

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

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NO DIAGNÓSTICO FÍSICO-
AMBIENTAL DO RIBEIRÃO DESCALVADO, BOTUCATU-SP**

ANDRÉ STEFANINI JIM

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Agosto – 2006

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

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NO DIAGNÓSTICO FÍSICO-
AMBIENTAL DO RIBEIRÃO DESCALVADO, BOTUCATU-SP**

ANDRÉ STEFANINI JIM

Engenheiro Agrônomo

PROF^a. DR^a. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

Orientadora

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU - SP
Agosto – 2006

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

J61g Jim, André Stefanini, 1978-
 Geoprocessamento aplicado no diagnóstico físico-ambiental do Ribeirão Descalvado, Botucatu-SP / André Stefanini Jim. - Botucatu, [s.n.], 2006.
 xi, 95 f. : il. color., tabs.

 Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2006
 Orientador: Célia Regina Lopes Zimback
 Inclui bibliografia

1. Solo - Uso. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Geomorfologia. 4. CBERS-2. 5.Sistema de processamento de informações georeferenciadas. I. Zimback, Célia Regina Lopes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

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

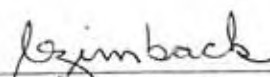
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: "GEOPROCESSAMENTO APLICADO NO DIAGNÓSTICO FÍSICO-AMBIENTAL
DO RIBEIRÃO DESCALVADO, BOTUCATU-SP"**

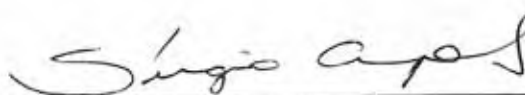
ALUNO: ANDRÉ STEFANINI JIM

ORIENTADORA: PROFª DRª CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

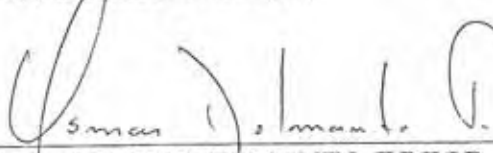
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROFª DRª CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK



PROF. DR. SERGIO CAMPOS



PROF. DR. OSMAR DELMANTO JUNIOR

Data da Realização: 29 de agosto de 2006.

“Se você quer transformar o mundo, experimente primeiro promover o seu aperfeiçoamento pessoal e realizar inovações no seu próprio interior. Essas atitudes se refletirão em mudanças positivas no seu ambiente familiar. Deste ponto em diante, as mudanças se expandirão em proporções cada vez maiores. Tudo o que fazemos produz efeito, causa algum impacto.”

Sua Santidade o DALAI LAMA

AGRADEÇO

Ao Guilherme Fernando Gomes Destro, pela amizade, constante apoio e ajuda, incentivo e dedicação em todos os momentos decisivos que enfrentei durante a realização de meu trabalho.

Ao Danilo Scorzoni Ré, pela amizade, companheirismo e determinação em todas as atividades realizadas, sobretudo nos levantamentos de campo.

Ao Luis Gustavo Frediani Lessa, por sua amizade e espontânea dedicação, me incentivando e auxiliando na solução de muitas questões.

Ao Ricardo Miguel de Paula Peres, pela amizade e pelo conhecimento transmitido, fundamentais para a conclusão de meu trabalho.

E, a todas as verdadeiras amizades e a benevolência sincera de muitas pessoas que me estimularam e acreditaram no meu potencial, até mais do que eu mesmo.

MENÇÃO ESPECIAL

À minha orientadora, professora Célia Regina Lopes Zimback,
pela sua postura compreensiva e serena, pelo seu constante
otimismo, profundo conhecimento, e, sobretudo, por sua
sabedoria e amizade, fatores essenciais para que eu atingisse
meus objetivos.

MENÇÃO HONROSA

A meus pais, Jorge Jim e Regina de Lima Stefanini Jim,
pela formação e educação recebida, pelo conhecimento e
sabedoria de vida transmitidos, pelas oportunidades oferecidas,
pelo incentivo e apoio independente de qualquer circunstância,
e, sobretudo pelo amor e devoção, essenciais para que eu me
fizesse um Ser Humano, antes de tudo.

“As criaturas que habitam esta terra em que vivemos, sejam elas seres humanos ou animais, estão aqui para contribuir, cada uma com sua maneira peculiar, para a beleza e prosperidade do mundo.”

Sua Santidade o DALAI LAMA

À Felicidade de todos os seres vivos,
e ao equilíbrio entre a Humanidade e a Natureza,

Dedico.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	VII
LISTA DE QUADROS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMO	1
SUMMARY	2
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1 Recursos hídricos e ambientais	6
2.2 Ocupação do solo	11
2.3 Geoprocessamento	14
2.3.1 Sistema de informações geográficas (SIG).....	16
2.3.2 Sensoriamento remoto	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 Caracterização da área de estudo	32
3.1.1 Localização Geográfica	32
3.1.2 Clima.....	34
3.1.3 Relevo	34
3.1.4 Vegetação.....	34
3.1.5 APA Corumbataí Botucatu Tejuapá – perímetro Botucatu	35
3.1.6 Geologia.....	35
3.1.7 Solos.....	35
3.2 Materiais.....	37
3.2.1 Material Cartográfico.....	37
3.2.2 Imagens de Satélite	37
3.2.3 Equipamentos.....	38
3.3 Métodos.....	38
3.3.1 Banco de Dados	38
3.3.1.1. Cartas do IGC	39
3.3.1.2. Mapa de Solos	39

3.3.1.3. Imagens de Satélite.....	40
3.3.2 Entrada de dados no SIG.....	40
3.3.2.1. Aquisição dos pontos de controle.....	41
3.3.2.3. Registro das imagens de satélite.....	43
3.3.2.4. Importação e registro vetorial dos arquivos DXF	46
3.3.3 Declividade em porcentagem.....	47
3.3.4 Ocupação dos solos.....	48
3.3.5 Capacidade de uso.....	50
3.3.6 Mapa de distâncias.....	52
3.3.7 Conflitos de uso dos solos	52
3.3.8 Operações métricas	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 Levantamento das classes de declive e relevo	58
4.2 Levantamento das classes de capacidade de uso do solo	60
4.3 Levantamento das áreas de preservação permanente (APP).....	67
4.4 Levantamento da ocupação do solo	68
4.5 Conflitos detectados	70
5 CONCLUSÕES	80
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	87
- ANEXO 1 - LEGAL: Classes de capacidade de uso do solo -	88
- ANEXO 2 - LEGAL: Subclasse das Classes de capacidade de uso do solo III -	90
- ANEXO 3 - LEGAL: Subclasse das Classes de capacidade de uso do solo IV -	91
- ANEXO 4 - LEGAL: Conflitos de Uso do Solo -	92
- ANEXO 5 - LEGAL: Conflitos de Uso do Solo e APP's -	93
- ANEXO 6 - LEGAL: Conflitos nas APP's -	94
- ANEXO 7 - LEGAL: Desempenho da classificação do uso do solo -	95

LISTA DE QUADROS

1 – Principais regiões ou intervalos espectrais usados em sensoriamento remoto.....	24
2 – Características dos sensores CBERS-2.	29
3 – Informações da imagem CBERS utilizada no presente trabalho.....	38
4 – Pontos de Controle obtidos por receptor GPS	41
5 - Tabela de julgamentos para classes e subclasses de capacidade de uso.	51
6 - Restrições de uso para cada classe de capacidade.....	53
7 – Diferença entre as medidas de área total da bacia hidrográfica de acordo com o mapa temático efetuados pelo Spring 4.2.....	56
8 – Áreas determinadas pelo Spring 4.2 para as feições geomorfológicas.....	58
9 – Distribuição percentual das classes de declive e relevo na sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.	58
10 – Áreas e percentual de ocorrência das classes de capacidade de uso do solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.	67
11 – Áreas e percentual das APP's da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu-SP, em relação à área total da bacia hidrográfica.....	67
12 – Áreas e percentual das APP's da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP, discriminando os rios e as nascentes.....	67
13 – Percentual da ocupação do solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP. ..	69
14 – Percentual dos conflitos de solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP...	70
15 – Conflitos das áreas de preservação permanente (APP).	71
16 – Conflitos das áreas de preservação permanente (APP) e dos solos.....	72
17 – Percentual dos conflitos do uso do solo de acordo com a feição geomorfológica.	74
18 – Percentual dos conflitos do uso do solo de acordo com a feição geomorfológica considerando a área total da bacia hidrográfica.	74
19 - Percentual dos conflitos do uso do solo incluindo as APP's de acordo com a feição geomorfológica.	75
20 – Percentual dos conflitos do uso do solo incluindo as APP's de acordo com a feição geomorfológica considerando a área total da bacia hidrográfica.....	75

