde à porção localizada na face noroeste, limitada pelo ribeirão das Anhumas entre sua foz no rio Atibaia e a foz do córrego da Fazenda do Quilombo, pelo córrego da Fazenda do Quilombo e pelo contraforte de sua nascente (do córrego da Fazenda do Quilombo) até o limite da bacia.

Com exceção da sub-bacia delimitada a partir da margem esquerda do rio Atibaia, para efeito desse projeto às sub-bacias denominadas córrego Proença/Mato

Dentro e afluentes da margem esquerda e direita (córrego São Quirino) do Médio Anhumas foram subdivididas em quatro sub-bacias, levando em consideração os limites das áreas densamente urbanizadas. Optou-se por esta divisão com o objetivo de discriminar as áreas com aglomerados urbanos das áreas menos urbanizadas.

A delimitação das sub-bacias e sua área foram obtidas com uso do SIG, usando-se os planos de informação hidrografia e curva de nível (Figura 4).

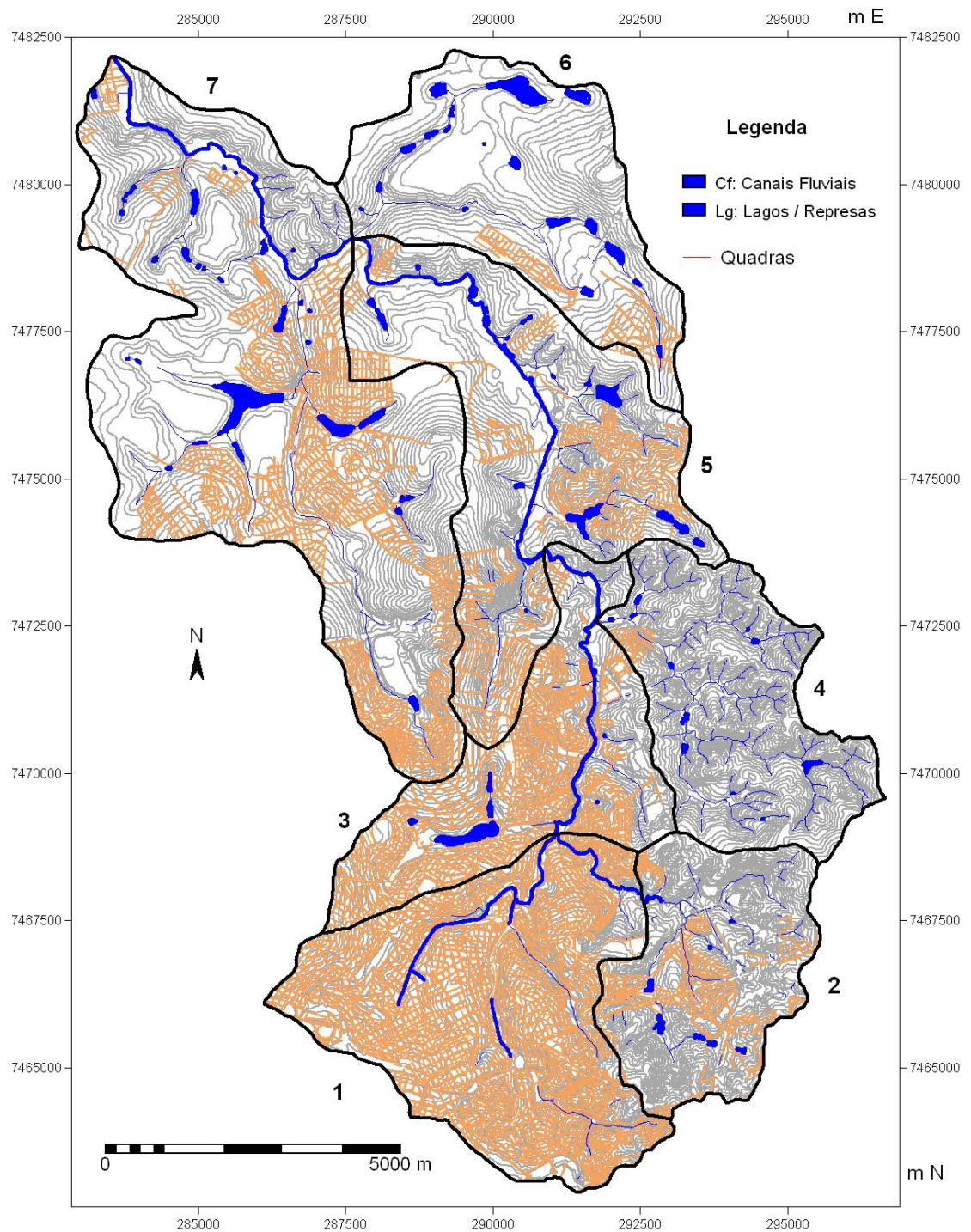


Figura 4 – Mapa da bacia do ribeirão das Anhumas e a divisão de sub-bacias: 1-Alto Anhumas; 2-Córrego do Mato Dentro; 3-Médio Anhumas; 4-Córrego São Quirino 5-Baixo-Médio Anhumas; 6-Ribeirão Monte D’este e 7-Ribeirão das Pedras/baixo Anhumas (adaptado de CAMPINAS, 2005)

3.2.1.2 Grau de urbanização das bacias

O grau de urbanização da bacia está correlacionado com aumento da impermeabilização do solo e tubulação dos cursos d'água, com diminuição significativa da área das APPs. Aliado a este fator, a urbanização freqüentemente está associada com a degradação dessas APPs em consequência de depósito de lixo, fogo, corte seletivo e desmatamento. Procurou-se neste trabalho dar prioridade para aquelas bacias com menor grau de edificação, refletido por uma maior proporção de atividades agro-silvo-pastoris (Figura 6).

Em SIG, usou-se o mapa de uso e cobertura do solo (TORRES et al., 2006) para quantificar, em cada bacia o uso denominado urbanização, representado por edificações, arruamentos e quadras, mesmo que não impermeabilizadas. Bacias com menor grau de urbanização refletido por uma maior proporção de atividades agro-silvo-pastoris foram consideradas mais relevantes para o objetivo de recuperação.

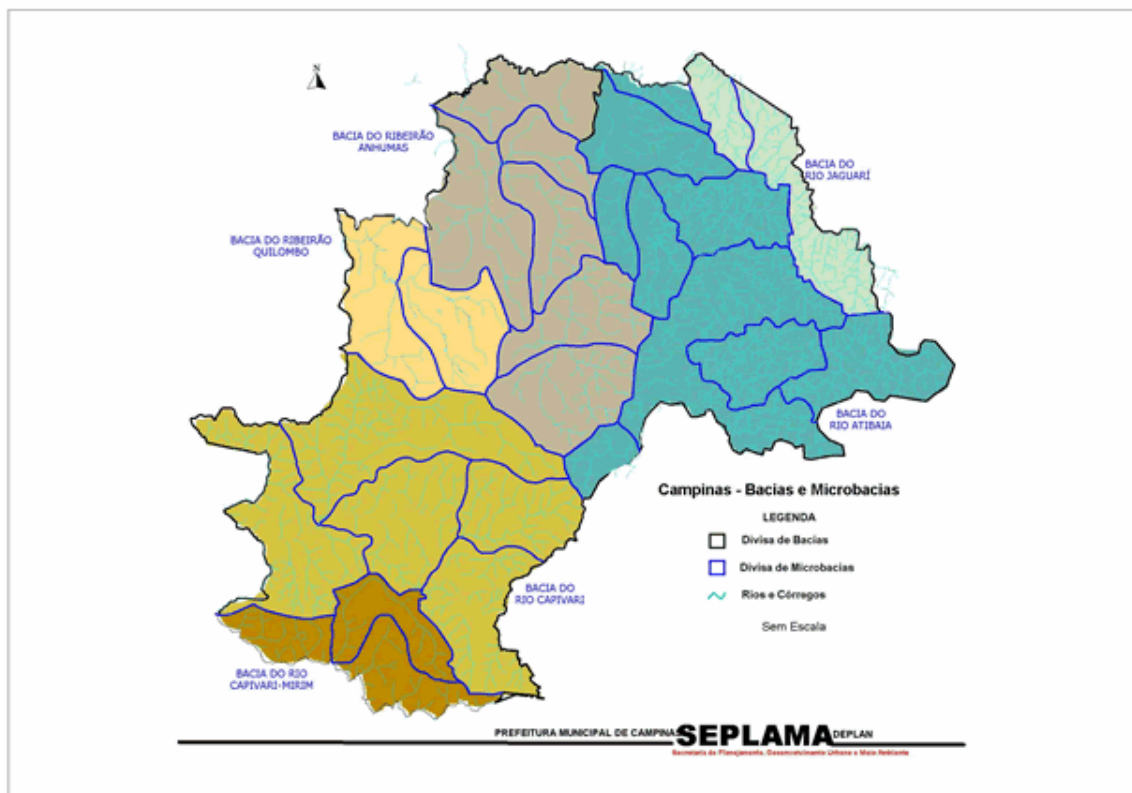


FIGURA 5 - Bacias hidrográficas do município de Campinas e suas sub-bacias (CAMPINAS, 2005).

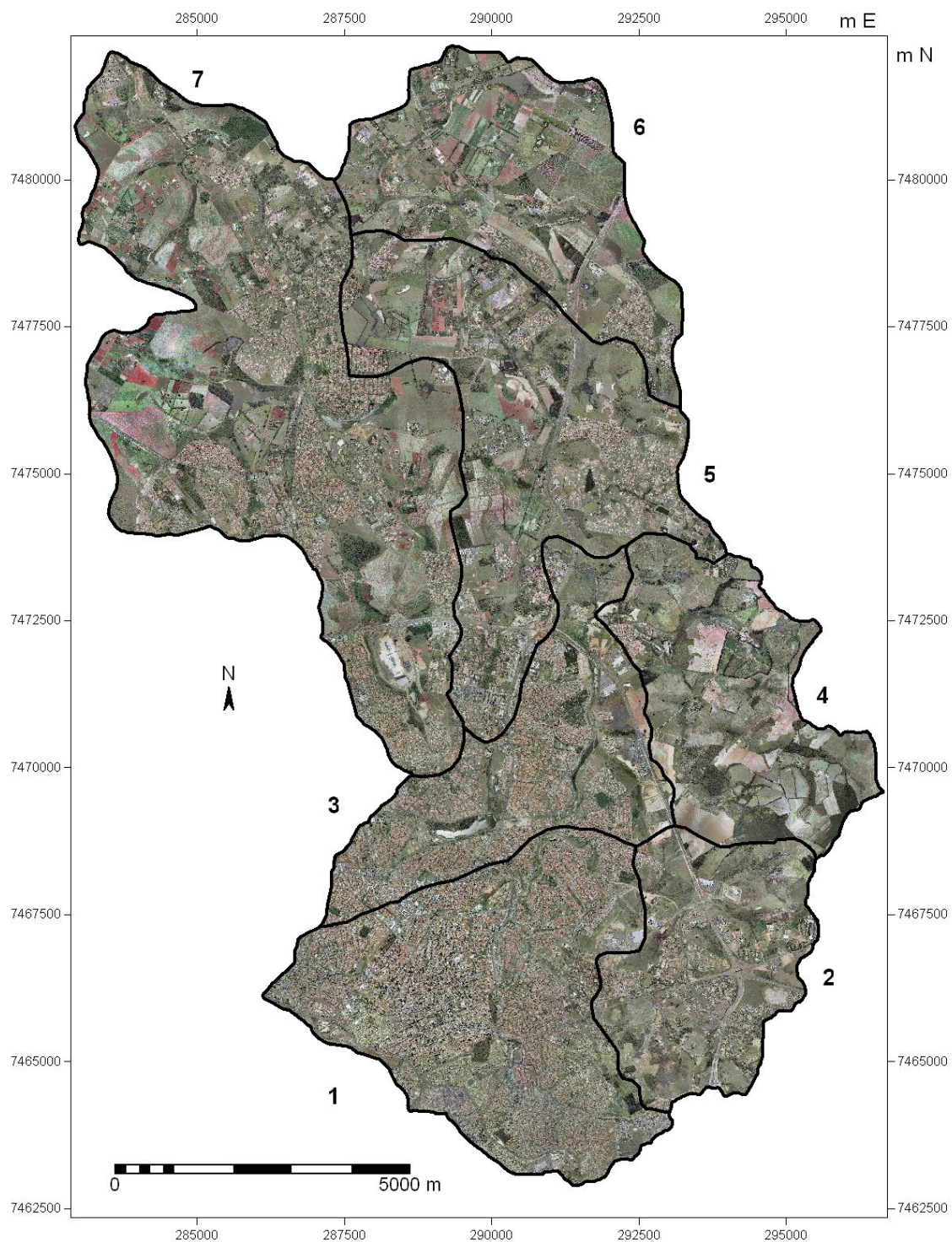


Figura 6 – Mosaico de fotos (Foto aérea de 2001) da bacia do ribeirão das Anhumas, sub-dividida em sub-bacias, mostrando o avanço da urbanização: 1-Alto Anhumas; 2-Córrego do Mato Dentro; 3-Médio Anhumas; 4-Córrego São Quirino 5-Baixo-Médio Anhumas; 6-Ribeirão Monte D'este e 7-Ribeirão das Pedras/baixo Anhumas.

3.2.1.3 Áreas com risco de inundação

Áreas com risco de inundação geralmente refletem o tipo de relevo da bacia e a cobertura do solo. Um elevado grau de impermeabilização de cabeceiras e cursos d'água aumenta drasticamente sua vazão nos períodos de chuva. Quanto maior for a extensão linear de pontos de enchente em uma bacia, maior será a prioridade para seleção dessa bacia para recuperação. Os dados de áreas com risco de inundação foram obtidos de BRIGUENTI (2005).

3.2.1.4 Classe de Capacidade de Uso da Terra

Fatores de solo, erosão e água são importantes características que definem a classe de capacidade de uso predominante. Segundo LEPSCH et al. (1983) classe de capacidade de uso refere-se à associação de terras com a mesma intensidade de limitação, ou seja, terras com as mesmas restrições de uso e/ou perigos de depauperamento do solo em intensidades e uso semelhantes.

As classes de capacidade de uso estão divididas em oito, e caracterizadas por algarismos romanos (I a VIII), aumentando as restrições de uso e exigências de conservação de solo em ordem crescente da numeração (LEPSCH et al., 1983). Dessa forma, quanto maior a classe de capacidade de uso, maior será as chances de degradação do solo e, portanto, mais prioritária para recuperação.

As classes de capacidade de uso foram obtidas com o uso de SIG, mediante combinação das unidades de mapeamento de solo (GOMES et al., 2004) com as classes de declive preconizadas por LEPSCH et al. (1983), sendo a extensão de ocorrência de cada classe quantificada.

3.2.1.5 Corredores de vegetação

A APP coberta com vegetação nativa melhora as condições de vida da população, contribuindo com mais área verde e de lazer, maior permeabilidade, infiltração da água e favorece a amenização da temperatura ambiente. Foi dada prioridade para a seleção daquelas bacias com APPs com menor uso urbano e, assim, passíveis de recuperação, bem como para aquelas com projetos de parques lineares instituídos pelo poder público. Os dados para essa informação foram obtidos em SIG

por meio dos planos de informação de uso e ocupação do solo (TORRES et al., 2006).

3.2.1.6 Densidade de cursos d'água

A área e a forma da bacia, associada à densidade de cursos d'água, tipo de solo, substrato geológico, relevo, clima e cobertura vegetal, são aspectos importantes que identificam a capacidade de produção de água. A densidade de cursos d'água é um critério que identifica a bacia com maior proporção de APP a ser recuperada por área, já que grande parte das APPs está ao longo de cursos d'água ou em suas nascentes. Densidade de cursos d'água é definida como a razão entre o comprimento total dos canais (km) e a área da bacia hidrográfica (km²). A mensuração da extensão linear de cursos d'água de cada bacia foi obtido em ambiente SIG utilizando-se do plano de informação da hidrografia (TORRES et al., 2006).

3.2.1.7 Vazão média

A vazão média é um outro critério importante que permite avaliar, segundo TUCCI (1993), os limites superiores do uso da água de um manancial para as diferentes finalidades. A vazão média (m³/s) foi estimada através da área da bacia, total anual médio precipitado na bacia hidrográfica e outros parâmetros regionais, conforme SÃO PAULO (2005). O critério considera que bacias com maior vazão possuem maior prioridade para o estudo, porque teoricamente estas têm maior potencial de produção de água e, assim, maior potencial de regular a vazão do rio.

3.2.1.8 Matas ciliares

As APPs “possuem a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora e proteger o solo” (BRASIL, 2001). No entanto, estas APPs que deveriam estar cobertas com matas ciliares para atender a sua vocação natural, encontram-se desprotegidas e degradadas por desmatamentos, usos agrícolas e urbanização. De uma maneira geral, os mananciais encontram-se com suas Áreas de Preservação Permanente praticamente descobertas de vegetação nativa. Em especial, o ribeirão das Anhumas e afluentes que fazem parte da bacia refletem o estado de degradação dessas APPs. Segundo SANTIN (1999) e TORRES et al. (2006), de 56.352 m de extensão de cursos d'água verificados

na bacia do ribeirão das Anhumas apenas 2.726 m estão cobertos com matas ciliares (Tabela 4).

Tabela 4 – Córregos da bacia do ribeirão das Anhumas e extensão destes com mata ciliar (TORRES et al., 2006).

Cursos d'água	Extensão linear total (m)	Extensão linear com mata ciliar (m)
Ribeirão das Anhumas	21.120	236
Córrego Proença	7.195	0
Córrego Mato Dentro	5.170	0
Córrego São Quirino	5.481	0
Córrego da Faz. Monte D'Este	7.686	1880
Ribeirão das Pedras	9.700	610
TOTAL	56.352	2.726

Este critério estabelece que quanto menor a extensão de cursos d'água coberta com matas ciliares em uma bacia, maior a sua importância. Isto visa o aumento de APPs recuperadas com mata ciliar, ou seja, visa reduzir a fragilidade dessas APPs. Os dados de extensão linear de matas ciliares existentes nas bacias foram obtidos do estudo da vegetação remanescente do município de Campinas (SANTIN, 1999; TORRES et al., 2006).

3.2.1.9 Diversidade de formações florestais

A diversidade de formações florestais, bem como a sua distribuição natural em uma bacia e a possibilidade de conectividade entre os fragmentos, são características importantes para o aumento do fluxo gênico entre as espécies, através da dispersão de sementes e do intercâmbio de pólen (JANZEN, 1970, apud KAGEYAMA et al.; 2003), e terão alta prioridade para seleção de uma bacia para recuperação.

Na bacia do ribeirão das Anhumas foram identificados, três tipos diferentes de formações florestais: floresta estacional semidecidual, floresta paludosa (ou floresta brejosa) e cerrado (SANTIN, 1999; TORRES et al., 2006). Essa diversidade foi considerada para a aplicação do critério.

3.2.1.10 Presença de Unidades de Conservação (UC)

A presença de UC na bacia foi interpretada como um sinal do poder público que indica a necessidade de uma maior atenção para este local, pois a lei 9985 de julho de 2001, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (BRASIL, 2001) prevê a regulamentação dessas unidades especiais e institui prazos para elaboração de zoneamento e plano de manejo de seu entorno, através da criação de uma faixa de proteção, visando possibilitar a conectividade dessas unidades com as formações florestais e matas ciliares adjacentes. Portanto, a existência dessas unidades distribuídas na bacia pressupõe uma maior importância para seleção da bacia visando sua recuperação. As Unidades de Conservação foram identificadas nas bacias conforme levantamento de SANTIN (1999) e SÃO PAULO (2000).

3.2.1.11 Densidade de vegetação nativa

Representa a proporção de vegetação nativa em relação à área total de cada bacia. Quanto maior a densidade de vegetação nativa, maior será a possibilidade de permeabilidade da matriz e conectividade da paisagem, e mais propícias serão as condições para a recuperação da área (METZGER, 2003). Desse modo, quanto maior a densidade de vegetação nativa na bacia hidrográfica, maior será sua importância para a recuperação. O critério foi calculado através da razão da área de fragmentos vegetais pela área da bacia considerada.

3.2.1.12 Fragmentação da vegetação nativa

A fragmentação da vegetação nativa representa a distribuição dos fragmentos florestais dentro da sub-bacia. Quanto maior a quantidade de fragmentos dispersos, maiores as possibilidades destes servirem de trampolim ecológico (CULLEN et al., 2003) para avifauna e morcegos dispersarem sementes. O critério representa a quantidade de fragmentos florestais por 10 km². Quanto maiores esses valores, maiores serão as possibilidades de conectividade entre os fragmentos e maior a importância da bacia para seleção.

3.2.1.13 Distância da sub-bacia à foz do ribeirão das Anhumas

Esse critério mede a influência indireta que bacias a montante exercem sobre aquelas bacias a jusante. Sub-bacias mais distantes da foz do ribeirão das Anhumas, e conseqüentemente, mais à montante, terão prioridade para seleção, pois podem contribuir benéficamente para a diminuição de enxurrada, fazendo a água infiltrar no solo, regulando mais a vazão do curso d'água que bacias a jusante. Isto será favorecido se essa bacia também possuir baixa taxa de impermeabilização. O critério é medido linearmente (km) do limite da sub-bacia no sentido a jusante, ao longo da drenagem até a foz do ribeirão Anhumas no rio Atibaia. A extensão linear da linha de drenagem, bem como a identificação das porções urbanizadas, foram obtidas através do SIG, utilizando-se do plano de informação de hidrografia e uso e ocupação do solo (TORRES et al., 2006).

3.2.2 Análise multicriterial

Para a seleção de uma, entre as diversas sub-bacias da bacia do ribeirão das Anhumas para o estudo de recuperação ambiental, foi necessário o uso de uma metodologia que considerasse os vários critérios envolvidos nesse julgamento. Por isso, adotou-se a análise multicriterial, em que foram aplicados dois métodos pertencentes à família conhecida como "Programação Matemática Multiobjetivo" (Pardalos et al., 1995): o método da Programação por Compromisso e o da Teoria dos Jogos Cooperativos. Ambos os métodos fazem uma ponderação de cada critério, que diz respeito à importância deste para o objetivo desejado.

3.2.2.1 Pesos dos critérios

A ponderação do critério no método de análise multicriterial é dada pelo seu peso. Para estimativa dos pesos dos critérios foi enviada uma mensagem eletrônica com um resumo do projeto e um questionário a ser preenchido com pesos (escala de 1 a 10) a profissionais de diferentes áreas (Geoprocessamento, Conservação do Solo e Recursos Naturais), todos com experiência no estudo e diagnóstico em bacias hidrográficas.

Quatro dos especialistas são engenheiros agrônomos e um é biólogo, todos eles pesquisadores do Instituto Agronômico de Campinas.

Para aplicação da análise multicriterial, as pontuações obtidas para cada critério foram agrupadas em uma matriz multicritério (matriz “*payoff*”). Os pesos correspondem à moda e à média expurgada dos pesos atribuídos pelos especialistas a cada critério, de acordo com resultados apresentados no item 4.1.1.

A média expurgada relaciona-se à média dos pesos que satisfizeram a condição:

$$\bar{x} - dp \leq \alpha_i \leq \bar{x} + dp, \quad (1)$$

onde:

\bar{x} é a média dos pesos dos especialistas, para o critério “i”;

dp é o desvio padrão dos pesos;

α_i é o peso sugerido pelos especialistas para o critério “i”.

Para facilitar a análise dos resultados, cada peso, após extraído dos questionários e tratado estatisticamente, foi dividido pelo somatório dos pesos.

3.2.2.2 Método Programação de Compromisso (*Compromise Programming - PC*)

Este método baseia-se no conceito do Teorema de Pitágoras (distância métrica), onde entre dois pontos as coordenadas são conhecidas (ZELENY, 1982, apud ZUFFO et al., 2002). Segundo ZUFFO (1998), o método procura minimizar a distância de todos os pontos possíveis de ocorrer em relação a um determinado ponto selecionado pelo responsável de tomar a decisão (DM), caracterizado como “ponto ideal”. O tomador de decisão, agente de decisão, traduzido do inglês *Decision Maker*, DM, é o responsável por executar a decisão (GOMES, 2002). Neste trabalho, o DM estipula um valor, numa escala de 1 a 5, para cada critério. Esse valor, termo $f_i(x)$ da equação (4), é estabelecido com base na condição específica daquele critério dentro da alternativa ou cenário considerado. Por outro lado, a importância relativa dos critérios, discriminados por pesos que variam de 1 a 10, foi atribuída pelos especialistas que responderam aos questionários e está representada na equação (4) pelo termo α_i .

A demonstração matemática desse problema é apresentada a seguir, baseando-se em ZUFFO (1998).

Uma solução ideal é definida pela maximização da função objetivo:

$$f^* = \text{Max } f_i(x) \quad (2)$$

O vetor f_i^* onde os seus valores são todos máximos é chamado de “vetor ideal”:

$$f^* = (f_1^*, f_2^*, f_3^* \dots f_n^*) \quad (3)$$

Esta distância é medida pela família métrica “ls”, definida por:

$$l_s(x) = \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i^s \left| \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right|^s \right)^{1/s} \quad (4)$$

em que:

α_i é o peso atribuído a cada critério i;

$f_{i,w}$ é o pior valor obtido para o critério i;

f_i^* é o melhor valor obtido para o critério i;

$f_i(x)$ é o resultado da implementação da decisão x considerando o critério i;

$l_s(x)$ é a distância entre a solução obtida com o cenário x e a solução ideal; e

S é uma proporcionalidade aplicada aos desvios, sendo $1 \leq S \leq \infty$. Neste trabalho foi escolhido o valor $S = 1$, de forma a manter todos os desvios de f_i^* proporcionais às suas magnitudes.

3.2.2.3 Método da Teoria dos Jogos Cooperativos (*Cooperative Game Theory-CGT*)

No método da Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT), ao contrário do método PC, a solução ideal é aquela que maximiza a distância de um determinado ponto de nível mínimo, onde a medida de distância utilizada é a geométrica (GERSHON & DUCKSTEIN, 1983, apud ZUFFO et al., 2002).

A função da distância utilizada é dada por:

$$l_s(x) = \prod_{i=1}^n |f_i(x) - f_i^*|^{\alpha_i} \quad (5)$$

onde:

$f_i(x)$ é o resultado da implementação da decisão x considerando o critério i ;

f_i^* é o menor valor obtido para o critério i ;

α_i é o peso atribuído a cada critério i ;

$l_s(x)$ = distância entre a solução obtida com o cenário x e a solução ideal.

