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

PLANEJAMENTO DO USO DO SOLO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA PARA CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

RAMON FELIPE BICUDO DA SILVA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP
Março – 2011

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

PLANEJAMENTO DO USO DO SOLO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA PARA CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

RAMON FELIPE BICUDO DA SILVA
- Biólogo -

Orientadora: Prof. Dr. Célia Regina Lopes Zimback

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU – SP
Março – 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **"PLANEJAMENTO DO USO DO SOLO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA PARA CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS"**

ALUNO: RAMON FELIPE BICUDO DA SILVA

ORIENTADORA: PROFª DRª CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROFª DRª CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

PROF. DR. SÉRGIO LÁZARO DE LIMA

PROF. DR. SILVIO FROSINI DE BARROS FERRAZ

Data da Realização: 18 de abril de 2011.

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

Silva, Ramon Felipe Bicudo da, 1981-
S586p Planejamento do uso do solo em uma bacia hidrográfica para conservação dos recursos hídricos / Ramon Felipe Bicudo da Silva.- Botucatu : [s.n.], 2011
x, 86 f. : il., color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2011
Orientador: Célia Regina Lopes Zimback
Inclui bibliografia

1. Ciclo hidrológico. 2. Erosão. 3. Infiltração. 4. Conservação do solo. 5. Manejo conservacionisita.I.Zimback, Célia Regina Lopes. II. Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

"...é uma observação corriqueira que situações novas em geral dão origem a mentes adequadas para enfrentar as dificuldades nas quais estão envolvidas."

Thomas Malthus

Ofereço

À minha família, amigos e a duas pessoas, especialmente, meu avô Renato e meu amigo Emanuel; que deixaram belas lições de vida e saudozíssimas lembranças.

Agradeço

À minha Orientadora, Professora Doutora Célia Regina Lopes Zimback, por sua paciência, atenção e dedicação.

Agradecimentos

À Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, Campus de Botucatu-SP, pelo excelente curso de pós- graduação, conceituado corpo docente e sobre tudo, por ter confiado a mim o direito e oportunidade de tornar-me mestre.

Especialmente ao curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem, ao professor doutor João Carlos Cury Saad (coordenador do curso), que me proporcionou grandes momentos de conhecimento e amizade.

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

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

A todos os amigos e amigas do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas – GEPAG, que me presentearam com estímulo e companheirismo, vitais para o meu desenvolvimento e crescimento humano e profissional, sem o qual, teria sido muito difícil seguir com esta etapa da vida.

A todos os funcionários, técnicos, dos Departamentos de Engenharia Rural e de Recursos Naturais/Ciência do Solo, que sempre me foram tão solícitos, amigos e respeitosos, a vocês muito obrigado.

Serei sempre grato

SUMÁRIO

OFERECIMENTOS E AGRADECIMENTOS.....III
LISTA DE FIGURAS.....VII
LISTA DE TABELAS.....IX
RESUMO.....1
SUMMARY.....3
1. INTRODUÇÃO.....5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....7
2.1 Água e Ciclo Hidrológico na Bacia Hidrográfica.....7
2.2 Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Ambiental.....11
2.2.1 Geoprocessamento.....11
2.2.2 Sensoriamento Remoto.....12
2.2.3 Modelagem Hidrológica.....14
2.3 Análise Multicriterial.....16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....19
3.1 MATERIAL.....19
3.1.1 Área de estudo.....19
3.1.1.1 Localização.....19
3.1.1.2 Clima.....20
3.1.1.3 Geologia.....21
3.1.1.4 Relevo.....21
3.1.1.5 Hidrografia.....23
3.1.2 Material cartográfico.....23
3.1.3 Imagens orbitais na discriminação da cobertura do solo.....23
3.2 Métodos.....25
3.2.1 Planos de informação.....25
3.2.1.1 Hidrografia e área de preservação permanente (APP).....25
3.2.1.2 Declividade.....25
3.2.1.3 Mapeamento semidetalhado de solos.....25
3.2.1.4 Definição de áreas variáveis de afluência (AVA).....29
3.2.1.5 Cobertura do solo.....29
3.2.2 Mapas de fatores e restrições.....32

3.2.2.1 Suscetibilidade à erosão.....32
3.2.2.2 Potencial de infiltração de água no solo.....32
3.2.2.3 Área variável de afluência (AVA).....33
3.2.2.4 Mapa de restrições.....33
3.2.3 Abordagem multicriterial.....33
3.2.3.1 Definição dos critérios.....33
3.2.3.2 Geração dos mapas de fatores e restrições.....34
3.2.3.3 Definição dos pesos dos fatores.....35
3.2.3.4 Geração do mapa de áreas prioritárias.....36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....37
4.1 Caracterização ambiental da sub-bacia hidrográfica.....37
4.1.1 Declividade.....37
4.1.2 Hidrografia e área de preservação permanente (APP).....40
4.1.3 Mapeamento semidetalhado de solos.....42
4.1.4 Cobertura do solo.....46
4.2 Mapas de fatores e restrições.....49
4.2.1 Potencial de infiltração de água no solo.....49
4.2.2 Suscetibilidade à erosão.....53
4.2.3 Área variável de afluência (AVA).....58
4.2.4 Mapa de restrições.....62
4.3 Análise multicriterial.....65
4.3.1 Mapa final de áreas prioritárias.....65
4.3.2 Caracterização ambiental das classes Alta e Muito Alta.....69
4.4 Fluxograma do projeto.....74
5. CONCLUSÕES.....75
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....77

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Localização da sub-bacia hidrográfica do Araquá no contexto regional e estadual	20
2. Caracterização geomorfológica da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá	22
3. Tradagem para a coleta de amostras de solos na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá	27
4. Amostragem georreferenciada para a confecção do mapa de solos, aferição de imagem orbital, classificação da cobertura na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá	28
5. Representação da ampliação de uma imagem QuickBird 2 e CBERS 2B em função da resolução espacial característica de cada imagem	31
6. Escala contínua de nove pontos usada na comparação pareada entre fatores, na Avaliação Multicritérios. Fonte: Eastman (1999)	36
7. Classes de declividade da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006)	39
8. Mapa representativo da zona de APP e rede hidrográfica gerados a partir da interpretação visual de uma imagem orbital QuickBird 2 do ano de 2008	41
9. Mapa semidetalhado de solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá	45
10. Mapa da cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, ano de 2008	47
11. Potencial de infiltração da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá	51

12. Normatização do potencial de infiltração em escala de 0 a 255 com valores de importância em ordem crescente, para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá 52

13. Suscetibilidade à erosão da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá 56

14. Normatização da suscetibilidade à erosão em escala de 0 a 255 com valores de importância em ordem crescente, para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá 57

15. Espacialização das áreas variáveis de afluência na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá 59

16. Normatização da área variável de afluência em escala de 0 a 255 com valores de importância em ordem crescente, para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá 60

17. Restrições da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá 63

18. Restrições para a análise multicriterial na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá 64

19. Normatização em escala de 0 a 255 do mapa de prioridades, para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá 66

20. Áreas prioritárias classificadas em cinco níveis de prioridades, de acordo com os objetivos propostos pela pesquisa na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá 67

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Cartas planialtimétricas que recobrem a área de estudo	24
2. Pesos de compensação obtidos através da matriz de comparação pareada	36
3. Classes de declividade da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006)	38
4. Unidades de solo mapeadas na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá	44
5. Classes de cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, ano de 2008	46
6. Classes de condutividade hidráulica para os solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá adaptados adaptado de Gomes et. al. (2002) e Lemos e Santos (1996)	50
7. Potencial de infiltração do solo para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá. Adaptação de metodologia proposta por Gomes et. al. (2002)	50
8. Índice de erodibilidade de solo no Estado de São Paulo (BERTONI; LOMBARDI, 1985). Tabela adaptada para os solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá	54
9. Classes de declividade de acordo com proposta metodológica de Ridente Junior et. al. (1997)	54
10. Suscetibilidade à erosão em função dos pesos atribuídos a solo e declividade para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá	55
11. Valores de área para os cinco níveis de prioridade na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá	65

12. Caracterização ambiental das áreas com graus de prioridade alto e muito alto, obtidos pelo método da Combinação Linear Ponderada 70

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi construir um banco de dados digital do meio físico e desenvolver uma metodologia para a definição das áreas hidrologicamente importantes no ciclo hidrológico em uma sub-bacia hidrográfica, visando à priorização destas áreas em planos de recuperação de áreas degradadas, compensações florestais ou uso sustentado por meio de práticas de manejo conservacionistas. A sub-bacia hidrográfica pesquisada, localizada no interior do estado de São Paulo, estende-se sobre o Reverso da Cuesta, atravessando o Front e com sua foz na Depressão Periférica, no Rio Tietê. A cobertura do solo predominante é a cana-de-açúcar - 38% (10423 ha). O levantamento de solos em nível semidetalhado identificou uma série de comportamentos expressos através de diferentes tipos de solos relacionados com declividade, proximidade ao Front da Cuesta, rede de drenagem ou mesmo à Depressão Periférica onde a rocha originária são os arenitos Botucatu e Pirambóia ou ao Reverso da Cuesta onde a rocha originária é o arenito Marília. O uso do Geoprocessamento permitiu equacionar um volume de informações em velocidade e precisão que a mente humana não seria capaz de processar em igual desempenho. A partir dos resultados da pesquisa, pôde-se concluir que: o desenvolvimento de um mapa semidetalhado de solos foi fundamental para a obtenção de informações sobre os comportamentos das diferentes unidades pedológicas da sub-bacia frente às respostas na sua interação com a água. Isso permitiu o desenvolvimento de planos de informação fundamentais para a realização do estudo; a utilização de

imagens orbitais de alta resolução espacial permitiu a determinação de todos os tipos de cobertura do solo e rede hidrográfica; desenvolver os planos de informação potencial de infiltração, suscetibilidade à erosão e áreas variáveis de afluência trouxe informações fundamentais sobre a sub-bacia que não poderiam ser analisadas a partir de apenas informações isoladas de declividade ou atributos dos solos; o desenvolvimento de fatores para a análise multicriterial a partir do cruzamento dos atributos declividade, rede hidrográfica, condutividade hidráulica e erodibilidade descreveram o comportamento hidrológico da sub-bacia; as áreas de alta prioridade concentraram-se, principalmente, sobre áreas produtivas, o que evidenciou que estas, pelo seu potencial para o uso agrícola, não podem ser restringidas à conservação, exclusivamente, mas sim, serem exploradas apenas sobre manejos que visem, prioritariamente, a conservação do solo.

Palavras chave: ciclo hidrológico, erosão, infiltração, geoinformação, conservação do solo, manejo conservacionista.

PLANNING OF THE LAND USE ON A WATERSHED TO THE CONSERVATION OF WATER RESOURCES

Author: Ramon Felipe Bicudo da Silva

Adviser: Célia Regina Lopes Zimback

SUMARY

The objective of the Project was build a digital data base of the physical environment and develop a methodology to the definition of sensible areas for the hydrological process on a watershed, allocation these areas for environmental restoration planning, forestry practices and sustainable use by conservations practices of the management. The watershed is located at the country of Sao Paulo State and spread out above the Reverse of the Cuesta, crossing the Front reaching your river mouth in the Periferic Depression, at Tietê River. The predominant land cover is sugar cane – 38% (10423 ha). The soil survey at the semidetailed level has been identified a number os behaviors expressed by the different kinds of soil and their relationships with slope, proximity of the Front, water drainage and even Periferic Depression where the original rock is Botucatu sandstone, and in the Reverse is the Marília sandstone. The Geoprocessing approach allowed to equate an amount of geoinformations with a high speed and precision that would be impossible by the human mind in equal performance. In according with the results of the research, could be conclude that: the developing of the semidetailed soil map was fundamental for the informations about the behaviors of the soil units in their interactions with water. These informations allowed the development of the basic layers for the research; the use of the high spatial resolution images gave the determination of the land use and hidrography; the layers with informations about susceptibility of erosion, potential of infiltration and topographic wetness index brought fundamental informations about the watershed that would not be analyzed from isolated informations as slope or features of soil; the development of factors for the multicriterial evaluation using combined attributes from slope, hidrography, hydraulic conductivity and erodibility made possible the understand about hydrology behavior of the watershed; The capacity of the weighted linear combination in find better solution using

a set of criteria, favored the zoning of priority areas, that showed that these areas, by their high potential for agriculture, will not be confined for conservations only, but can be used under sustainable practices of management, as the practices of soil conservation.

Key words: hydrologic cycle, erosion, infiltration, geoinformations, management of soil, conservation management.

1. INTRODUÇÃO

Mesmo sendo o Brasil o país com maior disponibilidade em recursos hídricos no mundo, sua distribuição acontece de forma desigual no território, quando relacionada à quantidade dos recursos disponíveis e à demanda populacional e econômica. Desta forma, entende-se que, mesmo com riqueza em recursos hídricos, a gestão de forma planejada deste recurso é essencial, já que a demanda pela água é crescente em todos os setores da sociedade.

Tendo em vista o potencial do Brasil para a produção agrícola e de bicombustíveis, a garantia de disponibilidade de recursos hídricos torna-se ponto fundamental no planejamento e tomada de decisão nas áreas destinadas para o desenvolvimento destas atividades econômicas. O uso da água para a irrigação no Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas, corresponde a 46% do uso deste recurso no país.

O Código Florestal Lei 4771 de 15 de setembro de 65 instituiu, em seu conjunto de resoluções, diretrizes que determinam áreas de preservação permanente (APP) para redes hidrográficas e para áreas com declividades maiores que 45%. No entanto, sabe-se que cada sistema hídrico tem um comportamento hidrológico caracterizado pelo resultado da interação entre os fatores climáticos, geológicos, edáficos, geomorfológicos além do uso e ocupação humana, que não são considerados por esta lei para a determinação das APP.

O processo de retirada das matas ciliares na maioria dos cursos d'água, o uso intensivo de maquinarias no manejo e preparo de solo pela agricultura, pastagem em sistema extensivo, incluindo o uso de APP ciliares como pasto, constituem alguns dos fatores que podem ser responsáveis por alterações no balanço hídrico e na perda da qualidade da água em bacias hidrográficas.

Foi definido como área de estudo o município de Botucatu, especificamente a bacia hidrográfica do Rio Araquá pelo seu potencial de abastecimento hídrico. A área de estudo foi trabalhada na forma de mapas temáticos e interpretada em ambiente de Sistema de Informação Geográfico (SIG). Devido à problemática apresentada, o presente projeto procurou criar método de análise ambiental para definição de áreas importantes no ciclo hidrológico e balanço hídrico, seja na sua relação com águas subterrâneas, superficiais, ou áreas de contribuição variáveis, de modo a tornar-se um sistema de apoio a decisões sobre a gestão do uso e ocupação de bacias hidrográficas.

O objetivo deste trabalho foi construir um banco de dados digital do meio físico e desenvolver uma metodologia para a definição das áreas hidrologicamente significativas no ciclo hidrológico em uma sub-bacia hidrográfica, visando a priorização destas áreas em planos de recuperação de áreas degradadas, compensações florestais ou uso sustentado por meio de práticas de manejo conservacionistas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Água e Ciclo Hidrológico na Bacia Hidrográfica

Definida pela Organização das Nações Unidas – ONU (1992) como um bem essencial à vida, a água no decorrer da história da humanidade mostrou que sua presença determinou e ainda determina o rumo das civilizações. É primordial no processo de desenvolvimento da sociedade e foi manejada no decorrer das gerações por diversas formas e meios desde o período Neolítico, nas regiões de China e Oriente Médio (crescente fértil), a aproximadamente 9.000 a 7.000 anos a.C. (FORJAZ, 2007).

De acordo com a Lei das Águas 9.433 de 7 de janeiro de 1997, a bacia hidrográfica é definida como a unidade de gerenciamento dos recursos hídricos. Para Nagy (2008), o manejo de bacias hidrográficas visa à produção de água em quantidade e qualidade, sendo que a quantidade significa sua boa distribuição no tempo, ou seja, a bacia deve absorver grande parte das águas precipitadas, armazená-las em seu lençol freático e, paulatinamente, cedê-las aos cursos d'água, garantindo perenidade e boa quantidade, mesmo em períodos de seca.

A absorção de água no solo por meio dos processos de infiltração e percolação é responsável pela manutenção da bacia hidrográfica como um reservatório dinâmico do sistema hidrológico, que permite a armazenagem e

transferência deste recurso através de sua movimentação subterrânea em direção às redes de drenagem nos períodos de estiagem (SOARES et al., 2007).

Atualmente, o manejo dos recursos hídricos e da bacia hidrográfica, que nem sempre esta de acordo com o verdadeiro potencial de uso destes e da terra, tornou-se determinante para o declínio ou crise de diversas sociedades. Fruto de um programa de manejo de bacias hidrográficas na Austrália, uma desértica região tornou-se celeiro deste país, iniciado em meados do século 19, com construção de açudes, sistemas de irrigação e o corte de aproximadamente 15 bilhões de árvores para o uso agrícola e pastoril da terra. No entanto, uma seca prolongada de 7 anos (2002/2009), deixou à míngua muitos produtores rurais levando-os a repensar os sistemas de manejo adotados no passado, que se mostraram inadequados frente a uma estiagem que levou ao escasseamento quase total dos recursos hídricos disponíveis para a região (DRAPER; TOENSING, 2009).

Atualmente, além da importância do recurso hídrico como um elemento essencial ao ecossistema, este também assumiu para a sociedade, importância econômica, uma vez que todas as atividades produtivas agrícolas, industriais ou na produção de energia elétrica, necessitam da água (FORJAZ, 2007).

O ciclo hidrológico está intimamente relacionado à cobertura do solo presente em uma bacia hidrográfica, nos processos relacionados à erosão, infiltração de água, fluxo superficial e sub-superfical (fluxo de base), qualidade da água e controle de vazão dos rios. As florestas contribuem para o armazenamento de água com diminuição de risco de escassez em estação seca e funcionam como filtros em matas ciliares retendo sedimentos e poluentes das áreas agrícolas e urbanas adjacentes (ATTANASIO et al., 2008).

Para Gaspar et al. (2007), do ponto de vista dos recursos hídricos subterrâneos, os solos desempenham funções de filtro e reguladora dos aqüíferos, respectivamente, definidas pelo papel de depuração natural das águas de percolação vertical e pela regularização das vazões/perenidade dos cursos d'água superficiais.

O mesmo autor afirma que o fenômeno de infiltração de água no solo é influenciado por fatores de ordem natural e antrópica, sendo os fatores de ordem antrópica, ligados aos tipos de usos da superfície, compactação, impermeabilização,

supressão da vegetação, que podem, em determinado momento, afetar negativamente este processo.

A cobertura florestal no processo de interceptação da água da chuva forma um sistema de amortecimento, direcionamento e retenção das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica de escoamento e o processo de infiltração (BALBINOT, 2008).

Para diversos pesquisadores, a floresta nativa é o ecossistema vegetal que mais atua significativamente no ciclo hidrológico, pois proporciona melhores condições de infiltração de água da chuva (OLIVEIRA Jr e DIAS, 2005). Ensaios de permeabilidade utilizando o Permeâmetro de Guelph, na bacia hidrográfica do rio Uberabinha, em solos com os seguintes tipos de uso: reflorestamento (eucalipto e pinus), mata nativa, culturas anuais, pasto, foi identificado que os solos cobertos por vegetação nativa apresentaram as melhores taxas de infiltração de água (COSTA, 2007).

Em um estudo de reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água em uma bacia hidrográfica na região de Jaboticabal, foi encontrando diferentes taxas de infiltração para cada tipo de uso do solo, sendo as maiores taxas de infiltração nas áreas com vegetação nativa (BORGES, 2005).

Naturalmente, os solos têm propriedades inerentes à sua estrutura, composição e localização em uma determinada área da bacia hidrográfica, que lhes conferem característica como o potencial natural à infiltração e armazenamento de água, condutividade hidráulica, fertilidade e mesmo a suscetibilidade destes aos processos erosivos. Características estas, essenciais no planejamento e gestão de áreas agrícolas e mesmo urbanas, pois são naturais dos solos que não estão sujeitas a mudanças em curtos períodos de tempo.

Neste sentido, uma diversidade de projetos tem-se desenvolvido para compreender o comportamento natural dos diferentes tipos de solos, sua interação com métodos de manejo agrícola e com o ciclo hidrológico. Em uma revisão de estudos desenvolvida por Silva et al. (2007), sobre impactos da vinhaça de cana-de-açúcar na contaminação do solo, águas subterrâneas e superficiais, foi identificado que a aplicação da vinhaça deve ser feita em dosagens especificas para cada tipo, condição de solo (como quantidade de matéria orgânica e classe textural).

Os mapas de solos têm a função de informar aos usuários, a distribuição espacial na paisagem dos diferentes tipos de solos bem como, por meio de

seus boletins, servir descrições sobre seus atributos. Estas informações dão indicações importantes sobre comportamento agrícola, geotécnico e ambiental para cada unidade de planejamento (BERTOLANI, 2003).

Para a avaliação de riscos de contaminação de aqüíferos, Gomes et al. (2002) estudaram a vulnerabilidade natural de solos a partir de parâmetros como condutividade hidráulica e declividade do terreno, de modo a mapear em uma bacia hidrográfica as áreas de maior fragilidade ambiental.

Rezende et al. (2009) afirmaram, em pesquisa desenvolvida na bacia hidrográfica do Rio Jaú, que a definição de reservas legais no contexto da bacia hidrográfica, deve considerar seus múltiplos critérios tais como geologia, declividades, tipos de solos, áreas de mananciais, conectividade entre fragmentos, de modo a contribuir para uma atividade agrosilviopastoril sustentável, como também para a produção de água.