LISTA DE FIGURAS

1 – Comparação de espectros de reflectância convertidos dos valores dos pixels de um sensor imaginário multiespectral e hiperespectral 1, 2, 3 ... 50 indicam o número de bandas.	25
2 – Localização do Município de Botucatu-SP dentro do Estado de São Paulo.	33
3 – Localização da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado em relação à Bacia do Rio Capivara e ao Município de Botucatu-SP.	33
4 – Mapa de solos da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu-SP.	36
5 – Tela do Spring com o PI importado a partir dos dados do receptor GPS.	44
6 – Tela 5 exibindo os pontos de controle para georreferenciamento de uma imagem de satélite em composição RGB falsa cor.	45
7 – Tela do Spring exibindo os pontos de controle após georreferenciamento de uma imagem de satélite em composição RGB falsa cor.	46
8 – À esquerda - uma grade TIN com linha de quebra a partir da rede de drenagem (azul) e as curvas de nível em preto com as cotas na forma de texto; - À direita - uma grade retangular criada a partir de uma grade TIN e sua malha de pontos contendo informação altimétrica contínua.	48
9 – Tela do Spring exibindo os polígonos para classificação MAXVER a partir de uma imagem de satélite em composição RGB falsa cor.	49
10 – Demonstração da adição de máscara urbana sobre uma imagem classificada pelo MAXVER.	50
11 – Mapa da rede de drenagem (linhas) e das nascentes (pontos) da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.	56
12 – Mapa de Feições Geomorfológicas da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP, contendo a rede de drenagem.	57
13 – Visualização 3D em tons de cinza e sombra gerada pelo Spring 4.2. As nascentes localizam-se na porção alta da figura.	59
14 – Mapa de classes de declive da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.	60
15 – Mapa de classes de capacidade de uso do solo, exceto a mancha urbana, da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.	61

16 – Mapa das subclasses da classe de capacidade III do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.	62
17 – Mapa das subclasses da classe de capacidade IV da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.....	63
18 – Mapa das subclasses da classe de capacidade V do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.	64
19 – Mapa das subclasses da classe de capacidade VI do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.	65
20 – Mapa das subclasses da classe de capacidade VII do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.	66
21 – Mapa das áreas de preservação permanente (APP) da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.....	68
22 – Mapa de ocupação do solo obtido pela classificação MAXVER do Spring 4.2.	69
23 – Mapa dos conflitos de solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.....	70
24 – Mapa das áreas de preservação permanente (APP) e seu estado de conservação.	71
25 – Mapa dos conflitos das áreas de preservação permanente (APP) e dos conflitos do uso dos solos.....	72
26 – Mapa dos conflitos do uso do solo e sua distribuição de acordo com as feições geomorfológicas.....	73
27 - Mapa dos conflitos do uso do solo incluindo as APP's e sua distribuição de acordo com as feições geomorfológicas.	75
28 – Vista do Rio Bocaina (Topo da Cuesta).	76
29 – Nascente do Rio Bocaina (Topo da Cuesta).....	77
30 – Rio Bocaina (ao fundo, o Morro do Perú).....	77
31 – Uma outra nascente do Rio Bocaina, com a vista da cidade de Botucatu-SP ao fundo e as interferências humanas (desmatamento e lixo).....	78
32 – Rio Bocaina (por onde passa o fio de alta tensão).....	78
33 – Ribeirão Descalvado (passagem da ponte).....	79

RESUMO

A destruição de áreas de mata ciliares para a utilização agrícola, associada ao uso intensivo de defensivos agrícolas, tem contribuído para o aumento no transporte de resíduos químicos e sedimentos minerais para os cursos d'água. Sua remoção provoca de imediato, efeitos nocivos ao ambiente, afetando a quantidade e a qualidade da água, constatando-se que, de fato, a degradação ambiental é uma realidade de grandes escalas.

Este trabalho visou a criação de um banco de dados digitais da topografia, da rede de drenagem, dos solos e de suas ocupações e, a elaboração de mapas com conflitos de uso do solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, afluyente do Rio Capivara, localizado em Botucatu-SP, analisando de acordo com as feições geomorfológicas. Através do uso do SIG-SPRING e das imagens de satélite CBERS-2, foi possível a criação do banco de dados digitais e a detecção dos conflitos no uso do solo, concluindo-se que há degradação ambiental na bacia hidrográfica, principalmente quanto às matas ciliares ao longo dos rios e com relação ao uso do solo nas áreas de maior declividade, localizadas no Front da Cuesta.

Palavras-chave: uso do solo, capacidade de uso do solo, feições geomorfológicas, SPRING, CBERS-2.

RECOMPOSITION DELIMITATION OF THE DESCALVADO RIVER FOREST, A TRIBUTARY OF THE CAPIVARA RIVER WATERSHED, BOTUCATU- SÃO PAULO- BRAZIL, BY MEANS OF A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM. Botucatu, 2006. 94p.

Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANDRÉ STEFANINI JIM

Adviser: CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK

SUMMARY

Destruction of buffer areas for agricultural use, associated with intensive employment of agricultural defensives, has contributed to the transport of residues and increase of mineral sediments in the water courses. Buffer remotion immediately causes environmental hazards, affecting water quality and quantity, being the degradation of the environment a large scale reality.

This work aimed the creation of a digital database on topography, drainage net, soils and landscape exploitation with the elaboration of maps showing landscape conflicts and land usage in the Descalvado River sub-watershed, a left-margin tributary of the Capivara River, located in Botucatu, State of São Paulo, Brazil; the analyses carried out in accordance to the geomorphological facies. By using the SIG-SPRING software package and images obtained by the CBERS-2 satellite, the creation of the digital database and the detection of conflicts in land usage were possible. It was concluded that there does exist environmental degradation in the watershed, mainly concerning the forests along watercourses and in relation to land use in areas of increased declivity located in the Cuesta Front.

Keywords: *land use, land use capacity, geomorphological facies, SPRING, CBERS-2.*

1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento urbano e a expansão das atividades agrícolas trouxeram como benefícios, alimentos em grandes quantidades, com qualidade superior e baixos custos de produção. Como consequência houve o comprometimento da qualidade e da quantidade das águas interiores. A destruição de áreas de mata ciliares para a utilização agrícola, associada ao uso intensivo de defensivos agrícolas, tem contribuído para o aumento no transporte de resíduos químicos e sedimentos minerais para os cursos d'água.

A perda da mata ciliar provoca de imediato, efeitos nocivos ao ambiente, afetando a quantidade e a qualidade da água. De fato, a degradação ambiental é uma realidade de grandes escalas. É comum encontrar-se ambientes degradados, sejam eles campos abertos por desmatamento ou pastagens abandonadas, solos erodidos em diversos níveis de severidade, rios e córregos assoreados, e em alguns casos culminando com a desertificação da paisagem e, conseqüente mudança climática e biológica. Em razão disto, as atividades humanas, principalmente a agricultura, perdem sua eficiência produtiva e econômica, conseqüentemente, levando os agricultores a utilizarem técnicas onerosas de fertilização dos solos ou, em pior hipótese, a migrarem para solos mais férteis, transformando a área

degradada em pastagens de baixa qualidade, em geral para pecuária extensiva ou mesmo abandonando-a.

Já os resíduos e sedimentos podem carrear diversos tipos de nutrientes para os rios causando problemas na fauna e flora aquática. As mudanças físico-químicas, como variação de pH, alto teor de matéria orgânica, dentre outros parâmetros, causam um aumento no valor da DBO (Demanda Biológica de Oxigênio), conseqüentemente, reduzindo o oxigênio dissolvido na água. Como resultado têm-se o desaparecimento de peixes e outras formas de vidas, além da produção de sabores e odores desagradáveis e, ainda, obstrução dos filtros de areia utilizados nas estações de tratamento de água. Devido a esses problemas, pode ocorrer um aumento no custo da obtenção da água para o abastecimento público, em virtude da sua má qualidade. O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, estabelece normas para a utilização racional das águas.

Uma alternativa, que atualmente tem começado a ser mais bem aceita, é a regeneração das condições de fertilidade e hidrologia dos solos através da recomposição da vegetação nativa. No entanto, não discutindo sua eficiência, esta técnica tem como inconveniente o tempo necessário para a adequada recuperação, e, na grande maioria dos casos, também o alto custo.