Os cenários considerados na etapa Seleção de Sub-Bacias deste trabalho foram as sete sub-bacias.

3.3 Áreas de Preservação Permanente: priorização para recuperação

Na bacia selecionada, conforme descrito anteriormente, foi realizado um estudo detalhado mediante identificação e quantificação do uso das APPs, com o objetivo de verificar a adequação do uso em relação à legislação florestal vigente e priorizar algumas dessas áreas para recuperação utilizando-se do SIG e de métodos de análise multicriterial para auxiliar na tomada da decisão. Para isso, foi necessária a elaboração de planos de informação para compor os mapas de critérios.

3.3.1 Planos de informação

Conforme MOREIRA (2003) no sensoriamento remoto o banco de dados geográficos é organizado em projetos, possuindo cada um destes as informações espaciais e não espaciais memorizadas, segundo sua categoria, em planos de informações (PIs).

No presente projeto os PIs são formados pelos mapas básicos e darão origem aos mapas de critérios que, por sua vez, constituirão outros planos de informação.

3.3.1.1 Uso e cobertura do solo da bacia selecionada (bacia do São Quirino).

Esse plano de informação foi adaptado de mapa de uso e cobertura do solo da bacia do Ribeirão das Anhumas, elaborado por TORRES et al. (2006), que se baseou na interpretação do mosaico de fotos aéreas ano 2001 e atualização a partir de imagem de satélite CBERS (abril de 2005). Apesar de ser um mapa preliminar, pois não houve checagem de campo para todos os usos (p.ex., floresta/reflorestamento) até a apresentação desse trabalho, considerou-se sua exatidão suficiente para a finalidade.

3.3.1.2 Vegetação nativa e maciços arbóreos

A confirmação da existência de três fragmentos de vegetação nativa na bacia selecionada (do São Quirino) se baseou em estudos de campo efetuados ao longo deste trabalho e em dados de TORRES et al. (2006). Esses fragmentos de vegetação nativa possuem 18,95 ha, 2,94 ha e 4,29 ha, respectivamente. O primeiro é o resultado de uma recuperação com espécies nativas implantada em meados de 1958-60 e encontra-se atualmente degradado, misturando-se a um antigo reflorestamento de eucalipto. O segundo, próximo ao primeiro, já havia sido identificado por SANTIN (1999), e é resultante da regeneração natural de um antigo reflorestamento de eucalipto. O terceiro fragmento localiza-se no dorso de uma situação de APP por topo de morro e é caracterizado como floresta estacional semi-decidual. Apesar dos dois primeiros fragmentos serem oriundos de recomposição florestal, devido ao seu atual elevado grau de regeneração natural com espécies nativas, foram considerados fragmentos de vegetação nativa no presente estudo.

Outros oito pequenos fragmentos de vegetação nativa foram verificados na bacia, porém, constatando-se baixa biodiversidade e diversificado com espécies exóticas. Estes pequenos fragmentos denominaram-se de maciços arbóreos e são considerados importantes para priorização da recuperação das APPs por favorecer a conectividade entre fragmentos.

3.3.1.3 Núcleos urbanos

O plano de informação distância de “núcleos urbanos” foi obtido a partir da delimitação de uma faixa de 200 metros de influência no entorno da bacia (*buffer*). A partir deste “*buffer*” e utilizando-se o mosaico de fotos aéreas de 2001, auxiliado pelo plano de informação do sistema viário (TORRES et al., 2006), delimitou-se com o SIG os aglomerados urbanos.

3.3.1.4 Declividade

O plano de informação declividade foi elaborado a partir do modelo digital de elevação do terreno da bacia (TORRES et al., 2006).

3.3.1.5 Erodibilidade dos solos

O plano de informação erodibilidade do solo foi elaborado a partir de informações dos tipos de solos (GOMES et al., 2004) existentes na bacia selecionada, julgados pelos atributos do solo: permeabilidade do perfil, estrutura, teor de carbono, granulometria (TORRES et al., 2006), parâmetros utilizados para o cálculo da erodibilidade pelo nomograma de WISCHMEIER & SMITH (1978).

3.3.1.6 Malha viária

O plano de informação “malha viária” foi adaptado de TORRES et al. (2006), selecionando-se somente as vias principais de acesso, sendo eliminados os caminhos e carregadores das culturas, pois considerou-se que estes últimos interferem menos nos processos erosivos, em relação às vias de acesso principal.

3.3.1.7 Capacidade de sustentação da vegetação nativa

O PI de capacidade de sustentação da vegetação nativa foi elaborado a partir da interpretação do mapa de solos da bacia para os fatores deficiência de fertilidade, deficiência de água e deficiência de oxigênio, usados para avaliação da aptidão agrícola das terras, segundo RAMALHO FILHO et al. (1978).

3.3.1.8 Áreas de Preservação Permanente (APP)

O mapa de APPs foi elaborado com SIG, utilizando-se dos planos de informação hidrografia, curvas de nível e leito maior sazonal (várzeas). Para os cursos d'água com até 10 m de largura delimitou-se a APP de 30 m de cada lado, tendo como ponto de referência o “nível mais alto” das águas (BRASIL, 2002). Para nascentes mediu-se raio mínimo de 50 m; para lagos e tanques, 15 m do entorno (Figura 7).

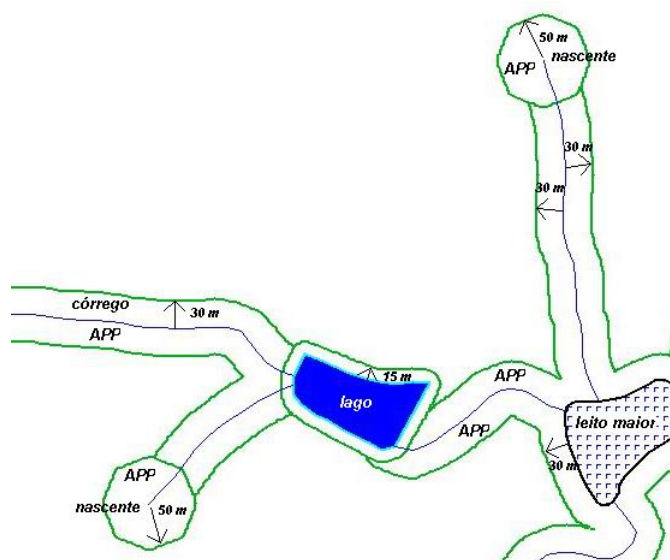


Figura 7 – Situação de Áreas de Preservação Permanente (APP) verificadas na bacia do ribeirão São Quirino.

No caso de morro a APP foi delimitada na curva de nível correspondente ao limite do terço-superior. A cota de base (650 m) e a cota de topo do morro (705 m) estão ilustradas nas figuras 8 e 9. A diferença entre as duas cotas representa a elevação do morro. A declividade na parte de maior declive (42%) foi achada dividindo-se a elevação do morro (55 m) pela distância horizontal do topo até a base (130 m). Para encontrar o terço-superior de APP, a elevação do terreno (55 m), foi dividida por 3 e subtraída da cota de topo (705 m) do que resulta o nível limite da APP. Para delimitar a extensão do terço-superior da APP por topo de morro marcou-se uma distância de 500 m a partir do topo, finalizando neste ponto, pois as condições requeridas para morro não foram encontradas na situação subsequente.

Para melhor entendimento em relação a delimitação de APP por topo de morro foi construída uma maquete (Figura 8) representando parte do relevo da bacia do São

Quirino na escala de 1/5.000 (vertical) e 1/1.000 (horizontal), com exagero na escala vertical de 5 vezes.

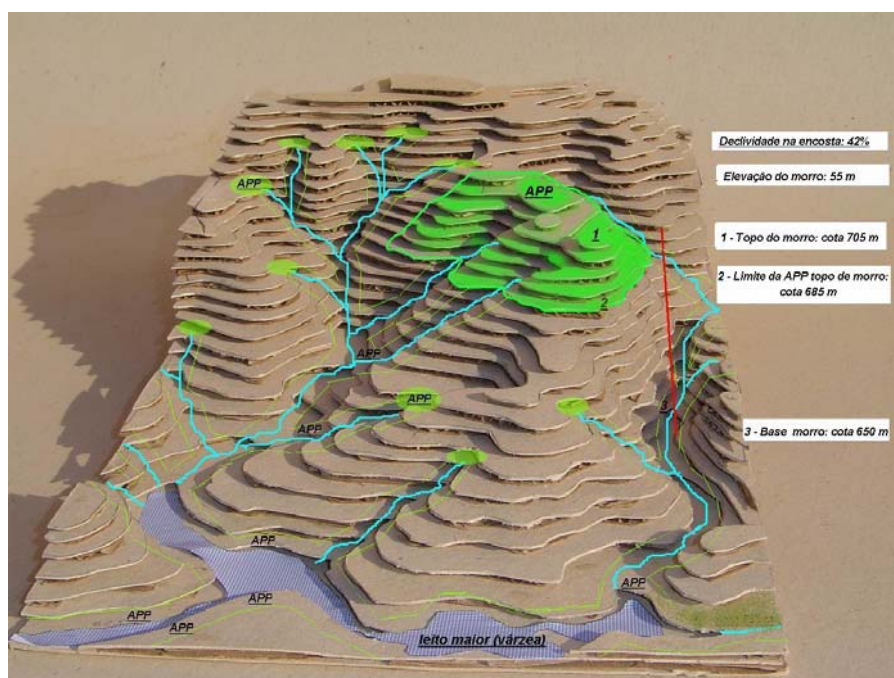


Figura 8 – Maquete do relevo da bacia do São Quirino representando APP de topo de morro, nascentes e cursos d'água.

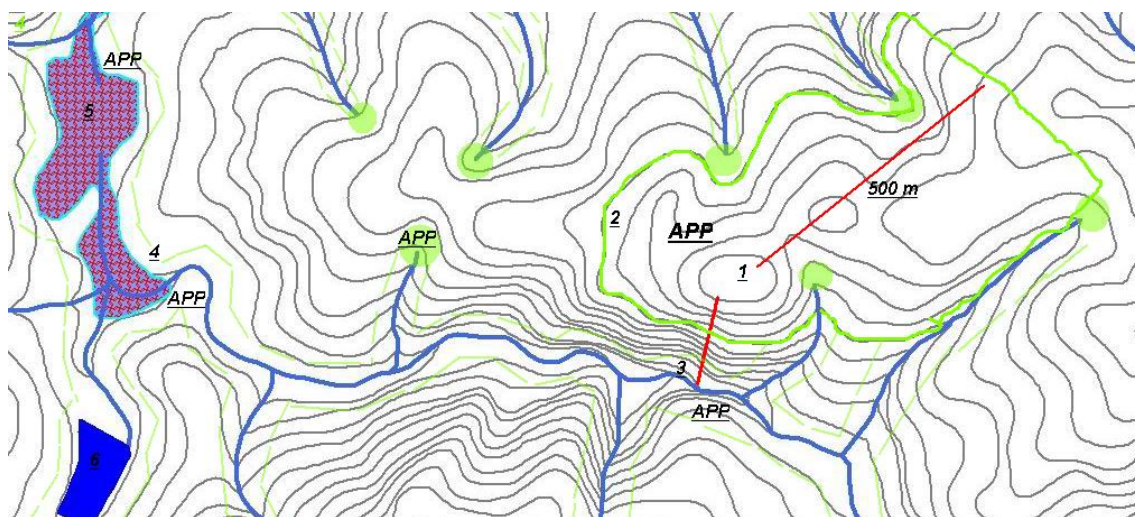


Figura 9 – Levantamento planialtimétrico na escala 1/10.000, proveniente do mapeamento cartográfico IGC (2005), mostrando a situação de APP por topo de morro, nascentes, cursos d'água e lago. Representação: 1 - Topo morro (cota 705 m), 2 - Limite da APP de topo de morro (cota 685 m), 3 - cota de base (650 m); 4 - APP; 5 - várzea (leito maior) e 6 - lago.

3.3.1.9 Leito maior (várzea)

No caso em estudo, por se tratar de Gleissolos, o plano de informação “leito maior” foi gerado a partir do mapa de solos (GOMES et al., 2004). Os solos identificados como Gleissolos possuem uma relação direta com as planícies de inundação, encontrando-se normalmente saturados de água em alguma época do ano pela proximidade do lençol freático e/ou pela sazonalidade das cheias da drenagem natural. A presença dos mesmos foi confirmada em campo e seus limites foram utilizados como linha do leito maior sazonal, a partir dos quais se traçou as APPs correspondentes (Figura 9).

3.3.2 Mapa de critérios

A definição dos critérios baseou-se em revisão de literatura, a exemplo de VALENTE (2005), FERRAZ et al. (2003), SIMÕES et al. (1999), OLIVEIRA et al. (2003) entre outros.

Usando-se os planos de informação descritos anteriormente, elaboraram-se os mapas de critérios, demonstrados a seguir.

3.3.2.1 Proximidade de vegetação nativa

Para a elaboração do mapa do critério de proximidade de remanescente de vegetação nativa (Figura 10) utilizou-se o plano de informação “vegetação nativa e maciços arbóreos” e, através do SIG, foi gerado um mapa de distâncias. Esse mapa foi combinado ao limite da bacia e, em seguida as distâncias foram normalizadas (escala 1 a 2) através de uma função linear decrescente. Ficou estabelecido um limite mínimo de 50 m de distância, medidos da borda do fragmento de vegetação nativa, para que este fragmento florestal tivesse alguma influência na ocorrência de chuva de sementes na APP dando maior prioridade para recuperação àquelas áreas que estiverem localizadas mais próximas e dentro desse raio de ação.

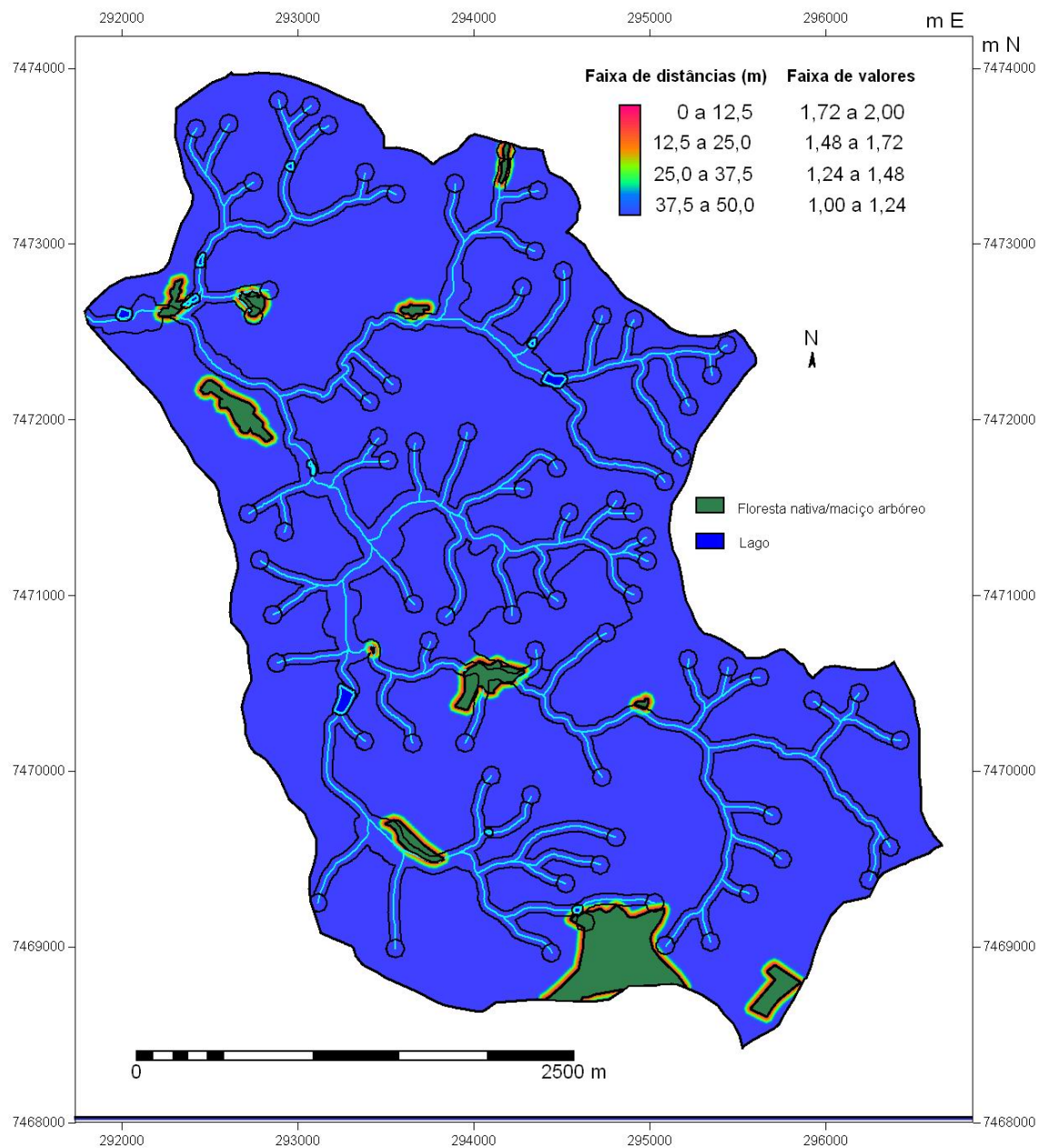


Figura 10 - Mapa de distância do critério “proximidade de floresta nativa e de maciços arbóreos”.

3.3.2.2 Proximidade de núcleos urbanos

Segundo VALENTE (2005), para a manutenção da biodiversidade e sucesso das ações de conservação e preservação florestal, é importante que sejam priorizadas as áreas mais distantes dos núcleos urbanos. A justificativa é que nas áreas próximas de núcleos urbanizados o acesso de pessoas às Áreas de Preservação Permanente ou aos remanescentes de vegetação nativa tornam-nas mais sujeitas a incêndios, corte seletivo, desmatamento, depósito de lixo, favelização, entre outros impactos negativos.

As distâncias aos centros urbanos foram determinadas a partir do plano de informação dos núcleos urbanos (TORRES et al., 2006). Com esses dados foi gerado um mapa de distâncias dos núcleos urbanos, prevendo-se um “*buffer*” de influência de 200 m além dos limites da bacia.

Para este critério, quanto mais distante a APP de um núcleo urbano maior a prioridade para recuperação. Para sua normalização de 1 a 2 entre os valores empregou-se uma função linear contínua crescente, conforme apresentado na figura 11.

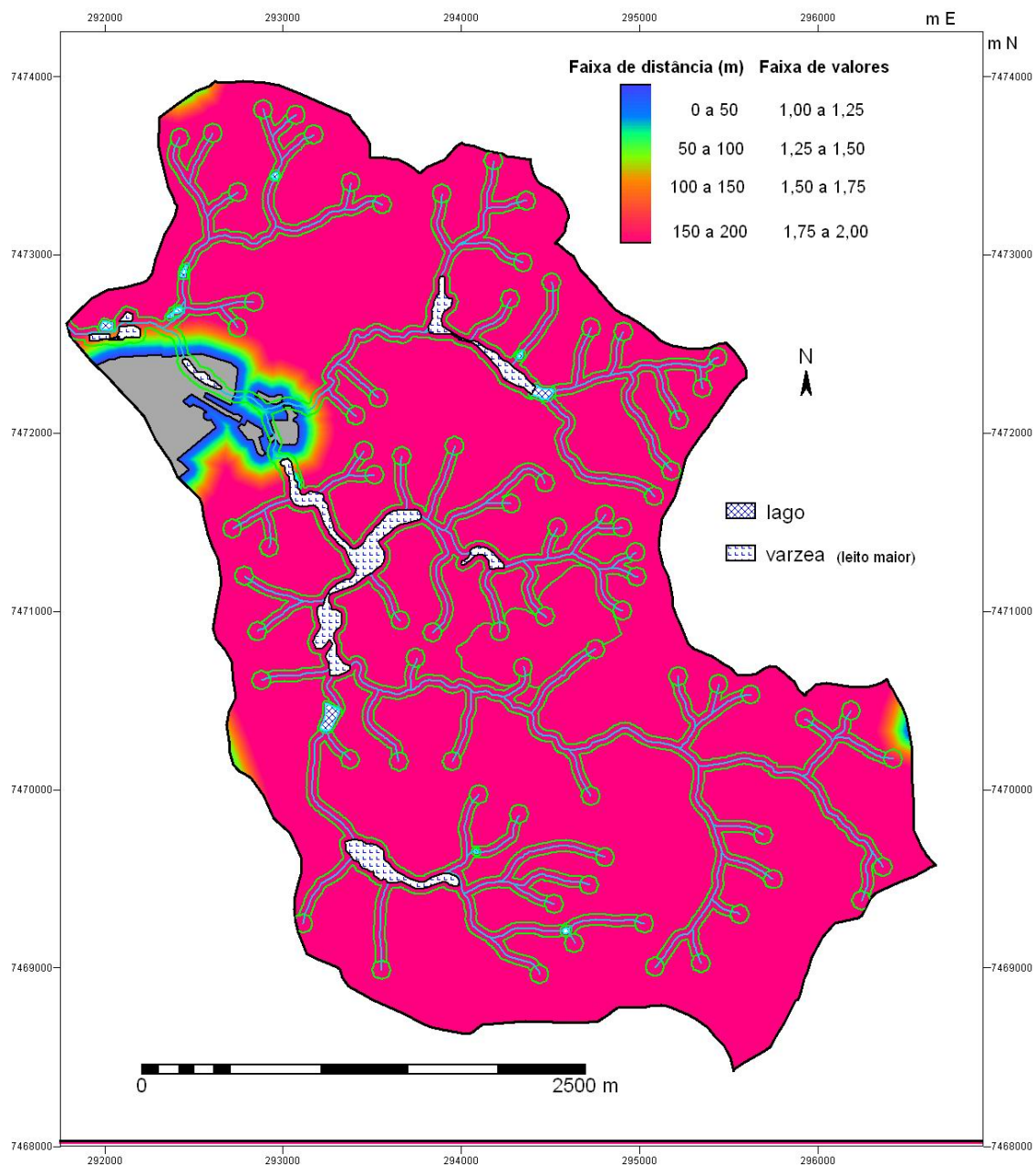


Figura 11 – Mapa de distância aos núcleos urbanos

3.3.2.3 Uso da terra

A cobertura vegetal é um dos principais fatores de prevenção da erosão. Optou-se por priorizar para recuperação aqueles usos da terra que tornam o solo mais desprotegido da ação erosiva da água e do vento (Tabela 5).

O mapa do critério uso da terra (figura 12) foi elaborado por meio do SIG com base no plano de informação uso e ocupação (TORRES et al., 2006). Solo exposto, de acordo com a tabela 5, obteve maior prioridade para recuperação em detrimento dos outros usos. Portanto, os usos da bacia foram estratificados em 6 valores distintos eqüidistantes em uma escala discreta de 1 a 2. Os usos da terra “áreas impermeabilizadas” e “mata ciliar” não foram valorados, pois os mesmos não possuem prioridade para recuperação.

Tabela 5 - Usos da terra da bacia e respectivos valores.

USOS	VALORAÇÃO
Solo exposto	2,0
Cultura anual	1,8
Cultura perene	1,6
Pastagem	1,4
Regeneração natural	1,2
Reflorestamento (eucalipto e pinus)	1,0

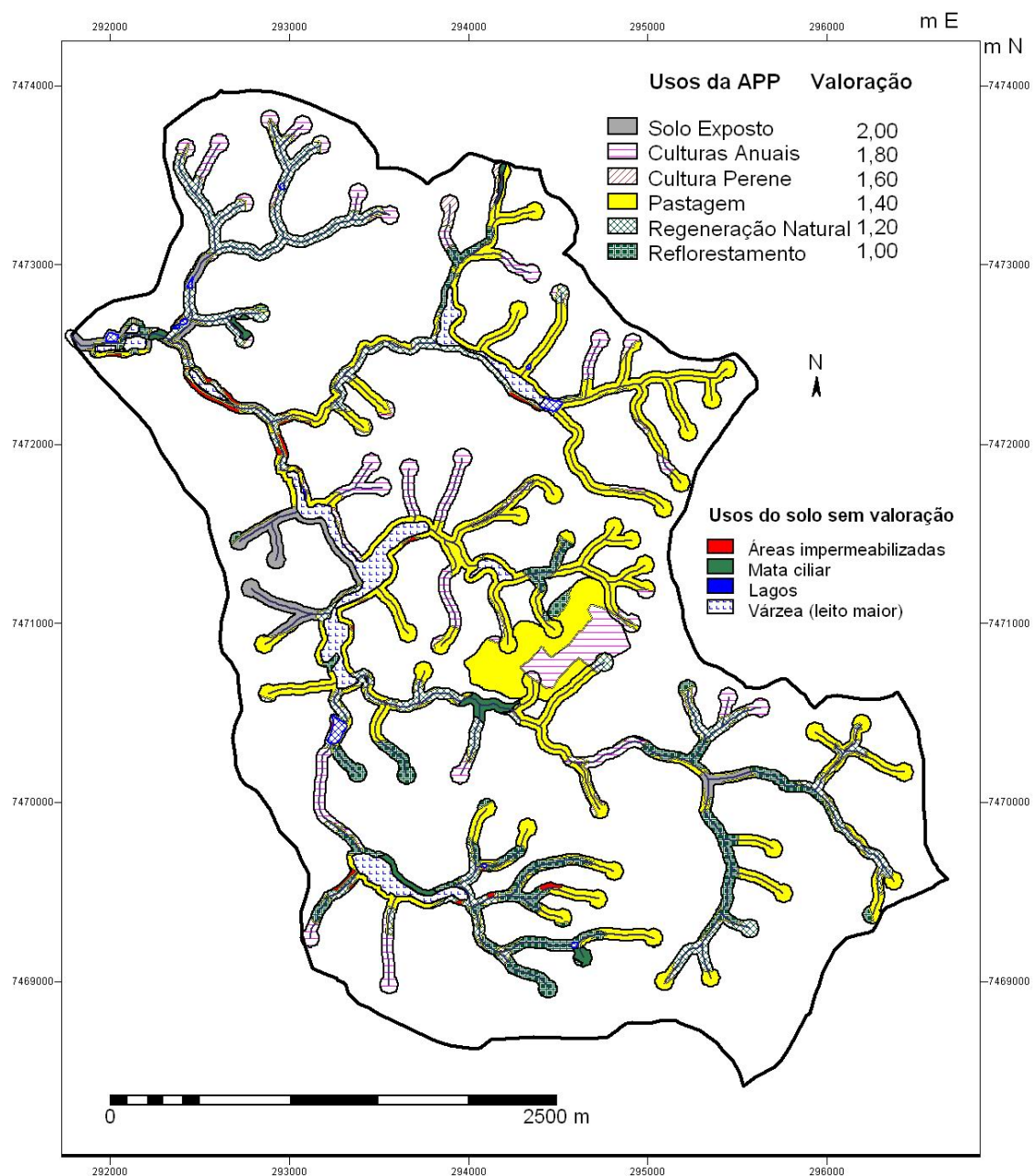


Figura 12 – Usos da terra da APP na sub-bacia do ribeirão São Quirino, na bacia do ribeirão das Anhumas.