Como a água é importante para a vida no planeta e, também, para a manutenção de processos produtivos dentro do modelo econômico e tecnológico vigente, o sensoriamento remoto via satélite tem sido aperfeiçoado para atuar no monitoramento de águas subterrâneas, superficiais e na qualidade da água.

As interpretações de litologia, estrutura e ocorrência de água subterrânea podem ser alcançadas pela análise da geomorfologia, fisionomia da superfície, tonalidade e padrões do solo e da vegetação. Dados necessários para o monitoramento de um aqüífero não podem ser obtidos através de sensoriamento remoto via satélite, mas sim inferidos pelas características da superfície dos aqüíferos registradas via satélite. Assim, as informações sobre a área de interesse são indispensáveis para validação dos métodos empregados para suas interpretações (LIU, 2006).

Segundo Assad et al. (1998), através da integração de dados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), os planejamentos de manejo e conservação de solo e água de uma microbacia podem ser executados mais rápidos e precisamente. Ainda, a capacidade de armazenamento de dados ambientais e socioeconômicos no SIG, dados multiespectrais e multitemporais provenientes de satélites, poderão oferecer condição de monitoramentos futuros da sub-bacia, além de subsídios para o planejamento e monitoramento de uso e conservação dos recursos naturais.

2.2 Geotecnologias Aplicadas ao Monitoramento Ambiental

2.2.1 Geoprocessamento

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, animais, propriedades e plantas sempre foi uma atividade importante das sociedades organizadas. Este tipo de organização sempre foi feito em documentos e mapas de papel, porém, a partir da segunda metade do século XX, com o desenvolvimento da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambientes computacionais, o que se chamou de Geoprocessamento. As ferramentas para o geoprocessamento são os SIGs, que permitem ao pesquisador realizar analises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar um banco de dados georreferenciados (RODRIGUES, 1990).

O uso de tecnologias computacionais na gestão dos recursos naturais e na gestão e monitoramento do território têm recebido cada vez mais atenção e importância por parte de pesquisadores, empresas e gestores públicos. O geoprocessamento é uma disciplina do conhecimento que utiliza informações geográficas tratadas e interpretadas através de técnicas matemáticas em ambiente computacional. Esse ramo da ciência assume importante papel nas áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicação, energia e planejamento urbano e rural (CÂMARAMA; MEDEIROS, 1998).

Foi no final da década de 80 que os objetivos do processamento de dados digitais passaram a ser mais abrangentes, através da associação de informações geocodificadas a dados de satélite, para realização de análises mais complexas por meio de manipulação de dados de diversas fontes e da criação de um banco de dados georreferenciado (MOREIRA, 2007).

O uso dos SIGs aplicado à gestão de recursos hídricos no Brasil teve início na década de 90 e foi um projeto desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, na região NE do Distrito Federal, umas das primeiras experiências de estruturação de dados geoambientais no contexto de uma bacia hidrográfica.

Os SIGs devem ser vistos mais como um processo do que simplesmente um software ou hardware. Os SIGs são caracterizados, principalmente,

por vincular todas as informações disponíveis a um sistema de referências espaciais (georreferenciados), utilizado no armazenamento, acesso às informações, integração de dados, uso de diversas tecnologias e diversos conjuntos de funções (SILVA et al., 2004).

O uso do Geoprocessamento permite equacionar um volume de informações em velocidade e precisão que a mente humana não seria capaz de processar em igual desempenho. Esta característica tem feito das geotecnologias, a ferramenta fundamental para o planejamento do espaço terrestre e socioambiental.

No campo dos estudos do geoprocessamento aplicado à identificação de áreas críticas de poluição em cursos d'água, com o uso de SIG para o planejamento da paisagem em áreas de zona tampão ripária/mata ciliar, Simões (2001), em pesquisa realizada na bacia hidrográfica do Rio Pardo, Botucatu-SP, identificou que as dimensões da faixa de mata ciliar determinada pelo Código Florestal Brasileiro, em algumas áreas na bacia hidrográfica, são insuficientes para garantir que esta zona tampão natural, cumpra a função ecológica de filtro e garanta qualidade às águas superficiais, bem como, através desta pesquisa, foi possível determinar na bacia hidrográfica, áreas prioritárias para a recomposição deste ecossistema.

Os problemas enfrentados em uma bacia hidrográfica são complexos e exigem uma atuação integrada para solucioná-los. Não basta apenas realizar intervenções localizadas. Elas têm que ser o resultado de uma visão macro, que analise toda a bacia e os impactos à montante e à jusante (DAEE, 2008).

2.2.2 Sensoriamento Remoto

Definido formalmente pela American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), o sensoriamento remoto é a medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno em estudo (JENSEN, 2009).

A radiação eletromagnética interage com os alvos da superfície terrestre podendo ser absorvida, refletida, transmitida e emitida por eles seletivamente. Os radiômetros ou sensores são os equipamentos em sensoriamento remoto, utilizados

para medir a radiação eletromagnética ou solar. Estes sensores podem ser empregados no solo, aeronaves ou nos satélites (MOREIRA, 2007).

Sendo aproximadamente 70% da superfície terrestre coberta por vegetação e 74% da superfície da Terra coberta por água e dada à importância destes dois elementos no funcionamento do planeta, que cientistas no campo do sensoriamento remoto tem dedicado esforços para desenvolver sensores e algoritmos de processamento digital, a fim de extrair informações biofísicas da vegetação ou medidas espaciais quantitativas de variáveis hidrológicas a partir de dados de sensoriamento remoto (JENSEN, 2009).

Na África do Sul, o uso dos recursos hídricos na agricultura é controlado pelo Departamento de Água e Floresta – DWAF, com o uso de um sistema espacial de suporte à decisão, o Water Autothorization and Resource Management System- WARMS. Com o uso de técnicas de sensoriamento remoto voltado à obtenção de informações necessárias sobre usos agrícolas da água, este sistema destaca o sensoriamento remoto como um dos principais métodos para a obtenção de informações sobre o uso dos recursos hídricos na agricultura (JENSEN, 2009).

Já o monitoramento das águas subterrâneas é complicado, pois os satélites não podem retratar estas águas. Suas aplicações só podem ser feitas através de interpretação dos dados que registram fenômenos da superfície (LIU, 2006).

A identificação e caracterização das designadas unidades da paisagem envolve a análise discriminatória do conteúdo temático de um determinado espaço, caracterizando os territórios de acordo com a ocupação do solo (PERDIGÃO, 2003). Para os mesmo autores, a análise discriminatória de uma imagem de satélite efetua-se em vários níveis de segmentação. *Território*: espaço como dominante estruturada; *organização*: que define a ocupação do solo; *unidade da paisagem*: entendida como unidade espacial.

A partir da década de 70, teve inicio o uso de satélites para registrar informações sobre a superfície do planeta. Dentre os satélites disponíveis, para o Brasil, o satélite Landsat desenvolvido nos Estados Unidos foi o primeiro a ser disponibilizado.

Em 1988, juntamente com a Agência Espacial Chinesa, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) firmaram o compromisso de

desenvolvimento do programa CBERS (Chine-Brazil Earth Resources Satellite), o primeiro sistema orbital de monitoramento ambiental brasileiro.

Resultado deste, programa de cooperação, três satélites CBERS (CBERS1, 2 e 2B) foram produzidos e lançados em 1999, 2003 e 2007, respectivamente. Estes satélites portam um sistema ótico de três sensores, que oferecem capacidade de resolução espacial de 20 x 20 m por *pixel*, largura imageada (cena) de 113 km com resolução temporal com visada vertical de 26 dias com (LIU, 2006).

Desde o lançamento do Google Earth como um sistema de navegação pelo mundo, em 2005, que suas funções como fornecedor de informações geoespaciais vem-se aprimorando e permitindo a distintos usuários fazerem pesquisas, consultas e aquisição de imagens, cobrindo cerca de 30% da superfície terrestre com imagens de alta resolução espacial. Dentre as imagens disponíveis nesta plataforma de navegação global, as imagens do satélite de observação da Terra QuickBird 2 estão disponíveis para diversas regiões, inclusive para a área de interesse da presente pesquisa.

O satélite QuickBird 2 é representante do grupo de satélites de alta resolução espacial, com 0,61 m de resolução por *pixel* na banda pancromática e de 2,4 m para as 3 bandas multiespectrais. Resolução temporal de 1 a 3,5 dias de acordo com a latitude e com dimensão da faixa imageada (cena) em 16,5 x 16,5 km (OUVERNEY et al., 2007).

Segundo Batistella e Moran (2005), para compreender as mudanças na paisagem é preciso haver documentação sobre as alterações na cobertura da terra. Para isso, é necessária a integração de processos metodológicos que englobem as dimensões sociais e biofísicas da realidade em estudo, uma vez que o compartimento biofísico define diferentes potenciais e limitações às áreas ocupadas, enquanto que o contexto político-administrativo e social pode definir diferentes unidades tais como municípios ou mesmo a arquitetura de assentamentos humanos.

2.2.3 Modelagem Hidrológica

Devido à importância estratégica dos recursos hídricos para o desenvolvimento da sociedade, estudos de modelagem hidrológica têm-se desenvolvido em diversas regiões do mundo. Não obstante, pela crescente ameaça de eventos

climáticos extremos causados pelas mudanças climáticas, a modelagem hidrológica tem servido de apoio aos estudos de cenários que viabilizem propostas de ordenamento adequado para a ocupação do solo, ações estratégicas contra catástrofes naturais (enchentes, deslizamentos de terra) e abastecimento hídrico.

Um modelo é uma representação ou abstração da realidade (MENDES; CIRILO, 2001). De acordo com Xavier (2007), um modelo é mais simples que o mundo real, porém representa algumas de suas características importantes. Neste contexto, o modelo hidrológico busca representar o comportamento do sistema bacia hidrográfica. Acionado pelo estímulo da precipitação, e através de diversos fenômenos do ciclo hidrológico, a bacia transforma a precipitação em vazão (XAVIER, 2007).

Um modelo de previsão hidrológica procura combinar os efeitos distribuídos da topologia das redes de drenagem e a dinâmica das áreas de contribuição, com a vantagem de uma simples aglomeração de parâmetros da bacia (BEVEN; KIRKBY, 1979).

A topografia é o controle de primeira ordem na variação espacial das condições hidrológicas (SORENSEN et al., 2005**).** Em vários países desenvolvidos do mundo, modelos digitais de terreno (MDT) ou modelos numéricos de elevação (MNE) estão disponíveis em uma resolução bastante alta para representar amplamente a forma da topografia (XAVIER, 2007).

As áreas variáveis de afluência (AVA ou índice topográfico e também denominado *Topographic Wetness Index* - TWI) são consideradas áreas hidrologicamente sensíveis, pois são as áreas onde há maior formação de fluxo de água superficial e saturação do solo após um evento de chuva (PEREIRA, 2007). Esta informação representa um elemento importante na avaliação da vulnerabilidade ambiental, de determinadas regiões. Riscos de deslizamentos de terra e conservação da qualidade de águas superficiais podem ser minimizados por meio do manejo adequado destas zonas de maior produção de escoamento superficial.

A área de contribuição é variável porque os fatores que determinam o surgimento do escoamento superficial são representados pela topografia local do terreno e por uma lei exponencial, que relaciona a transmissividade com a profundidade da superfície de saturação do solo (BEVEN; KIRKBY, 1979).

Há uma série de estudos relacionados à aplicação do AVA como parâmetro na determinação de atributos da paisagem que tenham relação com a

topografia. A topografia influencia diretamente a umidade do solo e indiretamente o seu pH (SORENSEN et. al., 2005) e estes dois fatores afetam a distribuição e riqueza de espécies de plantas vasculares (GIESLER et al., 1998). Em função de haver esta correlação, a AVA tem sido utilizado para predizer a distribuição de espécies de plantas vasculares em florestas boreais (ZINKO, 2005).

O acúmulo excessivo de fósforo (P), considerado um problema para a qualidade da água e para o ambiente aquático (PELLEGRINI, 2005), é carreado para os canais de drenagem, principalmente, pelo escoamento superficial e por erosão (MEALS et al., 2008). Os autores, considerando uma prioridade e necessidade o manejo de bacias hidrográficas, principalmente aquelas sob uso intensivo de pecuária e agricultura, desenvolveram um método para definir as áreas de maior potencial de contribuição e carreamento de P para os corpos d'água. Esta metodologia foi definida por meio do cálculo do AVA integrado à identificação das fontes não pontuais de P.

2.3 Análise Multicriterial

Decisões sobre alocações para o uso da terra, tipicamente envolvem a avaliação de uma série de critérios de acordo com vários objetivos, muitas vezes conflitantes (EASTMAN, 1995). De acordo com a *Food and Agriculture Organization*, em 1976 citado por Eastman et. al. (1995), a tomada de decisão para a locação de terras para uma determinada atividade ou determinado interesse, é uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento e uso dos recursos.

Segundo Ferraz e Vettorazzi (1998), a seleção de áreas prioritárias para conservação, normalmente, está baseada na modelagem cartográfica com a sobreposição de planos de informação, que representam critérios utilizados em um processo de priorização.

Um critério é uma base para decisões que podem ser mensuradas, avaliadas. Os critérios podem ser de dois tipos: fatores e restrições (Eastman et. al., 1995). De acordo com os pesquisadores, fator é um critério que aumenta ou diminui a aptidão de uma alternativa específica para uma determinada atividade em questão, sendo mensurados em uma escala contínua; e restrição tem a função de limitar alternativas que estejam sendo analisadas.

Para Eastman (2001), a análise multicriterial em ambiente SIG representa um avanço em relação ao cruzamento de planos de informação. Os critérios, normalmente, são integrados com a utilização de pesos de importância, obtidos com o apoio de ferramentas de suporte à decisão (FERRAZ; VETTORAZZI, 2003).

A adoção de um SIG na seleção de áreas (prioritárias, de adequação), baseia-se, principalmente, na sua capacidade em gerenciar um sistema de regras de decisão que especificam como combinar um conjunto de mapas de critérios para que resultados alternativos de decisões (locais) possam ser encontrados de acordo com as preferências no que diz respeito aos critérios de avaliação (Al-ADAMAT, 2010). Para os autores, a análise multicriterial denominada Combinação Linear Ponderada (CLP) é uma das mais utilizadas em regras de decisão em ambiente SIG.

A CLP é definida como a padronização de mapas de adequação, atribuindo a cada um pesos referentes à sua importância relativa (MALCZEWSKI, 2004). Fatores são combinados pela aplicação de peso a um deles, seguida por uma soma dos resultados, que produz um mapa de adequação (VETTORAZZI, 2006) (fórmula 1):

$$S=\sum w_i x_i \quad (1)$$

sendo: S a adequação; w_i o peso do fator i; e x_i o escore (de critério) do fator i.

Modelagem hidrológica, sensoriamento remoto e SIG têm sido usualmente utilizados em processos de determinação de áreas com objetivos específicos. Na literatura é possível encontrar resultados interessantes de pesquisas em análise multicriterial como no caso de Al-Adamat (2010) em um estudo conduzido na árida região do norte da Jordânia para a eleição de melhores áreas para captação de água. Parâmetros como declividade, distância de rodovias, textura de solos e índices pluviométricos representaram alguns dos fatores utilizados na análise multicriterial para este estudo.

A estimativa da distribuição de espécies florestais e zonas ripárias em uma sub-bacia foi objetivo de uma pesquisa conduzida por Attanasio et. al. (2006), onde técnicas de sensoriamento remoto e modelagem hidrológica (cálculo e espacialização da AVA), apoiadas pelo trabalho de campo para classificação fisionômica da vegetação, puderam encontrar correlação satisfatória entre as áreas variáveis de afluência com a vegetação típica de zona ripária.

Na região de Seixal, um distrito industrial de Lisboa, Portugal, um estudo para a caracterização das áreas com máximo potencial de infiltração, para melhor alocar empresas e atividades industriais com potencial de contaminação do solo, Brito et al. (2006) utilizaram um banco de dados georreferenciados que contemplou atributos da paisagem como textura de solos, ocupação da região, declividade do terreno, estrutura geológica, de modo a determinar, em ambiente SIG, as áreas hidrologicamente sensíveis ao processo de infiltração e, portanto, que deveriam ser mais restritas a determinadas atividades industriais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Área de estudo

3.1.1.1 Localização

A sub-bacia hidrográfica do Araquá está localizada na região centro-oeste do estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 22^{o} 38' e 22^{o} 54' latitude Sul e 48^{o} e 34' e 48^{o} 23' de longitude W, estendendo-se em uma área 27.430 ha ou 274,3 km². Esta sub-bacia distribui-se entre os municípios de São Manuel e Botucatu (Figura 1).

A sub-bacia é tributária da bacia hidrográfica do Tietê e a porção inserida no município de Botucatu pertencente à unidade de gerenciamento Sorocaba Médio Tietê, de acordo com o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH), administrado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (decreto nº. 27.576/87). A região é caracterizada por uma população de aproximadamente 6,5 milhões de habitantes espalhados em 90 municípios e onde o índice de disponibilidade de recursos hídricos é considerado pobre, ou seja, menos de 2.500 m³ de água por ano por habitante (DAEE, 2008).

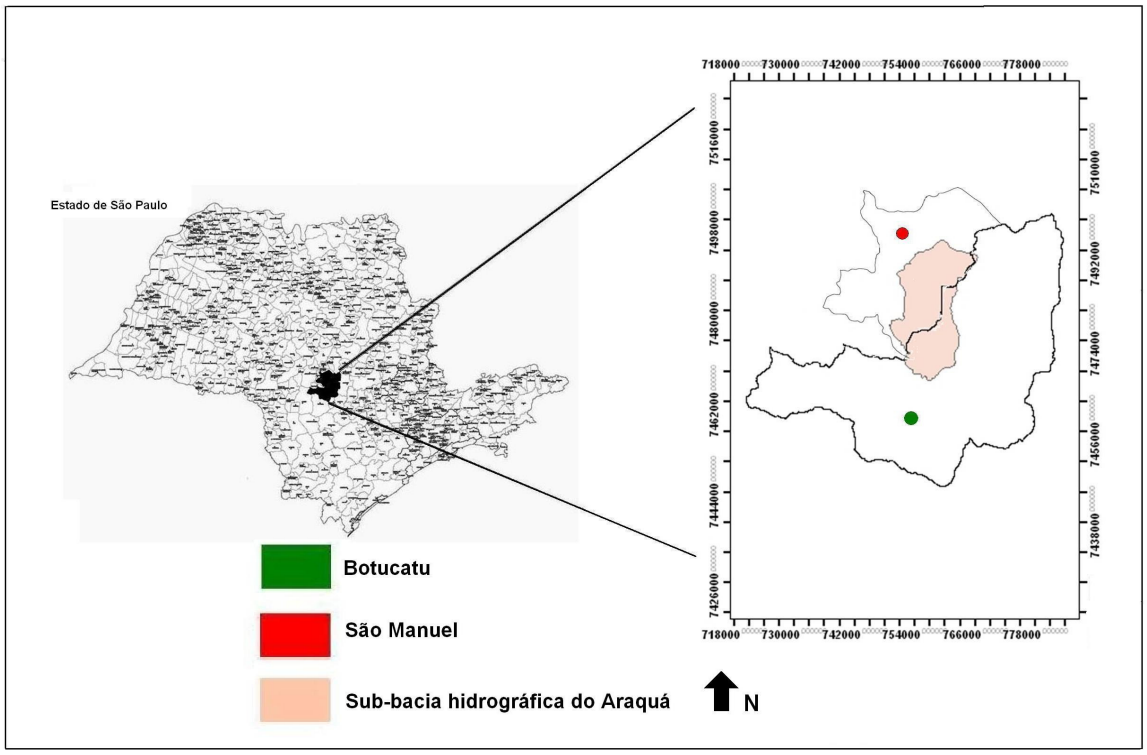


Figura 1. Localização da sub-bacia hidrográfica do Araquá no contexto regional e estadual.

3.1.1.2 Clima

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

A maior concentração de chuvas na região esta compreendida entre os meses de setembro a março.

3.1.1.3 Geologia

A sub-bacia hidrográfica está situada sobre dois grupos geológicos: Grupo Bauru e São Bento, referentes aos períodos geológicos Cretáceo e Jurássico-Cretáceo, respectivamente.

O grupo Bauru é composto por quatro formações de arenitos e na sub-bacia hidrográfica do Araquá se encontram compondo a parte inicial do Reverso da Cuesta (cotas altimétricas que variam entre 920 metros a 700 metros em relação ao nível do mar). O grupo São Bento é composto por três formações: Serra Geral, Botucatu e Pirambóia (ZIMBACK, 2008).

A formação Serra Geral é composta por basaltos e lentes de arenito que formam a feição geomorfológica denominada de Front da Cuesta. Esta feição é caracterizada por solos rasos e terreno com declividades acima de 30%. As formações Botucatu e Pirambóia são compostas por arenitos eólicos para a primeira e de deposição hídrica para a segunda, resultando na feição geomorfológica Depressão Periférica da Cuesta (ZIMBACK, 2008). As cotas altimétricas na Depressão Periférica na sub-bacia do Araquá estendem-se dos 530 a 450 metros em relação ao nível do mar.

3.1.1.4 Relevo

O relevo é caracterizado por uma divisão abrupta proporcionada pelo Front da Cuesta, dividindo a sub-bacia em parte alta, onde as altitudes variam entre 920 a 700 metros em relação ao nível do mar, com declividades variando entre suave a ondulado de acordo com as classes de declividade propostas pelo Sistema Brasileiro de Classificação Solos (EMBRAPA, 2006). Na porção da sub-bacia compreendida pelo Front, os declives são acentuados, chegando em algumas partes a 100%, proporcionando a formação de cachoeiras que chegam aos 50 metros de altura.