São várias as técnicas agrícolas que contribuem para a preservação da qualidade dos recursos hídricos, porém, a regeneração da vegetação nativa que margeiam os cursos d'água parece representar um ganho do ponto de vista ambiental.

O Código Florestal, Lei 4.771, de 15.9.1965 estabelece que as áreas em torno dos corpos d'água (loais onde se encontram as matas ciliares) são APP's (Áreas de Preservação Permanente), sendo proibida qualquer atividade humana (de manejo ou depredatória), uma vez que esta área destina-se exclusivamente à função ambiental. A realidade, no entanto, não vem de encontro com a lei, e as APP's ainda são constantemente invadidas, sendo usadas principalmente para a agricultura e pecuária. A recomposição das APP's também está prevista pelo Código Florestal, e sua regeneração deve seguir os critérios estabelecidos por esta lei e pela Medida Provisória nº 2.166-67, de 24.8.2001.

A região de Botucatu engloba parte da Bacia do Paraná e da Depressão Periférica, sendo caracterizada pela presença de partes altas e baixas. Esta formação recebe o nome de Cuesta e sua geomorfologia resulta em nuances quanto à constituição florística das

espécies nas regiões de planalto, frente e depressão periférica. Além disso, é na depressão periférica que temos a formação geológica correspondente à dos arenitos, cuja participação na recarga do aquífero Guarani é elevada.

A inexistência de levantamentos ambientais e banco de dados sobre a área em formatos acessíveis, dificultam o monitoramento da bacia hidrográfica, dos seus parâmetros hídricos e da qualidade da água, que é, sem dúvida, imprescindível para evitar que a população enfrente problemas com o abastecimento de suas casas, dos seus locais de trabalho e principalmente com a sua saúde, além do próprio prejuízo ambiental e cênico.

Um estudo detalhado da Bacia do Rio Capivara e suas sub-bacias é de fundamental importância, uma vez que o Rio Pardo, fonte de abastecimento de água da cidade de Botucatu, encontra-se no limite de sua capacidade hídrica, necessitando encontrar outras fontes de captação de água. A fonte mais viável para a captação de água é o próprio Rio Capivara, devendo ser estudado com maior detalhamento a situação atual da bacia.

Este trabalho visou a criação de um banco de dados digitais da topografia, da rede de drenagem, dos solos e de suas ocupações e, a elaboração de mapas com conflitos de uso, principalmente das regiões próximas aos cursos d'água da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, um afluente da margem esquerda do Rio Capivara. Outro objetivo foi analisar a validade de estudos dessa natureza divididos por feição geomorfológica e não na área toda, como ocorre com a maioria dos trabalhos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Recursos hídricos e ambientais

A água é um recurso renovável que se encontra no meio ambiente de forma dinâmica, sendo condicionada por vários fatores e denominado como ciclo hidrológico. É considerada de fundamental importância para a sobrevivência dos seres vivos e o homem, como um ser racional e consumidor deste recurso natural, empenha-se em estudá-la com rigor para compreender suas peculiaridades e também mensurar sua ocorrência (MONTEIRO, 2003).

A necessidade de água é universal. No entanto, sua distribuição em torno do globo e sua aparente inesgotabilidade tem levado a humanidade a tratar este recurso natural sem conservação. Em geral, tanto a escassez de água como os excessos resultam de um mau uso dos recursos naturais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

A maioria dos recursos naturais e atividades humanas dependem dos rios e do sistema de drenagem das águas superficiais. A vegetação ciliar geralmente se refere à vegetação junto aos cursos d'água em planícies aluviais ou na área de inundação, formando um corredor, que constitui uma faixa de vegetação que acompanha o curso d'água, podendo

apenas incluir o curso d'água e as margens adjacentes ou pode ser suficientemente largo e incluir a planície aluvial, suas encostas e as faixas de terras altas limítrofes. Esta vegetação ciliar apresenta quatro importantes funções ecológicas: a- minimizar as enchentes a jusante, por meio do “efeito esponja” e das altas taxas de evapotranspiração; b- controlar o assoreamento, já que possibilita a retenção de sedimentos; c- constituir fonte de matéria orgânica para peixes e demais organismos fluviais; e, d- servir como habitat para muitas espécies de fauna (OSEKI; PELLEGRINO, 2004).

A água é o mais abundante elemento da natureza, ocupando cerca de 70% da superfície terrestre. Deste total, 97% são de água salgada, correspondente à dos mares e oceanos, 2% são representadas pelas geleiras, e somente 1% caracteriza a água doce que formam os rios, lagos, e águas subterrâneas. O Brasil possui um total de 8% do total de água doce do mundo, que se distribuem de maneira desigual no país. Aproximadamente 80% desta água doce se encontra na região da Amazônia, e os demais 20% para todo o restante do país (DEFFUNE, 1994 e ASSIS, 1997). Segundo a CETESB, 1998, no que se refere a águas subterrâneas, o Brasil possui uma reserva estimada na ordem de 112 trilhões de metros cúbicos, e disponibilidade de 5.000 m³/habitante/ano. Segundo dados da UNESCO e outros, em 1996, denominaram de Província Hidrogeológica do Paraná, onde se encontra o Sistema Aquífero Guarani, a região correspondente à bacia do Paraná, com cerca de 1 milhão de km² no território brasileiro, 132 mil km² no Paraguai, 96,5 mil km² no Uruguai e 66,5 mil km² na Argentina (MONTEIRO, 2003).

O desperdício de água dos sistemas públicos de abastecimento, seja físico ou de faturamento, é estimado em 45% do total ofertado à população, o que representa 4,68 bilhões de metros cúbicos anuais de água. A problemática fundamental da gestão dos recursos hídricos é a poluição, que corresponde à produzida pelos esgotos domésticos, disposição inadequada dos resíduos sólidos, poluição industrial, a gerada pela agricultura, vazamentos diversos de produtos nocivos, eutrofização de corpos d'água, salinização de rios e açudes, poluição gerada pelas atividades mineradoras, falta de proteção de mananciais superficiais e subterrâneos (MONTEIRO, 2003).

Os problemas principais relacionados à conservação da água são os relacionados com sua quantidade e qualidade, uma vez que a expansão dos centros urbanos, do consumo per capita, assim como a industrialização, o desflorestamento e a erosão, têm efeito

direto na diminuição e na poluição da água. Assim, sua conservação não pode ser resolvida independente da conservação dos outros recursos naturais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Para os mesmos autores, o volume de água disponível sempre estará na dependência da água da chuva que cai, sendo que, a quantidade de água que escorre na superfície ou abastece o lençol subterrâneo está relacionada com a camada superficial do solo. Portanto, uma cobertura de florestas ou pastagem retarda a enxurrada, diminui as enchentes, reduz a erosão e eleva o nível do lençol freático.

A bacia hidrográfica é um sistema físico cuja entrada é representada pelo volume de água precipitado e a saída o volume de água escoado, considerando-se perdas toda água que sai do sistema por evaporação, transpiração e infiltração para o subterrâneo (SILVEIRA, 1993).

A bacia hidrográfica apresenta características definidas, tais como, área, forma, tipo de drenagem, tipos de solo e rocha, formas e extensões de relevo, variação e dimensão das classes de declividade, uso e ocupação do solo. O reconhecimento e a análise destas características é fundamental para o gestor ambiental para o desenvolvimento de projetos de qualquer natureza (MONTEIRO, 2003).

Sob a óptica de bacia hidrográfica, no Brasil, os cursos d'água vêm sofrendo constante e crescente contaminação em virtude da má utilização e preservação inadequada dos recursos naturais existentes ao seu redor. As águas destes cursos d'água freqüentemente transportam solo, muitas vezes provenientes das áreas agrícolas outrora adubadas ou corrigidas a altos custos por agricultores, propiciando assim, a poluição das mesmas e até do lençol freático, comprometendo a sua utilização no abastecimento e irrigação (ASSAD et al., 1998).

A degradação desenfreada dos recursos naturais nos dias de hoje é um processo que deve ser analisado com eficiência e rapidez. Os solos, por exemplo, vêm sofrendo uma constante e crescente degradação, em função da preservação e uso inadequados (BUCENE, 2002).

As atividades agrícolas têm sido reconhecidas como sendo as fontes de poluição difusa dos recursos hídricos. A manutenção da vegetação natural ribeirinha pode reduzir a entrada de poluentes e sedimentos nos cursos de água, favorecendo a infiltração da água no solo, absorvendo, retardando ou purificando o escoamento antes que ele atinja os rios.