3.3.2.4 Vulnerabilidade à erosão

Erodibilidade é um índice que indica o quanto um solo é susceptível à erosão, mantida as mesmas condições de clima, de declive e cobertura do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1999).

O mapa de critério de vulnerabilidade à erosão (Figura 13) resultou da combinação de dois planos de informação: erodibilidade do solo e declividade (Tabela 6).

Para estimar a erodibilidade do solo da bacia aplicou-se, inicialmente, os métodos de DENARDIN (1990) e WISCHMEIER & SMITH (1978). Os dados para a estimativa da erodibilidade (K) foram obtidos através da análise morfológica dos perfis e química e granulométrica de amostras do solo coletadas na bacia.

Os valores para as faixas de erodibilidade foram normalizados de 1 a 2 e com 4 classes, sendo que aos solos com maior erodibilidade foi dada maior prioridade para recuperação (Tabela 8). Já o fator declividade foi discriminado em seis classes distintas de igual intervalo, aumentando o grau de importância para recuperação para declividades mais acentuadas (Tabela 6).

Tabela 6 – Classe de declividade segundo LEPSCH, et al. (1983).

Classe de declividade (%)	Valor
0 – 3	1,00
3 – 6	1,20
6 – 12	1,40
12 – 20	1,60
20 – 45	1,80
>45	2,00

Tabela 7 – Erodibilidade dos solos da bacia do São Quirino estimada através do nomograma de WISCHMEIER & SMITH (1978).

Unidade de mapeamento	Erodibilidade (t ha ha/ha mj mm).
PVAd1	0,02172
PVAd3	0,02664
PVAe	0,02655
GXbd	0,01934

PVAd1: Latossolos Vermelhos Distróficos típicos, textura argilosa, A moderado, hipodistrófico, álico, mesoférrico, pH ácido, relevo suave ondulado e plano;

PVAd3: Latossolos Vermelhos Distróficos típicos, textura argilosa, A moderado, mesodistrófico, mesoférrico, pH ácido, relevo ondulado;

PVAe: Associação de Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos típicos, textura arenosa/média e média/argilosa, ambos com cascalho, e Neossolos Litólicos Eutróficos típicos, textura média cascalhenta, substrato gnaíse, ambos A moderado, mesoeutrófico, hipoférrico, pH ácido a neutro, relevo ondulado e suave ondulado, fase rochosa;

GXbd: Gleissolos Háplicos Tb Distróficos típicos, textura argilosa, A moderado, mesodistrófico, hipoférrico, pH ácido, relevo plano.

Optou-se pelo uso do método de WISCHMEIER & SMITH (1978).

Através do SIG, os planos de informações criados, classe de declividade e erodibilidade, foram cruzados entre si e obtido um mapa denominado “vulnerabilidade à erosão” que é discriminado por 5 faixas de valores variando de 1 a 2 (Tabela 8).

Tabela 8 - Classes de erodibilidade segundo FOSTER (1981) e LEVY (1995)

Classe de erodibilidade	erodibilidade (t.ha.h/ha.Mj.mm).	Valor
Alto	0,053-0,0424	2,00
Médio	0,0424-0,0318	1,66
Baixo	0,0318-0,0247	1,33
Muito baixo	0,0247-0,0125	1,00

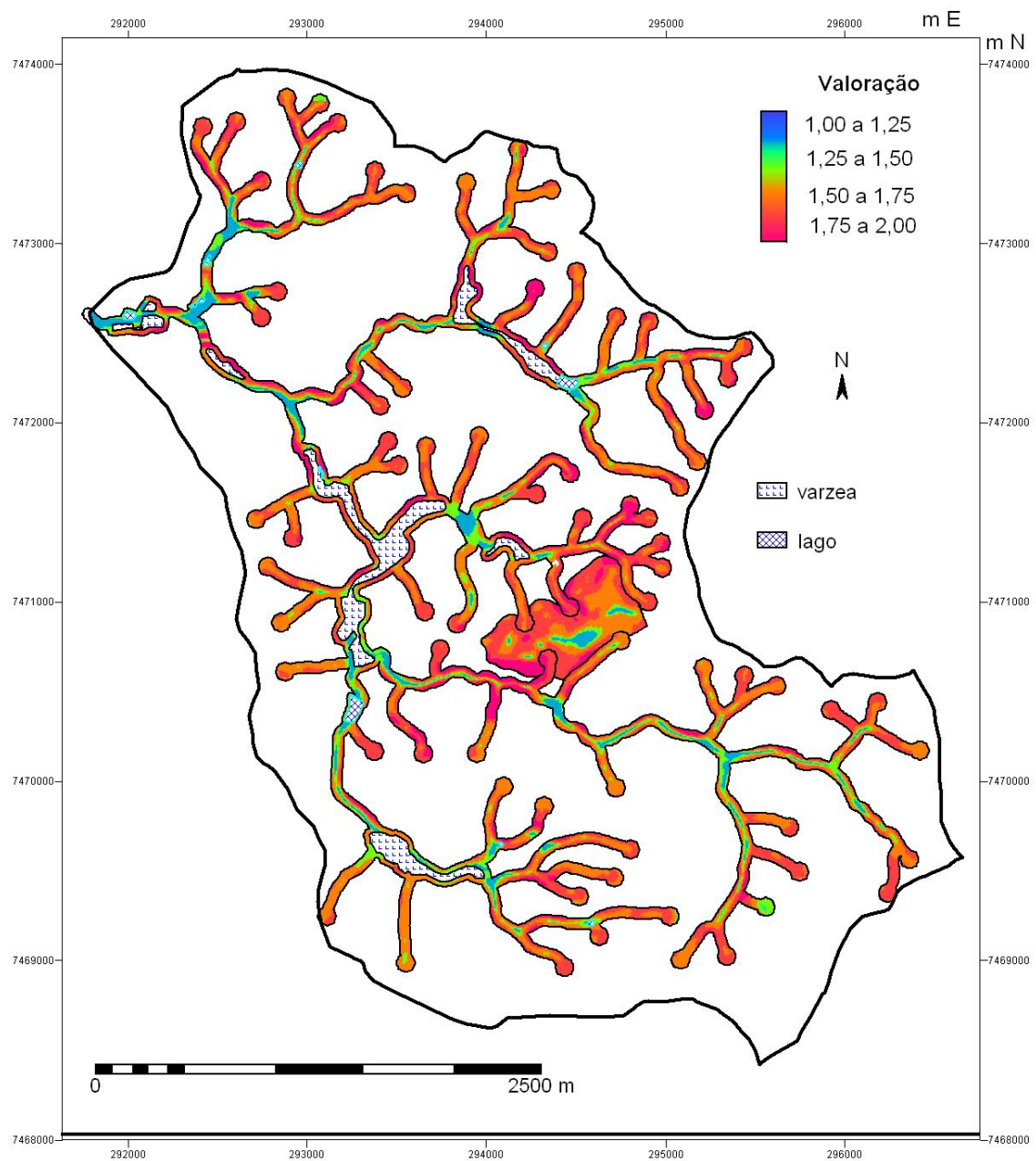


Figura 13 – Mapa do critério de vulnerabilidade a erosão obtido do cruzamento dos PIs mapa de declividade e mapa de erodibilidade.

3.3.2.5 Proximidade de malha viária

As estradas são focos permanentes de erosão, principalmente em solos mais susceptíveis. Outras implicações negativas da proximidade de rede viária para as APPs são a facilidade de acesso e risco de incêndios, desmatamento, corte seletivo e depósito de entulho. VALENTE (2005), para garantir o sucesso das ações de conservação e preservação florestal na bacia do rio Corumbataí, priorizou regiões mais distantes da malha viária.

Com o uso do SIG e a partir do plano de informação da malha viária (TORRES et al., 2006) foi elaborado o mapa de proximidade de malha viária, e o mapa de distância da malha viária (Figura 14) onde aplicou-se um “*buffer*” de 200m a partir da malha viária. Portanto, quanto mais próxima às estradas, menor a prioridade de recuperação da APP e, conseqüentemente, menores os valores assumidos. Adotou-se uma escala de valores contínuos crescente entre 1 a 2.

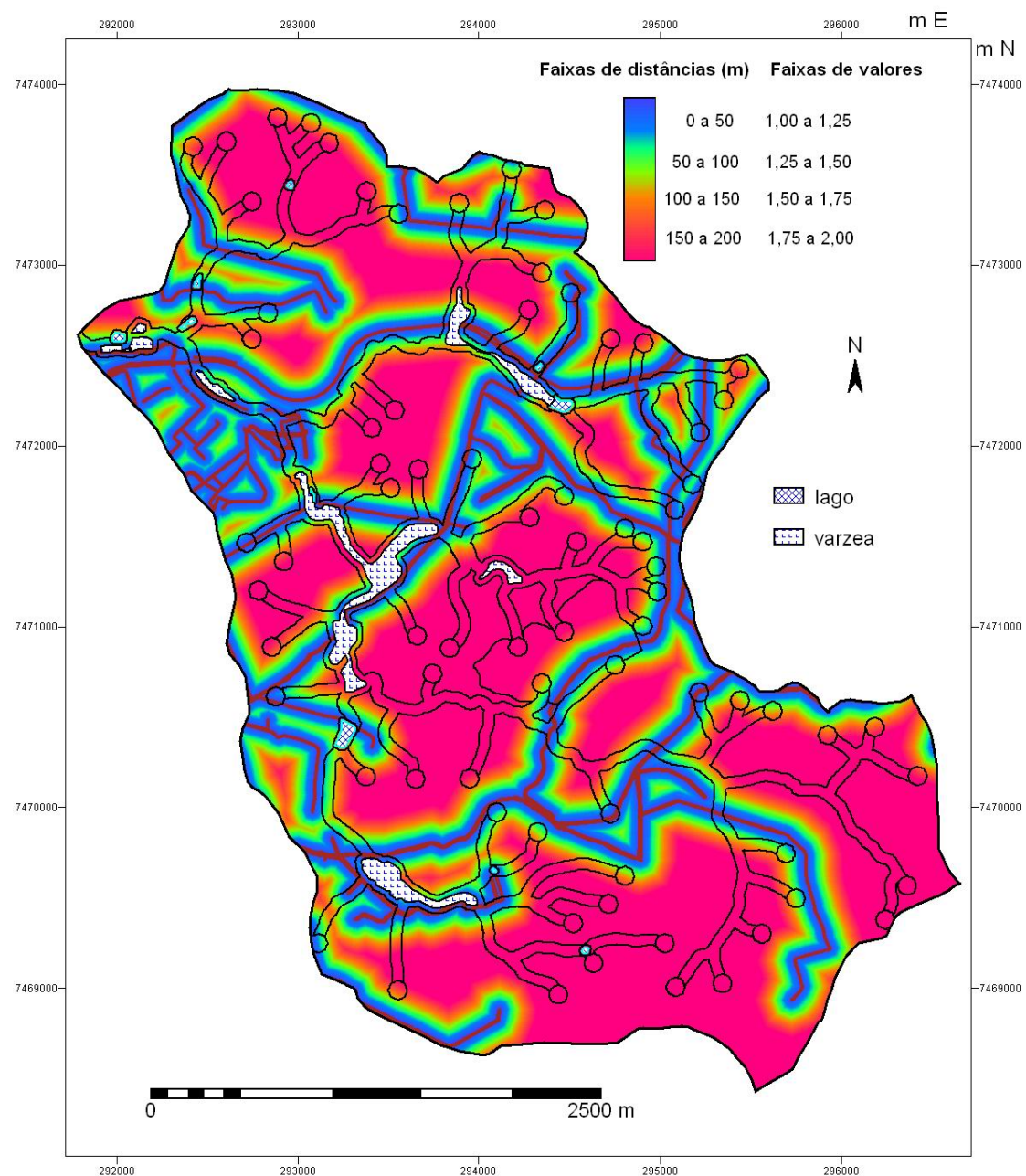


Figura 14 – Mapa “proximidade de malha viária” mostrando as APPs e a avaliação do critério

3.3.2.6 Capacidade de sustentabilidade da vegetação nativa

O critério capacidade de sustentabilidade da vegetação nativa mede a capacidade do solo em sustentar a vegetação nativa, estimada por meio de três fatores limitantes: deficiência de fertilidade, deficiência de água e excesso de água, definidos pelo Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícolas das Terras (RAMALHO FILHO et al., 1978). Os outros dois fatores definidos pelo sistema (susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização) não serão abordados na capacidade de sustentabilidade das APPs.

A aptidão agrícola das terras é um sistema que avalia o potencial da terra para lavouras e para outros tipos de utilização menos intensivos. Possui três níveis de manejo:

A – práticas agrícolas que refletem um baixo nível tecnológico. Não há aplicação de capital para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras. É considerada a aptidão real da terra.

B – intermediário e

C – alto nível tecnológico.

Para esse critério será considerado apenas o nível “A” de manejo, pois sua classificação é feita de acordo com as condições naturais da terra (RAMALHO FILHO et al., 1978).

Para a elaboração do mapa de critério da capacidade de sustentabilidade da vegetação nativa (Figura 15) interpretou-se as unidades de solo existentes na bacia correlacionando-as com sub-grupo de aptidão agrícola e respectiva capacidade de sustentabilidade, conforme tabela 9. Os sub-grupos de “aptidão agrícola” encontrados na bacia foram dois (2a e 3a), significando a existência de terras com aptidão regular e restrita para cultivo, respectivamente. Entretanto, a valoração estipulada correspondeu aos seis grupos de aptidão agrícola conforme RAMALHO FILHO et al. (1978), demonstrada na tabela 10, variando de 1 a 6, os quais representam, em ordem crescente, a diminuição da aptidão agrícola do solo. Para compor o mapa de critérios aplicaram-se valores discretos que variaram de 1 a 2.

Tabela 9 - Sub-grupos de aptidão agrícola e respectivas unidades de mapeamento do solo da bacia

Sub-grupos	Símbolo	Relevo	Fatores de limitação		
			Deficiência de fertilidade	Deficiência de água	Deficiência de oxigênio
2(a)	PVAe	Ondulado	L	N/L	N/L
3(a)	PVAd1	ondulado/plano	M/F	L	N/L
2(a)	PVAd3	ondulado/suave	L/M	N/L	N/L
		Ondulado			
3(a)	GXbd	Plano	L/M	N	M/F

Graus de limitação: L – ligeiro; N – nulo; M – moderado; e F – forte

Tabela 10 – Grupo de Aptidão Agrícola conforme RAMALHO FILHO et al. (1978) e valores adotados para respectivo grupo.

Grupo de aptidão agrícola da terra	Valoração
1	2,00
2	1,80
3	1,60
4	1,40
5	1,20
6	1,00

Nesse caso, quanto mais aptas e férteis as terras para o cultivo, tanto mais apta também para a implantação de reflorestamento com espécies nativas, possuindo, portanto, maior relevância para a priorização para a recuperação.

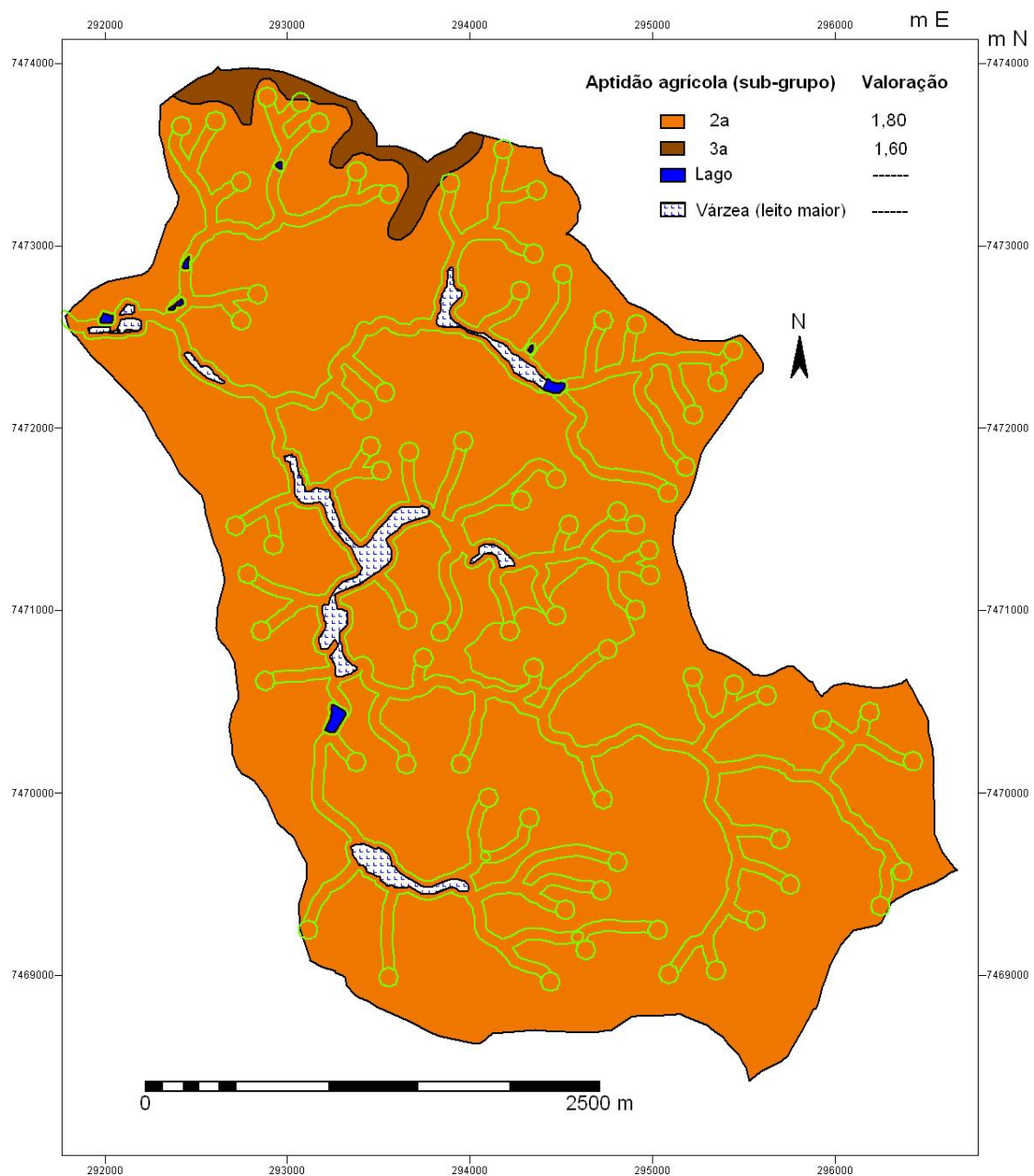


Figura 15 – Mapa do critério de capacidade de sustentabilidade da vegetação nativa

3.3.2.7 APP em função de ordem de canais de drenagem

O critério de ordem de canais é baseado na hierarquia fluvial de Strahler, onde os menores, sem tributários, são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência. Os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de primeira e segunda ordem, e assim sucessivamente (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O mapa do critério de ordem de canais (Figura 16) foi elaborado em SIG utilizando-se do plano de informação de hidrografia, observando-se a hierarquia fluvial de Strahler, seguindo uma faixa de valores discretos de 1 a 2 (Tabela 11). Possuem maior prioridade e, conseqüentemente, maior valor para a recuperação, aqueles canais mais a montante que são considerados de primeira ordem, seguidos dos de segunda ordem e, assim, sucessivamente.

Tabela 11 – Hierarquia fluvial segundo Strahler e a respectiva valoração

Ordem	Valoração
1º ordem	2,00
2º ordem	1,66
3º ordem	1,33
4º ordem	1,00

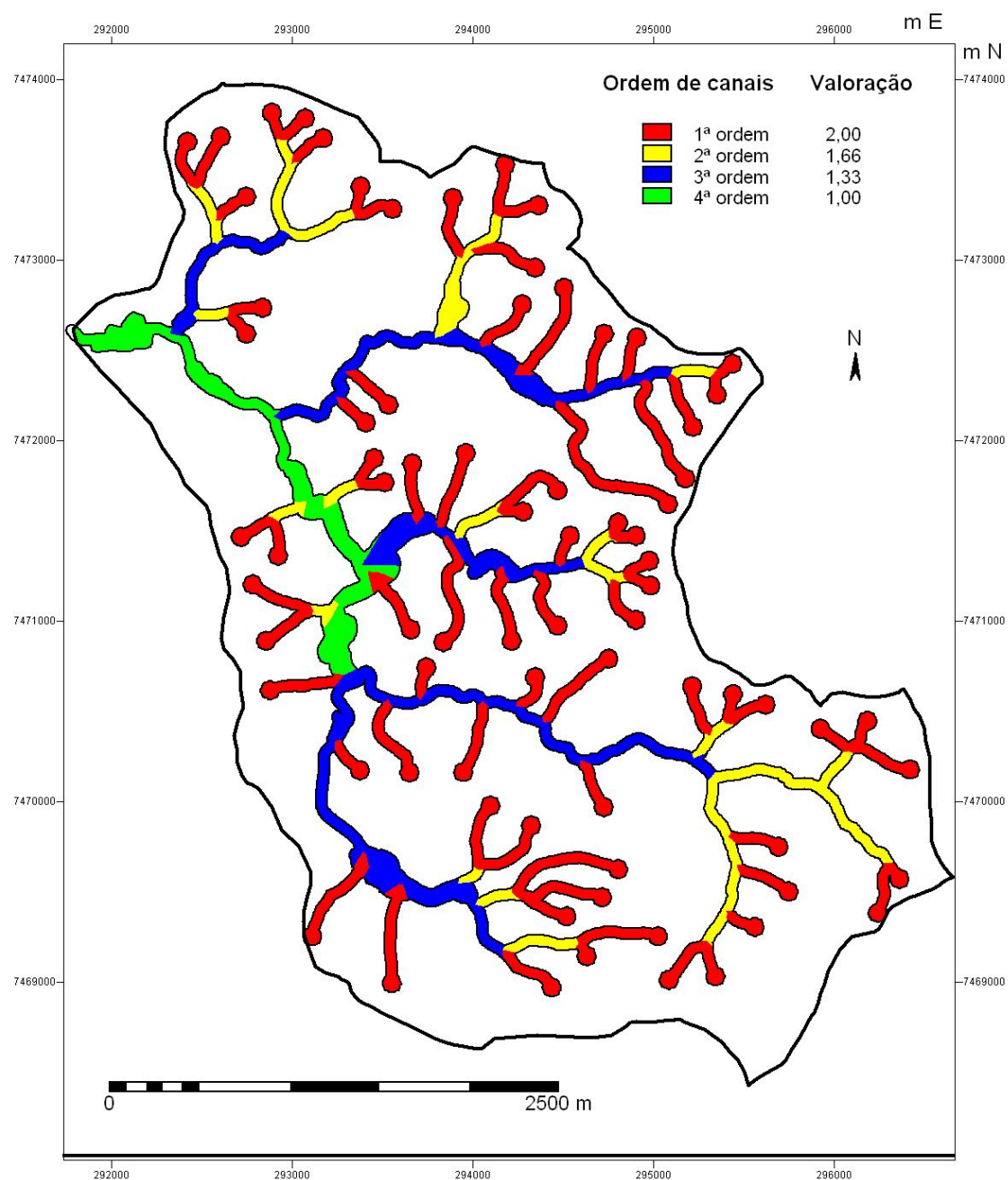


Figura 16 – Mapa do critério APP em função de “ordem de canais”.

3.3.2.8 Categoria de APP

Áreas com maior potencial como fontes de sementes (por exemplo, próximo às nascentes) devem ser escolhidas dentre outras, na escolha de áreas prioritárias para recuperação (KAGEYAMA et al., 1989).

A mata ciliar das cabeceiras dos cursos d'água é de extrema importância para a sua proteção, pois previne processos erosivos impedindo a deposição de material particulado no leito do rio (BARELLA et al., 2001). Dentre as categorias de APP existem aquelas situadas no entorno de cabeceiras das vertentes, ao longo dos cursos d'água, ao redor de represas e lagos, em topos de morros e em declividades acima de 100% (BRASIL, 2001). Considerou-se em ordem decrescente de priorização para recuperação, as áreas de APPs situadas nas cabeceiras das nascentes, ao longo de cursos d'água, em declividades acima de 100%, em topos de morro e por último em represas/tanques.

O mapa do critério “categoria de APP” (Figura 17) foi obtido com o SIG a partir do plano de informação da rede hidrográfica (TORRES et al., 2006), várzeas naturais e curvas de nível. Os tipos de APPs foram estratificados em cinco valores equidistantes discretos no intervalo de 1 a 2 (Tabela 12).