A parte baixa, onde se denomina Depressão Periférica, o relevo predominante está compreendido entre suave a suave-ondulado, de acordo com EMBRAPA (2006), Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Figura 2).

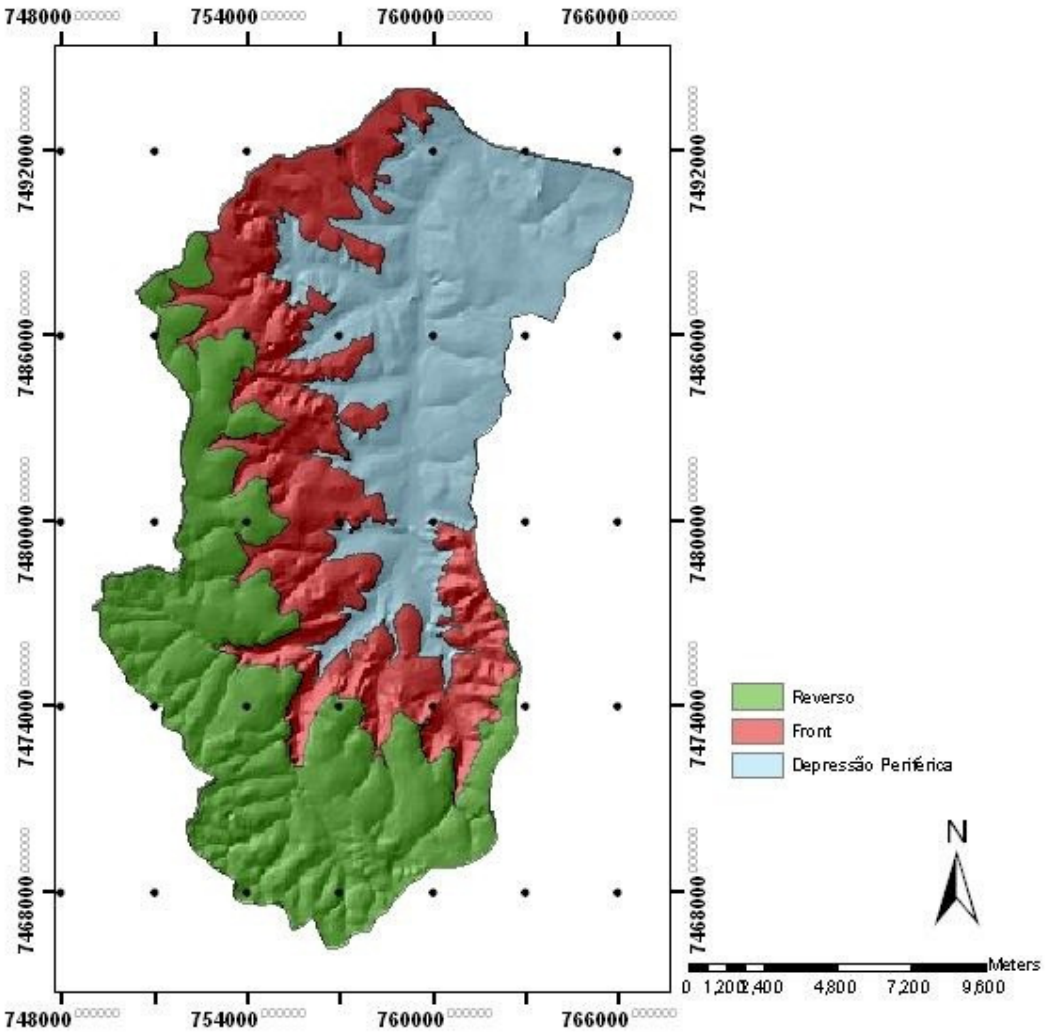


Figura 2. Caracterização geomorfológica da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

3.1.1.5 Hidrografia

A rede hidrográfica corresponde ao conjunto de rios, canais de drenagem, reservatórios (lagos, lagoas, açudes, represas) onde as águas superficiais são encontradas. Na sub-bacia do Araquá, a rede hidrográfica possui uma extensão total de aproximadamente 274 km com foz no Rio Tietê, na unidade de gerenciamento de recursos hídricos Sorocaba-Médio Tietê.

De acordo com pesquisa realizada por Oliveira (2009), para a avaliação de parâmetros hídricos e ecológicos em sub-bacias hidrográficas da região de Botucatu, o estudo determinou que os índices de vazão para a sub-bacia do Araquá são da ordem de 3,84 m³/s em períodos chuvosos e de 0,89 m³/s nos períodos secos. Largura média do rio Araquá em períodos chuvosos 5,11 metros e nos períodos secos de 4,46 metros.

3.1.2 Material cartográfico

Para a digitalização das curvas de nível e da rede de drenagem, foram utilizadas as cartas planialtimétricas do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC) em escala 1:10.000, com eqüidistância vertical entre as curvas de nível de 5m. As cartas foram editadas em 1980 em sistema de projeção UTM no datum Córrego Alegre, com articulações expostas na Tabela 1.

3.1.3 Imagens orbitais na discriminação da cobertura do solo

Para o desenvolvimento do mapa de cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, foram utilizadas imagens do satélite de observação da Terra QuickBird 2 do ano de 2008 e que compõem o conjunto de imagens para visualização e navegação sobre a superfície terrestre disponíveis no Google Earth. Estas imagens estão disponíveis em alta resolução espacial na fusão pancromática/multiespectral com 0,61 metros por *pixel*.

Para o georreferenciamento da imagem QuickBird 2, uma imagem CBERS 2B previamente orthorrefificada foi utilizada para a tomada de pontos reais.

Tabela 1. Cartas planialtimétricas que recobrem a área de estudo

Articulação das folhas	Divisão administrativa
070/074	Areiópolis/São Manuel
070/075	São Manuel
070/076	São Manuel
071/074	Areiópolis/São Manuel
071/075	São Manuel
071/076	Botucatu/São Manuel
072/074	São Manuel
072/075	São Manuel
072/076	Botucatu/São Manuel
073/074	São Manuel
073/075	São Manuel
073/076	Botucatu/São Manuel
074/074	São Manuel
074/075	Botucatu/São Manuel
074/076	Botucatu/São Manuel
075/074	Botucatu/São Manuel
075/075	Botucatu/São Manuel
075/076	Botucatu
076/074	Botucatu
076/075	Botucatu
076/076	Botucatu

3.2 Métodos

3.2.1 Planos de informação

3.2.1.1 Hidrografia e área de preservação permanente (APP)

Devido a disponibilidade de imagens de satélite de alta resolução espacial (satélite QuickBird 2) para o ano de 2008, a rede de drenagem foi estabelecida por meio de classificação visual em tela sobre a imagem georreferenciada. Este método permitiu traçar a rede de drenagem atual da sub-bacia hidrográfica, diferente da observada nas cartas do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC).

Após ter definida a hidrografia, um *buffer* de 30 metros para cada margem da rede de drenagem e das várzeas e 50 metros de raio para cada nascente foi delimitado. Assim, obteve-se a APP da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

3.2.1.2 Declividade

O mapa de declividades foi desenvolvido utilizando-se informações digitalizadas das cartas planialtimétricas do Instituto Geográfico Cartográfico (IGC), com eqüidistância vertical de 5 metros entre curvas de nível. As informações digitalizadas foram: curvas de nível, rede de drenagem e pontos cotados. Para o desenvolvimento deste plano de informação, as informações digitalizadas foram utilizadas no SIG ArcGIS e por meio da interpolação denominada *Topo to Raster*, o modelo numérico de elevação (MNE) do terreno foi gerado. Como resultado tem-se um MNE *raster* em grade na resolução de 5 metros em cada célula.

3.2.1.3 Mapeamento semidetalhado de solos

Para a realização do levantamento semidetalhado de solos, o trabalho de campo para a coleta e descrição das amostras de solos foi pautado pelo Manual de Descrição e Coleta de Solo em Campo (LEMOS; SANTOS, 1996), enquanto que o mapa de solos bem como a classificação de cada amostra de solo analisada por meio de análises físicas e químicas, foi realizado de acordo com o Sistema Brasileiro de

Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), gerando como resultado, o mapa semidetalhado de solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

A identificação prévia das diferentes manchas de solo foi efetuada sobre as imagens de satélite QuickBird 2 e sobre informações digitalizadas das cartas planialtimétricas do IGC (mapa de declive, modelo sombra do terreno e curvas de nível) em ambiente SIG, onde foram demarcados os prováveis limites entre cada unidade de mapeamento solo.

De posse destas informações, partiu-se para a coleta das amostras de solo nos locais previamente definidos. Estes locais foram encontrados mediante um mapa elaborado a partir das imagens, onde as rotas de acesso (estradas asfaltadas e estradas rurais) aos pontos para amostragem foram determinadas. Um aparelho receptor de sinal GPS fez a marcação dos 66 pontos de amostragem.

As amostras de solos foram coletadas pela técnica da tradagem nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm. A Figura 3 mostra a atividade de tradagem para coleta de solo em campo. Para a tradagem foi utilizado o trado holandês segundo Lemos e Santos (1996).

Em seguida, as amostras de solo foram analisadas no laboratório do Departamento de Solos da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu para determinação dos atributos granulométricos e químicos.

Foi determinada a descrição morfológica dos pontos amostrados segundo Lemos e Santos (1996).

Figura 3. Tradagem para a coleta de amostras de solos na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

Após o resultado da análise das primeiras amostras de solos, verificou-se que havia a necessidade da coleta de mais amostras para a definição dos limites entre as classes de solos e, desta forma, novas saídas a campo foram realizadas para coletar amostras em locais previamente determinados por meio da avaliação dos primeiros pontos coletados e suas respectivas distribuições no espaço da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá. (Figura 4).

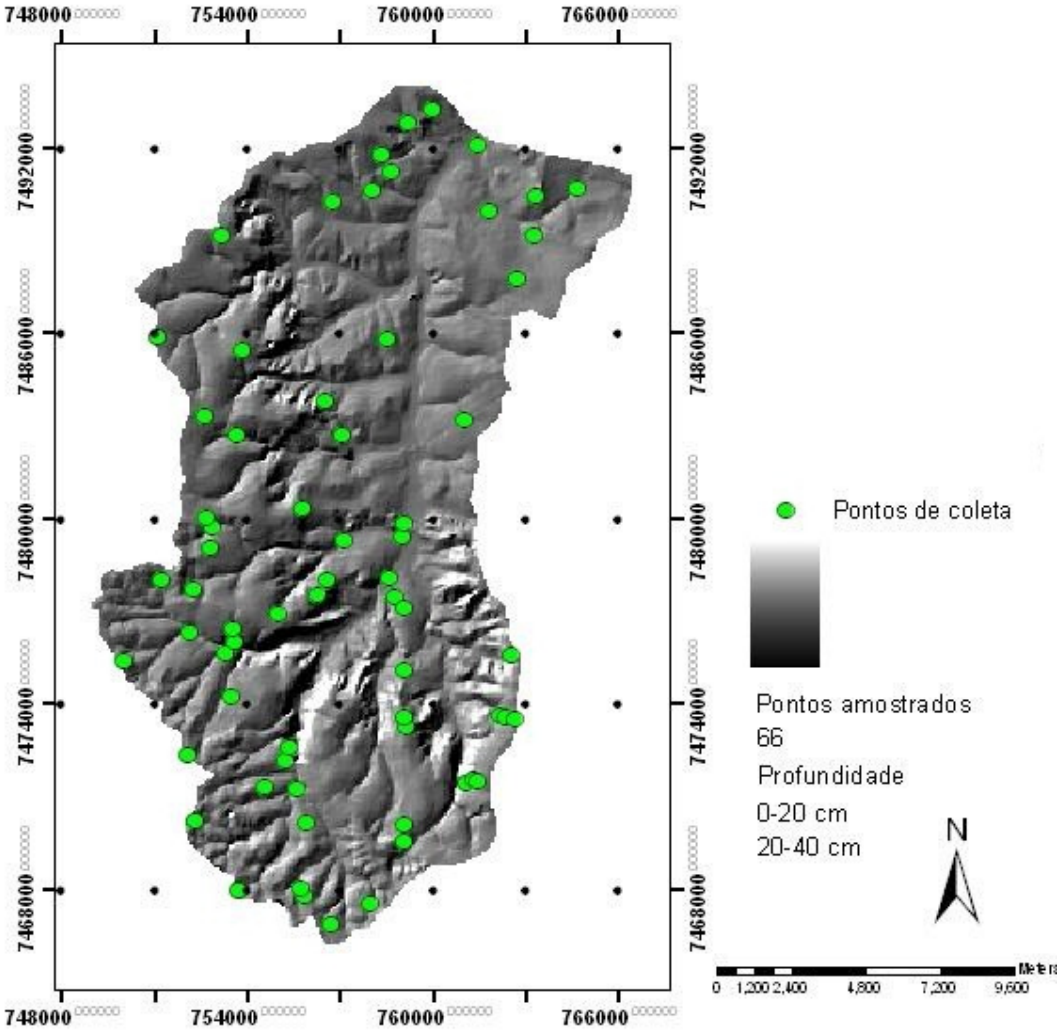


Figura 4. Amostragem de pontos de coleta para a confecção do mapa de solos, aferição de imagem orbital, classificação da cobertura na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

De acordo com EMBRAPA (2006), a partir dos resultados de todas as análises de solos, cada amostra foi classificada segundo os atributos físicos, químicos e morfológicos.

3.2.1.4 Definição de áreas variáveis de afluência (AVA)

Para a definição das Áreas Variáveis de Afluência (AVA) ou o Índice Topográfico, também denominado *Topographic Wetness Index* (TWI), foi utilizado o MNE *raster* em grade produzido a partir das informações digitalizadas das cartas planialtimétricas do IGC.

Na perspectiva de obter-se um melhor resultado da modelagem hidrológica, o MNE produzido para a pesquisa foi elaborado em uma resolução de 5 metros para cada célula. Para que um modelo apresente resultados satisfatórios sobre a realidade a ser modelada, há a necessidade de que haja um MNE de boa qualidade, com boa resolução de detalhes (RAMOS, et. al., 2003). Xavier (2007) recomenda que a qualidade de resolução mínima deva ser de 50 metros para cada célula.

Com o MNE calculado, o programa TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) 4.0.6 desenvolvido por David Tarboton na Utah State University (USA) para o SIG ArcGIS, foi utilizado para o cálculo do índice topográfico. O TAUDEM é um programa livre que pode ser adquirido por meio de *download* diretamente no site da Utah State University e todos as explicações e procedimentos para que ele seja utilizado estão disponíveis no tutorial que acompanha o programa.

3.2.1.5 Cobertura do solo

O mapa de cobertura do solo foi produzido a partir de imagens do satélite de observação da Terra QuickBird 2.

(1) Obtenção da imagem: Para a obtenção das imagens referentes à área de interesse para a pesquisa, o mapa de limite da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, gerado a partir das cartas planialtimétricas do IGC, foi digitalizado em ambiente SIG e posteriormente transformado em formato KML, que é a extensão dos *layers* utilizados pelo programa Google Earth.

Com o mapa de limite da sub-bacia hidrográfica importado e em sua posição correta no Google Earth, foi possível determinar as coordenadas geográficas em Lat/Long necessárias para se fazer a aquisição da imagem da área correspondente.

Para a aquisição da imagem, o Google Satellite Maps Downloader 6.5 desenvolvido por John Smith foi utilizado. Por meio deste programa, toda a área compreendida pelas coordenadas é salva e mosaicada automaticamente, fornecendo uma imagem única da área delimitada.

Como resultado, foi obtida uma imagem bruta sem as coordenadas geográficas. A partir deste ponto, houve a necessidade da preparação desta imagem para sua utilização em ambiente SIG e para que a mesma tenha valor como uma geoinformação.

(2) Georreferenciamento: Uma vez que a imagem salva do Google Earth não traz suas coordenadas geográficas, deve ser georreferenciada, para que assim possa ser utilizada como uma ferramenta para a análise de uso e ocupação do solo. O georreferenciamento da imagem QuickBird 2 foi realizado utilizando como referência para a tomada de pontos de controle, uma imagem CBERS 2B que representou as coordenadas reais.

Procurou-se distribuir os pontos de controle de forma homogênea nas duas imagens. A posição da maioria desses pontos coincidiu com intersecções da malha viária e confluência de rios. O registro das coordenadas desses pontos foi feito com a digitalização em tela, nas imagens QuickBird 2 e CBERS 2B, em um SIG.

(3) Sistema de classificação de imagens em tela: A classificação visual em tela de imagens de satélite é um procedimento pouco usual, porém bastante confiável, desde que os recursos oferecidos para a classificação sejam de boa qualidade. As imagens do satélite QuickBird 2 são do grupo de imagens de alta resolução espacial, ou seja, para cada *pixel* da imagem, apenas uma pequena porção da superfície terrestre é registrada.

Para este satélite, a resolução espacial em cada *pixel* da imagem é de 0,61 metros na imagem fusionada pancromática/multiespectral, o que confere condições satisfatórias ao usuário de geotecnologias fazer uma interpretação visual dos

elementos confiável que compõem a paisagem registrada pela imagem. Se comparada uma imagem de alta resolução espacial com uma de média resolução, como a imagem CBERS 2B, por exemplo, cuja resolução espacial para cada *pixel* é de 20 metros de superfície terrestre, é notável a diferença e a clareza que a imagem de alta resolução espacial oferece, possibilitando o procedimento de classificação visual em tela (Figura 5).

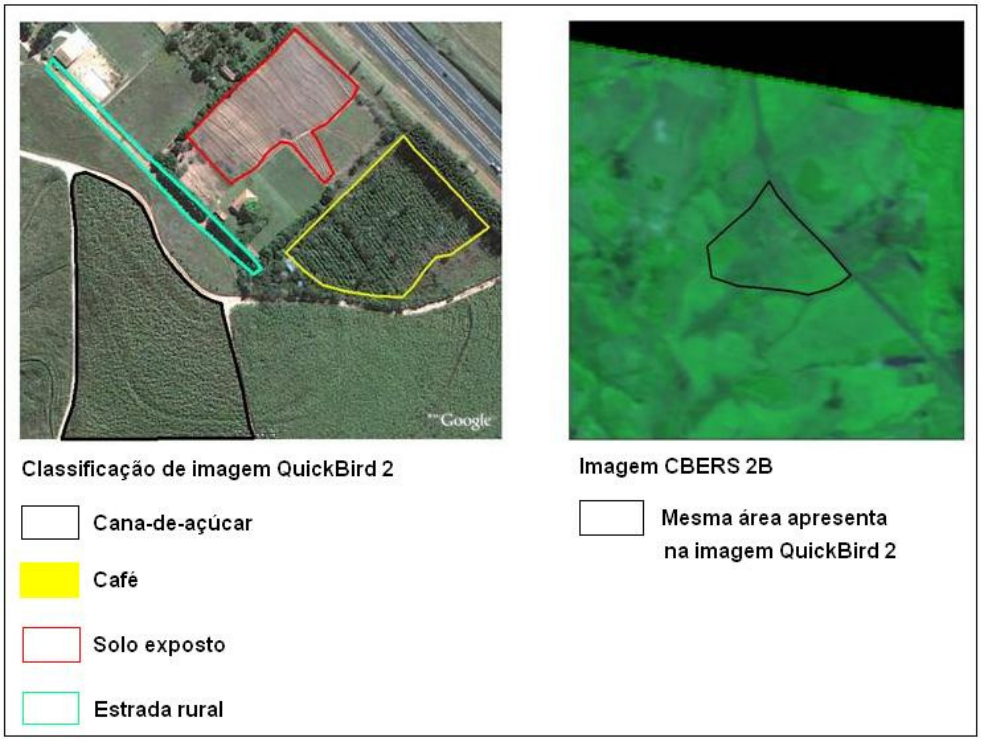


Figura 5. Representação da ampliação de uma imagem QuickBird 2 e CBERS 2B em função da resolução espacial característica de cada imagem.

Para aumentar a confiabilidade na classificação visual realizada a partir da imagem QuickBird 2, os pontos de coleta de solo, tomados em campo por meio de um receptor de sinal GPS, foram utilizados como pontos para a aferição da classificação da imagem. Em campo, cada ponto foi descrito e fotografado, de modo que quando sobrepostos à imagem e ao mapa de cobertura do solo, puderam aumentar a confiança em relação ao método adotado. Neste procedimento metodológico, a tomada de pontos em campo para confirmação do dado real, é citado por diversas pesquisas dirigidas a técnicas de classificação de imagens (BATISTELLA; MORAN, 2005; BATISTELLA; VALLADARES, 2009 e RUDEL et. al., 2002).

3.2.2 Mapas de fatores e restrições

3.2.2.1 Suscetibilidade à erosão

Através da metodologia proposta por Ridente Júnior et al. (1997), uma multiplicação de dois aspectos da paisagem (erodibilidade e declividade) através de sobreposição entre pesos para classes de erodibilidade dos solos e declividades, foi gerado um mapa de suscetibilidade à erosão. Esta álgebra de mapas foi realizada no SIG ArcGIS através da função *weighted overlay*.

3.2.2.2 Potencial de infiltração de água no solo

O mapa de potencial de infiltração foi gerado a partir do cruzamento de duas informações distintas da sub-bacia hidrográfica, o mapa de classes de declividade e a condutividade hidráulica de cada solo.

O plano de informação condutividade hidráulica foi classificado a partir do mapa de solos da sub-bacia hidrográfica do Araquá, de acordo com as classes propostas por Gomes et. al. (2002) e apoiado nas descrições das características de drenagem de cada solo por Lemos e Santos (1996).