Esta atitude constitui uma medida ecotecnológica para controle da poluição difusa proveniente do escoamento das águas da chuva em áreas agrícolas (SIMÕES, 2001). Ainda em seu trabalho, a autora retrata o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 4771, de 15 de setembro de 1965) e a Lei de Política Agrícola (Lei nº 8171, de 17 de janeiro de 1991) onde as áreas em torno dos corpos de água são definidas como áreas de preservação permanente, impedindo qualquer uso ou manejo com fins econômicos e sendo destinadas exclusivamente à proteção ambiental nas propriedades agrícolas. A Lei de Política Agrícola determinou ainda que em um período de 30 anos todas as áreas de preservação permanente devem ser recuperadas com vegetação nativa, isto é, nos locais onde ela tenha sido suprimida.

As florestas tropicais semidecíduais e decíduas são caracterizadas por solos mais adequados para a agricultura e a pecuária em relação aos solos de florestas tropicais úmidas, como é o caso da Amazônia (PRIMACK; RODRIGUES, 2002).

O cerrado ou savana é um bioma caracterizado por apresentar árvores de baixa altura e ramos tortos. Esta foi a razão pela qual este bioma foi posto em baixa prioridade de conservação durante muito tempo. Nos anos 80, graças aos esforços das pesquisas, mostrou-se que o cerrado é abrigo de grande biodiversidade (PRIMACK; RODRIGUES, 2002).

Dentro do bioma cerrado, mata ciliar é definida como a vegetação florestal que acompanha as margens dos rios de médio e grande porte, sendo relativamente estreita, uma vez que não ultrapassa 100 metros de largura a partir das margens do leito. Seus solos são rasos ou muito rasos, sendo comum a presença de árvores entre as fendas de rochas afloradas. Ela ainda se diferencia da mata de galeria por apresentar espécies arbóreas caducifólias na estação seca, enquanto que a mata de galeria é predominantemente perenifólia (RIBEIRO; WALTER, 2001).

A cobertura vegetal é uma defesa natural de um terreno contra a erosão. Assim, após um desmatamento podem-se verificar mudanças significativas quanto à erosão, devido à ação da chuva sobre o solo descoberto (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Entender a estrutura e os processos naturais envolvidos nessas vegetações pode ajudar na proposição de modelos para recuperação de áreas degradadas nos ambientes ribeirinhos, no caso, cerrado, matas ciliares ou matas de galeria (RIBEIRO; WALTER, 2001).

As matas ciliares desempenham papel importante no equilíbrio de uma bacia hidrográfica, com influência direta sobre a quantidade e qualidade das águas dos rios. A remoção da vegetação nativa para o uso da área como pastagem ou para o plantio de culturas pela erosão acelerada. Os custos são altos, tanto diretos como perda de fertilidade do solo, aumento dos custos de tratamento de água pelos municípios, como indiretos: danos à hidrovias, sistemas de irrigação e diminuição da capacidade de armazenamento dos reservatórios, enchentes, redução da qualidade da água, etc. (UIEDA; MOTA, 2003).

A mata ciliar como agente estabilizador, impede, como barreira, a presença de sedimentos em suspensão nos rios e também é referida como zona tampão, servindo como filtros para reduzir a poluição difusa (UIEDA; MOTA, 2003).

O Estado de São Paulo é dividido em 21 unidades de gestão ou bacias hidrográficas, com o objetivo de organizar a coleta de informações pluviométricas, fluviométricas e de qualidade de água (ENGEA, 1990).

Caramaschi (1986) afirmou que o rio Capivara nasce no topo da cuesta, à uma altitude de 900 m, sendo ainda um rio jovem, pois realiza um intenso trabalho de erosão na escarpa.

Tundisi, em 1988, citado por ENGEA, em 1990, afirmou que após descer a escarpa por cachoeiras, o rio Capivara percorre áreas cultivadas até chegar ao rio Tietê. Afirmou ainda que no seu médio e baixo curso apresenta extensa área alagável, cuja importância quanto ao metabolismo dos rios, dinâmica da ciclagem de nutrientes, locais de alimentação e reprodução de espécies, tem sido objeto de estudo e preocupação em função da rápida deterioração e desaparecimento desses ecossistemas no Estado de São Paulo.

Além das atividades agrícolas, cujos reflexos devem influenciar o rio Capivara desde suas cabeceiras, existe também atividade industrial na bacia, destacando a presença da Usina Indiana (ENGEA, 1990), hoje desativada.

Quanto à ocupação do solo na bacia do rio Capivara, houve predominância de campo sujo, pastagem natural e artificial, cerrado e mata na ordem de 81,44% no ano de 1962 e 70,53% no ano de 1977, refletindo a característica dos solos de média a baixa fertilidade. Neste período, o tipo campo sujo (70,95%), café (33,59%), e as matas (20,73%) foram as ocupações do solo que mais sofreram redução. Já em 1993, culturas

anuais diversas (4.161,98%), pastagens naturais (188,32%), cana-de-açúcar (258,55%) e o reflorestamento (72,29%) apresentaram expansão (CAMPOS, 1993).

2.2 Ocupação do solo

O solo é um recurso básico que suporta toda a cobertura vegetal, sem a qual os seres vivos não poderiam existir. Quanto maior a variedade e solos que uma nação possui, maiores serão as oportunidades de seu povo encontrar um melhor padrão de vida, sendo importante que as maiores áreas sejam ocupadas por solos adaptados às grandes produções de alimentos e matérias-primas essenciais à habitação, vestiário, transporte e indústria, e que algumas áreas possam ser disponibilizadas sob outras formas de uso, como a recreação, tão importante ao bem estar físico e mental da população (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990).

Nas áreas utilizadas para agricultura, a avaliação da terra é uma prática muito antiga, sendo que, os agricultores antigos já as classificavam como boas ou más, apropriadas ou não para um determinado fim, baseando-se nos conhecimentos empíricos que dispunham e na estimativa de comportamento do solo-planta-clima (ASSAD et al., 1998).

O uso adequado do solo se contempla pela aplicação de várias técnicas de manejo e conservação do mesmo. As áreas destinadas ao cultivo encontram-se em drástica redução de seu potencial produtivo, sendo a erosão hídrica um dos principais agentes, influenciando diretamente a produtividade (CAMPOS, 2001).

Deganutti (2000) afirmou a importância da visão de que o desenvolvimento da agricultura e o uso da terra requerem um cuidadoso estudo e planejamento inicial de modo a não somente proteger a área contra alterações superficiais provocadas pela ação constante dos fenômenos naturais, mas também a desenvolver a capacidade produtiva gradativamente.

A possibilidade de planejar a natureza é um desafio que se coloca entre duas posturas atuais: a do desenvolvimentismo, em que o domínio crescente do homem sobre a natureza pelas raízes técnicas, a reduz como matéria-prima de toda produção e desenvolvimento social; a do conservacionismo, mais recente, que constata a finitude da

natureza, em que o crescimento da população humana em sociedade é maior que a reposição dos recursos naturais. Entre estas duas vertentes, surge o interesse crescente em se formular novos paradigmas para uma orientação prática de conciliar a intervenção sobre o espaço e a conservação dos recursos naturais. Em tais circunstâncias a humanidade se obriga a um crescimento regulado e/ou à conservação de sua base natural (OSEKI; PELLEGRINO, 2004).

Surge uma nova área do conhecimento, a ecologia de paisagens com duas principais abordagens: uma geográfica, que privilegia o estudo da influência do homem sobre a paisagem e a gestão do território; e outra ecológica, que enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos, e a importância destas relações em termos de conservação biológica. A definição integradora de paisagem destas duas abordagens, por vezes conflitantes por seus conceitos e definições distintas, é proposta como sendo “um mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e numa determinada escala de observação”. Esse mosaico heterogêneo é essencialmente visto pelos olhos do homem, na abordagem geográfica, e pelo olhar das espécies ou comunidades estudadas na abordagem ecológica (METZGER, 2001).