Tabela 12 – Valoração de acordo com o tipo de APP

Tipo de APP	Valoração
No entorno de nascentes	2,00
Ao longo de cursos d'água	1,75
Em declividades acima de 100%	1,50
Em topo de morro e linha de cumeada	1,25
Ao redor de lagos	1,00

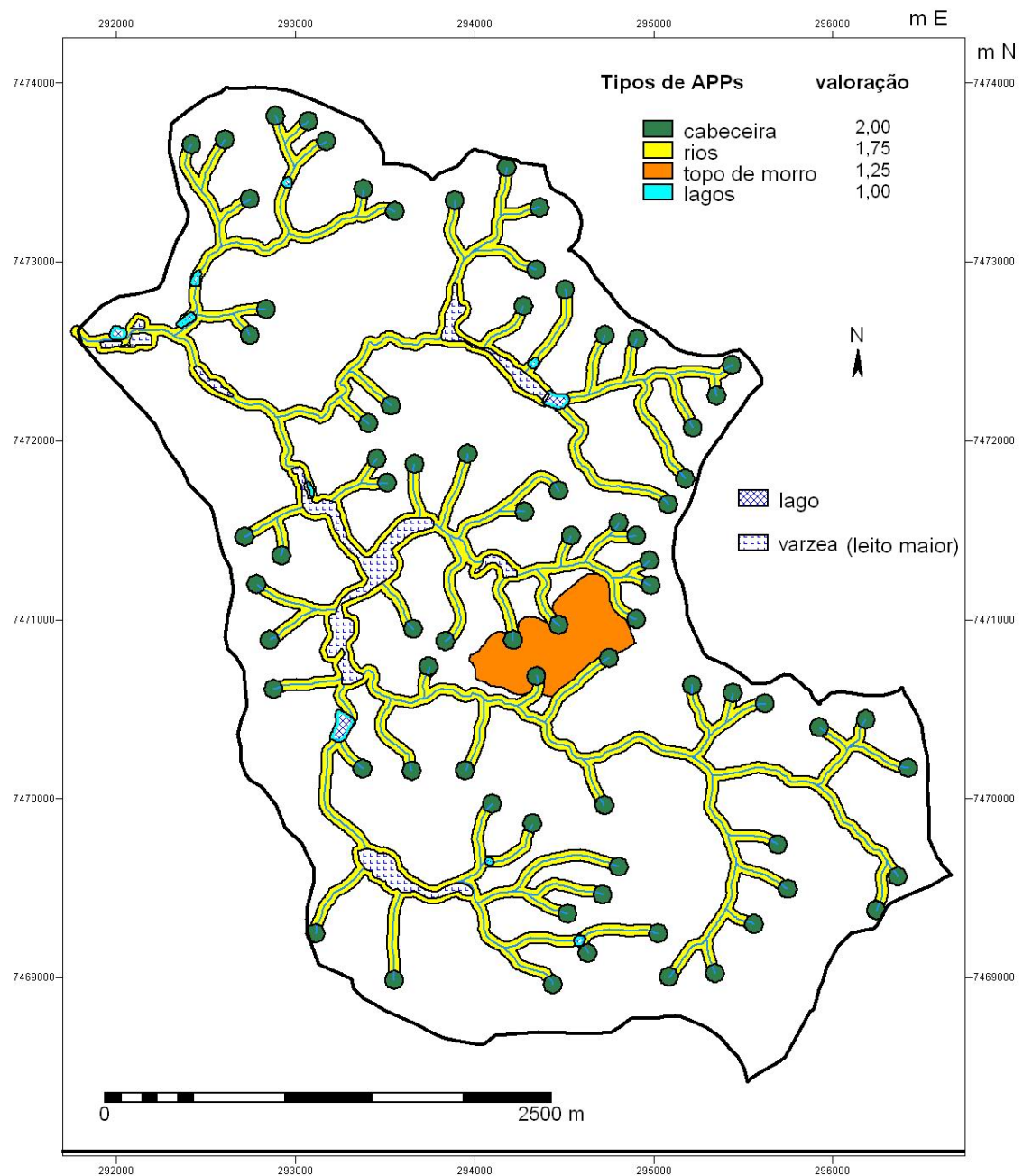


Figura 17 - Mapa categoria de APPs e a valoração de cada tipo.

3.3.3 Aplicação espacial dos métodos de análise multicriterial em ambiente SIG

Alguns SIGs já possuem ferramenta de espacialização dos métodos de análise multicriterial e realizam os cálculos automaticamente, a exemplo do IDRISI (VALENTE, 2005; FERRAZ et al., 2003), entre outros (THINH et al., 2004; TKACH & SIMONOVIC, 1997).

Essa dissertação ao contrário dos autores acima citados, adaptou o método de análise multicriterial programação por compromisso (PC) e jogos cooperativos (CGT) ao SIG ILWIS academic 3.3. Os mapas de critérios no formato *raster*, os pesos (obtido dos especialistas) e valores (resultado da implementação da decisão) foram aplicados às fórmulas (4) e (5) e espacializados no SIG (Figura 18).

Após o processamento dos mapas de critérios no SIG, o mapa de prioridade de recuperação de APP foi normalizado numa função contínua de 0 a 1 para permitir a comparação entre os métodos. O cruzamento desses mapas de critérios resultou no mapa de prioridades de APP para recuperação, onde os polígonos resultantes foram classificados em cinco classes de prioridade para recuperação: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

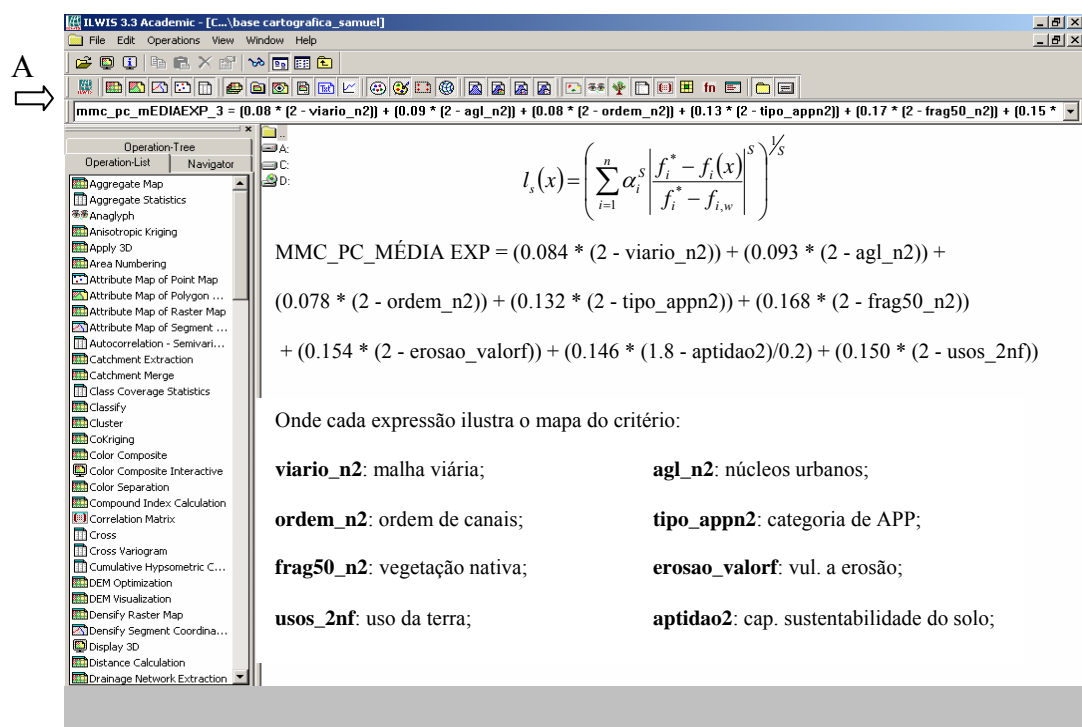


Figura 18 - Página principal do SIG ILWIS ilustrando a espacialização do modelo de análise multicriterial Programação por Compromisso (PC). A fórmula é inserida na linha de comando (A) para processamento do mapa de priorização de APP para recuperação.

3.3.4 Pesos dos critérios

Para estimativa dos pesos dos critérios foi enviada uma mensagem eletrônica para profissionais de diferentes áreas de interesse (Licenciamento/Fiscalização na área Ambiental, Geoprocessamento, Ecologia da Paisagem, Conservação de Solo e Recuperação de Áreas degradadas), com um resumo do projeto e um questionário a ser preenchido com pesos na escala de 0 a 3, sendo peso “0” significando exclusão do critério e peso “3” significando a maior importância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo está dividido em duas partes, a primeira relaciona-se à seleção de bacia-piloto com o objetivo de recuperação de APP e a segunda relaciona-se ao estabelecimento de APPs prioritárias para recuperação.

4.1 Seleção de bacia hidrográfica

Uma caracterização geral das sub-bacias hidrográficas que compõem a bacia do ribeirão das Anhumas é encontrada na tabela 13. Ela permite visualizar as principais diferenças entre as sub-bacias, que serão avaliadas por meio de análise multicriterial.

Os fatores, aqui chamados de critérios, que influem na escolha de uma bacia para o estudo de recuperação podem ser analisados por meio de métodos de análise multicriterial. Essa análise permite atribuir importância distinta para cada fator, por meio dos pesos, bem como quantificar o valor de cada fator em uma determinada bacia.

4.1.1 Pesos e matriz “*payoff*”

Dos dez questionários enviados aos especialistas, cinco foram respondidos (50%). Os resultados dos questionários foram tratados conforme descrito no item 3.2.2, sendo que na moda, para os critérios amodais, utilizou-se a média expurgada, enquanto que para o critério com distribuição bimodal dos valores atribuídos pelos especialistas (critério Áreas com Risco de Inundação), utilizou-se a média dos dois valores modais.

Tabela 13 – Caracterização da bacia hidrográfica

Características			Sub-bacias do ribeirão das Anhumas ¹						
			1	2	3	4	5	6	7
Área da bacia (km ²)			23,76	12,67	15,16	14,82	23,81	17,15	42,70
Mata ciliar ²	Extensão total do manancial (km)		34,17	37,59	21,78	45,62	35,39	16,83	52,45
	Extensão com remanescente florestal nativo (m)		0	0	0	0	236	1800	610
Diversidade, quantidade e área das formações florestais nativos ⁴	floresta estacional	Qtidade área (ha)	4	1	4	3	7	2	10
			17,15	3,46	13,47	29,23	22,46	20,50	103,93
	floresta paludosa	qtidade área (ha)	0	0	0	0	0	4	3
			0	0	0	0	0	13,3	4,66
	cerrado	qtidade área (ha)	0	0	0	0	1	0	0
			0	0	0	0	8,60	0	0
	total	qtidade área (ha)	4	1	4	3	8	6	13
			17,15	3,46	13,47	29,23	31,06	33,80	108,59
Densidade relativa de fragmentos ³ (%)			0,017	0,008	0,026	0,02	0,033	0,035	0,03
Diversidade de formação de vegetação nativa			1	1	1	1	2	2	2
Grau de urbanização (%)			90	60	72	4,8	35	14	38
Presença de unidades de conservação ⁸			sim	sim	sim	não	não	não	sim
Extensão de pontos com enchentes ⁴ (km)			4,10	4,10	4,20	1,10	2,20	0,0	14,00
Solo predominante ⁵			P m/arg	P m/arg	P m/arg	P m/arg	P- are/m L-arg	L-m, arg	L-arg
Fragmentação de vegetação nativa ⁹			1,68	0,69	2,63	2,02	3,64	4,08	3,09
Relevo predominante ⁶			cma	cpm	ca	cm	ca,cma pf	ca	ca,cma pf
Corredor de vegetação ⁷			não	não	não	sim	sim	sim	sim
Densidade relativa de cursos d'água (km/km ²)			1,44	2,97	1,44	3,08	1,49	0,98	1,23
Classe de declividade predominante (%)			6-9	12-15	6-12	6-12	6-12	3-6	6-12
Classe de capacidade de uso			III	III	III	III	III	III	III
Vazão média (m ³ /s)			0,23	0,12	0,15	0,15	0,25	0,17	0,40
Distância da sub-bacia até a foz (km)			19,67	21,56	14,74	15,85	6,43	6,43	0

Denominação das sub-bacias do Anhumas : 1-Alto Anhumas; 2-Córrego do Mato Dentro; 3-Médio Anhumas; 4-Córrego São Quirino 5-Baixo-Médio Anhumas; 6-Ribeirão Monte D'este e 7-Ribeirão das Pedras/baixo Anhumas; ² (TORRES et al., 2006); ³ Densidade relativa de fragmentos com vegetação nativa: área fragmentos (km²)/ área sub-bacia (km²); ⁴ Método booleano (BRIGUENTI, 2005); ⁵ Ordem de solo: L- Latossolo; P- Argissolo. Textura do solo: arg- argilosa; m- média; are- arenosa; ⁶ Tipos de relevo: ca (colinas amplas); pf (planícies fluviais); cma (colinas médias e amplas); cpm (colinas pequenas e morrotes); cm (colinas e morrotes), em ordem decrescente de predominância; ⁷ Possibilidade de conectividade entre os fragmentos florestais na APP e existência de Parques Lineares instituído pelo Poder Público municipal; ⁸ Denominação das UC e sua localização em relação as sub-bacias: 1-Bosque dos Jequitibás; Bosque São José; Bosque dos Alemães; Bosque dos Italianos. 2-Parque Ecológico Monsenhor Emílio José Salin. 3-Bosque da Paz; Bosque Chico Mendes; Parque Taquaral. 7-Mata de Santa Genebra (ARIE) e Parque Ecológico Hermógenes de Freitas Leitão Filho (TORRES et al., 2006).⁹ Números de fragmentos dividido pela área da bacia, por 10 km².

Dos 16 critérios apresentados aos especialistas no questionário, três deles não foram usados na análise das respostas aos questionários: Quantidade de Fragmentos Florestais (QFF), Grau de Degradação (GD) e Declividade Média (DeclM). QFF foi eliminado por ser combinação dos critérios Fragmentação da Vegetação Nativa e Área da Bacia, DeclM por estar implícito no critério Classe de Capacidade de Uso e GD foi eliminado da análise por falta de informações precisas, no momento da análise, para seu julgamento.

Tomando-se como referência o desvio padrão 2, que representa 20 % do máximo de peso atribuível pelos especialistas, peso 10, observa-se que seis dos 13 critérios tiveram desvios padrão maiores que 2 (Tabela 14). Desvios elevados significam diferenças de opinião entre os especialistas em relação ao critério. O caso mais marcante foi em relação ao critério Grau de Urbanização, no qual um dos especialistas atribuiu peso 1, enquanto que os outros atribuíram pesos 8 ou 10. Pode-se interpretar esta diferença a uma interpretação incorreta do critério ou ao seu não entendimento pelo especialista. Casos como este chamam a atenção do tomador de decisão, sugerindo a necessidade de sua interferência. O uso da média expurgada, como descrito nos métodos deste trabalho, reduziu as variações nas opiniões dos especialistas, reduzindo os desvios. O uso da média expurgada, contudo, não atenua efeitos relativos a uma possível interpretação equivocada do critério pelos especialistas. Nesse momento, a experiência do tomador de decisão é importante – e deve ser utilizada – para realizar esse julgamento, já que não necessariamente a maioria (das respostas dos especialistas) pode estar correta. Nesta flexibilidade reside uma vantagem da aplicação do método de análise multicriterial (Zuffo et al., 2002).

Influência da Bacia Para o Regime de Cheias, Grau de Urbanização, Corredores de Vegetação e Áreas de Risco de Inundação foram os critérios que obtiveram maiores pesos. Por outro lado, Área da Bacia foi o critério com menores pesos. Mesmo não sendo dada a opção aos especialistas de eliminação de critérios, entende-se que o peso 1 atribuído por dois especialistas ao critério Área da Bacia, bem como o valor baixo atribuído pelos demais especialistas a esse critério, reflete sua baixa importância. A inclusão desse critério no questionário, bem como, o estabelecimento de proporcionalidade direta entre o peso e o tamanho da bacia (maior a área, maior a importância) foi feita considerando-se que em bacias de maior extensão aumentar-se-ia a probabilidade de ocorrência de fatores desejáveis, tais como maior diversidade de usos não urbanos. Todavia, essa interpretação dos especialistas nos pareceu acertada, já que

nas maiores bacias aumenta a probabilidade não só da ocorrência de condições desejáveis, como também daquelas não desejáveis. Assim, isoladamente, área pode realmente ser considerada um critério pouco relevante. Para os demais critérios, considerou-se que as respostas obtidas corresponderam ao conhecimento dos especialistas no assunto e são, portanto, válidas para a análise.

Ressalta-se que para validação dos métodos de análise multicriterial foram usados apenas os pesos tratados pela média expurgada, chamada doravante de “média”, bem como, os pesos tratados pela moda. Os pesos tratados pela média simples não foram utilizados para análise.

Tabela 14 – Pesos dados pelos especialistas (pesos não normalizados) de 1 a 10 para cada critério e sua moda, média, desvio padrão e média expurgada

Critérios	Especialistas					Moda	Média	Desvio Padrão (dp)	Média Expurgada
	1	2	3	4	5				
1. Área da bacia	3	1	1	6	4	1	3	2,12	2,25
2. Grau de urbanização	10	1	8	10	10	10	7,8	3,90	9,50
3. Área de risco de inundação	8	9	9	6	8	8,5	8	1,22	8,50
4. Classe de capacidade de uso	8	9	6	7	7	7	7,4	1,14	7,33
5. Corredor de vegetação nativa	8	10	6	9	10	10	8,6	1,67	9,25
6. Densidade de drenagem dos cursos d'água	7	10	7	9	8	7	8,2	1,30	7,75
7. Vazão média	5	8	7	8	8	8	7,2	1,30	7,75
8. Mata ciliar	5	10	6	7	5	5	6,6	2,07	5,75
9. Diversidade de ecossistemas	5	8	7	9	5	5	6,8	1,79	7,50
10. Presença de unidade de Conservação;	5	2	8	8	7	8	6	2,55	7,00
11. Densidade de vegetação nativa	1	9	6	8	5	5,8	5,8	3,11	6,33
12. Fragmentação da vegetação nativa	7	9	4	8	5	6,6	6,6	2,07	6,67
13. Influência da bacia para o regime de cheias	8	10	9	10	10	10	9,4	0,89	9,75

As medidas de tendência central moda e média expurgada não diferiram muito entre si, observando que a média expurgada tendeu elevar os pesos da média para cima, verificando maior dispersão para o critério “área da bacia” (Figura 19).

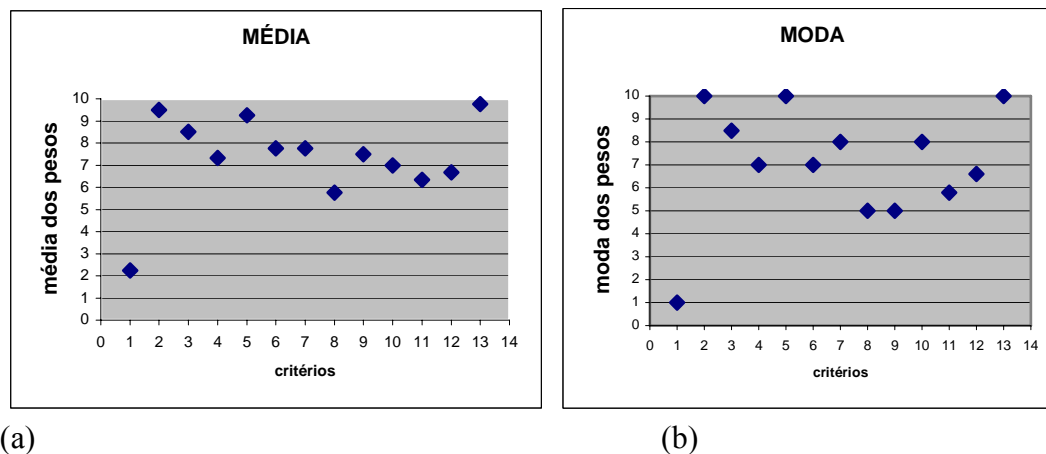


Figura 19. Dispersão dos pesos obtidos por meio de questionário, após tratamento das respostas pela (a) média e (b) moda, para os 13 critérios.

Tabela15 – Frequência de ocorrência dos pesos (1 a 10) em relação aos questionários respondidos.

critérios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Área da bacia	2	---	1	1	---	1	---	---	---	---
2. Grau de urbanização	1	---	---	---	---	---	---	1	---	3
3. Área de risco de inundação	---	---	---	---	---	1	---	2	2	---
4. Classe de capacidade de uso	---	---	---	---	---	1	2	1	1	---
5. Corredor de vegetação nativa	---	---	---	---	---	1	---	1	1	2
6. Densidade de drenagem dos cursos d'água	---	---	---	---	---	---	2	1	1	1
7. Vazão média	---	---	---	---	1	---	1	3	---	---
8. Mata ciliar	---	---	---	---	2	1	1	---	---	1
9. Diversidade de ecossistemas	---	---	---	---	2	---	1	1	1	---
10. Presença de Unidade de Conservação	---	1	---	---	1	---	1	2	---	---
11. Densidade de Vegetação Nativa	1	---	---	---	1	1	---	1	1	---
12. Fragmentação da vegetação nativa	---	---	---	1	1	---	1	1	1	---
13. Influência da bacia para o regime de cheias	---	---	---	---	---	---	---	1	1	3

4.1.2 Valoração dos critérios

As classes de valores variaram de 1 a 5, valores proporcionais à magnitude do resultado implementado para o critério dentro de cada bacia hidrográfica. Assim, o valor 3, por exemplo, corresponde a uma classe do critério definido por um valor ou por uma amplitude dos valores resultantes da implementação da decisão relativa àquele critério (p.ex., Tabela 16). A amplitude dos intervalos de classe do resultado dessa implementação para cada critério é, de certa maneira, flexível. Isto permite produzir classes que atendam às necessidades da análise, tomando-se cuidado para não comprometer os resultados ou estabelecer tendências. Esta flexibilidade foi exercitada nesta análise em alguns critérios, onde houve a necessidade de ajustar-se a amplitude

dos intervalos de classe após observar-se distorção nos resultados com determinadas amplitudes.

Para a seleção da bacia, foi objetivo deste trabalho incluir apenas critérios que refletissem funções ambientais. Critérios que refletissem funções sociais ou econômicas seriam também desejáveis e provavelmente forneceriam resultados mais efetivos para implementação. Todavia, estes não foram incluídos no presente estudo.

4.1.2.1. Área da bacia

Para o critério “área da bacia”, foram estabelecidas três classes de igual magnitude. Esta divisão destacou as bacias 7, de maior extensão, e 2, de menor extensão, deixando as demais na classe intermediária (Tabela 16).

Tabela 16 – Área da bacia e os respectivos valores

Área da bacia (km ²)	Valoração(<i>f_i</i>)	Bacias
Até 14	1	2
14,1 a 28	3	1, 3, 4, 5 e 6
28,1 a 43	5	7

4.1.2.2. Grau de urbanização da bacia

O “grau de urbanização” de uma bacia hidrográfica degradada a ser recuperada é fator extremamente importante, já que sua recuperação em áreas urbanas pode ser impossibilitada devido aos equipamentos e recursos de infra-estrutura urbana instalados, a exemplo da impermeabilização do solo por pavimentação, dentre outras obras de engenharia de infra-estrutura, amparadas ou não por leis de uso do solo urbano e planos diretores. As classes utilizadas para “grau de urbanização” refletem, então, a necessidade de selecionar-se uma bacia hidrográfica com menor uso urbano. A aplicação desse critério separou duas bacias, 4 e 6, das demais (Tabela 17). As bacias 4 e 6 são as sub-bacias do ribeirão das Anhumas com mais baixo grau de urbanização (BRIGUENTI, 2005), situando-se, respectivamente, no leste e nordeste desta. Apesar de menos urbanizadas, há a tendência de crescimento da cidade nessa direção, o que pode dificultar, em futuro próximo, a recuperação das APP degradadas também nessas bacias.

Tabela 17 – Grau de urbanização

Urbanização (%)	Valoração(<i>f_i</i>)	Bacias
0 a 5	5	4
5 a 15	4	6
15 a 30	3	---
30 a 60	2	2, 5 e 7
60 a 100	1	1 e 3

4.1.2.3. Áreas com risco de inundação

À exceção da bacia 7, as demais bacias foram enquadradas nas classes de menor risco de inundação, com até 6 km de extensão linear de alagamento (Tabela 18). Das sub-bacias do ribeirão das Anhumas, a bacia 7, do ribeirão das Pedras, é a bacia de maior extensão linear contínua de curso d'água, é a mais a jusante, bem como aquela que apresenta maior extensão de planícies aluviais, todos contribuindo para esse maior risco de inundação.

Tabela 18 – Áreas com risco de inundação (BRIGUENTI, 2005).

Extensão linear da inundação (km)	Valoração (<i>f_i</i>)	bacias
< 3,0	1	4, 5 e 6
3,0 a 6,0	2	1,2 e 3
6,0 a 9,0	3	-----
9,0 a 12,0	4	-----
> 12,0	5	7

4.1.2.4 Classe de Capacidade de Uso das Terras

A classe de capacidade de uso das terras foi avaliada pelos fatores solo, erosão e água, negligenciando-se eventuais diferenças de clima dentro da bacia do ribeirão das Anhumas. Como dentro de uma bacia hidrográfica somente aquela superfície não urbanizada poderá ser analisada em função da sua capacidade de uso, a capacidade de uso foi calculada somente para as superfícies não impermeabilizadas. Depois de calculada a classe de capacidade de uso de determinada área, aplicou-se uma ponderação, referente à sua priorização para recuperação (Tabela 19). A capacidade de uso ponderada foi estimada através da multiplicação de um fator restrição, na escala de 1 a 8, diretamente proporcional a classes de capacidade de uso correspondentes. Ou seja, fator 1 multiplicado pela capacidade de uso I e assim sucessivamente. Os

resultados obtidos (Tabela 19) foram subdivididos em faixas de variação de 1 a 4 (< 1, 1 a 4, e > 4) e aplicado nota para valoração. Assim, quanto maior a classe de capacidade de uso ponderada, maior a prioridade da gleba para recuperação. Assim, às bacias 4, 5 e 6 foi atribuída a maior importância (Tabela 20), o que se deve ao menor grau de urbanização de ambas, bem como ao relevo acidentado e presença de solos mais erodíveis (Argissolos), especialmente na bacia 4.