O mapa declividade foi classificado a partir do MNE em três classes de declividade, baixa (< 3%), suave (3 – 8%) e acentuada (> 8%) conforme Lemos e Santos (1996), sendo que para os declives acima de 8%, considerados acentuados, estabeleceu-se uma única classe onde a influência no processo de infiltração da água foi considerado baixo.

O cruzamento destes dois fatores com suas respectivas importâncias foi realizado em um processo de multiplicação entre os pesos definidos para as classes de cada um dos elementos adotados na metodologia; condutividade hidráulica e declividade. Esta álgebra de mapas foi realizada no SIG ArcGIS através da função *weighted overlay*.

3.2.2.3 Área variável de afluência (AVA)

Para a utilização da AVA como um fator na análise multicriterial, sua obtenção foi realizada através do cálculo da área de contribuição e declividade do terreno, por meio da utilização do programa TAUDEM.

3.2.2.4 Mapa de restrições

De acordo com o objetivo proposto pelo projeto, as APPs, áreas urbanas e estradas, foram tratadas como restrições uma vez que nestas regiões, a ocupação do solo já esta definida; seja pelo reflexo da expansão urbana e desenvolvimento rodoviário ou por força de lei, no caso, o Código Florestal Brasileiro.

Além destes elementos como restrição no estudo, foi considerado também como restrição, todas as áreas na bacia hidrográfica onde o índice topográfico não pode ser determinado através da modelagem hidrológica. Esse fato explica-se pela imperfeição dos modelos hidrológicos e pelas limitações do sistema operacional e de informações no modelo, para a geração espacial do índice para toda a bacia hidrográfica.

3.2.3 Abordagem multicriterial

3.2.3.1 Definição dos critérios

Definida a análise multicriterial, a metodologia para a seleção de áreas prioritárias para a gestão de uma bacia hidrográfica, a partir de características relevantes à conservação da água e manutenção do ciclo hidrológico, a seleção de critérios (fatores e restrições) tornou-se parte importante na elaboração do mapa final de prioridades.

Assim, de acordo com Valente (2005); Sartori (2010) e Vettorazzi (2006), a definição dos critérios foi orientada por consulta bibliográfica e por meio de consultas a pesquisadores com experiências em diferentes áreas relevantes ao tema do trabalho.

3.2.3.2 Geração dos mapas de fatores e restrições

Os mapas de fatores produzidos segundo métodos expostos nas seções anteriores foram importados para o SIG IDRISI, onde o módulo de suporte a decisões foi utilizado. Neste módulo, a combinação linear ponderada (MCE – sigla em inglês) foi o método de análise multicriterial selecionado.

Para a utilização de cada mapa fator na análise multicriterial, os mesmos foram normalizados em uma escala contínua de 0 a 255, sendo os valores próximos ou iguais a 255, os mais importantes para a eleição das áreas prioritárias, segundo o objetivo da proposta de pesquisa.

Desta forma, de acordo com cada fator, há a necessidade de um processo de normatização a partir de uma função linear crescente ou uma função linear decrescente. Os fatores e restrições eleitos para a análise multicriterial foram:

(1) Potencial de infiltração: o fator foi gerado a partir de um mapa dividido em três níveis de potencial de infiltração, sendo eles: 1 (baixo potencial), 2 (médio potencial) e 3 (alto potencial). Para sua normalização, uma função linear crescente foi utilizada para a atribuição dos valores dentro da escala de 0 a 255, para cada um dos níveis, tendo, portanto, as áreas de maior potencial à infiltração valores próximos e iguais a 255.

(2) Suscetibilidade à erosão: o fator foi gerado a partir de um mapa dividido em cinco níveis de suscetibilidade à erosão, sendo eles: 1 (muito baixa suscetibilidade), 2 (baixa suscetibilidade), 3 (média suscetibilidade), 4 (alta suscetibilidade) e 5 (muito alta suscetibilidade). Para sua normalização, uma função linear crescente foi utilizada para a atribuição dos valores dentro da escala de 0 a 255, para cada um dos níveis, tendo, portanto, as áreas de maior suscetibilidade a processos erosivos valores próximos e iguais a 255

(3) Área variável de afluência: o fator foi gerado a partir de um mapa dividido em três níveis variando entre as áreas que são AVA, ou seja, as áreas que de acordo com o modelo, corresponderão à zona de saturação da bacia hidrográfica,

onde prevalecerão os processos de escoamento superficial nas áreas saturadas após um evento de chuva. Desta forma, os níveis atribuídos em 1 e 2 no mapa para as áreas menos propensas à resposta hidrológica de formação de AVA, enquanto que o nível 3 corresponde às áreas variáveis de afluência da sub-bacia do Rio Araquá.

Para sua normalização, uma função linear crescente foi utilizada para a atribuição dos valores dentro da escala de 0 a 255, para cada um dos níveis, tendo, portanto, as áreas AVA valores próximos e iguais a 255.

(4) Restrições: o mapa de restrições corresponde a um plano de informação definido por valores 0 (zero) e 1 (um), sendo que, onde houve o valor zero, não ocorreu cálculo para a adequação ou seleção de áreas prioritárias, pois estas áreas correspondem aos elementos da sub-bacia já definidos como restrições. No mapa de restrições, todas as demais áreas representadas pelo valor 1 estão habilitadas a participarem do processo de seleção de áreas prioritárias de acordo com o objetivo da análise multicriterial.

3.2.3.3 Definição dos pesos dos fatores

Para o cálculo dos pesos para cada fator foi utilizado o processo de tomada de decisão conhecido como Análise Hierárquica Analítica (SAATY, 1977). Este método emprega uma comparação pareada entre fatores para determinar a importância relativa de cada um deles (CONINE et al., 2004; TRAFICANTE, 2007).

Os pesos definidos expressaram a importância, ou ordem de importância dos fatores no processo de tomada de decisão e foram determinados a partir de estudos na literatura existente, por experiências em aplicações já realizadas ou, ainda, através da Técnica Participatória, como descrito por Sartori (2010).

Desta forma, os fatores juntamente com os seus respectivos pesos, foram pareados em uma matriz de decisão que mostra múltiplos caminhos pelos quais a importância relativa de cada um fatores pode ser avaliada. Ainda, através do módulo WEIGHT no IDRISI, foi analisada a matriz de comparações para determinação da taxa de consistência lógica estabelecida para a geração de um produto resultado da análise multicriterial. Foi analisada a taxa de consistência de acordo com Saaty (1977), que é o parâmetro para avaliar a matriz proposta, devendo ser abaixo de 0,10. Caso a

taxa de consistência extrapole este valor, o autor recomenda que o processo de pareamento dos fatores seja reavaliado.

Os valores da matriz são derivados de uma escala contínua de 9 pontos (Figura 6). Uma vez que a matriz é simétrica, somente a metade triangular inferior necessita ser preenchida. As células remanescentes são recíprocas às preenchidas (Tabela 2).

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

Menos importante Mais importante

Figura 6. Escala contínua de nove pontos usada na comparação pareada entre fatores, na Avaliação Multicritérios. Fonte: Eastman (1999).

3.2.3.4 Geração do mapa de áreas prioritárias

Para a definição de cenários dentro da bacia hidrográfica, na perspectiva de adequação do uso e ocupação do solo com o potencial natural desta unidade de gerenciamento de recursos hídricos, os fatores e restrições definidos para a pesquisa foram inseridos no SIG IDRISI, no módulo *Weighted linear combination* (WLC). Os fatores receberam seus pesos enquanto que as restrições, representadas por um mapa *booleano*, com valores 0 (zero) para as restrições e 1 (um) para as áreas a serem analisadas, foi adicionado à análise multicriterial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização ambiental da sub-bacia hidrográfica

4.1.1 Declividade

As classes de declividade encontradas na sub-bacia do Rio Araquá, bem como sua distribuição ao longo da área são detalhadas Tabela 2 e Figura 7.

Uma vez compreendida as características do relevo na região de Cuesta, a interpretação das classes de declividade como apresentadas no mapa, torna-se um exercício bastante inteligível. A classe entre 20 a 40% de declividade, por exemplo, apresenta-se como predominante na região de domínio do Front da Cuesta. Ainda, no Front, é onde se encontram as classes de 40 a 75% e maiores que 75%.

Devido à forte declividade nesta zona, o impedimento à ocupação do solo torna-se uma característica natural do Front e onde ainda se encontram os maiores fragmentos de vegetação nativa da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

Tabela 2. Classes de declividade da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006)

Classes de declividade	**Descrição**	**Área (ha)**	**Área em relação à sub-bacia (%)**
0-3%	Plano	2134,49	7,78
3-8%	Suave ondulado	9505,85	34,65
8-20%	Ondulado	11627,57	42,38
20-40%	Forte ondulado	3221,81	11,74
40-75%	Montanhoso	866,28	3,15
> 75%	Escarpado	74	0,2%

A informação sobre a declividade de um terreno é conhecimento fundamental para a tomada de decisão sobre a escolha de práticas de manejo do solo (tipo de culturas, viabilidade de mecanização). Através do conhecimento da declividade do terreno há a possibilidade de se compreender o comportamento do processo de escoamento da água na bacia hidrográfica bem como de suas propriedades hidrológicas ou mesmo a sensibilidade do terreno a processos erosivos.

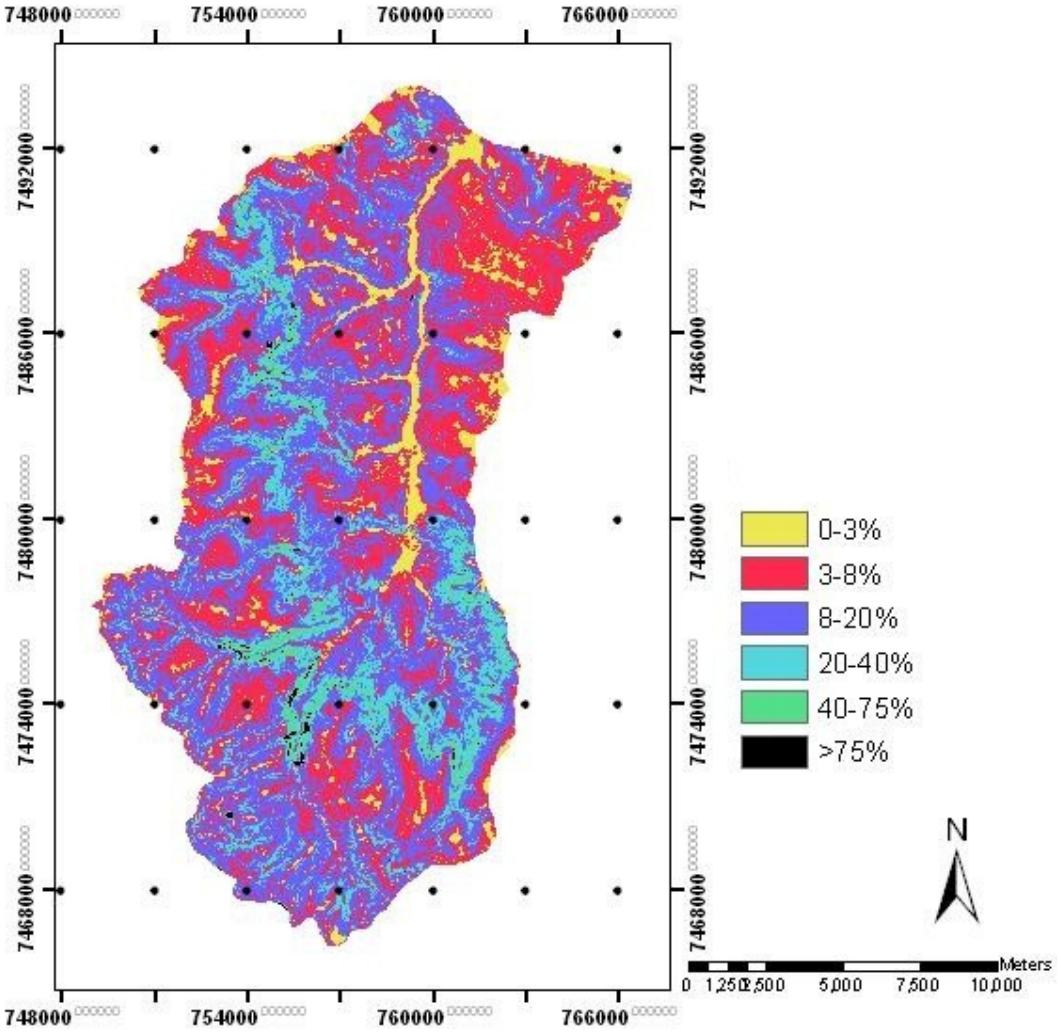


Figura 7. Classes de declividade da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

4.1.2 Hidrografia e área de preservação permanente (APP)

A hidrografia da sub-bacia do Rio Araquá obtida de uma imagem orbital e atual permitiu uma leitura importante sobre a gestão desta unidade de planejamento. De acordo com as cartas planialtimétricas do IGC, a sub-bacia hidrográfica, em 1980, ano da primeira edição destas cartas, possuía uma rede hidrográfica de aproximadamente 382 km.

Com a digitalização da rede hidrográfica, a partir de uma imagem orbital do ano de 2008, foi possível identificar que esta sub-bacia possui, atualmente, uma rede hidrográfica de aproximadamente 270 km. Mesmo, as redes de drenagem, terem sido calculadas por métodos distintos, este resultado sugere que em um período de 28 anos, a sub-bacia teve uma redução de cerca de 30% em sua rede de drenagem.

A diminuição da rede drenagem é um fenômeno já observado em trabalhos desenvolvidos por Oliveira (OLIVEIRA, F. G., 2009) em uma região produtora de cana-de-açúcar no município de Barra Bonita e por Castro (2008), em um estudo de diagnóstico ambiental realizado no município de Jaú, ambos municípios no interior do estado de São Paulo.

Outro benefício em se utilizar a imagem orbital para a obtenção da rede de drenagem, é que a partir da mesma foi obtido o mapa de ocupação do solo. Desta forma, ao se calcular e espacializar as áreas de preservação permanente (APP), houve razoável capacidade para mensuração de quantas áreas na sub-bacia hidrográfica estão sem suas APP devidamente respeitadas, segundo a legislação ambiental brasileira, oferecendo uma informação mais precisa sobre a região de estudo.

A rede hidrográfica e as matas ciliares são dois elementos indissociáveis em uma bacia hidrográfica. As matas ciliares são o elemento de transição e ligação dos corpos d'água com as mais variadas ocupações do solo.

A zona de APP com um total de 2483 ha (Figura 8), correspondendo a 9% da área total da sub-bacia hidrográfica, esta atualmente com 1112 ha ou 45% de sua área sem cobertura de vegetação nativa, ou seja, em conflito de uso de acordo com o Código Florestal Brasileiro.

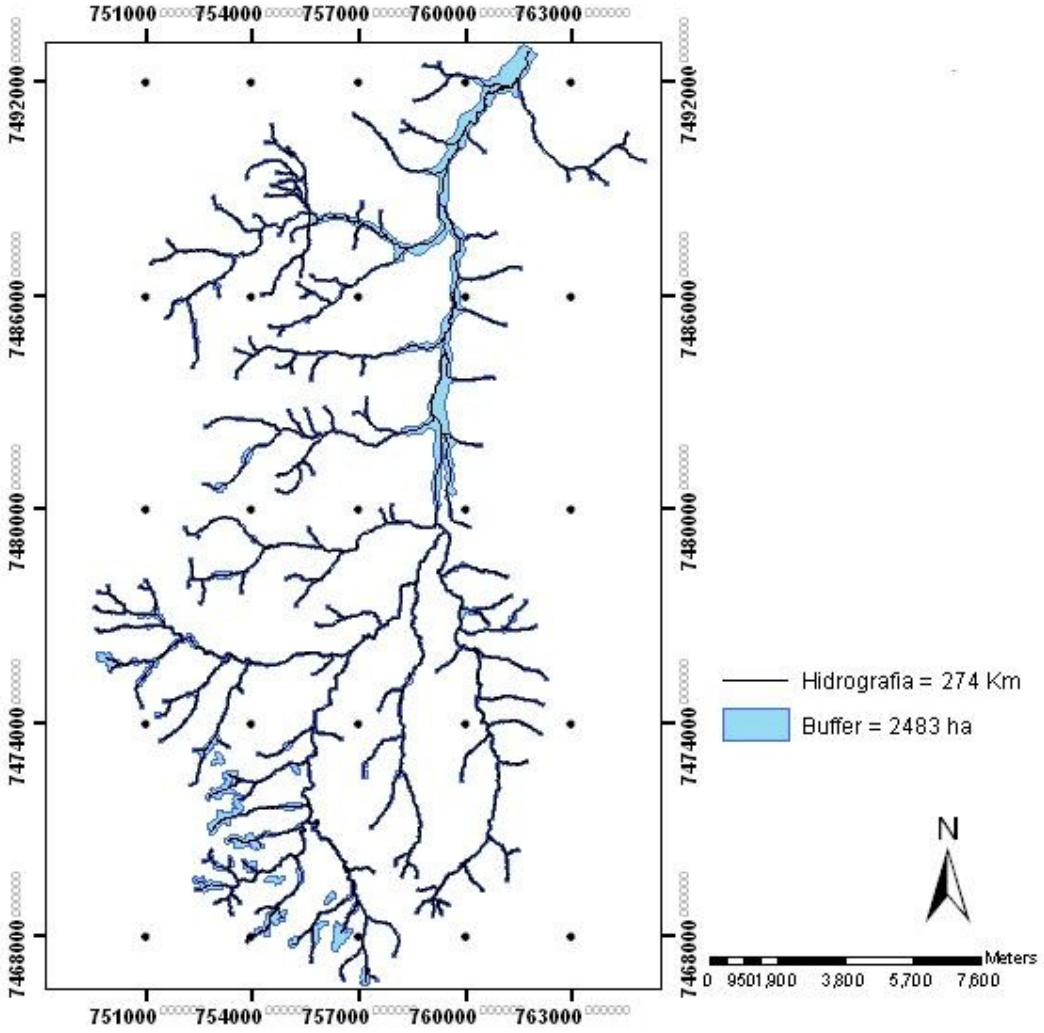


Figura 8. Mapa representativo da zona de APP e rede hidrográfica gerados a partir da interpretação visual de uma imagem orbital QuickBird 2 do ano de 2008.

4.1.3 Mapeamento semidetalhado de solos

As classes de solo do mapeamento semidetalhado da sub-bacia do Rio Araquá são descritas segundo as normas estabelecidas pela EMBRAPA (2006) como:

LATOSSOLO VERMELHO – solo mineral não hidromórfico, com horizonte B latossólico e coloração vermelho. Com textura média, sendo sempre acentuadamente drenados e relativamente profundos. Ocorre em colinas amplas e também em relevos mais movimentados, representados por colinas médias e morros arredondados.

LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – solo mineral não hidromórfico, com horizonte B latossólico e coloração vermelho-amarela. Com textura média, sendo sempre acentuadamente drenados e relativamente profundos. Ocorre em colinas amplas e também em relevos mais movimentados, representados por colinas médias e morros arredondados.

LATOSSOLO AMARELO – solos constituídos por material mineral, horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura. Solo com matiz 7,5YR ou mais amarelo.

CAMBISSOLO HÁPLICO – solos constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura, ou horizonte A chernozênico, quando B incipiente apresentar de atividade alta e saturação por base alta. Sem horizonte A húmico e sem caráter flúvico dentro de 120 cm a partir da superfície do solo.

NEOSSOLO QUARTZARÊNICO – solos que não exibem a presença de horizonte B, com teores de argila inferiores a 13% em todo perfil, geralmente profundos, bastante permeáveis, porem com pouca coesão em suas partículas, em função dos baixos níveis de argila presente.

NEOSSOLO LITÓLICO – solos com horizonte A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm, que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário

dentro de 50 cm da superfície do solo. Admite um horizonte B um início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

NEOSSOLO FLÚVICO – solos derivados de sedimentos aluviais e que apresentam caráter flúvico. Horizonte glei, ou horizontes de coloração pálida, variegada ou com mosqueados abundantes ou comuns de redução, se ocorrem abaixo do horizonte A, devem estar a profundidades superiores a 150 cm.

GLEISSOLO MELÂNICO – solos constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de horizonte A ou E, ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir classes de Organossolos, não apresentando horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei, tampouco qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei, ou textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo. Possui horizonte A húmico, proeminente ou chernozênico.

GLEISSOLO HÁPLICO - solos constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de horizonte A ou E, ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir classes de Organossolos, não apresentando horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei, tampouco qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei, ou textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo. Os Gleissolos Háplicos correspondem à subordem (háplico) que não se encaixa em nenhuma outra subordem dos Gleissolos.

A partir do levantamento de solos realizado na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, de acordo com os procedimentos metodológicos descritos no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (LEMOS; SANTOS, 1996) e de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), foi possível a caracterização de 13 unidades de mapeamento (Tabela 4).