Metzger (2001), dentro da abordagem “geográfica” de ecologia de paisagens, colocou o mosaico heterogêneo visto através dos olhos do homem, de suas necessidades, anseios e planos de ocupação territorial. Neste caso, pela ação humana em territórios amplos, a ecologia de paisagens lida com escalas espaciais e temporais amplas. O conjunto interativo da paisagem é composto por “ecossistemas” ou “unidades de cobertura” ou de “uso e ocupação do território”, e escolher umas destas formas de representar as unidades é feita arbitrariamente pelo observador. Três fatores limitam esses conjuntos interativos: o ambiente abiótico (formas de relevo, tipos de solos, dinâmica hidro-geo-morfológica, parâmetros climáticos); as perturbações climáticas (fogo, tornados, enchentes, geadas, por exemplo) e antrópicas (fragmentação e alteração de habitats, desmatamento, implantação de estradas, criação de reservatórios, etc.).

O diagnóstico dos fatores ambientais e a estimativa de resposta aos impactos das atividades antrópicas podem ser estabelecidas de maneira cada vez mais precisa, graças ao aumento do conhecimento sobre as relações entre os diferentes componentes do ecossistema e de seu comportamento. Assim sendo, a avaliação do potencial da terra constitui

um estágio muito importante nos estudos ambientais para fins de zoneamento e planejamento. De acordo com os objetivos, pode-se dispor de várias metodologias para a avaliação de terras, podendo-se avaliá-las quanto às suas características fisiográficas, potencial erosivo, reservas minerais, aptidão agrícola, capacidade de uso, etc. A avaliação ou a classificação das terras para um dado fim é feita através da elaboração da caracterização física da área ou região em estudo, contendo seus aspectos de solos, de clima, de vegetação, de recursos hídricos, etc. No estudo, sintetizam-se as qualidades da terra, incluindo a identificação dos principais problemas, vistos como limitações do meio ao fim proposto (ASSAD et al., 1998).

Zimback (1997) descreveu um levantamento de solos como o exame e identificação dos solos, o estabelecimento dos limites geográficos, a representação em um mapa de solos, a descrição dos solos amostrados no mapa e sua interpretação, sendo as informações redigidas em um relatório e representadas em um mapa final. O objetivo é determinar características dos solos, classificá-los em unidades de um sistema uniforme de classificação, estabelecer seus limites em mapas e prever ou determinar seu comportamento para diferentes utilizações. O resultado deste trabalho de interpretação de levantamento de solos tem sido o estudo e elaboração de mapas de capacidade de uso, cujo propósito é o agrupamento de unidades pedológicas em classes de terras num sistema de classificação técnico-interpretativa, tomando por base características e propriedades selecionadas, mais recomendadas com o comportamento agrícola dos solos para sua máxima capacidade de uso, sem prejuízos ou riscos de degradação do solo e/ou erosão acelerada.

O sistema de classificação de terras em capacidade de uso foi desenvolvido, segundo Lepsch et al. (1991), para atender planejamentos de práticas de conservação do solo através de correlações passíveis de compreensão e elaboração de soluções no que diz respeito ao manejo do uso de áreas de ocupação humana baseando-se no uso dos solos. O princípio deste sistema de classificação é a seleção de áreas e técnicas de uso da terra mais recomendadas e adaptadas para o meio físico, preservando o melhor possível os recursos ambientais e buscando a estabilidade estrutural dos solos, sem perder sua capacidade produtiva.

Lepsch et al. (1991) hierarquizaram as categorias do sistema de classificação em capacidade de uso da seguinte forma:

- Grupos de capacidade de uso (A, B e C). São estabelecidos com base nos tipos de intensidade de uso das terras.
- Classes de capacidade de uso (I a VIII). São baseadas no grau de limitação de uso;
- Sub-classes de capacidade de uso (IIe, IIIe, IIIa, etc.). São baseadas na natureza da limitação de uso que podem ser referentes a solos (s), erosão (e), água (a) e climáticas (c).
- Unidades de capacidade de uso (IIe-1, IIe-2, etc.). São baseadas em condições específicas que afetam o uso ou manejo da terra.

Os seguintes grupos e classes de uso do solo para classificação de terras no sistema de capacidade de uso:

- GRUPO A – terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre, comportando as classes de capacidade de uso I, II, III e IV.
- GRUPO B – terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagens ou reflorestamento e/ou vida silvestre, compreendendo as classes de capacidade de uso V, VI e VII.
- GRUPO C – terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagens e/ou reflorestamento, porém, apropriadas para proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou armazenamento de água, comportando apenas a classe VIII.

Campos et. al. (2004) concluíram que o município de Botucatu-SP não vem sendo preservado ambientalmente, apresentando uma cobertura vegetal nativa menor que os 20% mínimos exigidos pelo Código Florestal vigente. Para estes autores, a pastagem é o componente principal da paisagem no município, sendo relacionado à predominância de solos arenosos de baixa fertilidade (predominam em 25%).

2.3 Geoprocessamento

Geoprocessamento é o termo usado para denotar a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Sua influência é

crescente nas mais diversas áreas, como cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, planejamento urbano e regional e energia. O geoprocessamento representa um potencial enorme em países de grandes dimensões e com carência de informações adequadas para a tomada de decisões, principalmente quando baseado em tecnologias de baixo custo (CAMARA; MEDEIROS, 1998).

O geoprocessamento é o vínculo entre o mundo real e o sistema computacional, onde são transferidas as bases cartográficas, através de um sistema de referência, isto é, georreferenciados. Sua função geral é produzir relatórios, mapas e/ou arquivos digitais seguindo padrões de coordenadas geográficas (DAINESE, 2001).

O geoprocessamento constitui um importante conjunto de tecnologias de apoio ao desenvolvimento da agricultura, porque permite analisar grandes quantidades de dados georreferenciados, independentemente de serem estatísticos, dinâmicos, atuando de maneira isolada ou em conjunto, e ainda, permitindo o tratamento destes dados, gerando informações e possibilitando soluções através de modelagem e simulações de cenários (BUCENE, 2002).

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente (CAMARA; DAVIS, 2004).

Geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Ou ainda, que “o espaço é uma linguagem comum” para as diferentes disciplinas do conhecimento. Apesar de aplicáveis, estas noções escondem um problema conceitual: a pretensa interdisciplinaridade dos SIGs é obtida pela redução dos conceitos de cada disciplina a algoritmos e estruturas de dados utilizados para armazenamento e tratamento dos dados geográficos (CAMARA; MONTEIRO, 2004).

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento. O conceito de desenvolvimento sustentado, consagrado na Rio-92, estabelece

que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no ambiente, a curto, médio e longo prazo. Tal postura foi sancionada pelo legislador, ao estabelecer dispositivos de obrigatoriedade de Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA), como condição prévia para novos projetos de ocupação do espaço, como rodovias, indústrias e hidroelétricas. Forma ainda a justificativa política para iniciativas como o Programa de Zoneamento Ecológico-econômico, estabelecido pelo Governo Federal para disciplinar o desenvolvimento da região Amazônica. Deste modo, pode-se apontar pelo menos quatro grandes dimensões dos problemas ligados aos estudos ambientais, onde é grande o impacto do uso da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica: Mapeamento Temático, Diagnóstico Ambiental, Avaliação de Impacto Ambiental, Ordenamento Territorial e os Prognósticos Ambientais. Nesta visão, os estudos de Mapeamento Temático visam a caracterizar e entender a organização do espaço, como base para o estabelecimento das bases para ações e estudos futuros. Exemplos seriam levantamentos temáticos (como geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal), dos quais o Brasil ainda é bastante deficiente, especialmente em escalas maiores (CAMARA; MEDEIROS, 2004).

A revolução digital passou a permitir a análise da natureza de uma forma mais global. O raciocínio decorrente de novas formas de análise invade tanto o microcosmo biológico como o macrocosmo da biosfera. Os sentidos humanos são potencializados por essas novas ferramentas e o raciocínio sobre os fenômenos ambientais tem potencial para ser em grande parte digital, auxiliado por essa nova capacidade cibernética (SILVEIRA, 2004).

Várias técnicas de geoprocessamento podem ser usadas com o propósito de monitoramento ambiental, como por exemplo, o sistema de informação geográfico (SIG) e o sensoriamento remoto.

2.3.1 Sistema de informações geográficas (SIG)

A base do geoprocessamento são programas computacionais chamados Sistemas de Informações Geográficas ou SIG, os quais permitem análises complexas integrando dados de diversas fontes e montagem de bancos de dados georreferenciados. Sua

principal característica é flexibilidade quanto às fontes geradoras e formatos de dados apresentados (CAMARA; MEDEIROS, 1998).

Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um instrumento que expressa uma espécie de matemática, em que qualquer dado que possua um componente espacial, uma localização determinável, pode ser manuseado, armazenado e analisado, mais corretamente, é como se fosse uma extensão do pensamento analítico. Tecnicamente seria como uma caixa de ferramentas digital para coleta, armazenamento, busca, análise, transformação e exposição de dados espaciais, com uma posição x, y e z. Assim como a estatística, esse sistema é apenas uma ferramenta auxiliar para descrever e inferir. As possibilidades de solução dependem de um objetivo bem definido sobre o problema ambiental (SILVEIRA, 2004).

Visando basicamente o projeto e planejamento de um mapeamento, o SIG tem por objetivos adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações codificadas espacialmente, integrando em uma única base de dados informações espaciais provenientes de várias fontes de dados, como: mapas analógicos, fotografias aéreas, imagens de satélite, dados de análise e de campo (EASTMAN, 1999).

Do ponto de vista da aplicação, utilizar um SIG implica em escolher as representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de seu domínio de aplicação. Do ponto de vista da tecnologia, desenvolver um SIG significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a grande diversidade de concepções do espaço (CAMARA; MONTEIRO, 2004).

Um grande problema quanto aos usuários de ferramentas de geoprocessamento, é a não diferenciação, talvez por inexperiência, de sistemas CAD (Projeto Auxiliado por Computador) e SIG. Assim, vale caracterizar suas diferenças: CAD é uma ferramenta para captura de desenhos em formato legível através de um computador, sendo que em sua modelagem, os dados são tratados como desenhos em coordenadas de papel; um SIG, no entanto, é mais complexo em sua estrutura computacional, apresentando componentes essenciais tais como, interface com o usuário, entrada e integração de dados, consulta, análise espacial e processamento de imagens, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados (banco de dados geográficos). No SIG, todos estes componentes se inter-relacionam de forma hierárquica (CAMARA; MEDEIROS, 1998).

A utilização dos SIG's permite a visualização regional dos fenômenos, tanto sincrônica como diacrônica. Na prática, os SIG's auxiliam, significativamente, na representação espacial e no processamento de dados sobre impactos ambientais provocados por agroquímicos, que apresentam diversos fatores que possuem variação espacial e temporal. Assim, os métodos de geoprocessamento podem auxiliar na identificação de áreas com maior risco de contaminação do ponto de vista ambiental (NEVES et al., 1998).

Os planejamentos de manejo e de conservação de solo e água de uma bacia hidrográfica, maior ou menor, ou qualquer outra atividade que envolva análise de dados espaciais georreferenciados, podem ser executados de forma mais precisa e rápida através do uso de um SIG (ASSAD et al., 1998).

O formato de representação digital dos dados é uma característica distintiva do SIG. Basicamente um SIG dispõe de dois tipos de dados da superfície terrestre: as definições topológicas de uma estrutura do terreno e os atributos e qualidades que esta estrutura possui. Essa representação geralmente é feita por dois tipos de formato digital: raster ou vector. O SIG-vector possui uma representação gráfica mais elaborada, permitindo uma visualização mais eficiente das localidades tendo, além disso, uma maior eficiência na utilização conjunta com uma base de dados relacionais (banco de dados). A informação topológica é mais eficiente, permitindo a utilização de redes para acesso e análise a locais específicos. O SIG-raster é um modelo indicado para análises ambientais, pois possui uma estrutura de dados mais simples, permitindo operações de análises diretamente sobre os dados, cuja variabilidade espacial é mais bem representada, uma vez que os fenômenos ambientais não tem limites fixos, considerando-se difusa a transição entre eles. A unidade espacial é representada pelo pixel, o qual possui a mesma forma e tamanho, possibilitando uma análise mais eficiente em ambientes contínuos, em que dados como biomassa vegetal, o tipo de solo, a pluviosidade e a temperatura mudam constantemente em função do espaço e do tempo (SILVEIRA, 2004).

O sistema raster tem mais poder analítico que o vector na análise do espaço contínuo. Sua estrutura assemelha-se à dos computadores digitais e, deste modo, tende a ser muito rápida na resolução de problemas que envolvem várias combinações matemáticas e modelos ambientais. As imagens de satélites usam uma estrutura raster o que torna mais fácil a incorporação desses dados. O sistema vector é eficiente no armazenamento de dados de

mapas, armazenando somente os limites e não o que está contido neles. Suas representações gráficas estão diretamente ligadas ao banco de dados de atributos, permitindo o cálculo de distância entre pontos de atributos ou ao longo de linhas, cálculos de áreas de regiões definidas na tela, entre outras operações. Dentro de um SIG é importante que seja possível uma rotina de conversão raster-vector e vice-versa para permitir uma integração dos diferentes tipos de dados (EASTMAN, 1999).

Embora nem todos os SIG possuam os mesmos componentes como os descritos na seqüência, os componentes essenciais para a definição de um verdadeiro SIG são:

- *Base de dados espacial e de atributos* – é o componente central do sistema, composto de uma coleção de mapas (planos de informação) e de informação associada, ambos na forma digital. Como exemplo, citam-se os limites de uma propriedade, definidos numa base de dados espaciais e as qualidades dessa propriedade, em uma base de dados de atributos, como uso atual da terra, proprietário, valor da propriedade, etc.
- *Sistema de exposição cartográfica* – permite tomar elementos selecionados da base de dados e produzir mapas na tela do computador, em impressoras e em plotadoras. Alguns softwares tem capacidade de produzir publicações de alta qualidade. Essa capacidade de acessar e mostrar elementos da base de dados é geralmente chamada de atlas eletrônico.
- *Sistema de digitalização de mapas* – é a transformação de mapas para o formato digital. Scanners podem ser usados para a digitalização de dados como cartas topográficas. Os sistemas de CAD (Computer Assisted Design) também possuem habilidade para adicionar informações a essa base de dados digital.
- *Sistema de administração da base de dados* – um SIG incorpora as funções características de um tradicional DMBS (Database Management System), ou seja, adicionar, manusear e analisar atributos dos dados. Além dessas características, o SIG também administra os componentes espaciais e os atributos dos dados armazenados. Programas de computador que possuem exposição cartográfica, digitalização de mapas e administradores de base de dados são definidos como AM/FM (Automated Mapping na Facilities Management).

- *Sistema de análise geográfica* – é a capacidade de analisar os dados pela sua localização. É essa habilidade para comparar diferentes características, baseada em sua ocorrência geográfica comum, distingue um SIG de um tradicional DBMS. Dessa maneira, as capacidades analíticas de um SIG e de um DBMS aumentam a capacidade da base de dados, pela adição de novos relacionamentos entre os diversos atributos. Um exemplo típico é a derivação de mapas de risco potencial de erosão, a partir de dados como declividade, tipos de solo, pluviosidade e cobertura vegetal.
- *Sistema de processamento de imagens* – alguns programas também possuem a capacidade de analisar, por meio de procedimentos matemáticos – e, mais recentemente, de inteligência artificial –, imagens obtidas por sensoriamento remoto. Imagens de satélites (Landsat, Spot, Ikonos, Quickbird) e fotografias aéreas podem ser convertidas e interpretadas de acordo com vários procedimentos de classificação. Como exemplo, pode ser citado o índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que é uma medida quantitativa que se correlaciona fortemente com a quantidade de matéria viva em qualquer região. Esse índice tem sido utilizado para a avaliação de qualquer tipo de cobertura vegetal (natural, silvicultura e agricultura).
- *Sistema da análise estatística* – possui os procedimentos estatísticos tradicionais e inclui algumas rotinas especializadas para a análise de regressão entre duas imagens ou entre dois arquivos de valores, as análises de similaridades e reconhecimento de padrões e a criação de amostras (imagens) aleatórias.
- *Sistemas de apoio à decisão* – alguns SIG incluem, em seus módulos funcionais, ferramentas para auxílio à tomada de decisão para uma melhor alocação de recursos. Módulos que incorporam erros em processos auxiliam na construção de mapas de pertinência em análises multicritério. Esses módulos também endereçam decisões de melhor alocação quando existem múltiplos objetivos envolvidos (SILVEIRA, 2004).

A integração das ferramentas de geoprocessamento permite agilidade na coleta de dados, na manipulação e diferentes análises para a determinação e avaliação do uso da terra, mostrando-se eficiente para esta finalidade e tendo como vantagens a redução do tempo e dos recursos financeiros. O uso desta tecnologia permite um diagnóstico adequado das áreas conflitantes no que diz respeito às classes de capacidade de uso (PIROLI, 2002).