Tabela 19. Proporção de classes de capacidade de uso nas áreas não impermeabilizadas e ponderações referentes à classe e à urbanização

Bacias	Classes de capacidade de uso (área não impermeabilizada da bacia / área da bacia)								cap
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	—	0,00	0,05	0,03	0,00	0,01	0,00	-----	0,33
2	—	0,00	0,23	0,16	0,01	0,06	0,00	-----	1,69
3	—	0,01	0,15	0,06	0,02	0,01	0,00	-----	0,87
4	—	0,01	0,48	0,34	0,02	0,08	0,00	-----	4,30
5	—	0,10	0,35	0,09	0,07	0,02	0,00	-----	2,03
6	—	0,14	0,63	0,02	0,01	0,00	0,00	-----	2,30
7	—	0,15	0,35	0,05	0,05	0,01	0,00	-----	1,86
Ponderação	1	2	3	4	5	6	7	8	

$$cap = \sum_{bacia=1}^7 (\text{área não impermeabilizada da classe} / \text{área bacia}) * \text{ponderação}$$

Tabela 20. Valoração das bacias para capacidade de uso das terras

Classe de capacidade de uso (com ponderação)	Valor (fi)	Bacia
< 1	1	1 e 3
1 a 2	2	2 e 7
2 a 3	3	5 e 6
3 a 4	4	-----
> 4	5	4*

* bacia do São Quirino

4.1.2.5. Corredores de vegetação

Na bacia 7 existe o Parque Linear do Ribeirão das Pedras que propõe a interligação entre as APPs urbanas. Nas demais bacias, com exceção da 1 e 3, existe essa possibilidade, pois estas possuem áreas de APPs não urbanizadas. Nas bacias 1 e 3,

o elevado grau de urbanização impede a implantação de corredores de vegetação (Tabela 21).

Tabela 21. Corredores de vegetação

Classe de corredores de vegetação	Valor (<i>fi</i>)	Bacia
APP sem possibilidades de implantação de corredores de fauna/Parques lineares	1	1 e 3
APP com possibilidade de criação ou com parques lineares instituídos	5	2, 4, 5, 6 e 7

4.1.2.6. Densidade de cursos d'águas

A densidade de cursos d'água (Tabela 22) teve uma distribuição equivalente entre as bacias, estratificando-as em três grupos de valores distintos, apresentando as bacias 2 e 4 a maior prioridade, refletindo predominantemente o relevo mais dissecado dessas bacias, localizadas na porção transicional da Depressão Periférica Paulista com o Planalto Atlântico.

TABELA 22 – Densidade de cursos d'água

Faixas de variação (km/km²)	Valor (<i>fi</i>)	Bacia
< 1,06	1	6
1,06 a 2,12	3	1, 3, 5 e 7
> 2,12	5	2 e 4

4.1.2.7 Vazão média

Como avaliada, a vazão média agrupou cinco bacias no valor intermediário (valor 3), colocando nos extremos as bacias 2 e 7 (Tabela 23). Isso reflete a forma de cálculo da vazão dada pela equação de vazão média de longo período (SÃO PAULO, 2005), que considera área da bacia, precipitação anual média e parâmetros regionais. A bacia 7 tem a maior área e a bacia 2 a menor.

TABELA 23 – Valoração do critério Vazão Média

Vazão média (m³/s)	Valor (<i>fi</i>)	Bacia
até 0,13	1	2
0,13 a 0,26	3	1, 3, 4, 5 e 6
0,26 a 0,40	5	7

4.1.2.8 Matas ciliares

O critério mata ciliar deu destaque às bacias 6 e 7. A bacia 6 tem cinco fragmentos de mata paludosa, enquanto que a bacia 7 cobre parte da Mata de Santa Genebra, incluindo aí áreas ao longo de drenagens naturais. As bacias agrupadas com valor 5 têm, à exceção da bacia 4, maior proporção de uso urbano que as bacias a jusante. A bacia 4, apesar de apresentar-se nesta avaliação com pouca área de mata ciliar, em levantamento de campo mais detalhado realizado pelo autor apresentou maior extensão de mata ciliar, ficando, no entanto, na classe de até 600 m (Tabela 24).

TABELA 24 – Extensão linear de mata ciliar (TORRES et al., 2006).

Extensão de mata ciliar (m)	Valor (<i>f_i</i>)	Bacia
até 600	5	1, 2, 3, 4 e 5
600 a 1200	3	7
1200 a 1800	1	6

4.1.2.9 Diversidade de formações de vegetação nativa

Os resultados de diversidade de formações de vegetação nativa (Tabela 25) mostram maior diversidade nas bacias 5, 6 e 7, que apresentam, cada uma, dois ecossistemas de formações florestais nativas: floresta estacional, cerrado e floresta paludosa. Na bacia 7 ocorrem as florestas estacionais e paludosas. A ocorrência de cerrado nas bacias 5 está, provavelmente, relacionada à ocorrência de solos de textura média com influência dos sedimentos do subgrupo Itararé, com menores retenções de água e elevados teores de Al^{3+} trocável (TORRES et al., 2006).

TABELA 25. - Diversidade de formações de vegetação nativas

Número de formações	Valor (<i>f_i</i>)	Bacia
1	1	1, 2, 3 e 4
2	3	5, 6 e 7
3	5	-----

4.1.2.10 Presença de Unidades de Conservação (UC)

Na bacia do ribeirão das Anhumas, a maior parte dos espaços verdes protegidos pelo Poder Público Municipal não está regulamentada conforme o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000). As principais UC estão localizadas na bacia do Ribeirão das Pedras e bacia do córrego do Mato Dentro, sendo eles, Parque Ecológico Monsenhor Emílio José Salim com área de 285,5 ha e a Mata de Santa Genebra inserida parcialmente na bacia. A primeira UC é gerenciada pelo Estado (Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo) e a segunda é classificada por BRASIL (2000), como Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) estando a mesma sob responsabilidade do IBAMA (SÃO PAULO, 2000).

Abaixo, na tabela 26, é estabelecida a valoração para as bacias em relação à existência ou não de UC inserida em sua área.

TABELA 26 – Presença de Unidade de Conservação (UC)

Classe	Valor (fi)	Bacias
Inexistente;	1	4, 5 e 6
Parques urbanos municipais de pequena extensão areal;	3	1 e 3
Unidade de conservação (UC) de domínio municipal, estadual ou federal de maior extensão areal.	5	2 e 7

4.1.2.11. Densidade de vegetação nativa (DVN)

A bacia 2, que obteve a menor valoração em relação à densidade de vegetação nativa (Tabela 27) é uma daquelas de maior urbanização, em que essa vegetação está concentrada em alguns poucos bosques urbanos, a exemplo do Bosque dos Jequitibás, Bosque dos Alemães, Bosque dos Italianos e Bosque São José. Situação semelhante é encontrada na bacia 5 (médio Anhumas) com fragmentos localizados em condomínios residenciais (p.ex., Alphaville) e remanescentes de fazendas (p.ex., Fazenda Argentina). As bacias 3, 5, 6 e 7 se enquadram na classe com maior densidade de fragmentos de vegetação nativa. Esta característica conjugada ao fato destes fragmentos estarem principalmente em fazendas, aumenta a viabilidade de recuperação ambiental nessas áreas.

TABELA 27 - Densidade de vegetação nativa

Densidade (km ² /km ²)	Valor (fi)	Bacia
< 0,012	1	2
0,012 a 0,024	3	1 e 4
0,024 a 0,036	5	3, 5, 6 e 7

4.1.2.12. Fragmentação da vegetação nativa

Este critério representa o número de fragmentos por área da bacia e destaca as bacias 5 e 6 como aquelas com maior possibilidade de conectividade entre os fragmentos, considerada sua quantidade (Tabela 28).

TABELA 28 – Fragmentação da vegetação nativa

Fragmentação (fragmentos/km ²)	Valor (fi)	Bacia
< 0,8	1	2
0,8 a 1,6	2	----
1,6 a 2,4	3	1, 4 e 7
2,4 a 3,2	4	3,
> 3,2	5	5 e 6

4.1.1.13. Influência da bacia para o regime de cheias

Este critério avalia o potencial de uma sub-bacia em influenciar a vazão do ribeirão das Anhumas. Quanto mais longe a foz de uma sub-bacia no ribeirão das Anhumas da foz deste ribeirão (Anhumas) no Atibaia (Tabela 29), maior será o trecho de curso d'água sob sua influência (que recebe água captada pela sub-bacia). Isso é considerado um fator benéfico, já que se recuperadas e com cobertura vegetal natural, estas bacias (sub-bacias do Anhumas) podem contribuir para regularização de vazão, ou seja, diminuir picos de máxima e de mínima. De maneira oposta, áreas impermeabilizadas têm uma influência negativa na regularização da vazão, já que absorvem pouco da água precipitada durante as chuvas. Assim, áreas impermeabilizadas tiveram de ser ponderadas negativamente (Tabelas 30 e 31), enquanto distância da foz, propriamente dita, positivamente. Este critério favoreceu a bacia 4 (São Quirino) (Tabela 32), situada bem a montante e com o mais baixo coeficiente de escoamento superficial.

Tabela 29 – Distância da bacia até a foz.

Distância da foz (km)	Valor (<i>f_i</i>)	Bacia
não contribui	0	7
0 a 7	1	5 e 6
7 – 15	2	3
15 a 22	3	1, 2 e 4

Tabela 30 – Coeficiente de escoamento superficial da bacia e sua valoração

Coeficiente de escoamento superficial (%)	Valor (<i>f_i</i>)	Bacia
0 a 5	5	4
5 a 15	4	6
15 a 30	3	----
30 a 60	2	2, 5 e 7
60 a 100	1	1 e 3

Tabela 31 – Ponderação dos fatores coeficiente de escoamento superficial (CES) e distância (D).

Bacias	Notas		CES x D
	(CES)	(D)	
1	1	3	3
2	2	3	6
3	1	2	2
4	5	3	15
5	2	1	2
6	4	1	4
7	2	0	0

Tabela 32 – Capacidade regulatória de vazão na bacia do ribeirão das Anhumas

Capacidade regulatória	Valor (<i>f_i</i>)	Bacia
< 3	1	3 e 7
3 a 6	2	1, 2, 5 e 6
6 a 9	3	-----
9 a 12	4	-----
> 12	5	4

A tabela 33 apresenta a *Matriz Payoff* com os pesos normalizados e todos os valores determinados para as alternativas dos treze critérios, segundo a metodologia utilizada no item 4.1.2.

Tabela 33 – Matriz de pesos normalizados e valores para os critérios das alternativas possíveis (*Matriz Payoff*)

Critério	Pesos normalizados		Valoração por bacia						
	média	moda	1	2	3	4	5	6	7
1. Área da bacia	0,024	0,011	3	1	3	3	3	3	5
2. Grau de urbanização	0,010	0,108	1	2	1	5	2	4	2
3 Área de risco de inundação	0,089	0,092	2	2	2	1	1	1	5
4 Classe de capacidade de uso	0,077	0,076	1	2	1	5	3	3	2
5 Corredor de vegetação nativa	0,097	0,108	1	5	1	5	5	5	5
6 Densidade de drenagem dos cursos d'água	0,081	0,076	3	5	3	5	3	1	3
7 Vazão média	0,081	0,086	3	1	3	3	3	3	5
8 Mata ciliar	0,060	0,054	5	5	5	5	5	1	3
9 Diversidade de ecossistemas	0,079	0,054	1	1	1	1	3	3	3
10 Presença de Unidade de Conservação	0,073	0,086	3	5	3	1	1	1	5
11 Densidade de Vegetação Nativa	0,066	0,068	3	1	5	3	5	5	5
12 Fragmentação da vegetação nativa	0,070	0,072	3	1	4	3	5	5	3
13 Influência da bacia para o regime de cheias	0,102	0,108	2	2	1	5	2	2	1
Σ Pesos	1,000	1,000							

4.1.3 Aplicação dos métodos multicriteriais

Após aplicação dos dois métodos de análise multicriterial, usando-se a média (média expurgada) e a moda para tratamento dos pesos obtidos com o questionário, não se constatarem diferenças entre os resultados tratados com média ou com moda, nem no método PC, nem no método CGT (Tabelas 34 e 35). As pequenas diferenças observadas (inferiores a 3,3 %) entre as duas medidas aplicadas, nos dois métodos, podem ser negligenciadas.

Comparando-se os dois métodos de análise multicriterial, observa-se que não houve diferenças entre os métodos PC e CGT nas primeiras cinco colocações de bacias selecionadas (Tabela 35). A bacia 7 foi primeira colocada, seguida das bacias 4, 5, 6 e 2, na aplicação dos métodos PC e CGT. A diferença entre as duas primeiras colocações (bacias 7 e 4) foi muito pequena em ambos os métodos, nas duas medidas de tendência central. A maior diferença entre essas duas sub-bacias foi de 5,5 % no método PC, usando-se média para estimativa dos pesos, e a menor, 2,2 %, no método CGT com a moda. A obtenção de alta prioridade para a bacia 4 (córrego São Quirino) concorda com sua posição bem a montante na bacia, seu uso predominantemente rural, com baixa impermeabilização e maior fragilidade dos seus solos e a elevada densidade de cursos d'água. Todavia, a maior prioridade obtida para a bacia 7 (ribeirão das Pedras) deve ser discutida. A bacia hidrográfica 7 (ribeirão das Pedras) tem relevo menos acidentado, solos menos frágeis e elevado percentual de área urbanizada em seu alto e médio curso. Se por um lado, a bacia 7 tem vários indicadores positivos para sua escolha e, assim, implementação do estudo de recuperação das APPs, a exemplo de sua maior extensão, elevada densidade de formações florestais nativas, presença de UC, maior área com risco de inundação e maior vazão média, por outro lado, como é uma bacia alongada (Figura 4) e de grande extensão, estes indicadores não necessariamente ocorrem em locais próximos. Assim, apesar desta ter maior área com risco de inundação e maior vazão média, a inundação e a desembocadura deste afluente no Anhumas ocorrem no baixo curso do Anhumas, já que parte do baixo curso deste ribeirão principal foi incluída na bacia 7. Sendo esta desembocadura em seu baixo curso, não haverá influência no regime do Anhumas a montante. Ademais, grande parte da área urbanizada da bacia 7 encontra-se em seu alto e médio curso, dividindo a bacia em duas porções bem distintas, uma urbanizada, à montante, e a outra mais rural, à jusante. A elevada urbanização das áreas na alta e média bacias restringe a recuperação de suas

APPs, de maneira que esta pode ser feita quase que somente em seu baixo curso. Estes aspectos destacam a maior importância de alguns indicadores, não adequadamente considerados na análise, como Grau de Urbanização, e menor importância de outros, como Área da Bacia. Infere-se, por isso, que um recurso de análise que considere a distribuição espacial desses indicadores seja importante em bacias com maiores extensões. Outro recurso que teria melhorado a avaliação é a subdivisão da bacia 7 em duas, uma que abrangesse apenas o baixo curso do ribeirão das Anhumas e a outra que abrangesse apenas a bacia do ribeirão das Pedras, das cabeceiras até a desembocadura desta no Anhumas. Isto provavelmente alteraria os resultados da análise, já que colocaria em bacias separadas, indicadores que juntos contribuíram para seleção da bacia 7. Uma sugestão oriunda da interpretação desses resultados e aplicável de maneira generalizada é que, ao proceder-se a uma análise para seleção de bacias hidrográficas para finalidades semelhantes, limite-se o tamanho das bacias separadas, de maneira a torná-las mais homogêneas. A partir disso, pode-se concluir que a importância do indicador Área da Bacia não foi considerada adequadamente nesse trabalho. Se este indicador fosse, ao contrário do que foi feito, considerado com proporcionalidade inversa à sua importância, teria sido atenuada a heterogeneidade da distribuição de alguns indicadores. Em função disso, para este trabalho, considerou-se a bacia 4, do córrego São Quirino, como mais adequada para implementação de estudos de recuperação ambiental que a bacia 7.

Nas demais posições (terceira a sétima), os resultados obtidos são coerentes com os indicadores das respectivas bacias hidrográficas. As bacias 5 (Baixo-Médio Anhumas) e 6 (Monte D'Este) são, na sequência do ordenamento (Tabela 13), aquelas com menor grau de urbanização, apresentando a bacia 5 maiores valores de vulnerabilidade à erosão (solos e relevo), densidade de drenagem, número e diversidade de fragmentos e vazão média que a bacia hidrográfica 4. As bacias seguintes, no ordenamento, bacias 2, 3 e 1, são aquelas mais urbanizadas, onde a recuperação ambiental em APPs seria extremamente difícil e restrita espacialmente, devido ao elevado grau de impermeabilização superficial. Mesmo assim, a sutil diferença entre as três últimas bacias reflete as pequenas diferenças entre estas. Observa-se pequena inversão nas duas últimas posições entre as bacias 1 e 3 (Tabela 35), mas como esta diferença não ultrapassou 4,3 % (método PC, pesos calculados pela média), não foi considerada relevante.

Tabela 34 - Distância (l), conforme fórmula 4 e 5, calculada para as bacias segundo os dois modelos de análise multicriterial

Bacias	Programação de compromisso (PC)		Jogos cooperativos (CGT)	
	Ponderação segundo a:		Ponderação segundo a:	
	Média	Moda	Média	Moda
1	0,69	0,70	1,94	1,94
2	0,60	0,58	2,13	2,20
3	0,67	0,67	1,91	1,91
4	0,36	0,35	3,00	3,05
5	0,45	0,47	2,69	2,64
6	0,50	0,50	2,39	2,40
7	0,34	0,34	3,11	3,12

Tabela 35- Ordem crescente de priorização para seleção de sub-bacia

Ordenação	Programação de compromisso (PC)		Jogos cooperativos (CGT)	
	Ponderação segundo a:		Ponderação segundo a:	
	Média	Moda	Média	Moda
1º	bacia 7	bacia 7	bacia 7	bacia 7
2º	bacia 4	bacia 4	bacia 4	bacia 4
3º	bacia 5	bacia 5	bacia 5	bacia 5
4º	bacia 6	bacia 6	bacia 6	bacia 6
5º	bacia 2	bacia 2	bacia 2	bacia 2
6º	bacia 3	bacia 3	bacia 1	bacia 1
7º	bacia 1	bacia 1	bacia 3	bacia 3

Ressalvadas as restrições apresentadas para priorização da bacia 7 (ribeirão das Pedras), independentemente do método utilizado (PC ou CGT) e do tipo de processamento dos pesos obtidos nos questionários (média ou moda), a análise multicriterial se mostrou bastante efetiva neste processo de seleção de bacias hidrográficas quando se considera um grande número de fatores. A análise tornou o processo de seleção mais objetivo, bem como apresentou flexibilidade, o que permite a sua aplicação com diferentes objetivos ou enfoques. Deve-se ressaltar, contudo, que esta efetividade da aplicação da análise multicriterial neste tipo de estudo depende consideravelmente dos indicadores e critérios utilizados e de como estes são aplicados.

Por fim, pode-se dizer que aspectos importantes a considerar são (a) evitar critérios com sobreposição, ou seja, critérios que no todo ou em parte possam representar o mesmo indicador; (b) realizar adequado julgamento de valor para os

critérios, evitando, por exemplo, que critérios cuja presença ou aumento deva ser considerado como de influência negativa, o seja de maneira positiva, ou vice-versa; (c) selecionar critérios de natureza diversa (não considerado neste estudo, já que consideraram-se aqui apenas aqueles de natureza ambiental) e (d) usar a experiência do tomador de decisão como complementar aos resultados obtidos com os especialistas.

4.2 Áreas de Preservação Permanente: priorização para recuperação

4.2.1 Mapa de uso atual das terras

A bacia selecionada para estudo, a do córrego São Quirino possui 1.484 ha, sendo que deste total 318,37 ha (21,45 %) são considerados Área de Preservação Permanente (APP). No entanto, apenas 1,69 % de APP encontra-se coberta com vegetação nativa (mata ciliar).

Verifica-se que os usos que mais ocorrem são pastagem (44,30 %), regeneração natural (18,66 %) e culturas anuais (soja, milho e feijão) e semi-perenes (cana-de-açúcar) (Figura 23). Considerou-se como regeneração natural, pastos sujos, que em outras situações são chamadas de macegas (Tabela 36).

Tabela 36 – Área e proporção de uso e ocupação do solo em APP

Usos	Área (ha)	%
Culturas perenes	2,07	0,65
Culturas anuais e semi-perenes	55,35	17,38
Mata ciliar	5,39	1,69
Pastagem	141,05	44,30
Reflorestamento	34,66	10,89
Regeneração Natural	59,41	18,66
Solo exposto	16,03	5,03
Áreas Impermeabilizadas	4,42	1,39
	318,27	100,00

Em relação a categoria de APP (Tabela 37), as faixas ao longo de curso d'água com 30 metros de cada lado somaram 70,98 % das APP, seguida das nascentes com 19,29 %, topo de morro com 9,46 %, e por último APP localizadas em faixas marginais distantes 15 metros dos lagos, com 0,27 %. Não foi verificado nessa bacia APP por declividade acima de 100 %.

Tabela 37 – Tipos de APP na bacia do São Quirino, de acordo com a lei 4771/65 e suas alterações (BRASIL, 2001).

Tipos de APP localizadas	ha	%
Entorno de nascentes	61,40	19,29
Ao redor de lagos	0,86	0,27
Ao longo de cursos d'água	225,97	70,98
Declividades acima de 100 %	0,00	0,00
Topo de morro	30,14	9,46
Total	318,27	100,00

Os resultados apresentados na tabela 36 confirmam uma hipótese dessa dissertação, verificando que o Código Florestal (BRASIL, 2001) não vem sendo cumprido satisfatoriamente. Ou seja, 79,64 % dessas APPs estão sendo utilizadas irregularmente com culturas perenes (cítricos, café), culturas anuais e semi-perenes (cana-de-açúcar, milho, feijão), pastagem, reflorestamento, solo exposto e impermeabilização, contrariando os dispositivos legais (BRASIL, 1998). Apenas 1,69 % encontra-se coberta com matas ciliares e 18,66 % estão em um processo de regeneração natural (Figura 20) que poderão se transformar em floresta nativa ciliar se não houver uma interferência negativa, como preparo do solo para plantio ou urbanização.

Das situações verificadas irregularmente nas APPs, o uso mais prejudicial, é aquele que expõe o solo frequentemente à ação erosiva da chuva e do vento, como por exemplo, preparo do solo para plantio das culturas. Esse manejo impede a regeneração natural e a formação de floresta nativa, contrariando os dispositivos legais do Código Florestal (BRASIL, 2001).

Comparando os usos da terra do ano de 1972 (Figura 21) e de 2001 (Figura 22) na bacia do São Quirino, verifica-se que não houve mudanças significativas em relação ao aumento de matas ciliares. Ou seja, em 1972 o uso e ocupação das terras predominante nas APPs restringiam-se a pastagem, reflorestamento (eucalipto e pinus) e culturas perenes e praticamente 0,0 % de mata ciliar. Em 2001 pode-se verificar um pequeno aumento de vegetação nativa nas APPs, totalizando apenas 1,69 % em relação à área total e APPs. No entanto, o Código Florestal (BRASIL, 2001), a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), a Constituição Federal (BRASIL, 1988) e várias regulamentações e novas inserções de leis permitiram um “status quo” ao Brasil de ser um dos países pioneiros em leis de proteção ao meio ambiente (SCHONARDIE, 2005). Apesar dessa excelência em leis ambientais, o mesmo não se pode falar em relação à sua implementação para se coibir a utilização irregular das APPs, principalmente levando-se em consideração os artigos 2º e 26º do Código Florestal (BRASIL, 2001). O artigo 2º desta lei trata do enquadramento legal das APPs e o artigo 26º, alínea “g”, das contravenções penais pelo impedimento da regeneração natural dessas APPs. O artigo 26º foi considerado pela Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1988). O que era contravenção penal, passou a ser crime ambiental. A Portaria DPRN nº. 2/85 (SÃO PAULO, 1985) publicada no Diário Oficial do Estado, em 24/05/85 em seu artigo 1º diz: “Todas as glebas rurais que, embora cultivadas, apresentem a

situações físicas de preservação permanente e previstas pelo artigo 2º alínea “a” alterada pela lei 7.511 de 07/7/86. e alíneas “b”, “c”, “d”, “e”, “f” e “g”, do Código Florestal, não poderão de ora em diante ser submetidas ao cultivo, uma vez que ferem o disposto no artigo 26, letra “g” do citado Código”. Ainda informa no seus parágrafos seguintes, que as glebas nessa situação de APP que se apresentam cultivadas com culturas anuais ou semi-perenes não poderão ser novamente preparadas para semeadura. Entretanto, passados 21 anos desde esta Portaria, pode-se verificar várias socas e ressocas da cana-de-açúcar, preparo de solo para outras culturas anuais, vários cortes de reflorestamento, bem como a reforma e manutenção de pastagens. Portanto, estas APPs continuam sendo cultivadas comercialmente alheias ao “Poder de Polícia” dos órgãos fiscalizadores competentes. Isso não é uma situação isolada e verificada apenas nessa bacia, mas de uma forma geral nos municípios de todo país. Pelo menos, se não recuperadas racionalmente com floresta nativa, essas áreas deveriam estar com maiores porcentagens de florestas nativas regeneradas naturalmente, em detrimento dos plantios comerciais. Isso denota um problema de ordem de Política Ambiental na esfera municipal, estadual e federal, onde a falta de planejamento regional voltada às preocupações ambientais traduz nas ocupações irregulares e permissivas destas áreas com restrições ambientais.



Figura 20 – APP da bacia do São Quirino com vegetação secundária em estágio pioneiro de regeneração (BRASIL, 1994), com predominância da espécie *Gochnatia polymorpha*.