Tabela 4. Unidades de solo mapeadas na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá

Solo	Sigla	Textura	Área (ha)	Área em relação à sub-bacia (%)
Latossolo Vermelho Eutroférrico	LVef	Muito argilosa	594,2	2,16
Latossolo Vermelho Distroférrico	LVdf	Muito argilosa	313,7	1,14
Latossolo Vermelho Eutrófico	LVe	Argilosa	3.943,9	14,37
Latossolo Vermelho Distrófico	LVd	Argilosa	5.551,2	20,23
Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico	LVAe	Média	462,3	1,68
Latossolo Amarelo Distrófico	LAd	Média	368,9	1,34
Cambissolo Háplico Eutrófico	CXe	Argilosa	499,7	1,82
Neossolo Quartzarênico Órtico Eutrófico	RQoe	Arenosa	4.893,3	17,83
Neossolo Quartzarênico Órtico Distrófico	RQod	Arenosa	6.104,6	22,25
Neossolo Litólico Eutrófico	RLie	Média	3.106,9	11,32
Neossolo Flúvico Tb Eutrófico	RYbe	Arenosa	857,2	3,12
Gleissolo Melânico Distrófico	GMd	Média	386,6	1,4
Gleissolo Háplico Distrófico	GXd	Arenosa	347,2	1,26

Após a definição de todas as unidades de mapeamento, pautadas na análise da paisagem, relevo, rede hidrográfica, análises das amostras de solos e visitas em campo, o mapa semidetalhado de solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá foi produzido (Figura 9).

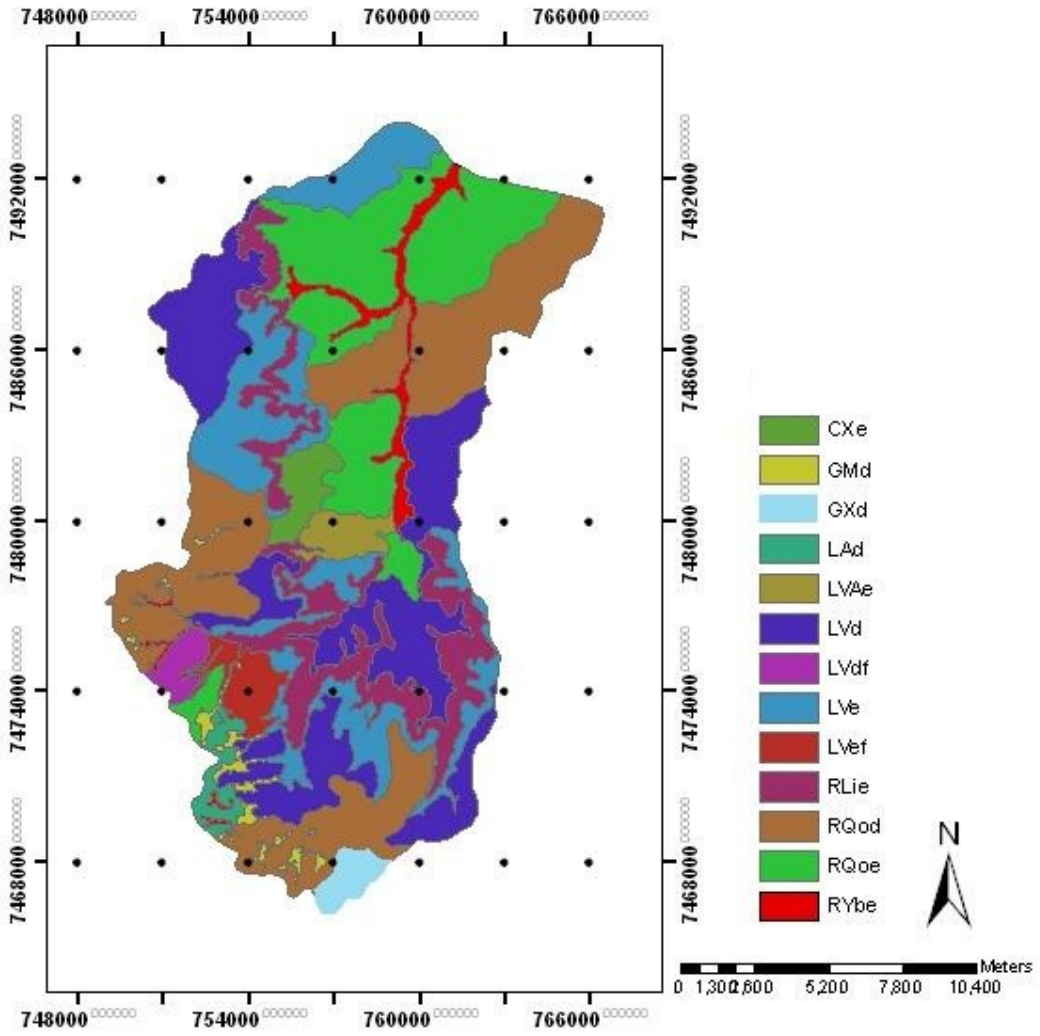


Figura 9. Mapa semidetalhado de solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

4.1.4 Cobertura do solo

A partir do procedimento metodológico de classificação visual em tela, as seguintes classes de cobertura do solo foram identificadas (Tabela 5):

Tabela 5. Classes de cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, ano de 2008

Cobertura do solo	**Área (ha)**	**Área em relação à sub-bacia (%)**
Vegetação nativa	5.125,4	18,6
Pastagem	5.255,5	19,1
Pousio	1.576,3	5,7
Cana-de-açúcar	10.423,4	38
Habitação rural	589,5	2,1
Laranja	865,8	3,1
Represa	61,1	0,2
Eucalipto	1.634,5	5,9
Várzea	145	0,5
Café	529,6	1,9
Cultura anual	165,5	0,6
Cidade	861,7	3,1
Estradas	219	0,7

Os resultados da classificação visual em tela são representados espacialmente no mapa de cobertura do solo (Figura 10).

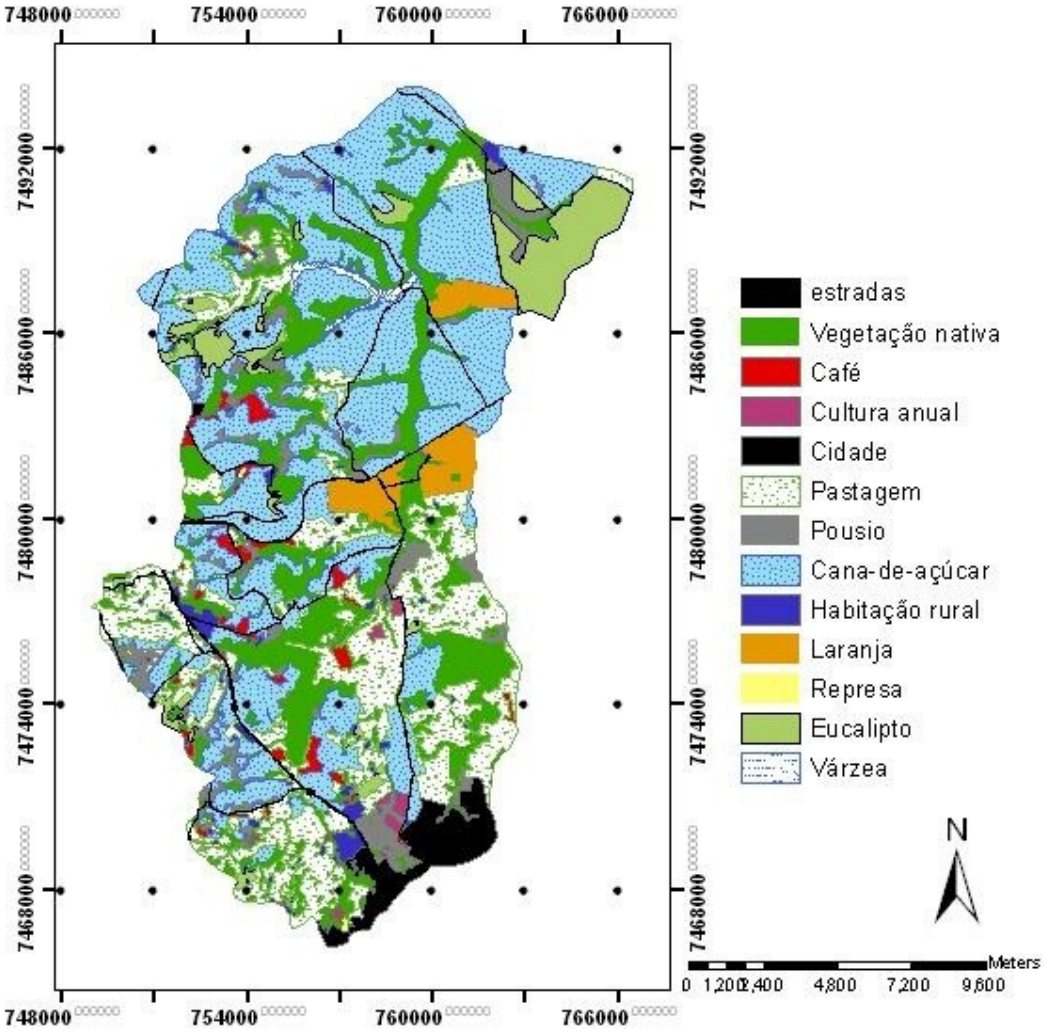


Figura 10. Mapa da cobertura do solo da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, ano de 2008.

Pela análise do mapa da cobertura do solo, foi confirmado que o uso de maior intensidade na sub-bacia é a cana-de-açúcar. Especialmente por esta sub-bacia estar localizada nas proximidades de uma usina açucareira e produtora de álcool, que esta cumpre função de produtora de matéria prima nos processos produtivos do setor sucroalcooleiro.

Esta situação, de predominância da cana-de-açúcar na paisagem desta sub-bacia, reflete um panorama geral da região interiorana do estado de São Paulo, onde a expansão deste produto tem se expandido por grandes extensões de terra, substituindo áreas em que outrora, foram destinadas a pastagens e culturas anuais. Este processo já foi observado por Silva e Zimback (2010) em uma sub-bacia hidrográfica no município de Botucatu onde, em um período de 10 anos, a cana-de-açúcar expandiu 6,65%.

Ainda, Oliveira (2009) verificou que a houve aumento da cultura canavieira no município de Barra Bonita, interior do estado de São Paulo, sendo este aumento, ocorrido em áreas deixadas por outras culturas. A autora ainda atribui o fato de a matriz da paisagem no município de Barra Bonita ser cana-de-açúcar pelo fato de esta cidade possuir uma importante usina sucroalcooleira.

Em relação à vegetação nativa, hoje esta praticamente esta limitada às áreas de preservação permanente e ao Front da Cuesta. Duas zonas da sub-bacia hidrográfica onde existem limitações evidentes ao uso do solo por culturas agrossilvipastoris e expansão urbana, seja por questões legais, sejam pelas dificuldades impostas pelas características do relevo.

Esta situação leva a crer que, sobre o aspecto de conservação dos remanescentes de vegetação desta sub-bacia, a preocupação não deve ser direcionada ao combate e controle sobre a prática de desmatamento e sim, para as ações e decisões que promovam o enriquecimento dos fragmentos florestais por meio de atividades de restauração ecológica, conectividade florestal a adequação das APPs ao Código Florestal e a implantação de Reservas Legais.

4.2 Mapas de fatores e restrições

4.2.1 Potencial de infiltração de água no solo

Como a condutividade hidráulica do solo é um parâmetro que traduz a facilidade com que a água se movimenta ao longo do perfil do solo, para o desenvolvimento do mapa do potencial de infiltração, dois fatores de ordem natural foram levados em consideração, a condutividade hidráulica e a declividade do terreno, em uma metodologia adaptada a partir de métodos propostos por Gomes et at. (2002), Soares et al. (2007) e a partir das características de drenagem dos solos descritas por Lemos e Santos (1996), que auxiliaram a classificação dos diferentes tipos de solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, em alto, médio e baixo potencial de condutividade hidráulica.

De acordo com o mapa de solos e com o mapa de classes de declive da sub-bacia, valores (pesos) foram atribuídos (Tabela 6 e 7) para a operacionalização da metodologia adotada.

O mapeamento do potencial de infiltração de água no solo é uma ferramenta importante para a avaliação e zoneamento deste processo em uma unidade de gerenciamento de recursos hídricos. A partir de procedimentos metodológicos adotados para o objetivo da pesquisa, foi elaborado o mapa com a espacialização deste potencial para a sub-bacia do Rio Araquá (Figura 11). A Figura 12 representa o mapa normatizado em escala de 0 a 255 para utilização na MCE.

Tabela 6. Classes de condutividade hidráulica para os solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá adaptados adaptado de Gomes et. al. (2002) e Lemos e Santos (1996)

Solo	**Condutividade hidráulica**
Latossolo Vermelho Eutroférrico (LVef)	Alta
Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf)	Alta
Latossolo Vermelho Eutrófico (LVe)	Alta
Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	Alta
Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico (LVAe)	Alta
Latossolo Amarelo Distrófico (LAd)	Alta
Cambissolo Háplico Eutrófico (CXe)	Baixa
Neossolo Quartzarênico Órtico Eutrófico (RQoe)	Alta
Neossolo Quartzarênico Órtico Distrófico (RQod)	Alta
Neossolo Litólico Eutrófico (RLie)	Baixa
Neossolo Flúvico Tb Eutrófico (RYbe)	Baixa
Gleissolo Melânico Distrófico (GMd)	Baixa
Gleissolo Háplico Distrófico (GXd)	Baixa

Tabela 7. Potencial de infiltração do solo para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá. Adaptação de metodologia proposta por Gomes et. al. (2002)

	Declividade do solo			
Condutividade hidráulica	< 3% (peso 3)	4	– 8% (peso 2)	> 8% (peso 1)
Baixa (peso 1)	3	2		1
Média (peso 2)	6	4		2
Alta (peso 3)	9	6		3

Nota: Para os valores 9 e 6 do quadro, o potencial de infiltração é alto. Para os valores 4 e 3, o potencial de infiltração é médio. Para os valores 2 e 1, o potencial de infiltração é baixo.

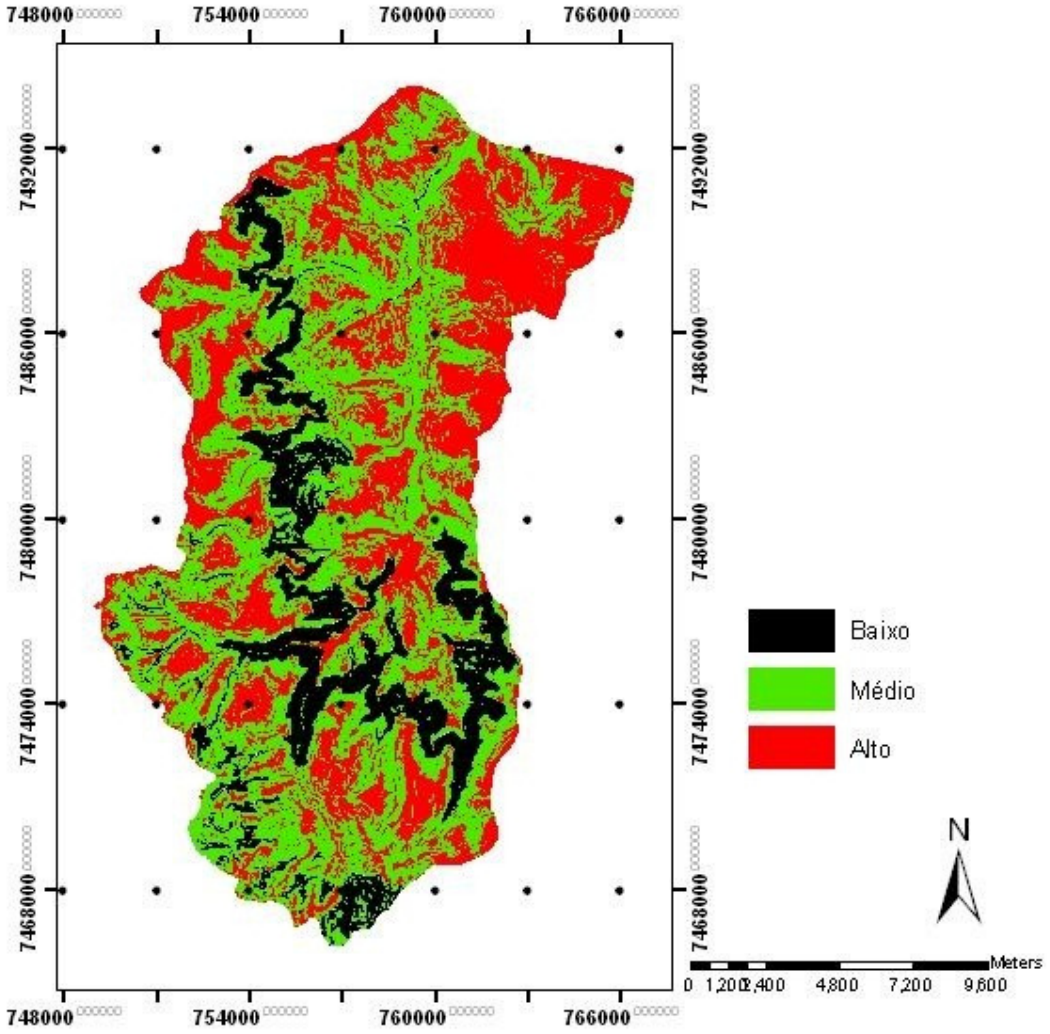


Figura 11. Potencial de infiltração da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

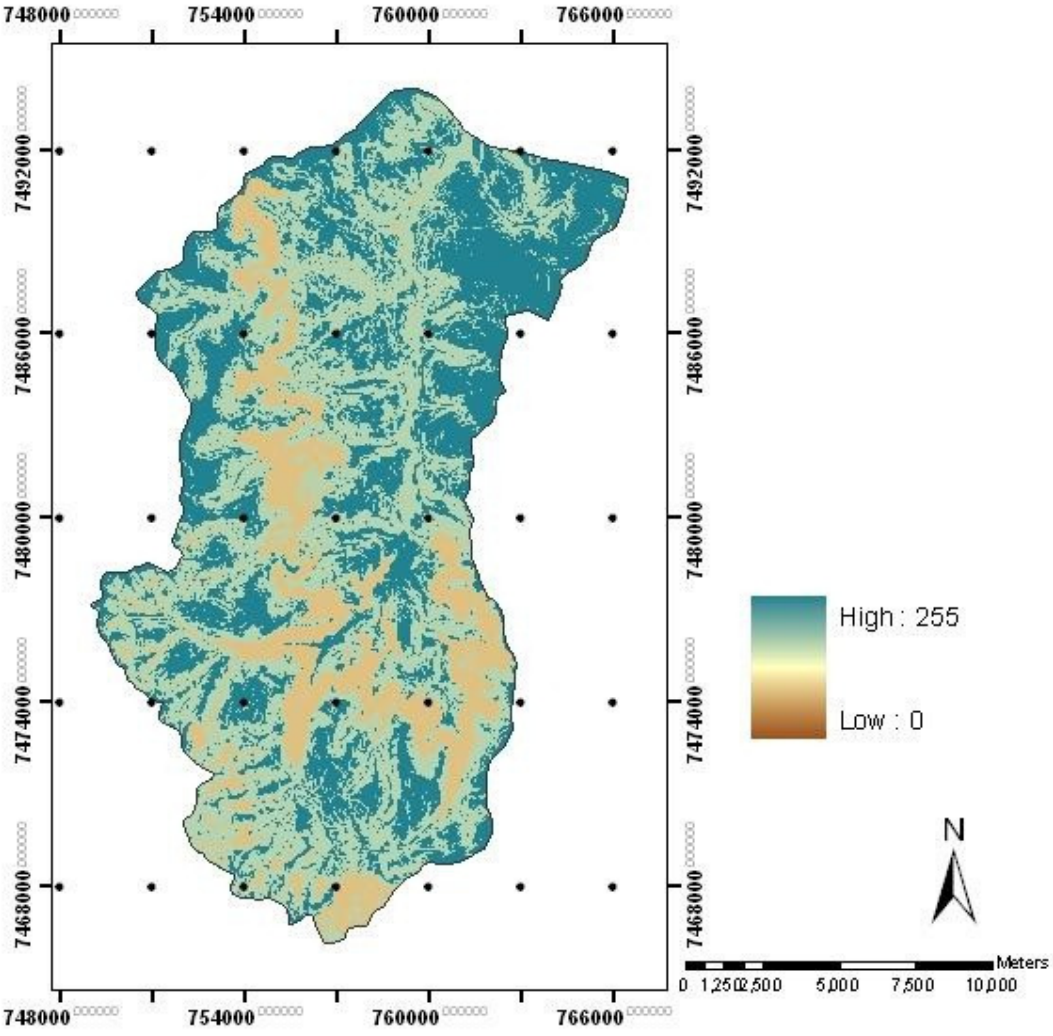


Figura 12. Normatização do potencial de infiltração em escala de 0 a 255 com valores de importância em ordem crescente, para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

Como resultado, e de acordo com (BRITO et al., 2006), verificou-se que a infiltração ocorre preferencialmente nas áreas onde a permeabilidade do solo é associada com outros fatores.

Para a espacialização do potencial de infiltração do solo à água, os fatores levados em consideração, condutividade hidráulica e declividade, combinados, mostraram que nem sempre a declividade mais suave ou o solo mais condutor, por exemplo, podem ser tratados como atributos únicos ou isolados, para a definição deste potencial.

Através do resultado obtido na Figura 11, foi observado que a combinação de diferentes elementos da paisagem traz à luz do entendimento, características de uma bacia hidrográfica que só podem ser compreendidas por meio de uma análise complexa, onde diversas variáveis são trabalhadas em um conjunto único de dados.

A combinação de fatores, no caso condutividade hidráulica e declividade, permitiu atribuir níveis de potencial de acordo com o resultado da multiplicação dos pesos referentes a cada uma das características de solo e níveis de declive. Logo, as áreas de mais alto potencial de infiltração, não são simplesmente áreas de declives suaves ou áreas de solos de alta condutividade hidráulica, mas sim, áreas onde ambas as características, declives suaves e alta condutividade hidráulica, cruzam-se no espaço geográfico da sub-bacia hidrográfica.