A utilização do SIG é ideal para a elaboração de projetos de conservação de determinadas áreas, uma vez que, integram numa mesma base de dados mapas de solo, mapas topográficos, fotografias aéreas e imagens de satélites. Esta característica dos SIG's permite que sejam empregados não apenas para substituir trabalhos que antes eram realizados manualmente, mas sim devido a sua grande eficiência (CAMPOS, 2001).

O sistema SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) é um sistema de geoprocessamento definido como um conjunto de ferramentas voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais, além da geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, e outros, devendo prover recursos para armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise de dados. É baseado num modelo de dados orientado a objetivos, do qual são derivadas a interface de menus e a linguagem espacial LEGAL e, constitui-se de três aplicativos ou programas executáveis: o Impima – utilizado para a leitura de imagens e conversão para o formato GRIB, o Spring – programa principal do sistema onde serão modelados e processados os dados e o Scarta – programa que permite a elaboração de cartas a partir de dados previamente tratados no programa Spring (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2002).

A motivação básica para o desenvolvimento do Software SPRING baseia-se em dois princípios: integração de dados e facilidade de uso. Trata-se de um software desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para ambientes UNIX e Windows, que é de tecnologia nacional e cujos objetivos são:

- Integrar as tecnologias de sensoriamento remoto (SR) e sistemas de informação geográfica (SIG);
- Utilizar modelos de dados orientado-a-objetivos, que melhor reflete a metodologia de trabalho de estudos ambientais e cadastrais;
- Fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos (PERES, 2002).

2.3.2 Sensoriamento remoto

Para Garcia (1982), o sensoriamento remoto pode ser definido de uma maneira ampla como a detecção da natureza de um objeto sem que haja contato físico, em que aviões e satélites são as plataformas mais comuns. O termo sensoriamento remoto é restrito aos métodos que se utilizam da energia eletromagnética na detecção e medida das características de objetos, incluindo-se aqui as energias relativas a luz, calor e ondas de rádio.

Para Novo (1992), pode-se definir, em princípio, sensoriamento remoto como sendo a tecnologia que permite a aquisição de informações sobre objetos sem contato físico com eles, mas a definição é muito ampla. Numa outra visão da autora, o termo é associado à aquisição de medidas nas quais o ser humano não é parte essencial do processo de detecção e registro dos dados, sendo importante a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Estes sensores são equipamentos capazes de coletar a energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações. Assim, uma definição mais restrita de sensoriamento remoto pode ser descrita como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

O desenvolvimento da pesquisa sobre novos sensores aumentou o número de informações disponíveis sobre uma mesma cena e as técnicas de inspeção visual ficaram insuficientes para processar todos os dados contidos nas imagens a serem analisadas, na fotointerpretação. Houve paralelamente o desenvolvimento da ciência da computação; surgiram computadores capazes de armazenar, classificar e calcular grande volume de dados (NOVO, 1992).

O sensoriamento remoto é uma nova área de pesquisa cujo objetivo é compreender, medir e interpretar como cada objeto terrestre reflete as energias eletromagnéticas que incidem sobre sua superfície, recebidas pelos sensores a bordo de

satélites. Esses sensores, extensões dos olhos humanos, permitem identificar objetos terrestres muito além dos comprimentos de onda de luz normalmente percebidos. Os alvos da superfície da Terra: vegetação, solos, corpos d'água, rochas, podem ser identificados com formas antes desconhecidas, com imagens em bandas espectrais contidas no infravermelho refletido, no infravermelho termal e no domínio das microondas (MENESES; MADEIRA NETO, 2001).

A radiação eletromagnética mais familiar ao homem é a própria luz do Sol, sendo denominada de luz visível porque é sensível ao olho humano (um eficiente sensor capaz de identificar e discriminar os objetos da superfície da Terra por meio dos raios de luz refletidos dos objetos). A luz do Sol emite, além das ondas visíveis ao olho nu, radiação eletromagnética ultravioleta, de ondas curtas, e radiação infravermelha, também denominada de termal. A radiação eletromagnética solar tem a propriedade de se propagar no espaço vazio ou vácuo, sendo assim uma excelente fonte de energia para fins de sensoriamento remoto, já que é possível usar um sensor que detecta esse tipo de radiação, pode ser uma câmera fotográfica ou um imageador multiespectral, dispondo-o numa plataforma (avião ou satélite) (MENESES; MADEIRA NETO, 2001).

Radiometria é a medida quantitativa da intensidade de qualquer tipo de radiação emitida pelo sol (radiação eletromagnética) ou por uma fonte artificial (uma lâmpada). A radiação eletromagnética, por se propagar no vácuo ou espaço vazio, é utilizada no sensoriamento remoto. Os sensores que detectam este tipo de radiação, colocados em aviões ou satélites, deixam um espaço vazio (atmosfera) até o objeto que reflete a radiação. A Terra, também fonte de radiação eletromagnética, emite radiação infravermelha-termal (radiometria termal), conforme mostra o Quadro 1, o qual apresenta as principais regiões ou faixas ou bandas espectrais que podem ser identificadas pelos comprimentos de onda, medidos em sistemas métricos (nanômetro, micrômetro, centímetro). A radiação eletromagnética limitada à região do espectro eletromagnético do intervalo de comprimento de onda do visível ao infravermelho de ondas curtas ($0,4\ \mu\text{m}$ a $2,5\ \mu\text{m}$) pode ser refletida pelas superfícies dos objetos de acordo com as leis ópticas da reflexão; é a chamada radiação eletromagnética “óptica” espectral. Embora alguns estendam o conceito óptico à radiação termal, é mais comum usar apenas radiometria termal espectral, reservando o termo radiometria termal quando a medida for da radiação emitida pela Terra (MENESES; MADEIRA NETO, 2001).

<i>Banda espectral</i>	<i>Intervalo espectral (micrômetro – μm)</i>	<i>Fonte de radiação</i>	<i>Propriedade medida</i>
Visível	0,4 – 0,7	Sol	Reflectância
Infravermelho próximo	0,7 – 1,1	Sol	Reflectância
Infravermelho de ondas curtas	1,1 – 1,35 1,4 – 1,8 2,0 – 2,5	Sol	Reflectância
Infravermelho médio	3,0 – 4,0 4,5 – 5,0	Sol Corpos terrestres com altas temperaturas (incêndio)	Reflectância Temperatura
Infravermelho termal	8,0 – 9,5 10 – 14	Terra	Temperatura
Microondas, radar	1 mm – 1 m	Terra (passivo) Artificial (ativo)	Temperatura (passivo) Rugosidade dos alvos (ativo)

QUADRO 1 – Principais regiões ou intervalos espectrais usados em sensoriamento remoto.

FONTE – MENESES, MADEIRA NETO (2001)

A radiometria espectral é fundamental para o sensoriamento remoto, pois, segundo a intensidade com que cada material (solo, rocha, vegetação) reflete a radiação eletromagnética nos diferentes comprimentos de onda, permite explicar e entender como cada um dos objetos irá aparecer nas imagens multiespectrais. Quando a radiação eletromagnética incide sobre a superfície de um material terá parte refletida por esta superfície, parte absorvida pelos átomos e moléculas e parte pode ser transmitida, se a matéria for transparente. A energia incidente é a soma destes três componentes. Somente a intensidade da radiação eletromagnética refletida é medida ou detectada nos sensores remotos (MENESES; MADEIRA NETO, 2001).

A reflectância cuja intensidade e qualidade são função das propriedades espectrais que definem a absorptância e a transmitância do objeto e, é também dependente do tamanho, forma, estrutura e textura da superfície do mesmo objeto. Consideradas estas condições os sensores remotos que obtêm imagens nas bandas do visível ao infravermelho de ondas curtas codificam estas características (reflectância) do objeto por meio dos valores digitais dos pixels ou por valores de níveis de cinza (MENESES; MADEIRA NETO, 2001).