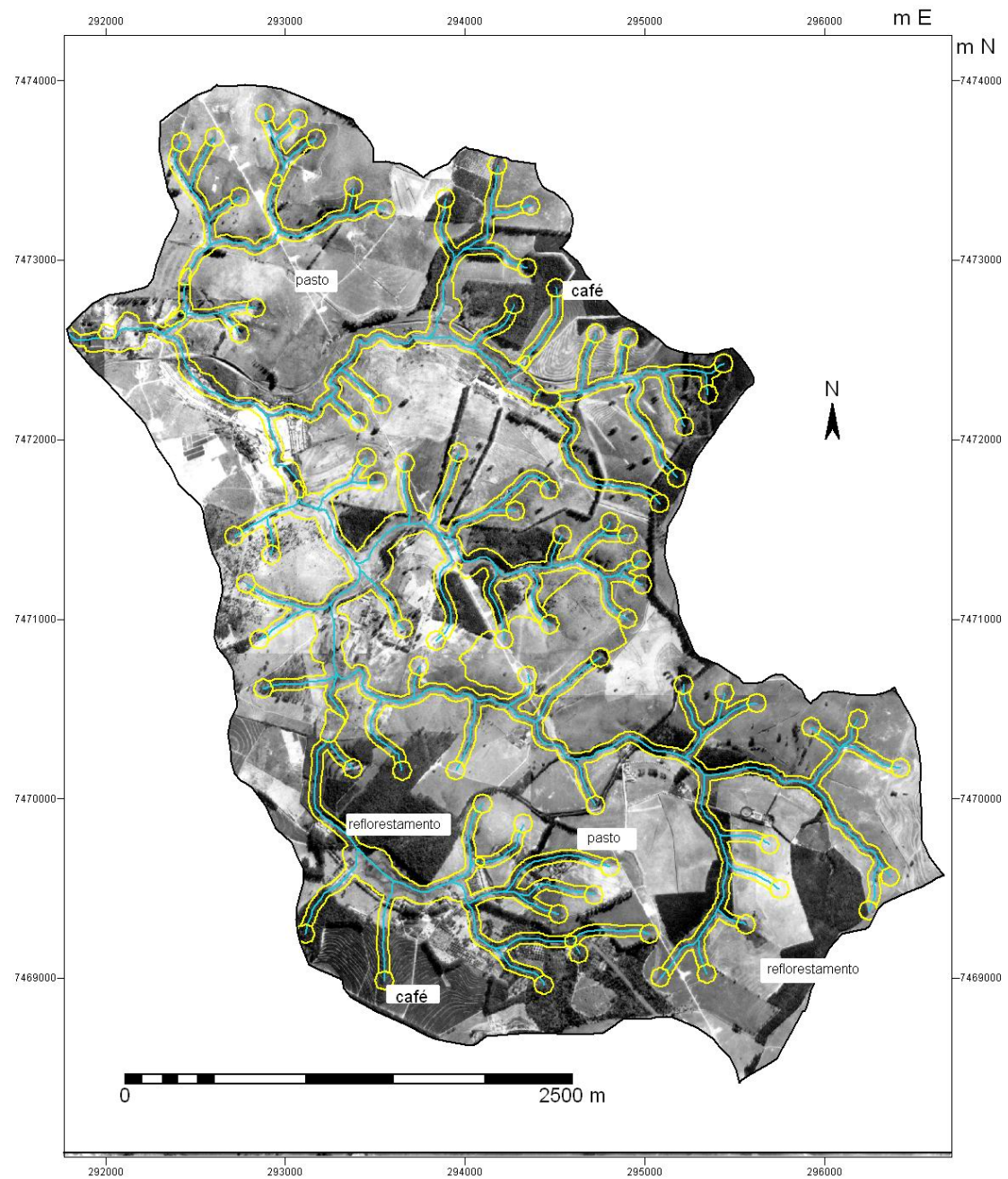


Figura 21 – Bacia do São Quirino: foto aérea de 1972 com seu uso e ocupação

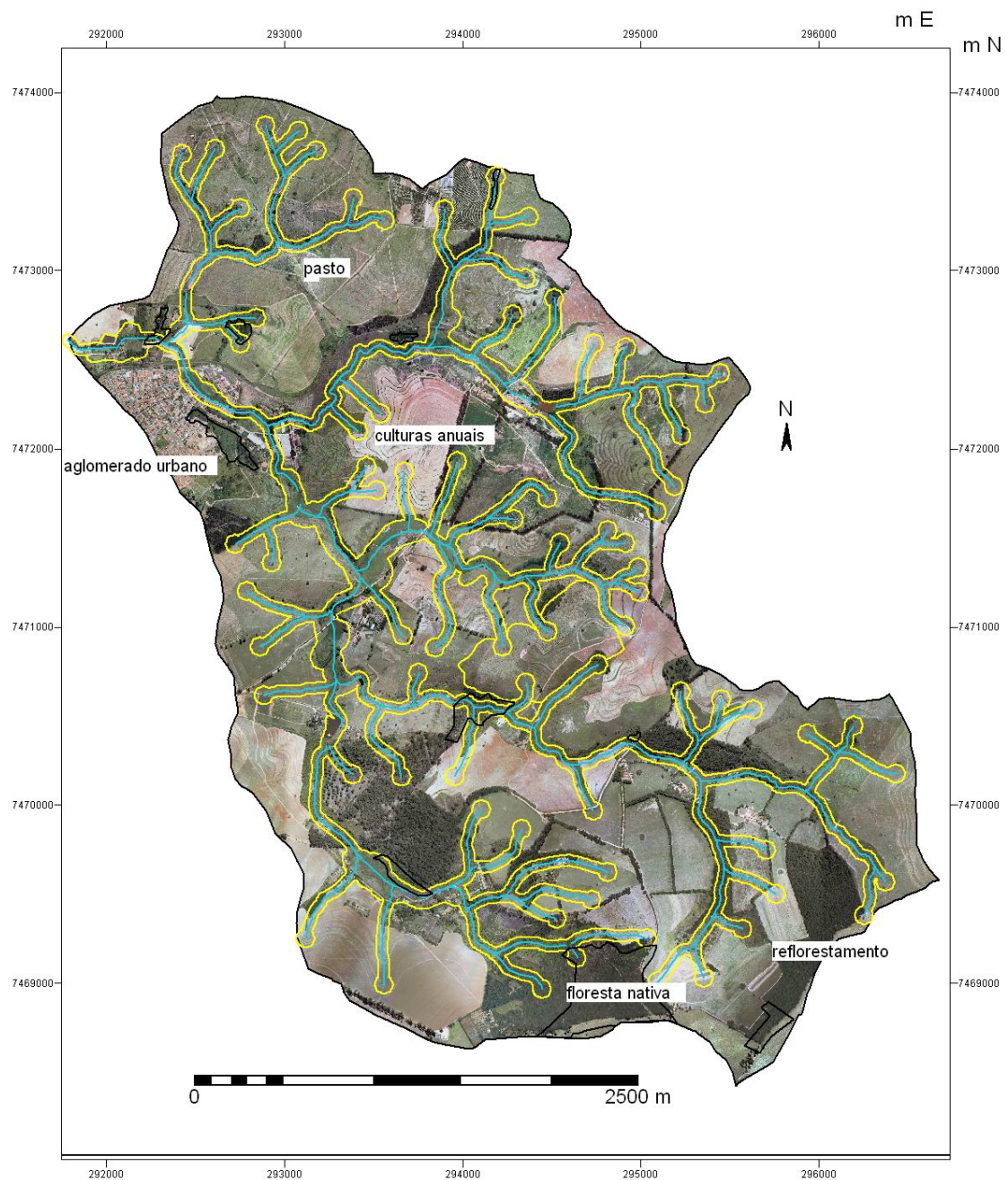


Figura 22 - Foto aérea de 2001 da Bacia do São Quirino

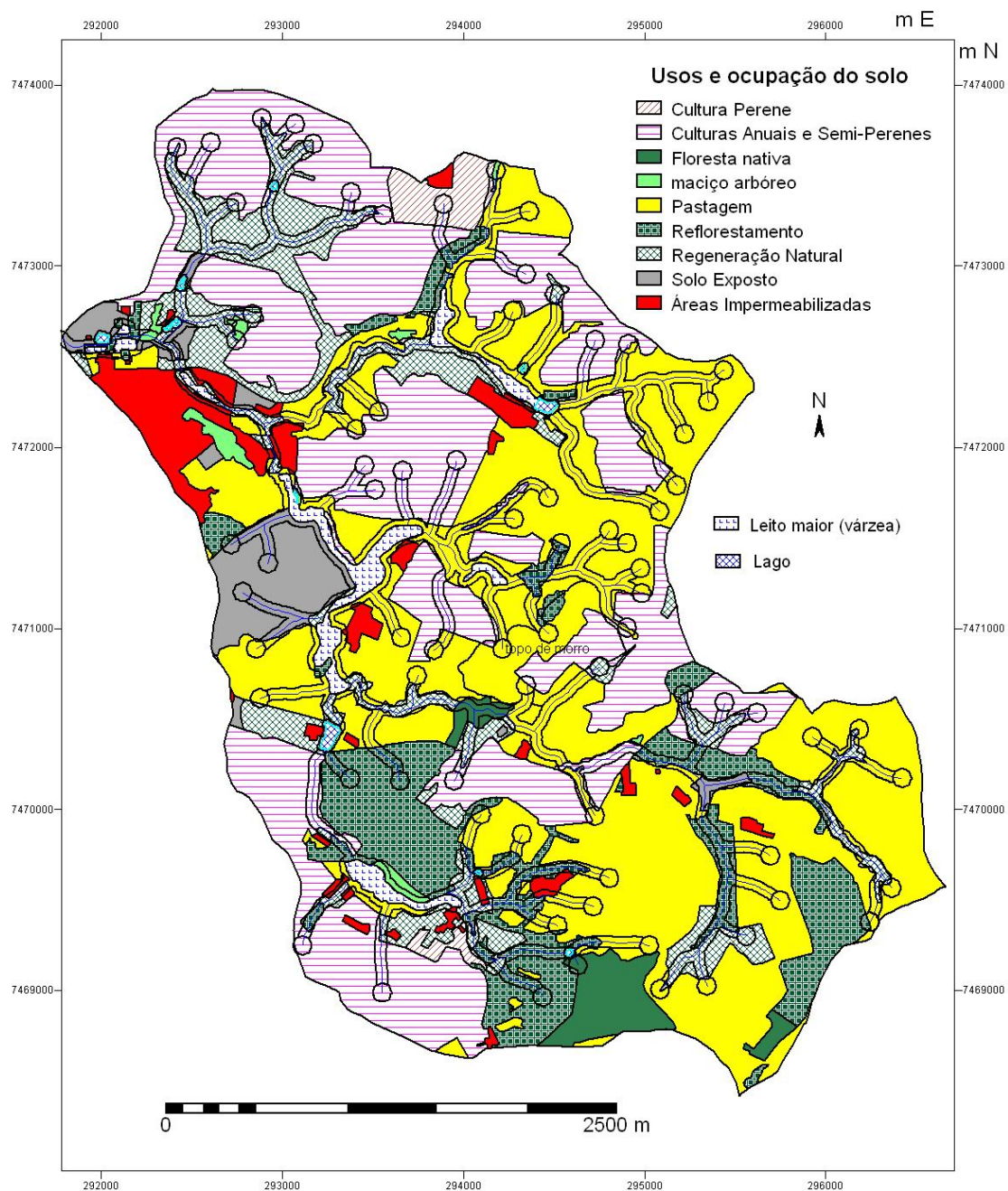


Figura 23 – Mapa de uso e ocupação do solo da bacia do São Quirino e a sobreposição dos vários usos agropecuários em APP.

4.2.2 Resultado dos questionários (pesos)

Dos 31 questionários enviados aos analistas, 13 (42%) enviaram suas sugestões de pesos.

Em relação aos pesos resultantes dos questionários (Tabela 38) observa-se que o critério “proximidade de remanescente de vegetação nativa” foi o que obteve menor desvio padrão e a maior frequência de notas máximas (Tabela 39), sendo considerado unânime, entre os especialistas, sua importância para priorização de recuperação de APPs. Essa opinião é corroborada por vários pesquisadores da área ambiental, onde fragmentos de vegetação nativa e maciços arbóreos contribuem com dispersão de sementes pela fauna e vento permitindo a conectividade entre os fragmentos e com isso, auxiliando na recuperação dessas APPs (LIMA & RODRIGUES, entrevista; KAGEYAMA, 2003). Analogamente, o critério “vulnerabilidade à erosão” foi o segundo melhor na tabulação. Por outro lado, o critério que sofreu maior divergência de opiniões entre os especialistas foi “categoria de APP” que recebeu dois zeros e o maior número de notas diferentes. Os critérios que receberam menor nota entre os especialistas foram “proximidade de malha viária”, “proximidade de núcleos urbanos” e “ordem de canais de drenagem”. Estes três últimos critérios, os que receberam a pior nota, talvez não tenham sido considerados importantes pelos especialistas, por estes considerarem que independentemente da situação de uma APP e da situação de risco em que ela se encontra, a mesma deve ser recuperada.

As medidas de tendência central moda e média expurgada não diferiram muito entre si, observando que a média expurgada tendeu elevar os pesos da média para cima. Porém na moda, constatou-se que ocorreu uma dispersão significativa dos pesos, tanto dos valores mínimos quanto máximos, mas com maior frequência para este último (Figura 24). A figura 40 apresenta os pesos tratados pela média e moda normalizados.

Tabela 38 – Pesos finais resultantes das notas dos questionários para cada critério para priorização de recuperação de APPs, com sua moda, média, desvio padrão e média expurgada

Critérios														Média expurgada			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Moda	Média	Desvio padrão (dp)	
1. Proximidade de remanescente de vegetação. nativa	3	3	2	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	2,8	0,38	3,00
2. Proximidade de aglomerados urbanos	3	2	1	2	3	0	1	0	1	1	2	2	2	2	1,5	0,97	1,56
3. Uso da terra	2	3	2	3	3	3	1	1	2	1	1	3	3	3	2,2	0,90	2,67
4. Vulnerabilidade a erosão	2	3	3	1	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2,6	0,65	2,75
5. Proximidade de malha viária	1	2	1	3	2	0	1	0	1	2	2	1	2	1,5	1,4	0,87	1,50
6. Capacidade de sustentabilidade	3	3	2	2	2	3	2	1	3	3	1	0	3	3	2,2	0,99	2,60
7. Ordem de canais	1	2	1	1	1	1	2	2	1	3	2	3	3	1	1,8	0,83	1,40
8. Categoria de APP	2	3	2	0	1	3	3	3	3	1	0	3	2	3	2,0	1,15	2,36

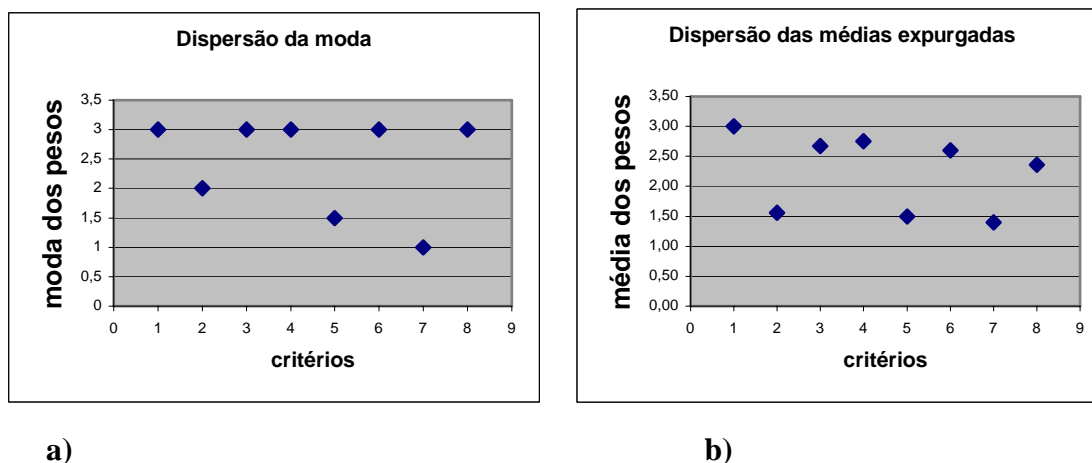


Figura 24 – Dispersão das medidas de tendência central, moda (a) e média (b) dos pesos obtidos por consulta aos especialistas.

Tabela 39 – Frequência dos pesos atribuídos pelos especialistas, para critérios para recuperação de APPs.

Critérios	Pesos			
	0	1	2	3
1. Proximidade de remanescente de vegetação nativa	--	--	2	11
2. Proximidade de núcleos urbanos	2	4	5	2
3. Uso da terra	--	4	3	6
4. Vulnerabilidade a erosão	--	1	3	8
5. Proximidade de malha viária	2	5	5	1
6. capacidade de sustentabilidade do solo	1	2	4	6
7. Ordem de canais de drenagem	--	6	4	3
8. Categoria de APP	2	2	3	6

Tabela 40 – Pesos tratados pela média e pela moda, normalizados.

Critérios	Pesos normalizados	
	Média expurgada	Moda
1 – Proximidade de remanescente de vegetação nativa	0,168	0,154
2 – Proximidade de núcleos urbanos	0,087	0,103
3 – Uso da terra	0,150	0,154
4 – Vulnerabilidade a erosão	0,154	0,154
5 - Proximidade de malha viária	0,084	0,077
6 – Capacidade de sustentabilidade do solo	0,146	0,154
7 – Ordem de canais de drenagem	0,078	0,051
8 – Categoria de APP	0,132	0,154

4.2.2.1 Método da Programação de Compromisso (*Compromise Programming-PC*)

Verifica-se que não houve diferenças significativas em relação a média e moda aplicadas ao método PC (Figura 25). As prioridades para recuperação se concentraram nas classes média e alta, variando de 44,70 % a 49,98 % para cada uma das classes, respectivamente e variando de 0,05 % a 3 % nas classes muito baixa, baixa e muito alta (Tabela 41).

Os mapas de priorização para recuperação de APP gerados no SIG (Figuras 26 e 27) ilustram que não houve diferenças significativas entre a média e a moda aplicadas num mesmo método. Os usos solo exposto e culturas anuais predominaram na classe de prioridade “muito alta”, enquanto que o uso pastagem concentrou-se na classe de prioridade “alta” para recuperação. Porém quando estes usos estão sob influência do raio de 200 m da malha viária, as classes alternaram de “muito alta” para “alta” prioridade para solos expostos e culturas anuais e média prioridade para o uso pastagem. Nas APPs com cobertura do solo com pastagem e sob influência do raio de 50 metros de distância de fragmentos e maciços, geralmente, as classes tenderam para “alta” e “muito alta” prioridade para recuperação, isso quando distante do raio de influência de 200 m de núcleos urbanos e malha viária. Quando sob influência de ambas condições, a APP com cobertura de pastagem e sob influência do raio de 50 m de fragmentos e maciços, classificou-se em média prioridade para recuperação. Já os usos menos intensivos do solo, e que têm menor prioridade para recuperação, como reflorestamento e regeneração natural, predominaram as classes de prioridade média para recuperação, mesmo sob influências daqueles critérios. Essas situações, quando sob influência da malha viária ou próximo a fragmentos, expressam a maior ou menor dificuldade, respectivamente, que essas situações impõem à recuperação de APPs.

Tabela 41 – Áreas prioritárias para recuperação de APP, segundo método PC, pesos tratados pela média expurgada e pela moda.

Prioridades	Média expurgada		Moda	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Muito alta	6,67	2,13	9,14	2,92
Alta	156,30	49,98	164,03	52,45
Média	139,79	44,70	132,01	42,21
Baixa	9,78	3,13	7,39	2,37
Muito baixa	0,20	0,06	0,17	0,05
total	312,74	100,00	312,74	100,00

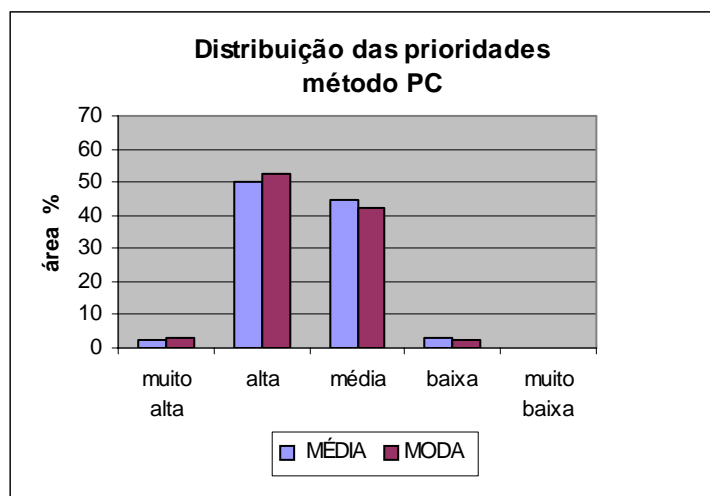


Figura 25 – Distribuição das prioridades levando em consideração média expurgada e moda, conforme modelo de análise multicriterial Programação por Compromisso (PC).

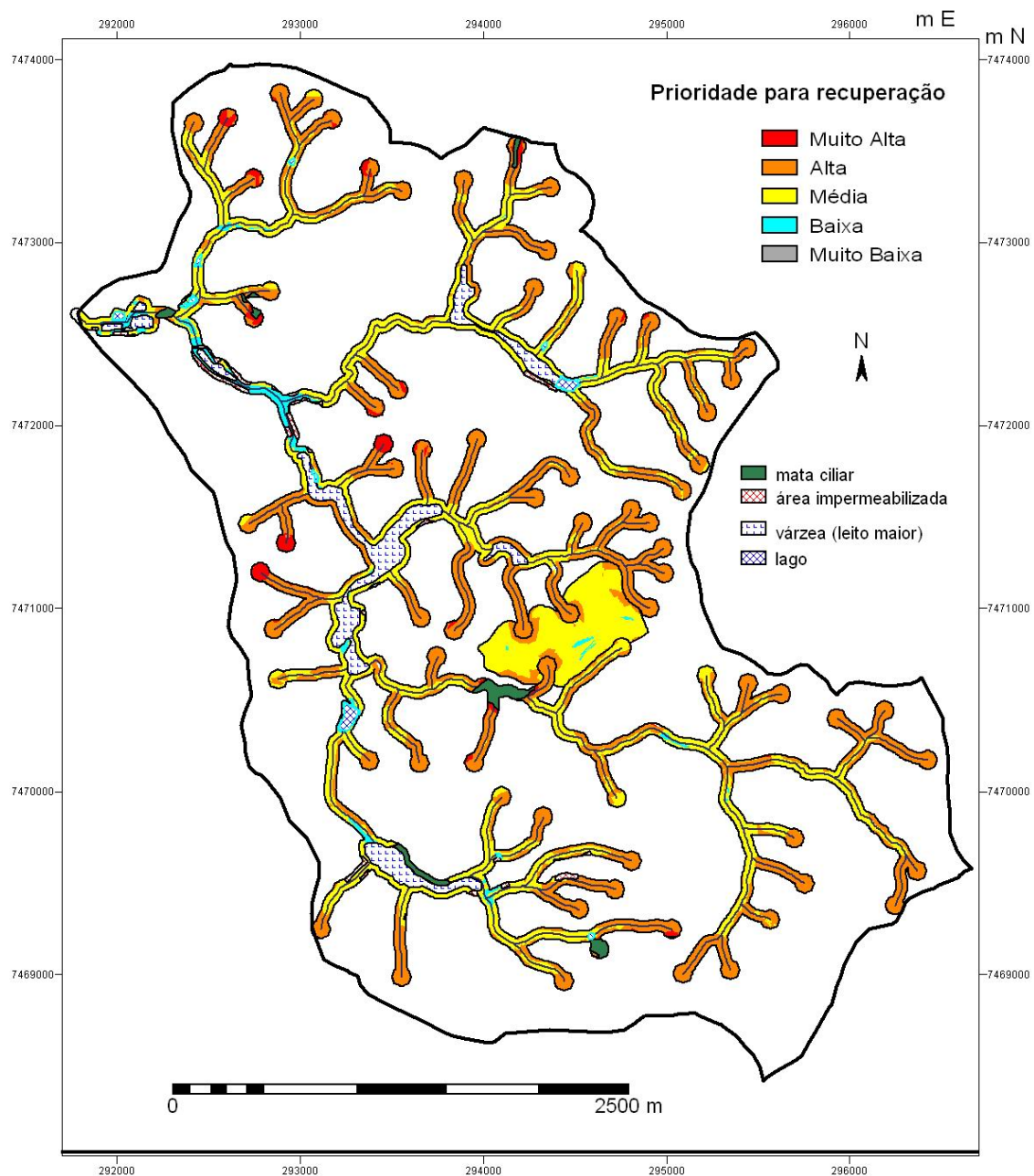


Figura 26 – Mapa de priorização para recuperação de APP conforme média expurgada com o uso do método Programação por Compromisso (PC).

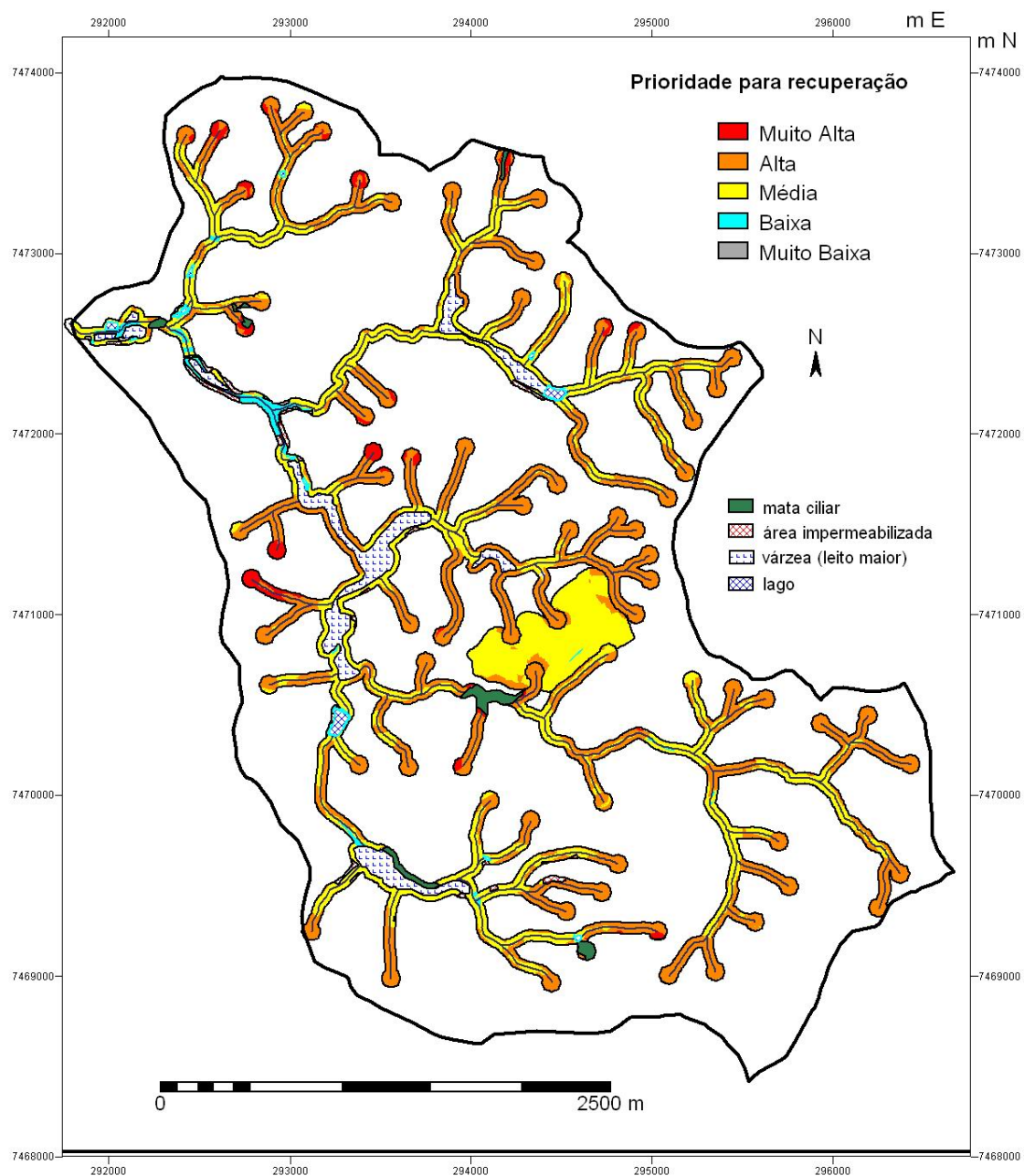


Figura 27 - Mapa de priorização para recuperação de APP conforme moda com o uso do método Programação por Compromisso (PC).