A classe de alto potencial de infiltração, representada na Figura 11 corresponde a 10404 ha ou 38% da área total da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

4.2.2 Suscetibilidade à erosão

A suscetibilidade a erosão foi um comportamento avaliado a partir de metodologias e conceitos, que de acordo com Valente (2005), depende de uma combinação de fatores individuais, erodibilidade do solo e declividade do terreno. Para a elaboração do mapa de suscetibilidade à erosão, cada um dos elementos, índice de erodibilidade do solo e declividade do terreno, foram classificados como expostos nas Tabelas 8 e 9:

Tabela 8. Índice de erodibilidade de solo no Estado de São Paulo (BERTONI; LOMBARDI, 1985). Tabela adaptada para os solos da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá

Solo	Índice de erodibilidade	Classe	Peso
Cambissolo Háplico Eutrófico (CXe), Neossolo Quartzarênico Órtico Eutrófico (RQoe), Neossolo Quartzarênico Órtico Distrófico (RQod), Neossolo Litólico Eutrófico (RLie)	0,433 – 0,54	I	5
Sem solos de classe II para a sub-bacia.	0,329 – 0,432	II	4
Latossolo Vermelho Eutrófico (LVe), Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico (LVAe), Latossolo Amarelo Distrófico (LAd)	0,221 – 0,328	III	3
Latossolo Vermelho Eutroférrico (LVef), Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf)	0,113 – 0,22	IV	2
Neossolo Flúvico Tb Eutrófico (RYbe), Gleissolo Melânico Distrófico (GMd), Gleissolo Háplico Distrófico (GXd)	0 – 0,113	V	1

Tabela 9. Classes de declividade de acordo com proposta metodológica de Ridente Júnior et. al. (1997)

Declividade	Peso
< 6%	1
6 – 12%	2
12 – 20%	3
20 – 30%	4
> 30%	5

De acordo com a metodologia proposta por Ridente Júnior et. al. (1997) e apoiado em trabalhos mais recentes (FERRAZ; VETTORAZZI, 2003), a Tabela 10 apresenta os pesos obtidos pelo cruzamento entre as classes de erodibilidade (linha) e declives (coluna), que resultou no mapa de suscetibilidade à erosão (Figura 13). A Figura 14 representa o mapa normatizado em escala de 0 a 255 para utilização na MCE.

Tabela 10. Suscetibilidade à erosão em função dos pesos atribuídos a solo e declividade para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá

Solos/Declividade	**Classe V (peso 1)**	**Classe IV (peso 2)**	**Classe III (peso 3)**	**Classe I (peso 5)**
< 6% (peso 1)	1	2	3	5
6 – 12% (peso 2)	2	4	6	10
12 – 20% (peso 3)	3	6	9	15
20 – 30% (peso 4)	4	8	12	20
> 30% (peso 5)	5	10	15	25

O conhecimento sobre os processos erosivos é uma importante informação a ser considerada no processo de decisão sobre a gestão de terras agrícolas e bacias hidrográficas (OLIVEIRA, A. M. M., 2004), pois nas áreas onde houve maiores índices de suscetibilidade, deve-se haver prioridade em planos de reflorestamento ou na adoção de boas práticas de manejo do solo; uma vez que a perda de solos provoca sérios danos ao ambiente e aos sistemas agrícolas, entre eles o assoreamento dos corpos d'água, perda de fertilidade do solo e a contaminação da água superficial pelo carreamento de defensivos e fertilizantes utilizados na agricultura.

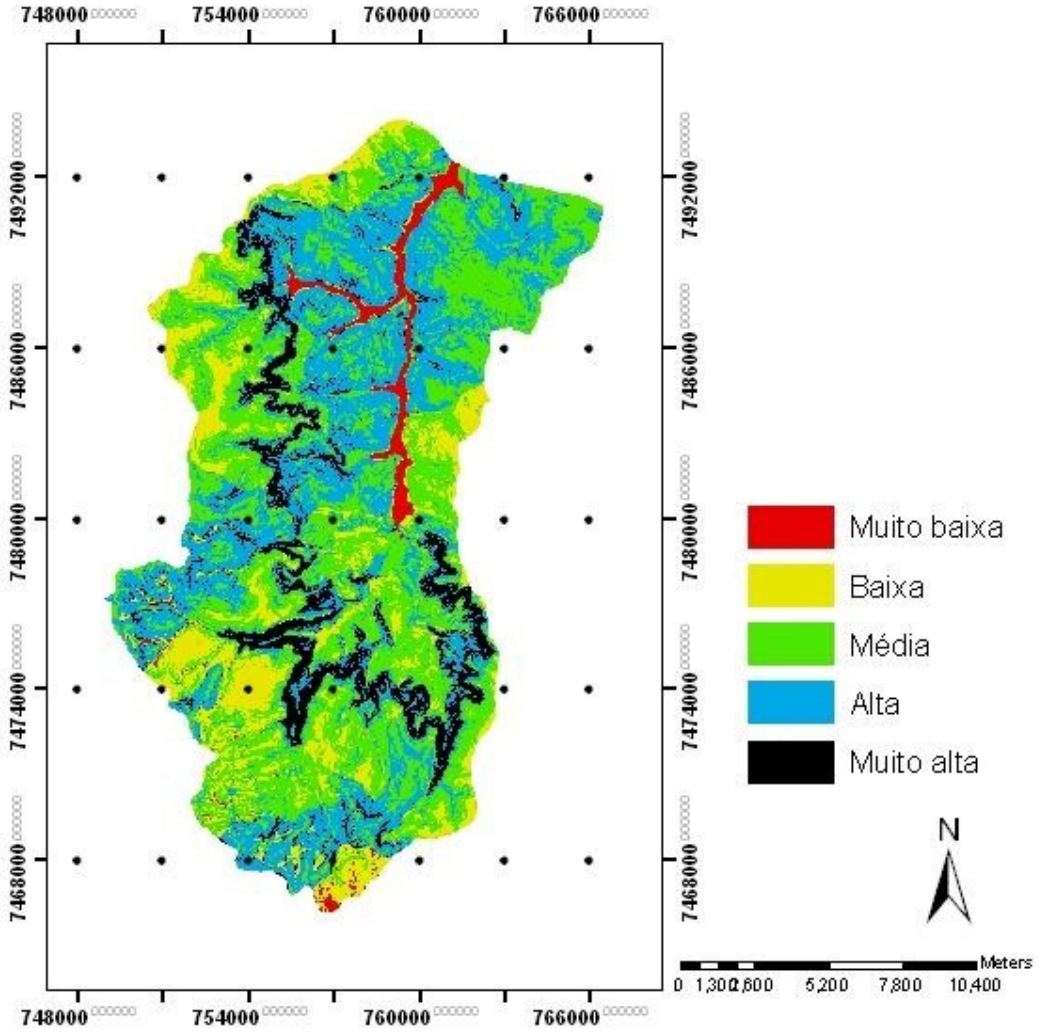


Figura 13. Suscetibilidade à erosão da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

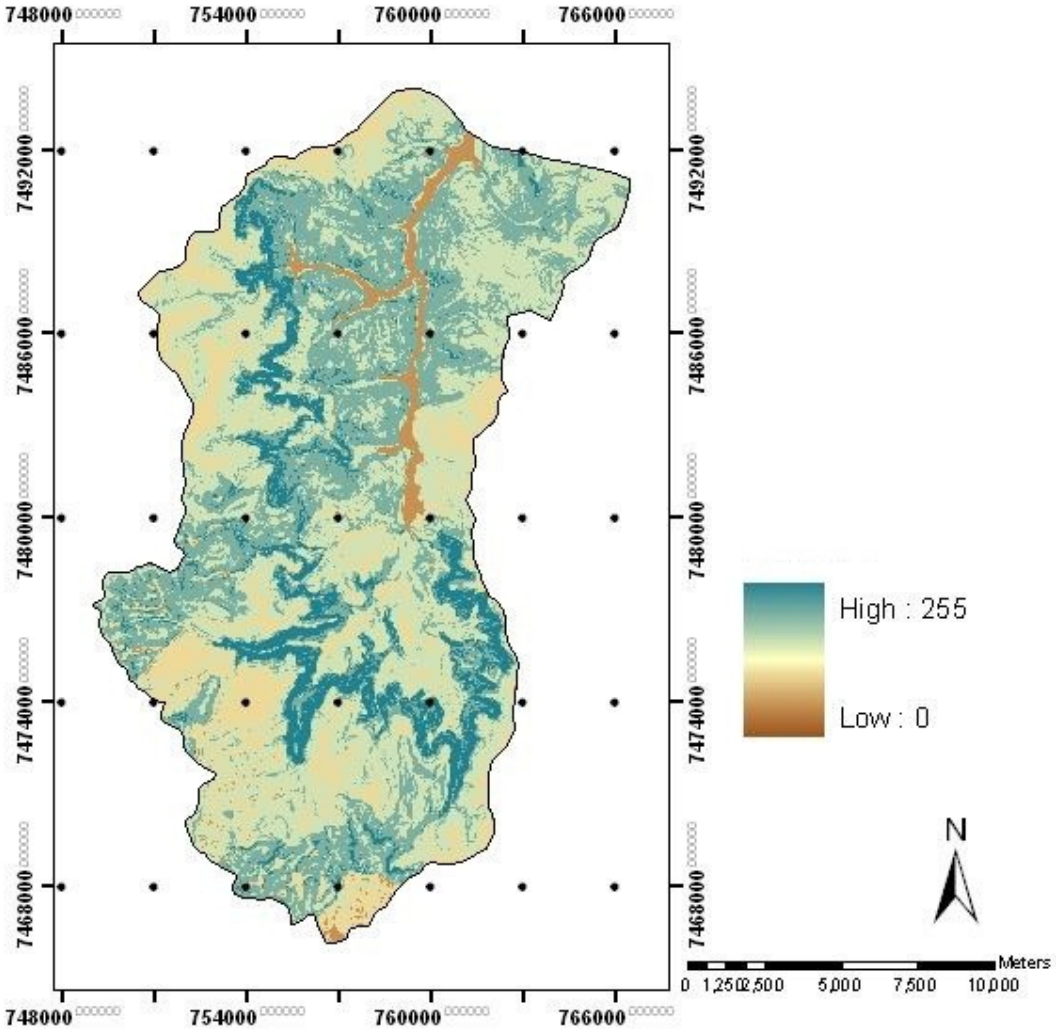


Figura 14. Normatização da suscetibilidade à erosão em escala de 0 a 255 com valores de importância em ordem crescente, para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

As áreas de suscetibilidade à erosão muito alta (Figura 13), nota-se que ocorrem na região de predominância do Front da Cuesta. Este fato explica-se por se tratar de uma região de altos índices de declividade e por ser constituída pelo Neossolo Litólico, um solo bastante raso (em alguns pontos com profundidade chegando a menos de 30 cm) e bastante suscetível a forças erosivas da água.

As regiões na Figura 13 correspondentes ao alto potencial de suscetibilidade à erosão são caracterizadas por relevos menos abruptos que o Front e estendem-se pelo Reverso da Cuesta e pela Depressão Periférica.

Nestas regiões, há a predominância de Neossolos Quartzarênicos, solos de textura arenosa e, portanto, pela pouca agregação, naturalmente suscetíveis às forças erosivas. Na zona da Depressão Periférica, estes neossolos são derivados do arenito da formação Botucatu, já no Reverso, os neossolos são derivados do arenito da formação Marília, depositado sobre a rocha basáltica (formação Serra Geral).

Somadas estas duas zonas, as de muito alta e as de alta suscetibilidade à erosão, juntas correspondem a 11778 ha ou 42% da área total da sub-bacia hidrográfica.

4.2.3 Área variável de afluência (AVA)

Através dos procedimentos metodológicos descritos para o cálculo do índice topográfico, resultou um mapa com a espacialização ou a localização geográfica das áreas variáveis de afluência (Figura 15) na área de estudo e a espacialização normatizada exposta na Figura 16.

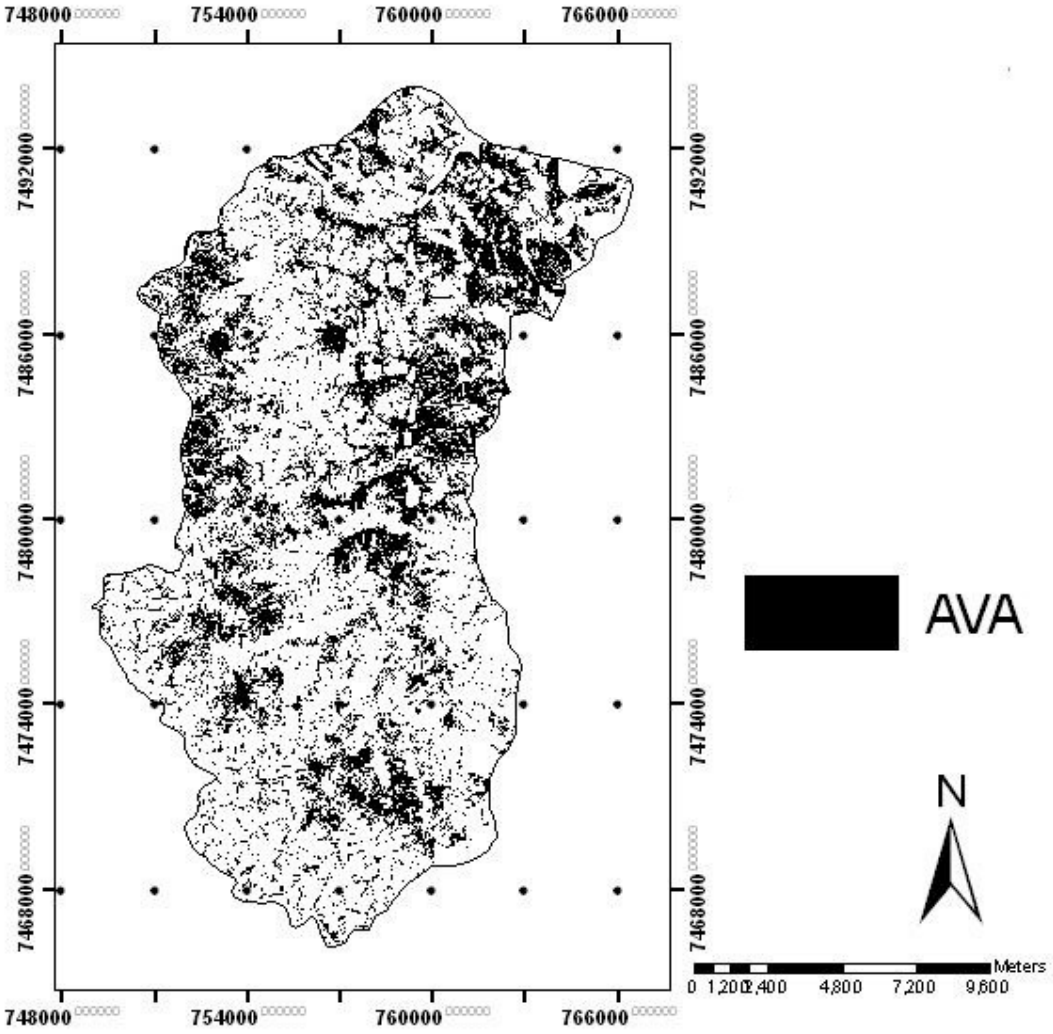


Figura 15. Espacialização das áreas variáveis de afluência na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

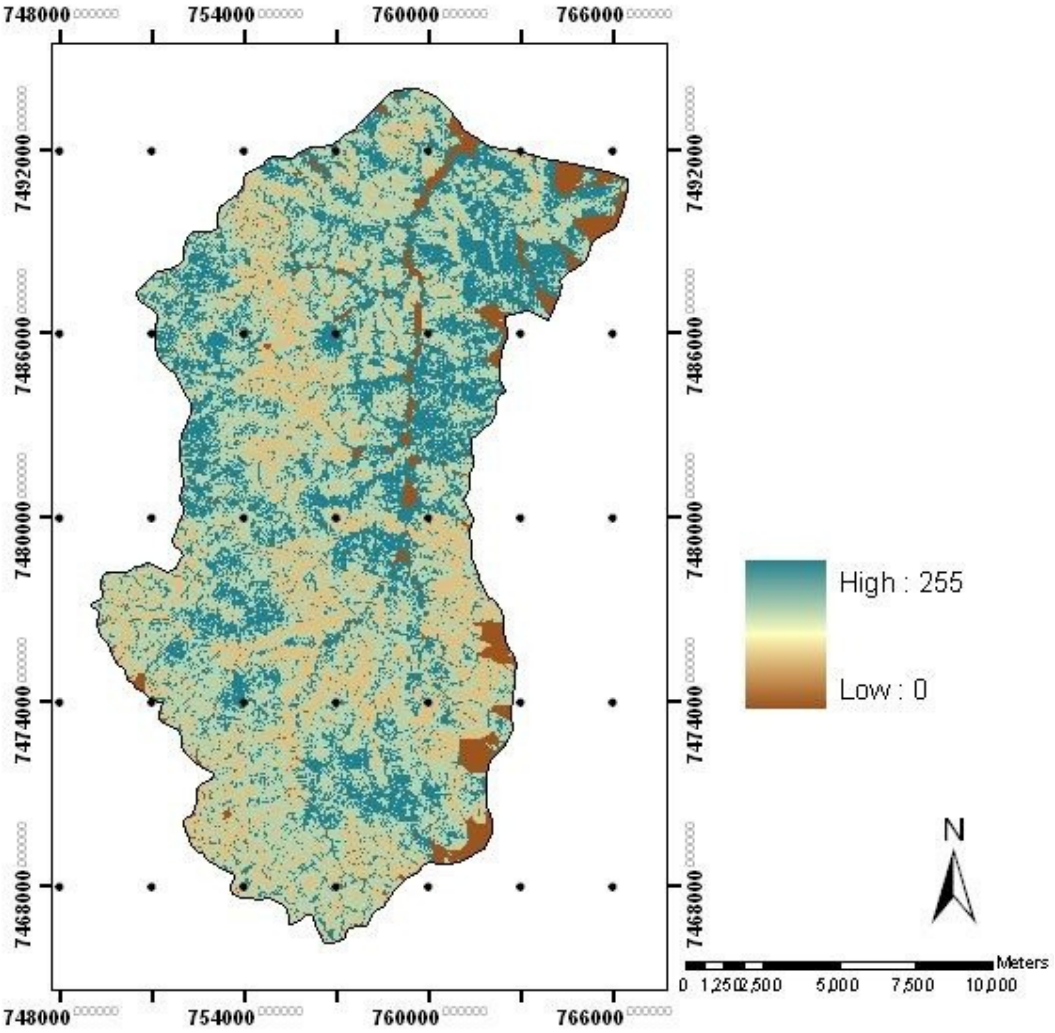


Figura 16. Normatização da área variável de afluência em escala de 0 a 255 com valores de importância em ordem crescente, para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

Segundo a metodologia proposta e em uma análise destas zonas com o mapa de classes de declive, pôde-se constatar que na região do Front da Cuesta não há praticamente AVA.

Como o índice topográfico representa índices de similaridade hidrológica em uma bacia hidrográfica (XAVIER, 2007) é representado pela fórmula:

$$ln=a/tang\beta \quad (2)$$

utilizada pelo TAUDEM, onde: *ln* é logaritmo natural, *a* área de contribuição específica e *tangβ* a declividade do terreno, foi calculada a AVA na área de estudo.

Este modelo hidrológico refletiu a tendência da acumulação da água em pontos da bacia hidrográfica, sendo expressos pela *a* (área de contribuição específica) e refletindo as forças gravitacionais que movem a água morro abaixo (sendo expresso pela declividade como um gradiente hidráulico), assim como proposto por Quinn et. al. (1991).

Dentre as AVA, 28,5% são recorrentes às áreas com declividades entre 8 e 20%, e 51% nas áreas de declividades entre 3 e 8%. Este resultado pode ser explicado, de acordo com Meals et al. (2008), pelo fato de o índice topográfico levar em conta a relação área de contribuição da bacia hidrográfica e declividade do terreno.

É por este fato que a zona de Front da Cuesta não é expressiva na totalidade de áreas variáveis de afluência, pois não representam importantes áreas de contribuição da sub-bacia hidrográfica. Segundo Ramos et. al. (2003), o modelo de índice topográfico baseia-se na contribuição variável para formação de escoamento estimando a área de contribuição à montante ou a fonte saturada, a partir de características topográficas.

Determinar o parâmetro área de contribuição é de extrema importância uma vez que nestas áreas, sobre tudo nas porções côncavas do relevo, há potencial de saturação e, consequentemente, maior instabilidade do terreno.

As AVA representam 30% da área total da sub-bacia do Rio Araquá ou 8453 ha.

4.2.4 Mapa de restrições

As restrições ocupam, na análise multicriterial, a função de limitar a análise espacial a apenas zonas de interesse da pesquisa e que são passiveis de alterações, como a mudança de uma determinada cultura por outra ou a substituição de uma área de pastagem por um plantio, por exemplo. Assim, as restrições corresponderam na pesquisa, às regiões onde a ocupação do solo está definida por cidades e rodovias, elementos da paisagem que não estão sujeitos a reversão da ocupação no tempo e no espaço.

Deste modo, a área total de restrições (Figura 17), na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, foi de 4353,37 ha, sendo 976 ha referentes às áreas onde a modelagem hidrológica não pôde calcular valores para a o índice topográfico, 2483,66 ha de Áreas de Preservação Permanente, 219 ha de estradas e 861 ha de área urbana.

Na Figura 18 é apresentado o mapa *booleano* das restrições.

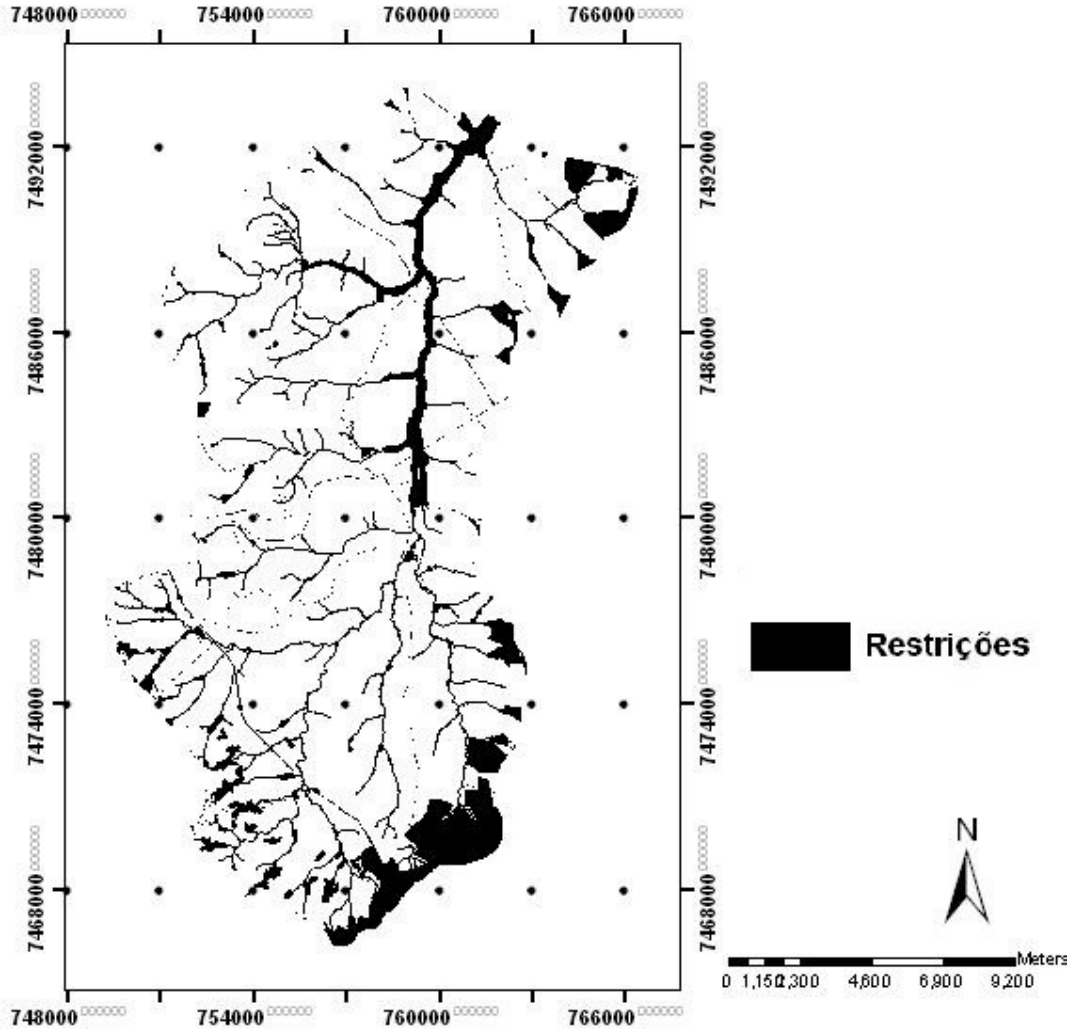


Figura 17. Restrições da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

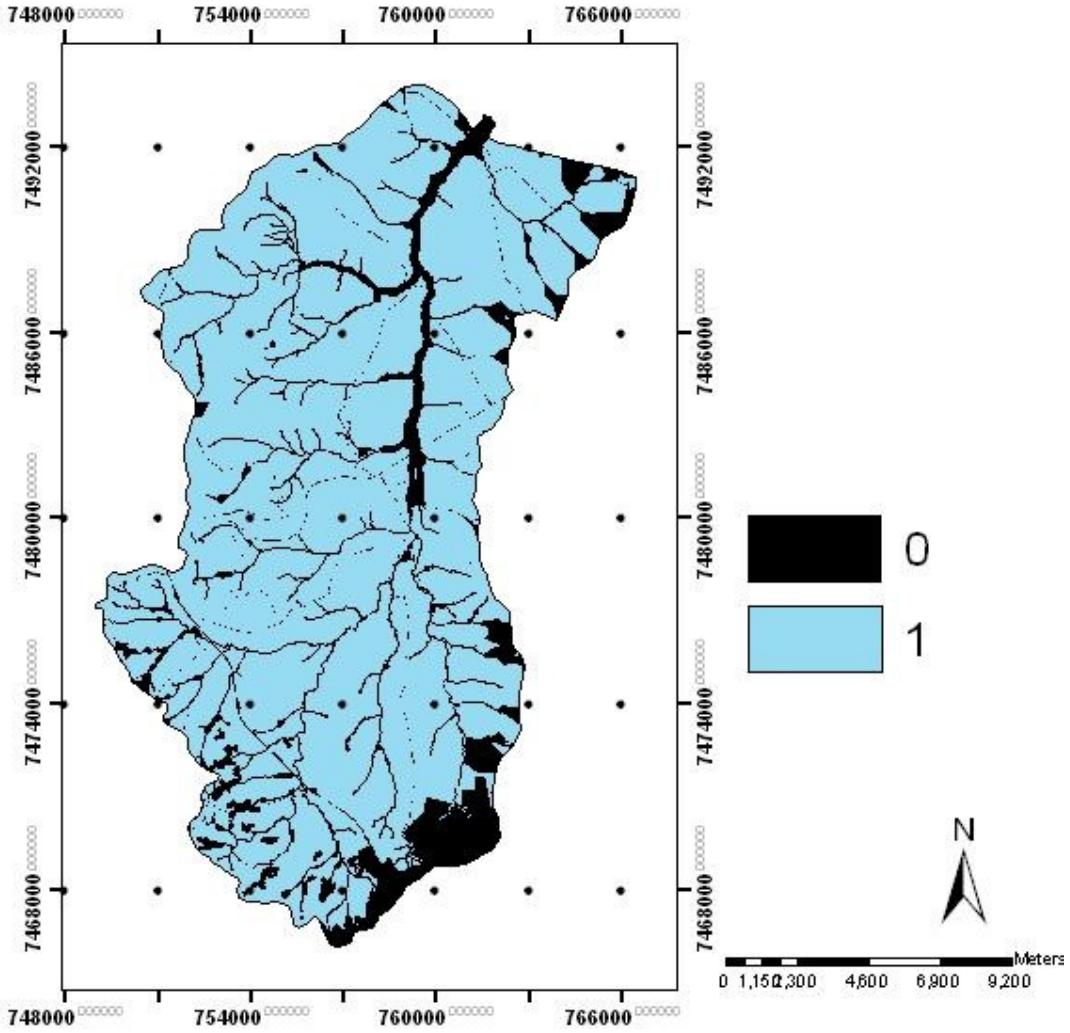


Figura 18. Restrições para a análise multicriterial na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

4.3 Análise multicriterial

4.3.1 Mapa final de áreas prioritárias

Sendo um mapa a representação do espaço geográfico e dos atributos que compõem a paisagem, o mapa final de áreas prioritárias é a representação espacial de uma determinada região sobre a superfície terrestre e que indicou, na área que corresponde à pesquisa, zonas ou espaços prioritários, de acordo com objetivos que refletiram os interesses do estudo. Os resultados de mapas de áreas prioritárias desenvolvidos, a partir de análises multicriteriais, refletem interesses e decisões tomadas por grupos de gestores públicos, pesquisadores, agricultores ou de representantes da sociedade civil.

As representações das áreas prioritárias em mapa normatizado, na escala de 0 a 255, está apresentado na Figura 19 e na Figura 20 a classificação em cinco níveis de prioridade das áreas hidrologicamente sensíveis, segundo os objetivos propostos pela pesquisa. Estas áreas foram determinadas através da análise multicriterial - método da CLP, onde as características referentes à suscetibilidade dos solos aos processos erosivos, potencial de infiltração de água no solo e às áreas variáveis de afluência foram utilizadas como critérios de decisão. A Tabela 11 apresenta as áreas (ha) e as respectivas proporções (%) das classes em relação à área total calculada na análise multicriterial, para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

Tabela 11. Valores de área para os cinco níveis de prioridade na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá

Nível de prioridade	Área	
	(ha)	(%)
Muito baixo	0,34	0,001
Baixo	57,4	0,24
Médio	5051	21,8
Alto	12467	54
Muito alto	5497,5	23,8
Total	23073,24	100,00

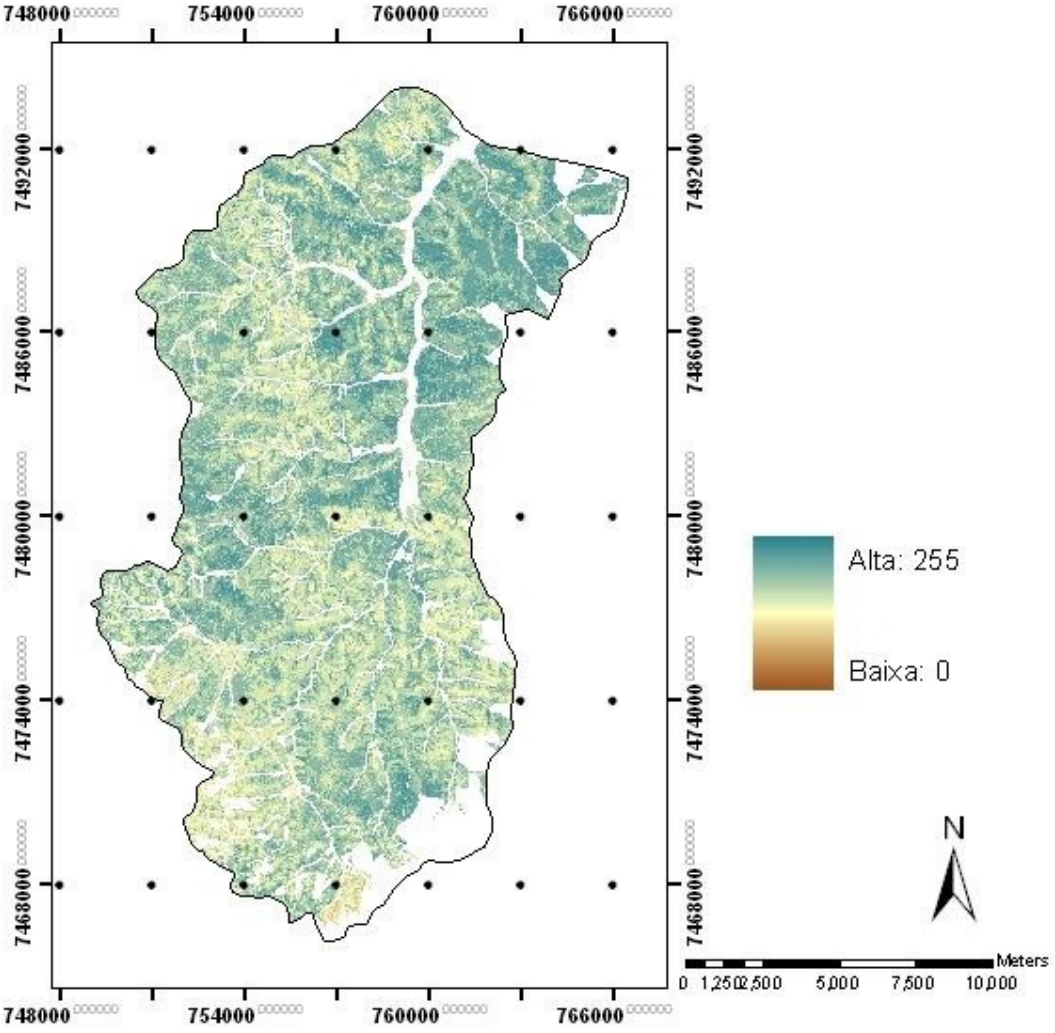


Figura 19. Normatização em escala de 0 a 255 do mapa de prioridades, para a sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

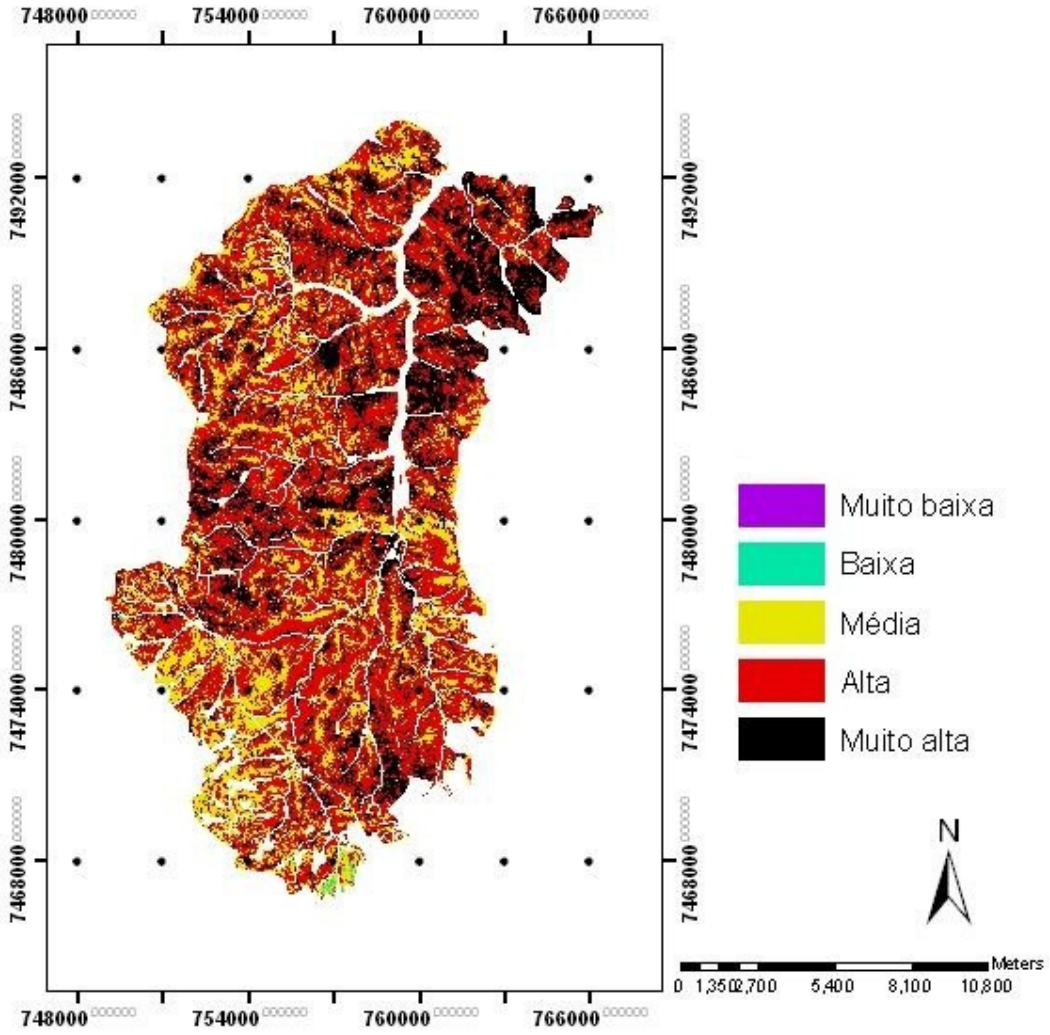


Figura 20. Áreas prioritárias classificadas em cinco níveis de prioridades, de acordo com os objetivos propostos pela pesquisa na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá.

A definição de áreas de maior importância hidrológica por meio de uma análise multicriterial refletiu, como em outras pesquisas em multicritérios, zonas dentro da área de estudo onde há um cruzamento no espaço, de diversos critérios, cada qual com seu respectivo peso ou nível de importância.

Assim, como já observado por Vettorazzi (2006) e Sartori (2010), em uma escalada de cinco níveis de prioridade, da classe de mais baixo nível para a classe de alto nível de prioridade, houve uma variação crescente para o tamanho das áreas em relação à sub-bacia e com a classe de mais alto nível de prioridade, houve um decréscimo em relação à classe de nível alto.

No resultado do mapa final (Figura 20) é possível observar a forte influencia do fator AVA na espacialização das áreas de prioridade muito alta. Este fato explica-se em virtude deste fator ter recebido o maior peso de compensação na matriz pareada para a análise (Tabela 2).

O planejamento de uso da terra para adequação da cobertura do solo em uma bacia hidrográfica representa um conjunto de atividades que requerem e dependem não apenas de estudos técnicos, vontades políticas ou interesses comerciais. Esta atividade precisa ser eficiente e, espacialmente, os objetivos devem estar muito bem definidos.

É notória a importância de todas as áreas em uma unidade de gerenciamento terrestre, uma bacia ou sub-bacia hidrográfica por exemplo. No entanto, um plano para melhor gerenciar e aproveitar o recurso natural disponível nesta unidade deve alcançar um nível de detalhe, precisão, que permita ao planejador apontar áreas que são mais ou menos importantes segundo seus interesses.

Para isso, o estudo por meio de um conjunto de fatores pôde, de forma eficiente, apontar respostas adequadas. O objetivo neste caso, não é impedir ou condenar uma determinada área a ser usada ou explorada, mas sim, avaliar qual é a importância daquela área para o conjunto a que pertence na unidade de gerenciamento de recursos hídricos e, então, determinar métodos para um bom uso dela. Este bom uso é um procedimento de manejo de acordo com as características naturais da área, sem que esta atividade torne-se vetor de degradação da qualidade ambiental.

Desta forma, determinar áreas em níveis de prioridade torna um plano de adequação para o uso da terra, uma ação concreta e viável, técnica e financeiramente. Se para a pesquisa, cada fator escolhido fosse apresentado

isoladamente como área prioritária, então a sub-bacia do Rio Araquá teria 30% de áreas especiais para o uso e manejo por se tratarem de AVA, ou teria 38% por se tratar de áreas de potencial alto para infiltração ou ainda, 42% de sua área correspondente a suscetibilidade a erosão. Quanto maior uma área de prioridade e alvo de uma ação de planejamento, adequação, conservação ou recuperação, maiores são as chances de inviabilização de um projeto, nos aspectos técnicos e financeiros.

A classe de alta prioridade, determinada pelo conjunto dos fatores na CLP, agregou espacialmente a melhor combinação destes, o que permitiu a determinação de uma área de 23,8% na sub-bacia que devem ser alvo de cuidados especiais em relação aos tipos de uso, escolha de métodos de manejo da terra e das culturas agrícolas ou, mesmo, a destinação destas áreas ou partes delas para conservação, especialmente na categoria de Reservas Legais que, por uma imposição legal, devem existir em 20% de cada propriedade rural.

4.3.2 Caracterização ambiental das classes Alta e Muito Alta

Após a determinação no espaço geográfico, das classes de alto e muito alto níveis de prioridade, de acordo com os objetivos da pesquisa, estas áreas foram analisadas em três aspectos: solos, declividade do terreno e cobertura do solo. Esta análise foi realizada para possibilitar a caracterização das áreas de modo a permitir um entendimento maior sobre os aspectos que as compõem.

A partir de então, pode-se inferir sobre as condições ambientais e produtivas a que estão submetidas, pois, a partir dos resultados do mapa (Figura 20) juntamente à informação sobre a ocupação do solo, tornou-se possível saber sobre os tipos de uso destas unidades da paisagem.

Na Tabela 12 seguem as informações referentes às proporções (%) de cada uma das características detalhadas nas duas classes de maior nível de prioridade na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, para uma caracterização ambiental.

Tabela 12. Caracterização ambiental das áreas com graus de prioridade alto e muito alto, obtidos pelo método da Combinação Linear Ponderada

Grau de prioridade	Uso e cobertura do solo*	Classes de Solo*	Declividade do terreno (%)*
Alto	Vegetação nativa (18,22%) Pastagem (20,7%) Pousio (4,9%) Cana-de-açúcar (42,2%) Habitação rural (2,26%) Laranja (3,4%) Eucalipto (5,14%) Várzea (0,1%) Café (2,18%) Cultura anual (0,5%)	LVef (1,8%) LVdf (0,8%) LVe (13,7%) LVd (20,2%) LVAe (1,4%) LAd (0,7%) CXe (2,1%) RQoe (19%) RQod (21,18%) RLie (17,4%) RYbe (0,7%) GMd (0,3%) GXd (0,2%)	0-3 (4,8%) 3-8 (31,5%) 8-20 (43,7%) 20-40 (14,3%) 40-75 (5%) >75 (0,4%)
Muito alto	Vegetação nativa (11%) Pastagem (12,5%) Pousio (5,1%) Cana-de-açúcar (49,3%) Habitação rural (2,55%) Laranja (5,4%) Eucalipto (10,6%) Várzea (0,07%) Café (2%) Cultura anual (1%)	Lvef (0,3%) LVe (11,8%) LVd (16%) LVAe (2%) Lad (0,1%) CXe (0,2%) RQoe (29,5%) RQod (33,6%) RLie (3,8%)	0-3 (6,5%) 3-8 (51%) 8-20 (36,9%) 20-40 (5%) 40-75 (0,02%)

* % de área representativa em cada classe de prioridade a partir da área total da mesma classe.