4.2.2.2 Método da Teoria dos Jogos Cooperativos (*Compromise Programming-CGT*)

Verifica-se que não houve diferenças significativas em relação a média e moda aplicada ao método CGT (Tabela 42). O método tendeu a aumentar as áreas de APP com a classe prioridade média (64 %), enquanto nas classes de baixa e alta prioridade mantiveram-se equilibradas entre 14 % e 20 %, respectivamente (Figura 28).

Neste método, as APPs com os usos solo exposto e culturas anuais predominaram na classe de prioridade “alta”, enquanto que o uso pastagem concentrou-se na classe de prioridade média. Quando as APPs com estes dois usos estão sob influência do raio de 200 m da malha viária, as classes de prioridade não se alteraram, diferentemente do método PC, que a classificação modifica de “muito alta” para “alta” prioridade de recuperação. Isto denota uma diferença de sensibilidade dos dois métodos a essas interações entre os diferentes critérios. As APPs com cobertura do solo com pastagem e sob influência do raio de 50 metros de distância dos fragmentos e maciços tenderam, geralmente, às classes “alta” e “muito alta” prioridade para recuperação, isto quando distante do raio de influência de 200 m de núcleos urbanos e malha viária. Quando sob influência destas condições, as APPs influenciadas pelo raio de 50 m de distância dos fragmentos e maciços classificaram-se em “média” e “baixa” prioridade para recuperação. Já os usos menos intensivos do solo, e que requerem menor prioridade para recuperação, como reflorestamento e regeneração natural, predominaram nas classes de prioridade baixa para recuperação (Figura 29 e 30).

Tabela 42 – Áreas prioritárias para recuperação de APP, segundo método CGT, pesos tratados pela média expurgada e pela moda.

Prioridades	Média expurgada		Moda	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Muito alta	0,76	0,24	0,81	0,26
Alta	52,53	16,80	62,84	20,09
Média	201,69	64,49	201,49	64,43
Baixa	54,50	17,43	45,05	14,41
Muito baixa	3,26	1,04	2,55	0,82
total	312,74	100,00	312,74	100,00

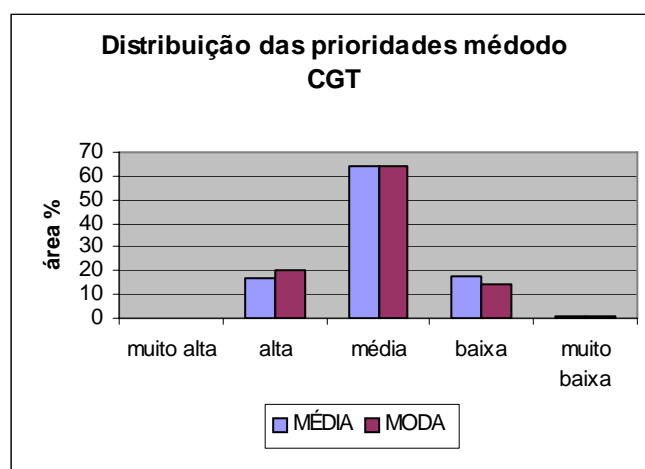


Figura 28 – Distribuição das prioridades levando em consideração média expurgada e moda, conforme método de análise multicriterial Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT)

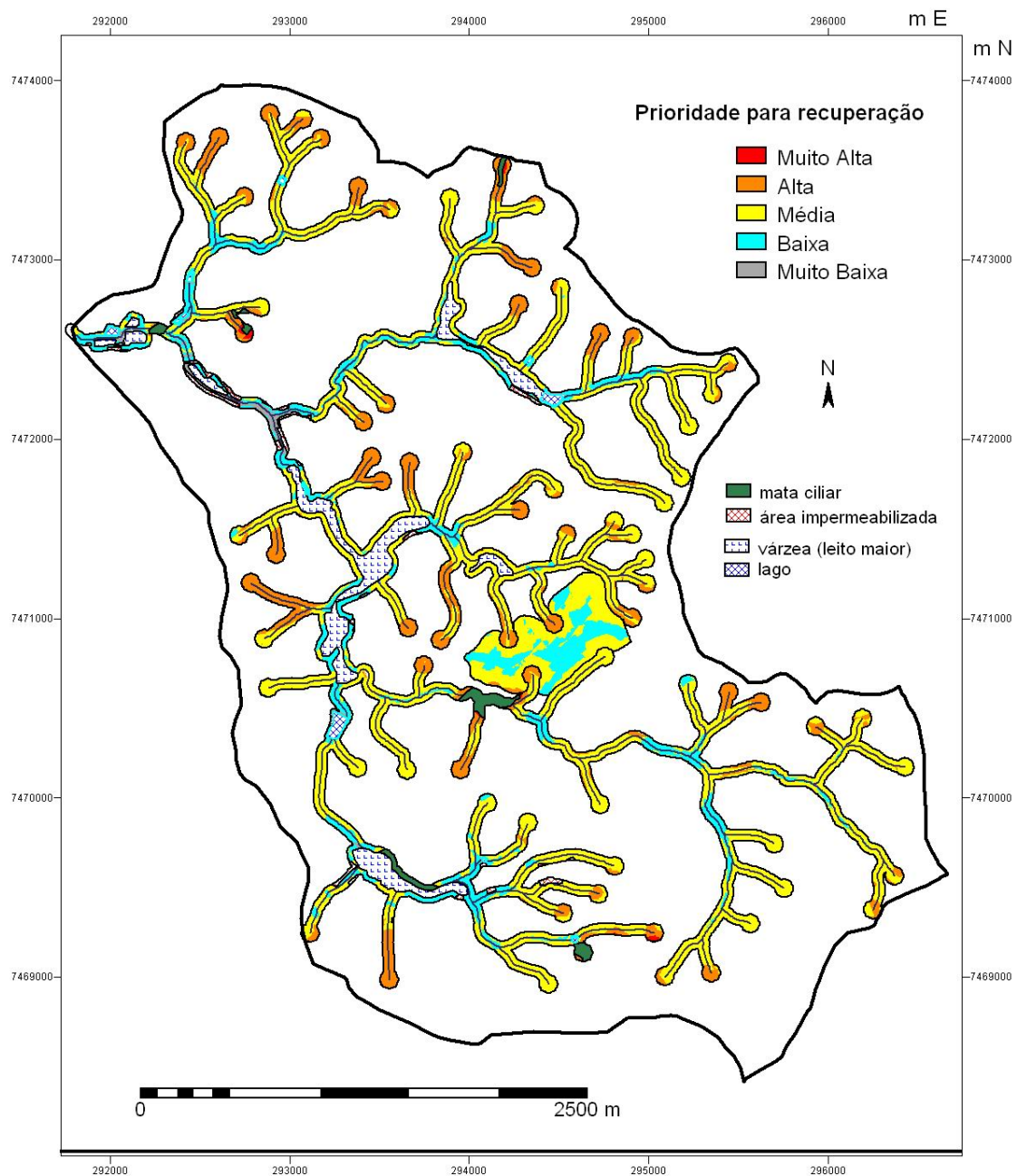


Figura 29 - Mapa de priorização para recuperação de APP conforme média expurgada com o uso do método Jogos Cooperativos (CGT).

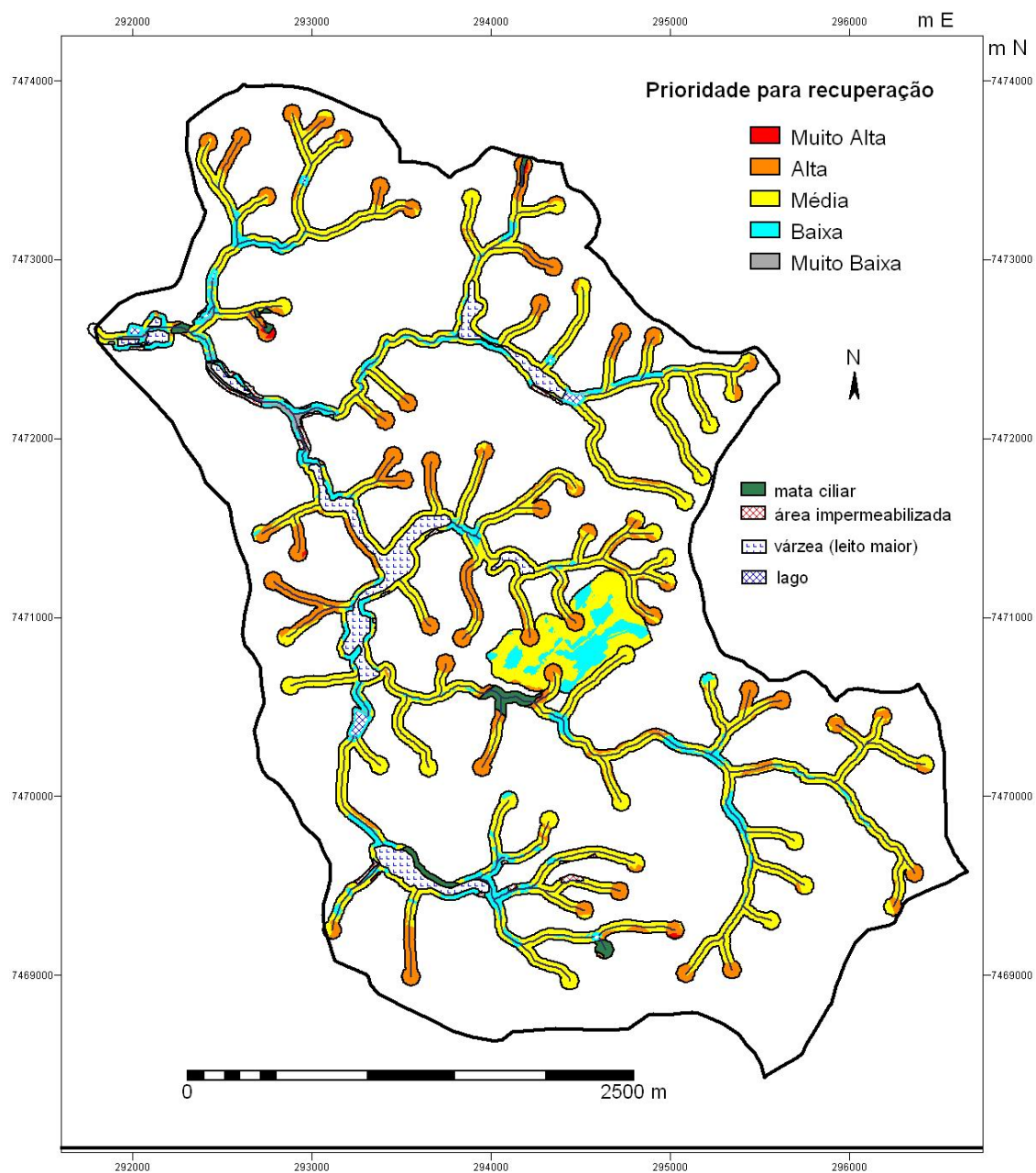


Figura 30 - Mapa de priorização para recuperação de APP conforme moda com o uso do método Jogos Cooperativos (CGT).

No método CGT, o tratamento dos pesos com média ou moda não influenciou a distribuição das áreas totais para cada classe de prioridade (Figura 28). Por este método, a maior extensão das APP (cerca de 64 %) apresentou prioridade média para recuperação, distribuindo-se a área restante entre as prioridades alta e baixa. Foi pouco significativa a extensão de APPs com prioridades muito baixa ou muito alta para recuperação.

A comparação entre os métodos PC e CGT mostrou diferença significativa entre os mesmos (Figura 31). O método PC (Figuras 26 e 27) tende geralmente a priorizar para recuperação de APP, em maior proporção, na classe “muito alta” os usos mais intensivos da terra, como solo exposto e cultivo com culturas anuais, principalmente quando localizados sob categoria de APP de nascente. Quando estes usos mais intensivos do solo estão localizados em categoria de APP de curso d’água, tende a priorizar em maior proporção na classe “alta”. Já as APPs cobertas com usos do solo, com menor prioridade para recuperação, como regeneração natural e reflorestamento têm prioridade média para recuperação. No método CGT (Figuras 29 e 30), apesar de se verificar uma melhor distribuição das classes de prioridades alta, média e baixa, com 20 %, 64 % e 14 %, respectivamente (Figura 28), verifica-se uma diminuição de prioridades em se tratando dos usos solo exposto e culturas anuais, concentrado-se as APPs cobertas com estes usos nas classes de alta prioridade, quando localizados em categoria de APP de nascente, e média prioridade quando localizados em categoria de APP de curso d’água. Os usos menos prioritários, como regeneração natural e reflorestamento, são posicionados nas classes de baixa prioridade.

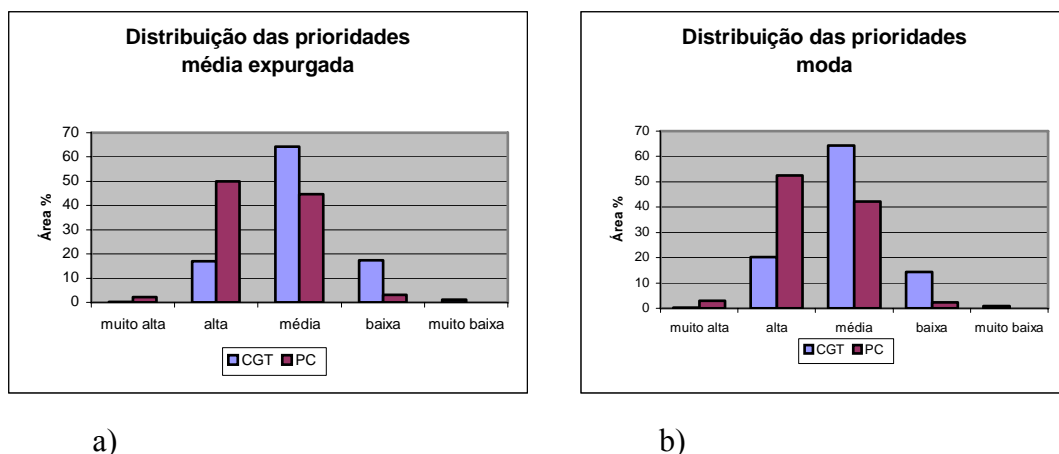


Figura 31 – Distribuição das freqüências de áreas (%) prioritárias para recuperação de APPs, nas medidas de tendência central média expurgada (a) e moda (b) nos métodos CGT e PC.

Para espacialização dos modelos multicriteriais PC e CGT em SIG os critérios devem ser muito bem escolhidos evitando-se a sobreposição de critérios com as mesmas funções. Para avaliar o comportamento dos resultados de APPs prioritárias para recuperação, procedeu-se uma simulação no SIG elegendo os critérios que obtiveram a média dos pesos mais altas entre os questionários aplicados aos especialistas: “proximidade de remanescente de vegetação”, “uso da terra”, vulnerabilidade a erosão”, e “categoria de APP”, evitando-se tanto quanto possível, a sobreposição de critérios com as mesmas funções ocupados por outros, como o critério “capacidade de sustentabilidade do solo” e “vulnerabilidade a erosão”, bem como, o critério “categoria de APP” e “ordem de canais de drenagens”. O resultado do cruzamento destes mapas de critérios aplicados aos métodos CGT e PC com pesos tratados pela média expurgada (Figura 33 e 34) mostrou melhor distribuição e resultados mais satisfatórios com os usos reflorestamento e regeneração natural nas classes de prioridades baixa, se comparados com os mapas de prioridades testados com os oito critérios (Figuras 26 e 29).

Para exemplificar, pode-se demonstrar que nas APPs com classe de prioridade para recuperação baixa e muito baixa, com 30,11 % e 1,04 % (Tabela 43), respectivamente, concentraram-se, principalmente os usos regeneração natural e reflorestamento, predominantemente nas categorias de APP de curso d’água e lagos. As prioridades para recuperação muito alta e alta, com 0,25 % e 14,69 %, respectivamente, concentraram-se nos usos da terra “solo exposto” e culturas anuais, principalmente sobrepondo as categorias de APP de nascentes e cursos d’água. A classe de prioridade média concentrou – se nos usos da terra pastagem, localizadas em categoria de APP

nascentes, cursos d'água e topo de morro. A distribuição das frequências das áreas é representada na figura 32. Por outro lado, na simulação com os oito critérios, os usos “regeneração natural” e “reflorestamento”, apesar de avaliados por nós (tomadores de decisão) como usos menos prioritários para recuperação por contribuírem para proteção do solo quando comparados com os usos “solo exposto”, “culturas anuais e perenes”, obtiveram a classificação de média prioridade para recuperação. Apesar disso, o resultado geral da simulação com os quatro critérios acima apresentados ainda ficou mais próximo da simulação realizada com os oito critérios, quando considerado o modelo multicriterial CGT em relação ao PC, tanto nos pesos tratados pela média como pela moda (Figuras 29 e 30).

Pode-se dizer, que aspectos importantes para priorização de APP para recuperação foram evitar critérios com sobreposição, ou seja, critérios que no todo ou em parte possam representar o mesmo indicador.

Tabela 43 – Áreas prioritárias para recuperação de APP, segundo os métodos PC e CGT, pesos tratados pela média expurgada.

Prioridades	PC		CGT	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Muito alta	0,80	0,26	0,80	0,26
Alta	45,93	14,69	24,04	7,70
Média	168,59	53,90	178,57	57,10
Baixa	94,18	30,11	105,96	33,88
Muito baixa	3,25	1,04	3,32	1,06
total	312,74	100,00	312,74	100,00

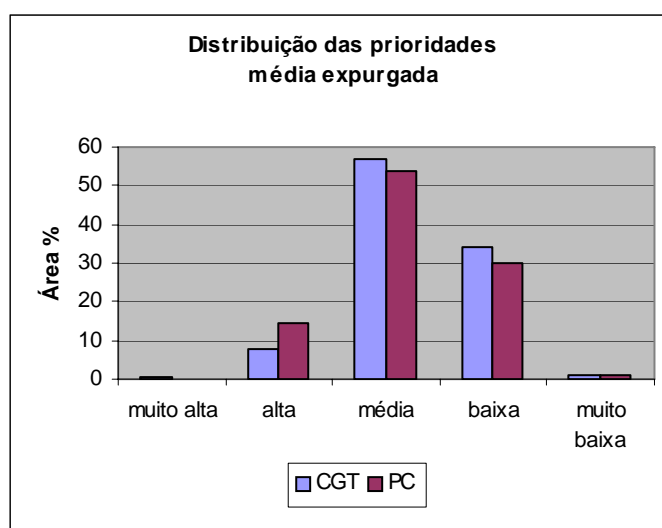


Figura 32 – Distribuição das frequências de áreas (%) prioritárias para recuperação de APPs, na medida de tendência central de média expurgada, nos métodos CGT e PC utilizando os quatro critérios que obtiveram médias dos pesos mais altos: “proximidade de fragmentos e maciços”, “uso da terra”, vulnerabilidade a erosão”, e “categoria de APP”.

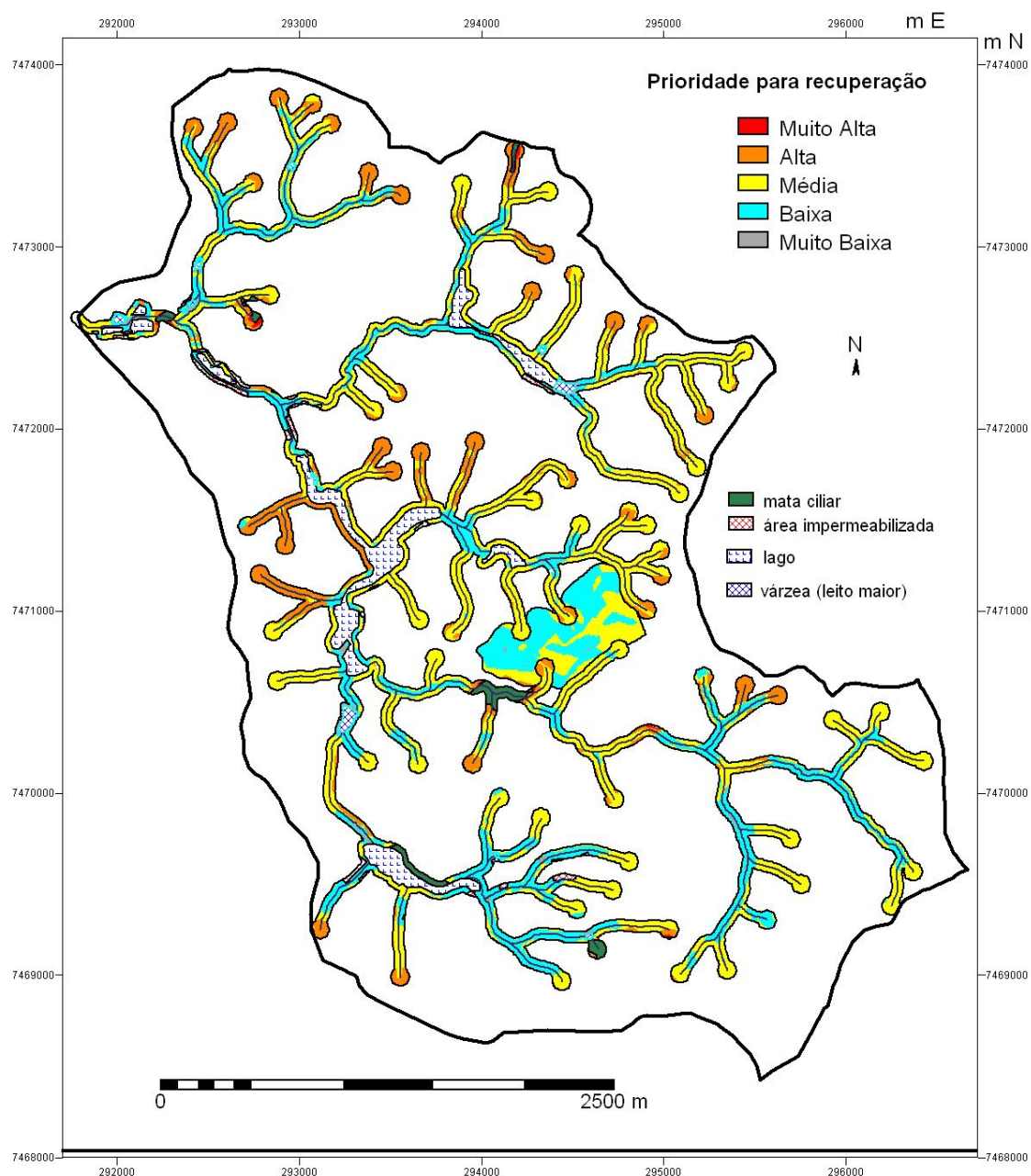


Figura 33 – Mapa de priorização para recuperação de APP conforme média expurgada com o uso do método Programação por Compromisso (PC) utilizando apenas quatro critérios: “proximidade de fragmentos e maciços”, “uso da terra”, “vulnerabilidade a erosão”, e “categoria de APP”.

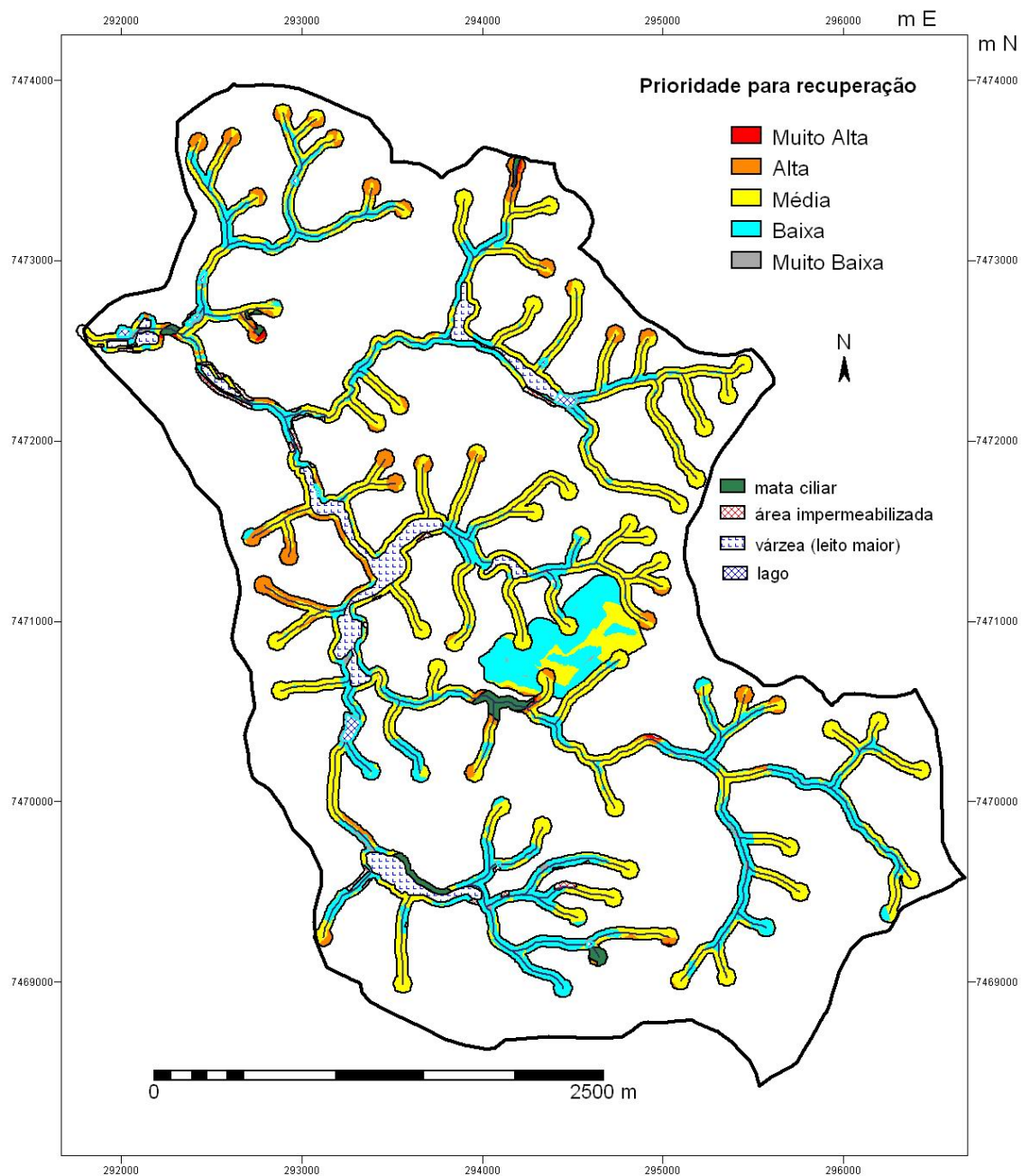


Figura 34 – Mapa de priorização para recuperação de APP conforme moda com o uso do método Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT) utilizando apenas quatro critérios: “proximidade de fragmentos e maciços”, “uso da terra”, “vulnerabilidade a erosão”, e “categoria de APP”.