A partir do detalhamento dos diferentes atributos expostos na Tabela 12, nota-se a influência predominante dos Latossolos Vermelho Eutróficos e Distróficos e dos Neossolos Quartzarênicos Eutróficos e Distróficos nos resultados obtidos pela CLP. No aspecto da declividade do terreno, percebe-se a que a influência maior está entre as classes de 3 a 8% e de 8 a 20%.

Este resultado, que expressa a combinação de diversos planos de informação, pode ser encarado como uma forma simplificada de compreender os resultados da pesquisa. No entanto, o fator AVA, que se somou espacialmente a estes atributos, trouxe o diferencial à proposta metodológica. Entre os fatores de infiltração e suscetibilidade à erosão, não houve sobreposição de suas classes mais altas em diversos pontos da sub-bacia. Isso se explica pelo fato de que, para cada um destes fatores, a declividade recebeu pesos diferentes, pois quando para a infiltração, quanto mais plano o terreno mais favorável, para a suscetibilidade a erosão, o contrário.

Em relação aos tipos de solos, houve uma razoável combinação de importâncias entre ambos os fatores suscetibilidade e infiltração. Enquanto os Neossolos Quartzarênicos têm altos valores de erodibilidade, também tem alto valor de condutividade hidráulica, ainda assim, não foi suficiente para criar sobreposição na sub-bacia, entre estes, nos seus níveis de maior importância. Deste modo, ter atribuído à AVA o fator de maior importância na análise multicriterial, possibilitou ser o elemento da paisagem capaz de agregar ao máximo, atributos espacialmente distribuídos, em um nível alto de importância, capaz de expressar áreas hidrologicamente sensíveis.

Seguindo a mesma tendência de toda a sub-bacia hidrográfica, a cana-de-açúcar é a cobertura do solo que mais está presente nas classes de prioridade alta e muito alta, seguida por pastagem e, posteriormente, a vegetação nativa.

As áreas de maior importância hidrológica, assim definidas pela pesquisa e determinadas através da CLP, sobretudo, são áreas onde o uso do solo deve ser realizado com a adoção de práticas de manejo sustentáveis. Práticas que valorizam a conservação do solo sejam pela escolha de culturas perenes, culturas que exijam pouca mecanização, adoção de técnicas pós-colheita como o plantio direto ou pela implantação de sistemas agroflorestais.

Há também a preocupação quanto aos riscos de contaminação do solo, da água subterrânea e das águas superficiais pelos defensivos agrícolas e fertilizantes. Neste caso, o uso de produtos considerados agrotóxicos, quando

autorizados para o uso por órgãos competentes, devem ser utilizados apenas sobre manejo responsável. Este manejo deve incluir a restrição quanto ao uso destes produtos, nos períodos de chuvas intensas, que podem carreá-los para os cursos d'água, principalmente, se estes estiveram sobre zonas onde há formação de área variável de afluência associada a solos bastante suscetíveis a processos erosivos.

No caso de uma zona bastante favorável ao processo de infiltração, a restrição destes produtos nos períodos chuvosos, pois podem percolar no solo comprometendo a qualidade da água subterrânea.

Ainda, de acordo com os usos encontrados nestas regiões da sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, ficam evidentes sua potencialidade ao uso agrícola. Neste caso, onde há o uso e manejo intenso da terra, como na cana-de-açúcar, para cada uma das porções compreendidas na classe de alta prioridade, deve-se haver um tratamento diferenciado, por meio de terraceamentos, escolha de agrotóxicos de baixa persistência (duração da atividade nociva), ou, de acordo com as características da área, sua utilização para apenas culturas perenes ou de ciclos que se estendem por vários anos (4 a 7) até a colheita, como o eucalipto, por exemplo.

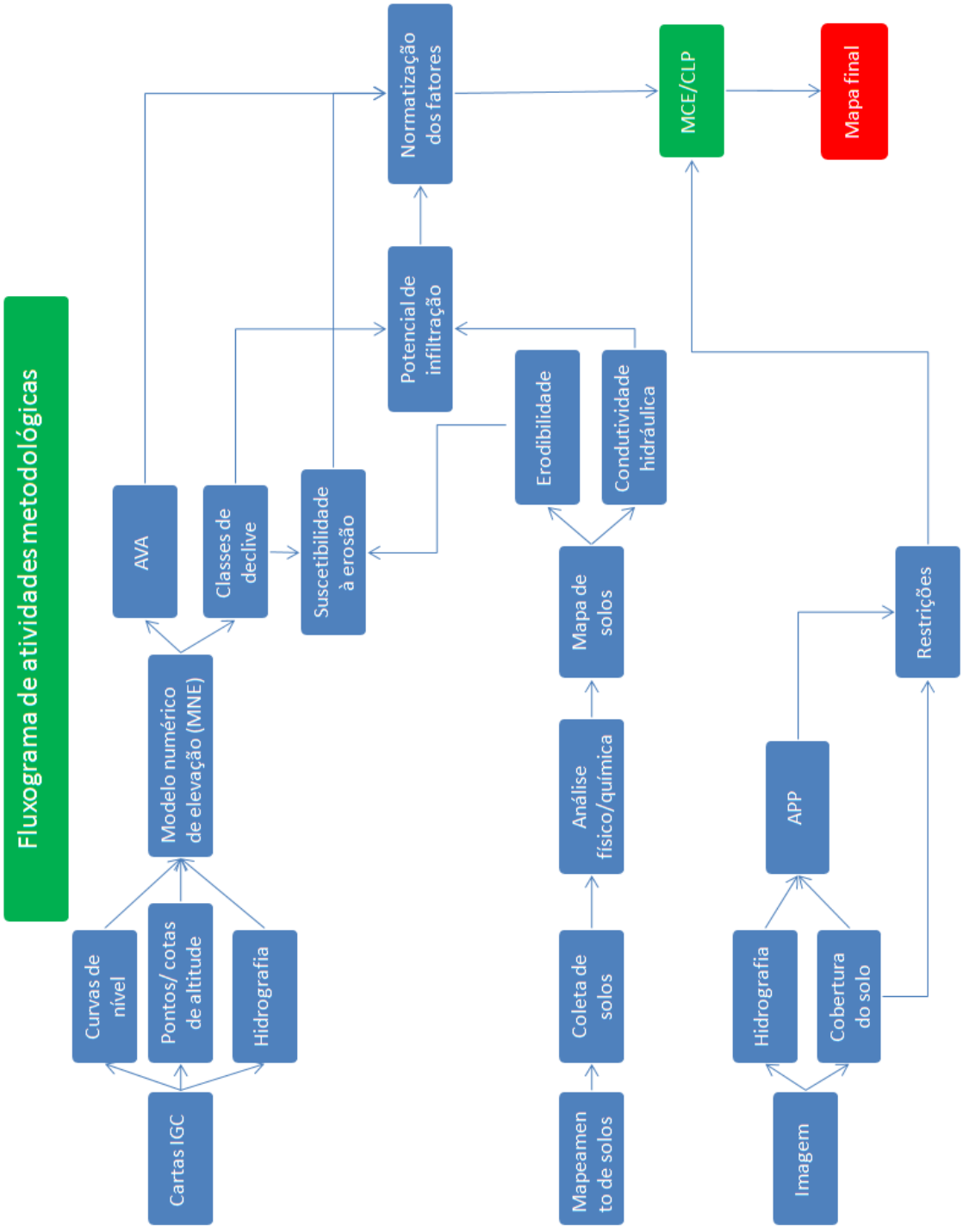
Desta forma, a exposição do solo é menos intensa no decorrer das décadas, proporcionando menor quantidade de sedimentos carreados e depositados nos cursos d'água. Na cultura do eucalipto, a escolha da época de exploração pode também ficar definida para os períodos mais secos, onde as chuvas não representam um estímulo severo aos processos erosivos.

Pela importância das áreas hidrologicamente sensíveis para a produção e conservação do recurso hídrico na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, que fica evidente a necessidade de gerenciamento destas por meio de planos de manejo e acompanhamento técnico. Mesmo que estas tenham potencial ao uso agropecuário e não estejam sujeitas a restrições de uso pela Legislação Ambiental Brasileira, devem ser manejadas de forma diferenciada.

As Reservas Legais, uma obrigatoriedade imposta pelo Código Florestal Brasileiro, determina que uma porção da área total da propriedade rural deva ser destinada para este fim, com objetivo de garantir a conservação da flora local bem como da fauna e das propriedades hidrológicas do solo. Nas Reservas Legais é permitida a utilização e exploração econômica, desde que haja permissão de órgão ambiental competente.

Então, para cada propriedade individualmente na sub-bacia hidrográfica do Rio Araquá, poderá propor-se a averbação da Reserva Legal nestas zonas de alta e muito alta prioridade, definidas na CLP. Esta estratégia de gerenciamento das propriedades na sub-bacia poderá trazer benefícios para a conservação de toda a região e, ainda, garantir a exploração comercial destas zonas de maneira sustentada e responsável.

4.4 Fluxograma do Projeto



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos propostos e a partir dos resultados e das condições sob as quais foi conduzida a pesquisa, pôde-se concluir que:

1) o desenvolvimento de um mapa semidetalhado de solos foi fundamental para a obtenção de informações sobre os comportamentos das diferentes unidades pedológicas da sub-bacia frente às respostas na sua interação com a água. Isso permitiu o desenvolvimento de planos de informação fundamentais para a realização do estudo;

2) a utilização de imagens orbitais de alta resolução espacial foi importante para a determinação de todos os tipos de cobertura do solo e rede hidrográfica, que permitiu definir as restrições para a CLP;

3) desenvolver os planos de informação potencial de infiltração, suscetibilidade à erosão e AVA trouxe informações fundamentais sobre a sub-bacia que não poderiam ser analisadas a partir de apenas informações isoladas de declividade ou atributos dos solos;

4) o desenvolvimento de fatores para a análise multicriterial a partir do cruzamento dos atributos declividade, rede hidrográfica, condutividade hidráulica e erodibilidade contribuíram para compreender o comportamento hidrológico da sub-bacia;

5) as áreas de alta prioridade concentraram-se, principalmente, sobre áreas produtivas, o que evidenciou que estas, pelo seu potencial para o uso agrícola, não podem ser restringidas à conservação, exclusivamente, mas sim, serem exploradas apenas sobre manejos que visem, prioritariamente, a conservação do solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al-ADAMAT, R. GIS as a decision support system for siting water harvesting ponds in Jordan. **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, New Jersey, v. 10, n. 2, p. 189-206, 2008.

Al-ADAMAT, R.; DIABAT, A.; SHATNAWI, G. Combining GIS with multicriteria decision making for siting water harvesting ponds in Northern Jordan. **Jornal of Arid Environments**, Chubut, v. 74, p. 1471-1477, 2010.

ASSAD, E. D., et al. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**, 2ª ed., Brasília, DF: Embrapa, 1998. Cap. 7. p. 119-136.

ATTANASIO, C. M., et al. Método para identificação da zona ripária: microbacia hidrográfica do Ribeirão São João (Mineiros do Tietê, SP). **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 71, p. 131-140, 2006.

ATTANASIO, C. M.; RODRIGUES, R. R; GANDOLFI, S. As Matas Ciliares de uma Microbacia. In: SILVA, R. F. B.; CHINELATO, F. C. S.; ORSI, A. C. **Lavapés, água e vida:** nos caminhos da Educação Ambiental. Botucatu: SABEP, 2008. cap. 4, p. 79-95.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O Papel das Florestas no Ciclo Hidrológico em Bacias Hidrográficas. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v.4 n. 1, p. 131-149. jan./abr. 2008.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazonica,** Manaus, v. 35, n. 2, p. 239-247, 2005.

BATISTELLA, M.; VALLADARES, G. S. Farming Expansion and land degradation in Western Bahia, Brazil. **BioNeotropica**, São Paulo, v. 9, n. 3, p. 60-76, 2009.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Piracicaba: Livroceres, 1985. 392p.

BERTOLANI, F. C. **Variabilidade de atributos do solo em unidades de mapeamento de um levantamento pedológico semidetalhado.** 2003. 144f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola/Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of catchment hydrology. **Hydrology Sciences-Bulletin,** Wallingford, v. 24, n. 1 p. 43-69, 1979.

BORGES, M. J.; PISSARRA, T. C. T.; VALERI, S. T.; OKUMURA, E. M. Reflorestamento Compensatório com Vistas à Retenção de Água no Solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n.69, p. 93-103. 2005.

BRITO, M. G.; COSTA, C. N.; ALMEIDA, J. A.; VENDAS, D.; VERDIAL, P. H. Characterization of maximum infiltration areas using GIS tools. **Engineering Geology,** Milano, n. 85, p. 14-18, 2006.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**, 2ª ed., Brasília, DF: Embrapa, 1998. cap. 1, p. 3-12.

CAMPOS, M. A. A. **Padrão e dinâmica de floresta tropical, através de classificação orientada a objeto e da análise da paisagem com imagens Landsat.** 2005. 105f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CASTRO, L. I. S. **Diagnóstico ambiental na sub-bacia do Ribeirão Pouso Alegre com a utilização de um sistema de informação geográfica.** 133f. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

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

COSTA, F. P. M.; NISHIYAMA, L. Utilização do Permeâmetro Guelph e Penetrômetro de Impacto em Estudo de Uso e Ocupação dos Solos em Bacias Hidrográficas. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.8, n. 24, p. 131-143, dez. 2007.

DRAPER, R.; TOENSING, A. O clima do deixou na mão. **National Geographic Brasil,** São Paulo, p. 60-81, abr. 2009.

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

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

EASTMAN, J. R. Decision suport: decision strategy analysis. In: EASTMAN, J. R. **Idrisi 32 release 2:** Guide to GIS and image processing. Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v.2, 22 p.

EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasilia: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento de Risco de Incêndios Florestais por meio de um Sistema de Informações Geográficas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.53, n.1, p.39-48, 1998.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Identificação de Áreas prioritárias para Recomposição Florestal com Base em Princípios de Ecologia de Paisagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 575-583. jul./ago. 2003.

FORJAZ, C. H. **Água:** substância da vida: o mundo da água. São Paulo: Ed. do Autor, 2007. 182 p.

FORMAN, R. T. T. **Landscape mosaics:** the ecology of landscapes and regions. New York: Cambridge University Press, 1995. 632p.

GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G.; CADAMURO, A. L. M. Condições de infiltração em solos na região de recarga do sistema aqüífero Urucuia no oeste da Bahia sob diferentes condições de usos. **Revista Brasileira de Geociências**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 542-550, 2007.

GIESLER, R.; HOGBERG, M.; HOGBERG, P. Soil chemistry and plants in fennoscandian boreal forest as exemplified by a local gradient. **Ecology**, Davis, v. 79, n. 1, p. 119-137, 1998.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A. Classificação das Áreas de Recarga do Sistema Aqüífero Guarani no Brasil Em Domínios Pedomorfoagroclimáticos – Subsídio Aos estudos De Avaliação De Risco De Contaminação Das Águas Subterrâneas. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 2, p. 67-74, 2002.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres.São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598p.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.ed. Campinas: SBCS, CNPS, 1996. 83p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908p.

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

MEALS, D. W., et al. Dynamic spatially explicit mass-balance modeling for targeted watershed phosphorus management. **Agriculture, Ecosystems and Environment,** Zurich, v. 127, p. 189-200, 2008.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos:** princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**, 3ª ed. Viçosa: UFV, 2007. 320 p.

NAGY, S. C. S. Recuperação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lavapés. In: SILVA, R. F. B.; CHINELATO, F. C. S.; ORSI, A. C. **Lavapés, Água e Vida:** nos caminhos da Educação Ambiental. Botucatu: SABEP, 2008. cap.6, p. 119-135.

OLIVEIRA, A. M. M. **Aplicação de geotecnologias e do modelo eups como subsídio ao planejamento do uso da terra:** estudo de caso no alto curso da microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, Iracemápolis, S/P**.** 2004. Tese (Doutorado em Geografia/Análise da Informação Espacial) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação Efetiva em Fragmento Secundário da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n. 1, p. 9-15. jan./fev. 2005.

OLIVEIRA, P. C. R. **Comunidade de macroinvertebrados bentônicos e qualidade da água e do sedimento das bacias hidrográficas dos Rios Lavapés, Capivara, Araquá e Pardo, município de Botucatu (SP) e região.** 202f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas/Zoologia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

OLIVEIRA, F. G. **Diagnóstico da expansão da cultura canavieira e dos conflitos ambientais de uso do solo no município de Barra Bonita/SP.** 2009. 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

ONU. Declaração universal dos direitos da água. 1992. Disponível em: <http://www.direitoshumanos.usp.br/index.php/Meio-Ambiente/declaracao-universal-dos-direitos-da-agua.html>. Acesso em: 12 de jul de 2009.

OUVERNEY, M. L. M., et al. Avaliação da ortorretificação de imagens do sensor Quickbird II usando modelo de orientação via RPCS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 611-619. 1 CD-ROM.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino-Agudo, RS.** 2005. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental**: proposta metodológica. UNICAMP 2002. 135p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade de Campinas, Campinas, 2002.

PEREIRA, V. R. **Identificação de áreas com potencial para a produção de sedimentos a montante dos reservatórios do Sistema de Abastecimento Cantareira:** os reservatórios de Cachoeira e Atibainha**.** 2007. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PERDIGÃO, A. SIG na gestão da água para a agricultura. **Finisterra**, Lisboa, v. 38, n. 73, p. 121-131, 2003.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra no município de Botucatu – SP**. 2002. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

QUINN, P. F., et al. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models, **Hydrological Processes***,* Chichester, v. 5, p. 59–79, 1991.

RAMOS, V. M., et al. Avaliação de metodologias de determinação do cálculo de áreas de contribuição. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Porto Alegre, n. 2, p. 41-49, 2003.

REYNOLDS, W. D.; VIEIRA, S. R.; TOPP, G. C. An Assessment of the Single-head Analysis for the Constant Head Well Permeameter. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, n.72, p. 489-501, 1992.

REZENDE, J. H.; PIRES, J. S. R.; VENIZIANI JÚNIOR, J. C. T. Áreas Prioritárias para Reserva Legal na Bacia Hidrográfica do Rio Jaú. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS COM ÊNFASE EM MATAS CILIARES, 2009, Jaú. **Anais...** Jaú: FATEC JAHU, 2009. p. 13- 23.

RIDENTE JÚNIOR, J. L. Mapa de risco potencial à erosão em uma área piloto no município de São José do Rio Preto-SP, utilizando sistema de informação geográfica, In: SIMPÓSIO DE USUÁRIOS IDRISI, 1997, Campinas. **Anais...** Campinas, 1997. p. 36-37.

RISSER, P. G.; KARR, J. R.; FORMAN, R. T. T. Landscape Ecology: Directions and Approaches. **Special publication 2, Illinois Natural History Survey,** p. 1-14. 1984.

RODRIGUES, M. Introdução ao Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1990. p. 1-26.

RUDEL, T. K.; BATES, D.; MACHINGUIASHI, R. A tropical forest transition? agricultural change, out-migration, and secundary forests in the acuadorian amazon. **Annals of the Association of American Geographers.** California, v. 92, n. 1, p. 87-102, 2002.

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

CONINE, A., et al. Planning for multipurpose greenways in Concord, North Carolina. **Landscape and Urban Planning.** Evanston, n. 68, p. 271–287, 2004.

SARTORI, A. A. C. **Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais.** 2010. 112f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

SILVA, A. N. R., et al.. **SIG uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes.** São Carlos: Ed. dos Autores, 2004. 227p.

SILVA, M. A. S. da; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SILVA, R. F. B.; ZIMBACK, C. R. L. Sensoriamento remoto e planejamento ambiental: estudo integrado da paisagem e propostas estratégicas para a gestão de bacias hidrográficas, In: XVIII JORNADAS DE JÓVENES INVESTIGADORES AUGM, 2010, Santa Fé. **Anais...**Santa Fe, 2010.

SIMÕES, L. B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias**. 2001. 171f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

SOARES, P. V., et al.. Mapa de Infiltração do Alto e Médio Vale do Paraíba do Sul com base em elementos da paisagem, In: I SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: o eucalipto e o ciclo hidrológico, 2007, Taubaté. **Anais...**Taubaté: 2007. p. 83-90.

SORENSEN, R.; ZINKO, U.; SEIBERT, J. On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations**. Hydrology and Earth System Sciences Discussions,** Delft, v. 2, p. 1807-1834, 2005.

São Paulo (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Atendimento Integrado aos Municípios.** São Paulo, 2008. 39 p.

TARBOTON, D. G.: A new method for the determination of flow directions and upslope areas in 10 grid digital elevation models, **Water Resource**, v. 33, p. 309–319, 1997.

TRAFICANTE, C., **Ecologia da Paisagem para a Avaliação da Idoneidade de Redes Ecológicas, como Subsídio para o Planejamento Territorial.** 2007. 136f. Tese

(Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

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

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Comparação entre métodos de Avaliação Multicriterial, em ambiente SIG, para a conservação e a preservação florestal. **Scientia Florestalis,** Piracicaba, n.69, p. 51-61, 2005.

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

XAVIER, M. C. R. **Estudo da distribuição espacial de vazões na gestão dos recursos hídricos.** 2007. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ZIMBACK, C. R. L. A geologia do município de Botucatu. In: SILVA, R. F. B.; CHINELATO, F. C. S.; ORSI, A. C. **Lavapés, Água e Vida: nos caminhos da Educação Ambiental**. Botucatu: SABEP, 2008, Cap. 4, p. 63-78.

ZINKO, U., et al. Plant species numbers predicted by a topography based groundwater-flow index, **Ecosystems**, Verona, v.8, p. 430-441, 2005.