5 CONCLUSOES

A análise multicriterial foi efetiva na seleção de bacias hidrográficas para recuperação de APPs, permitindo o uso de vários fatores, com flexibilidade. Apesar dessa objetividade, a interferência do tomador de decisão se mostrou importante para corrigir distorções na análise.

O levantamento do uso da terra na bacia do ribeirão do São Quirino mostrou que esta ocupação não respeita a legislação que protege as APPs, o que agrava a situação de degradação ambiental verificada na bacia do seu ribeirão das Anhumas, do qual é afluente.

Evitar sobreposição conceitual de critérios – a exemplo da sobreposição do critério Área da Bacia com diversos outros critérios –, efetuar adequado julgamento de valor para os critérios e usar a experiência do tomador de decisão como complementar aos resultados obtidos com os especialistas são procedimentos complementares essenciais ao sucesso na análise multicriterial no contexto estudado.

A metodologia usada para inserção dos métodos de análise multicriterial em SIG mostrou a viabilidade de sua espacialização.

No estabelecimento de APPs prioritárias para recuperação, a proporção de áreas prioritárias diferiu significativamente quando usada análise por PC ou por CGT. O tratamento com a moda ou média nos dois métodos não mostrou diferenças. Quando os pesos foram tratados pela média, o método PC resultou em maior área com alta e média prioridade para recuperação e o CGT tendeu a aumentar as áreas de APP com baixa e média prioridade em relação ao PC.

A priorização mais adequada dos usos regeneração natural e reflorestamento após eliminação dos quatro critérios de menor relevância, sugere que o uso de menor número de critérios, preferencialmente os mais importantes, para a AMC pode produzir resultados diferentes e com boa confiabilidade.

Nos dois casos estudados – seleção de bacia e priorização para recuperação – os resultados da aplicação dos métodos PC e CGT se aproximaram bastante, com pequenas diferenças que podem ser importantes apenas localmente. Isto não permite afirmar que um método é superior ao outro, mas que um ou outro deve ser usado, dependendo do objetivo desejado. Para o caso estudado, boa disponibilidade de recursos para implementar uma recuperação mais rápida e/ou necessidade de recuperação emergencial

aponta para o uso do PC na análise, enquanto uma recuperação efetuada de forma gradual, quando não há problemas emergenciais de ordem ambiental na bacia ou quando há disponibilização mais lenta de recursos pode indicar o método CGT como mais adequado. Todavia, devido à variabilidade dos resultados quando utilizados os diferentes métodos, sugere-se que pelo menos dois métodos de análise multicriterial sejam aplicados quando do seu uso em planejamento ambiental.

6 REFERÊNCIAS

- ALVES, D.S., Sistemas de Informação Geográfica. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. **Anais...**São Paulo: USP, 1990. P: 66-78.
- BARELLA, W.;PETRERE JR., M.;SMITH,W.S.;MONTAG, L.F. de A. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F.(eds.) **Matas ciliares:conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2001. cap. 12 , p. 187 - 207.
- BELTRÃO, M. I., Engenheiro Agrônomo, Diretor Regional do Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN), em Sorocaba, SP.
Entrevistador: Carlos Eduardo da Silva Francisco, Sorocaba, SP; em 20 de abr. 2006.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone. 1999. 4 edição. 355 p., p. 59-60.
- BERTOLINI, D.; BELLINAZZI JR., R.; **Levantamento do Meio Físico para Determinação da Capacidade de Uso das Terras**. 2ª edição. CATI. 1994. 29 p. (Boletim Técnico, 175).
- BORDIGNON JUNIOR, A.C., Engenheiro Agrônomo, Supervisor no Departamento Estadual de Proteção de Recursos Naturais (DEPRN), Equipe Técnica de Jundiaí. S.P.,
Entrevistador: Carlos Eduardo da Silva Francisco, Jundiaí, SP; em 13 de abr. 2006.
- BRASIL. **Lei Federal nº 6.766**, de 19 de dezembro de 1979 – Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Congresso Nacional, 1979.
- BRASIL. **Lei Federal nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981: Política Nacional de Meio Ambiente, DF: Congresso Nacional, 1981.
- BRASIL. **Resolução do CONAMA nº 4**, de 18 de setembro de 1985. Dispõe sobre Reservas Ecológicas. Brasília, DF: Congresso Nacional, 1985.
- BRASIL. **Lei Federal 7.511 de 7 de julho de 1986**. Altera os dispositivos da Lei 4771/65 (Revogada pela Lei 7.803/89). Brasília, DF: Congresso Nacional, 1986.
- BRASIL. **Constituição Federal: artigo 225**. Título VIII, capítulo VI Do Meio Ambiente. Brasília, DF: Congresso Nacional, 1988.
- BRASIL. **Lei Federal 7.803** de 18 de julho de 1989. Altera os dispositivos da Lei 4771/65. Brasília, DF: Congresso Nacional, 1989.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9433/97**, artigo 1º, item V, Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF: Congresso Nacional, 1997.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1988: Lei de Crimes Ambientais. Brasília, DF: Congresso Nacional, 1998.
- BRASIL. **Resolução do CONAMA nº 01**, de 31 de janeiro de 1994. Regulamenta o art. 6º do Decreto nº 750, de 10 de fevereiro de 1993 para o Estado de São Paulo. Brasília, DF: Congresso Nacional, 1994.
- BRASIL. **Lei Federal nº 9.985, de julho de 2000**: que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Brasília, DF: Congresso Nacional, 2000.

BRASIL. **Lei Federal nº 4771/65**, de 15 de setembro de 1965, alterada pela Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2001.

BRASIL. **Resolução do CONAMA 302**, de 20 de março de 2002, Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2002.

BRASIL. **Resolução do CONAMA 303**, de 20 de março de 2002, Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2002.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 369**, de 28 de março de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em APP. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2006.

BRIGUENTI, E.C. Geoindicadores na Avaliação da Qualidade Ambiental da Bacia do Ribeirão das Anhumas. 2005. Campinas, SP. **Dissertação** (Mestrado). UNICAMP Campinas, SP, 2005.

CAMPINAS. Secretaria Municipal de Planejamento, Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. **Mapas: bacias hidrográficas**.

Disponível em: <http://www.campinas.sp.gov.br/seplama/mapas/hidro.htm>. Acessado em: 04 de abril de 2005.

CÂMARA, G. & MEDEIROS, J.S. de. Geoprocessamento para projetos ambientais. INPE. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., 1996, Salvador, BA, **Anais...**Salvador: INPE, 1996. P.138.

CRESTANA, M.de S.M.(org.) et al. Florestas. **Sistemas de recuperação com essências nativas, produção de mudas e legislação**. 2 ed. Campinas, CATI, 2004, 216 p, p. 11-14

CHRISTOFOLETTI, A. & FEDERICI, H. 1972. **A terra campineira** (Análise do quadro natural). Campinas: Mousinho. 1972

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo. Edgard Blücher, 2ª edição, 1980. 188 p. p. 107

CULLEN JR,L.;BELTRAME, T.P.;PADUA, C.V.;PADUA, S.M. Trampolins ecológicos e zonas de benefício múltiplo: ferramentas agroflorestais para a conservação de paisagens rurais fragmentadas na Floresta Atlântica brasileira. **Natureza e Conservação**, vol. 1, n. 1, p. 37-46, 2003.

DENARDIN, J.E. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Piracicaba, 1990. **Tese** de Doutorado. ESALQ/USP, 1990. 114 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FERRAZ, S.F. de B.; VETTORAZZI, C.A.; Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípio de ecologia de paisagem. **Árvore**, Viçosa-MG, V. 27, nº 4, p. 575, 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.- **Tese de Doutorado**, UNICAMP, Campinas, SP, 2003. 276 p.

GERSHON, M.; DUCKSTEIN, L. Multiobjective approaches to river basin planning. **Journal of Water Planning and Management**, v. 109, n.1, p.13-28, 1983.

GOMES, L.F.A.M.; GOMES, C.F.S.; ALMEIDA, A.T.de, **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. São Paulo: Atlas, 2002. 264 p, p. 15-16.

GOMES, D.C.H.; COELHO, R.M.; MENK, J.R.F.; ROSSI, M. O levantamento de solos como subsídio ao diagnóstico sócio-ambiental: a bacia do ribeirão das Anhumas, Campinas (SP). In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, 6, 18 a 23 de Julho de 2004, Goiânia, **Anais**. Goiânia: Associação de Geógrafos do Brasil, 2004. p. 255.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). Mapa de vegetação do Brasil. Brasília DF - 1993

INSTITUTO GEOLÓGICO. **Subsídios do meio físico-geológico ao planejamento do município de Campinas (SP)**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 1993. 217 p. e mapas de escala 1:50.000.

KAGEYAMA, P.Y., OLIVEIRA, R.E. de, MORAES, L.F.D. de, ENGEL, V.L., GANDARA, F.B. (org.), **Restauração ecológica de ecossistemas naturais** Botucatu: FEPAF, 2003.

KAGEYAMA, P.Y., CASTRO, C.F.A., CARPANEZZI, A.A., Implantação de matas ciliares: estratégias para auxiliar a sucessão secundária. BARBOSA, L.M. (org.), Simpósio sobre mata ciliar. 1989, São Paulo. **Anais**. Campinas: Fundação Cargil, 1989 p. 130-143.

JANZEN, 1970, apud KAGEYAMA, P.Y., OLIVEIRA, R.E. de, MORAES, L.F.D. de, ENGEL, V.L., GANDARA, F.B.(org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003.

JOLY, C.A., SPIGOLON, J.R., LIEBERG, S.A., SALIS, S.M. de, AIDAR, M.P.M., METZGER, J.P.W., ZICKEL, C.S., LOBO, P.C., SHIMABUKURO, M.T., MARQUES, M.C.M., e SALINO, A., In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F.(eds.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2001. cap. 15, p. 271-287.

KRONKA, FRANCISCO J.N.; NALON, MARCO A.; MATSUKUMA, C.K. **Inventário da vegetação natural do Estado de São Paulo**. (Atlas) São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Florestal, 2005. 200 p.

LEVY, M.C.T.C.do, Avaliação de cenários da produção agrícola visando a sustentabilidade do uso das terras de Piracicaba, SP. 1995. 104 p. **Dissertação de mestrado** – ESALQ. 1995.

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI, Jr., R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R.. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175 p, P. 17-47.

LIMA, A.D.; RODRIGUES, R.R.; Riparian restoration by natural regeneration in an area previously cultivated with sugarcane adjoining a forest fragment in the Brazilian SE (Em elaboração).

MACHADO, P.A.L., **Direito Ambiental Brasileiro**. 12ª edição, São Paulo: MALHEIROS EDITORES LTDA, 2004. 1075 p, cap. II, p.697-698.

METZGER, J.P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas? In: P.Y. Kageyama et al. (org.) **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. p. 49-76.

MOREIRA, M.A., **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2ª edição, Viçosa. Editora UFV. 2003. cap. 15, p. 249-258.

OLIVEIRA, P.S.G. de (org.). **Plano Diretor de reflorestamento UGP Atibaia/Pinheiros**. Etapa 1: diagnóstico. CONSÓRCIO PCJ: Campinas. Demacamp-Planejamento e Consultoria S/C Ltda. 2003. p. 37-40.

PARDALOS, P.M.; SISKOS, Y; ZOPOUNIDIS, C. (Eds.) **Advances in multicriteria analysis**. (Non-convex optimization and its application. v.5). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1995. 249 p.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E. G. BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Brasília, PLAN/MA – SNLCS/EMBRAPA, 1978, 70 p.

RODRIGUES, M., Geoprocessamento. In: Encontro Nacional de Engenheiros Cartógrafos, 5., 1988, Presidente Prudente. **Anais**. Marília: Gráfica da UNESP, 1988, V.1p. 144-160.

SANTIN, D.A. A vegetação remanescente do município de Campinas (SP): mapeamento, caracterização fisionômica e florística visando a conservação. 1999. **Tese** de Doutorado. Campinas: UNICAMP, 1999. 467 p.

SÃO PAULO. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano cartográfico do estado de São Paulo: Cartas topográficas, escala 1:10.000**. São Paulo: Instituto Geográfico e Cartográfico, 2005.

SÃO PAULO. **Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2000.

SÃO PAULO. **Portaria da Divisão de Proteção de Recursos Naturais, DPRN 02/85** de 24/05/85 – Dispõe sobre o uso do solo das Áreas de Preservação Permanente (APP) com atividades para fins de agricultura propriamente dita, de atividade pastoril e de atividade florestal, subordina-se aos dispositivos da Lei Federal n.º 4771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal) - Secretaria do Meio Ambiente do Estado – São Paulo. 1985.

SÃO PAULO. **Decreto Estadual 50.889**, 16 de junho de 2006. Dispõe sobre a manutenção, recomposição, condução da regeneração natural e compensação da área de Reserva Legal de imóveis rurais no Estado de São Paulo e dá providências correlatas – Governo do Estado de São Paulo – SP – 2006.

SÃO PAULO. Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo: DAEE, 2005. 116 p.

SAATY, T.L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process**. Pittsburgh:RWS, 1994.v.6.

SCHONARDIE, E.F.; **Dano ambiental: a omissão dos agentes públicos**. 2 ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2005. 112 p, p. 23-25

SIMÕES, L.B., RIBEIRO, F.L., DAINESE, R.C., CARDOSO, L.G., CAMPOS, S. Riparian restoration priorities in Southeastern Brasil, Botucatu, SP. Departamento de Engenharia Rural – Universidade Estadual Paulista, campus de Botucatu, 1999 – 7 p.

STEIN, D.P., Geólogo, consultor ambiental.

Entrevistador: Carlos Eduardo da Silva Francisco. Campinas, 4 de abr. 2006.

TORRES, R.B., COSTA, M.C., NOGUEIRA, F.A.; & PERES Filho, A. (Org.). **Recuperação ambiental, participação e poder público: uma experiência em Campinas, SP.** Relatório final. Projeto de Pesquisa em Políticas Públicas. Processo Fapesp no. 01/02952-1. 2006.

TKACH, R.J.; SIMONOVIC, S.P.; A new approach to multi-criteria decision making in water resources – **Jornal of Geographic Information Decision Analysis**, vol. 1, nº 1, pp. 25-43. 1997. Disponível em: <http://publish.uwo.ca/~jmalczew/gida.htm>. Acesso em: 15 de março 2006.

THINH, N.X; HEDEL, R.; A fuzzy compromise programming environment for the ecological evaluation of land use options – **EnviroInfo 2004** – Collectif Sharewood.

Disponível em:

<http://www.enviroinfo2004.org/cdron/datas/thinh%20paper20for%20enviroinfo%202004.htm>. Acesso em: 15 de março 2006.

TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2ª ed. rev. Porto Alegre: Edit. da Universidade do Rio Grande do Sul; São Paulo: EDUSP, 1993. 943 p, (coleção ABRH, vol. 4)

VALENTE, R. de O. A., Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG. 2005. 121 p.. **Tese** (Doutorado) – ESALQ – USP – Piracicaba, 2005.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide conservation planning, USDA. 1978. 58 p. (Agricultural Handbook, 537).

ZUFFO, A.C.; REIS, L.F.R.; SANTOS, R.F.; CHAUDHRY, F.H. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento dos recursos hídricos. **Rev. Bras. Rec. Hídricos**, v.7, n.1, p. 81-102, 2002.

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.

ZELENY, M. **Multiple criteria decision making.** New York: McGraw-Hill Book Company, 1982. 563 p.

7. ANEXO 1 – Ofício enviado aos analistas para o preenchimento de questionários com o objetivo de seleção de bacia prioritária para recuperação.

Prezados(as) colegas,

Vimos solicitar sua colaboração para preenchimento de um questionário, com a finalidade de auxiliar em um estudo de planejamento ambiental. O estudo é parte de uma pesquisa de mestrado. A pesquisa tem como local de estudo a bacia do Ribeirão das Anhumas (Campinas, SP) e como objetivo o seu planejamento ambiental.

A bacia do ribeirão das Anhumas possui 150 km² e tem, considerando toda a sua extensão, aproximadamente 50 % de sua área urbanizada. Porém, como a bacia do ribeirão das Anhumas foi sub-dividida em 7 sub-bacias, a proporção entre área com uso agrícola e com uso urbano em cada sub-bacia é variável. A parte da pesquisa relacionada a este questionário procura selecionar, dentro da bacia hidrográfica citada, uma sub-bacia (dentre as sete sub-bacias) mais adequada para estudo de recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APP) degradadas. APP's são áreas protegidas por lei (Código Florestal) que situam-se ao longo de cursos d'água, nascentes e represas, ou localizadas em topos de morro ou em vertentes com declividades acima de 45°.

Solicita-se que o(a) respondente especifique o grau de importância que ele(a) atribui aos diferentes critérios relacionados e descritos a seguir, com a finalidade descrita de seleção de uma sub-bacia para estudo de recuperação ambiental de APPs. Diferentes valores (pontuação) atribuídos implicarão em diferentes graus de importância.

INSTRUÇÕES PARA PREENCHIMENTO DA TABELA

1 – Para cada um dos critérios relacionados na tabela dê sua avaliação sobre o grau de importância relativa deste critério na seleção de uma sub-bacia como modelo para o estudo de recuperação ambiental;

2 – Solicitamos que, para cada critério, seja atribuído grau de importância em um de valor, de 1 a 10. O grau de importância deve aumentar com o número. Estes valores serão marcados em colunas adjacentes. Solicita-se que as pontuações (graus de importância) atribuídas guardem coerência entre as duas escalas de valores.

Solicitamos a gentileza do preenchimento do questionário e devolução do mesmo a um dos solicitantes, se possível até 6^a feira (08/07). Estimamos que o preenchimento do questionário não dure mais de 15 min. Em havendo qualquer dúvida, favor entrar em contato conosco. Na certeza de contar com sua colaboração, antecipadamente, agradecemos.

Atenciosamente,

Tabela. Critérios para escolha de sub-bacia para recuperação de APPs: valoração da importância

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO DO CRITÉRIO	VALOR DO CRITÉRIO 1 a 10
1 – QUANTIDADE DE FRAGMENTOS FLORESTAIS NATIVOS:	Número de fragmentos florestais nativos existentes na sub-bacia	
2 – DENSIDADE DA VEGETAÇÃO NATIVA	Área de fragmentos florestais (ha) dividida pela área da sub-bacia (ha)	
3 – FRAGMENTAÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA	Quantidade de fragmentos florestais por 10 km ²	
4 – MATA CILIAR	Extensão linear (km) de formação florestal nativa ao longo dos cursos d'água	
5 – DIVERSIDADE DE ECOSISTEMAS	Número de formações florestais nativas (cerrado, floresta estacional e floresta paludosa)	
6 – PRESENÇA DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UC)	Número de UCs estabelecidas por lei	
7 – CORREDORES DE VEGETAÇÃO	Existência ou não de APP com possibilidade de criação de Parques lineares/corredor de fauna.	
8 – GRAU DE EDIFICAÇÃO	Proporção de área superficial impermeabilizada (%)	
9 – GRAU DE DEGRADAÇÃO	Proporção (%) das APPs não impermeabilizadas com uso incorreto de natureza agro-silvo-pastoril, solo desnudo ou não-agrícola, segundo a legislação florestal vigente.	
10 – ÁREA DA SUB-BACIA	Área total da sub-bacia (km ²)	
11 – ÁREAS COM RISCO DE INUNDAÇÃO	Extensão linear (km) de cursos d'água susceptíveis a enchentes	
12 – INFLUÊNCIA DA SUB-BACIA PARA O REGIME DE CHEIAS DO ANHUMAS	Extensão linear (km) do ponto mais a jusante da sub-bacia até a descarga no ribeirão das Anhumas no r. Atibaia, medida ao longo da drenagem	
13 – VAZÃO MÉDIA	Descarga média (m ³ /s) plurianual, na foz do(s) curso(s) d'água da sub-bacia no ribeirão Anhumas	
14 – DENSIDADE DE DRENAGEM DOS CURSOS D'ÁGUA	Somatório de todos os comprimentos de cursos d'água contidos na sub-bacia, dividido pela área da mesma.	
15 – DECLIVIDADE MÉDIA (%)	É um valor encontrado através da divisão da amplitude altimétrica pela área da sub-bacia (x 100). Quanto maior for a declividade média maior será a relação dos processos erosivos.	
16 – GRUPO DE CAPACIDADE DE USO	Separa as terras rurais pela intensidade de uso permitida em função de suas limitações e potencialidades para uso, com base no Sistema de Capacidade de Uso das Terras (grupos A, B e C).	

ANEXO 2 - Ofício enviado aos analistas para o preenchimento de questionários com o objetivo de priorização de APPs para recuperação .

Prezados(as) colegas,

Vimos solicitar sua colaboração para preenchimento de um questionário, com a finalidade de auxiliar em um estudo de planejamento ambiental. O estudo é parte de uma pesquisa de mestrado. A pesquisa tem como local de estudo a bacia do Ribeirão das Anhumas (Campinas, SP) e como objetivo o seu planejamento ambiental.

A bacia do ribeirão das Anhumas possui 150 km² e tem, considerando toda a sua extensão, aproximadamente 50 % de sua área urbanizada. Porém, como a bacia do ribeirão das Anhumas foi sub-dividida em 7 sub-bacias, a proporção entre área com uso agrícola e com uso urbano em cada sub-bacia é variável.

Solicita-se que o(a) respondente especifique o grau de importância que ele(a) atribui aos diferentes critérios relacionados e descritos a seguir (tabela 1), com a finalidade de priorizar Áreas de Preservação Permanente (APP) para recuperação. APPs são áreas protegidas pelo Código Florestal que se situam ao redor de nascentes, ao longo de cursos d'água, represas e lagos, topos de morro ou em vertentes com declividades acima de 45° ou 100%.

INSTRUÇÕES PARA PREENCHIMENTO DA TABELA

1 – Para cada um dos critérios relacionados na tabela 1 dê sua avaliação sobre o grau de importância relativa destes critérios para atender à finalidade descrita acima;

2 – Solicitamos que, para cada critério, seja atribuído grau de importância em uma escala de 0 a 3. O grau de importância deve aumentar com o número, sendo que o “zero” exclui o critério em questão pela pouca importância conferida ao mesmo. Este valor será marcado em coluna adjacente.

Solicitamos a gentileza do preenchimento do questionário e devolução do mesmo a um dos solicitantes em um dos endereços de e-mail abaixo, o mais breve possível, dentro das suas possibilidades. Em havendo qualquer dúvida, favor entrar em contato conosco.

Na certeza de contar com sua colaboração, agradecemos imensamente a atenção.

Atenciosamente,

Carlos Eduardo da S. Francisco (Eng^o Agr^o, mestrando, IAC)

Ricardo Marques Coelho (Pesquisador, orientador, IAC)

E-mail:

Carlos: carlos_francisco@itelefonica.com.br

Ricardo: rmcoelho@iac.sp.gov.br

Instituto Agrônômico, (IAC) - Centro de Solos e Recursos Ambientais

Tabela 1 - Critérios para priorização das Áreas de Preservação Permanente (APP) degradadas com fins de recuperação: valoração da importância

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO DO CRITÉRIO	VALOR DO CRITÉRIO
		0 a 3
1 – PROXIMIDADE DE REMANESCENTE DE VEGETAÇÃO NATIVA	Proximidade entre fragmentos florestais nativos e a APP.	
2 – PROXIMIDADE DE NÚCLEOS URBANOS	Proximidades entre APP e aglomerados urbanos.	
3 – USO DA TERRA	Classes de uso atual da terra: solo exposto, pastagem, culturas anuais, culturas perenes, área em regeneração natural e mata ciliar.	
4 – VULNERABILIDADE À EROSÃO	Susceptibilidade de degradação das terras por erosão, expressa pela combinação da erodibilidade do solo com a declividade do terreno.	
5 – PROXIMIDADE DE MALHA VIÁRIA	Proximidade entre a malha viária principal e as APP's.	
6 – CAPACIDADE DE SUSTENTABILIDADE DO SOLO	Avaliação da capacidade do solo de sustentar a vegetação nativa, estimada por meio de três fatores limitantes: deficiência de fertilidade, deficiência de água e excesso de água, definidos pelo Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícolas das Terras.	
7 – ORDEM DOS CANAIS DE DRENAGEM;	Ordem hierárquica dos canais naturais segundo Strahler: 1ª, 2ª e 3ª ordem, e assim sucessivamente, sendo os de 1ª ordem aqueles canais ligados diretamente à nascente.	
8 – CATEGORIA DE APP	Distinção das APP's, conforme Código Florestal, em áreas localizadas: (a) ao longo de cursos d'água; (b) ao redor de tanques e lagos; (c) ao redor de nascentes; (d) em topos de morro e (e) em declividades acentuadas(>100%).	

Comentários (espaço reservado para informações não contempladas na tabela acima e consideradas importantes pelo respondente):