Sistemas sensores que tenham conjuntamente altas resoluções espaciais (1 a 3 metros) e espectrais (mais de 100 bandas) são onerosos. Sensores orbitais pancromáticos (com 1 metro de resolução espacial) já estão em operação, mas os sensores que

operam simultaneamente em diferentes regiões do espectro magnético têm sido preferidos, por exemplo, o sensor TM do satélite LANDSAT com 7 bandas e os sensores hiperespectrais planejados para operarem com centenas de bandas. Nesse caso, a opção é por valorizar os atributos das propriedades espectrais dos objetos, sobre os espaciais. Por essa razão, a análise ou a interpretação das imagens dos objetos registradas por um sensor imageador multiespectral, obrigatoriamente ao longo dos diversos intervalos de comprimento de onda da radiação eletromagnética: visível, infravermelho, termal e microondas. Teoricamente, quanto maior o número de bandas mais fácil será para se identificar os alvos nas imagens. Um número tão grande de bandas permitirá reconstituir o espectro de reflectância dos objetos contido num pixel (Figura 1). Para ilustrar isto, observa-se, na Figura 1 como seria a reprodução do espectro de reflectância de um alvo representado pelo pixel A da imagem para sensores com duas resoluções espectrais distintas: um sensor com 6 bandas (multiespectral) e outro, com 50 bandas (hiperespectral). O espectro de reflectância do alvo é mais bem definido quando se utiliza 50 bandas, ao invés de 6, conforme ilustra a Figura 1 (MENESES; MADEIRA NETO, 2001).

Fundamentos de Radiometria Óptica Espectral

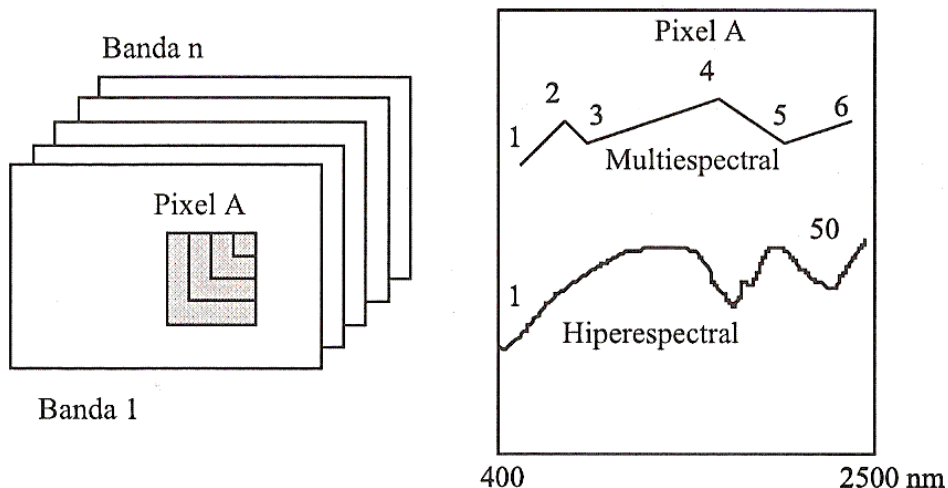


FIGURA 1 – Comparação de espectros de reflectância convertidos dos valores dos pixels de um sensor imaginário multiespectral e hiperespectral 1, 2, 3 ... 50 indicam o número de bandas.

FONTE – MENESES; MADEIRA NETO (2001).

Segundo Menezes e Madeira Neto (2001), a correspondência direta entre as curvas espectrais (medida de reflectância) e a imagem do objeto nos imageadores, orbitais ou aéreos, sofre a interferência de alguns fatores:

- A complexidade da composição físico-química e biológica de materiais como rochas, solo, vegetação e água;
- A largura e a posição no espectro das bandas do sensor imageador determina o grau em que pequenas diferenças da reflectância dos materiais podem nas imagens;
- A radiação refletida da superfície dos materiais, do background do terreno, como também da atmosfera é integrada pelo sensor e equivale, em imageamento orbital, a áreas relativamente grandes da ordem de centenas de metros quadrados; um pixel de 30 x 30 metros equivale à área de 900 m²;
- Nem todas as superfícies dos materiais são refletoras difusas, ou seja, a intensidade da radiação refletida pode variar conforme seja o ângulo de visada do sensor;
- A magnitude da reflectância de um material depende do tamanho dos seus constituintes, por exemplo, da granulometria de um solo ou da rocha; dessa forma, para que os valores de reflectância sejam significativos, é preciso conhecer o tamanho das partículas dos componentes do material, o que não pode ser medido pelos sensores imageadores;
- Muitos dos materiais não exibem feições espectrais típicas nas regiões do visível e do infravermelho e muitos deles podem produzir espectros sem as feições de absorção que diretamente relacionam-se às suas composições;
- Alguns constituintes menores, presentes em alguns materiais, podem dominar o comportamento da reflectância;
- A presença de substâncias ou compostos opacos, como a matéria orgânica contida nos solos numa determinada porcentagem, não só reduz a reflectância total como pode também mascarar as feições espectrais diagnósticas de outros componentes mais importantes presentes no material;
- Algumas importantes feições espectrais típicas de alguns materiais podem aparecer modificadas nas imagens, por causa das absorções da radiação pelos constituintes presentes na atmosfera.

Para o autor, a despeito destas interferências muitas informações podem ser obtidas de imagens multiespectrais. Essas informações dependem do grau de intensidade que cada um desses fatores intervém na caracterização espectral dos materiais que compõe a cena em observação (MENESES; MADEIRA NETO, 2001).

Os dados de sensoriamento remoto são de grande utilidade na avaliação de recursos hídricos de uma região. As técnicas convencionais de coleta de dados são espacialmente limitadas, gerando informações pontuais, enquanto que os fenômenos hidrológicos diferenciam-se espacial e temporalmente. Os dados de sensoriamento remoto são incorporados ao estudo de recursos hídricos através de 3 formas:

- Análise qualitativa de imagens que permite identificar alterações locais da cor e volume dos rios;
- Mapeamento de superfícies líquidas, identificação de falhas e fraturas, etc;
- Análise quantitativa, que permite estabelecer modelos que relacionam medidas pontuais a propriedades espectrais da água (NOVO, 1992).

As aplicações de sensoriamento remoto em estudos aquáticos e pouco difundido; trabalhos voltados para estudos de sistemas aquáticos é bem menor em relação àqueles voltados as aplicações terrestres por diversas razões:

- De ordem tecnológica, pois, até o início da década de 90, os sistemas ópticos eram afetados por problemas de cobertura de nuvens; essa tecnologia fez lentos progressos quanto ao aumento da sensibilidade radiométrica dos detectores e diferenças da composição da água eram de difícil detecção, incorrendo em erros nas estimativas de parâmetros da água;
- O monitoramento da qualidade da água, considerando metais, nutrientes, condutividade, pH, não podem ser detectados via sensoriamento remoto porque não alteram diretamente o comportamento óptico do meio aquático;
- A informação obtida é limitada à superfície da água, em virtude da atenuação da luz em profundidade.

Os satélites de observação da Terra têm uma grande diversidade de sensores que permitem obter imagens com diferentes características, as quais se adaptam às mais diversas aplicações do sensoriamento remoto. Para que a dinâmica dos alvos terrestres possa ser observada e monitorada adequadamente, um dos aspectos relevantes do sensoriamento remoto é a frequência temporal com que as imagens são adquiridas pelos sensores a bordo de satélites. A análise combinada de imagens adquiridas por diferentes sensores/satélites em aplicativos de processamento de imagens e em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é uma alternativa viável para aumentar a frequência de observação dos alvos (MOREIRA et al., 2005).

O programa CBERS, resultado do acordo firmado entre Brasil e China, obteve sucesso com o CBERS-1 (lançado em 1999) e o CBERS-2 (lançado em 2003) e, em Novembro de 2002 os dois governos firmaram novo acordo para o desenvolvimento e lançamento de dois satélites, o CBERS-3 (2008) e CBERS-4 (2010). Os satélites CBERS-1 e CBERS-2 são equipados com câmeras com observações ópticas de todo o globo terrestre, além de um sistema de coleta de dados ambientais. São sistemas únicos devido ao uso de câmeras que combinam características especiais para resolver a grande variedade de escalas temporais e espaciais típicas de nosso ecossistema. (DGI-INPE)

O satélite CBERS-2 possui dois módulos: um de “carga útil” que acomoda os sistemas ópticos e, outro, de “serviço”, com funções necessárias a operação do satélite. O conjunto de sensores ou instrumentos compreende: - WFI (Wide Field Imager) – Câmera de amplo campo de visada; - IRMSS (Infrared Multispectral Scanner) – Imageador por varredura de média resolução; - CCD (High Resolution CCD Câmera) – Câmera imageadora de alta resolução. Segue no Quadro 2 as características do satélite.

Características do Imageador de Amplo Campo de Visada WFI	
Bandas espectrais	0,63 - 0,69 μm (vermelho) 0,77 - 0,89 μm (infra-vermelho)
Campo de Visada	60°
Resolução espacial	260 x 260 m
Largura da faixa imageada	890 km
Resolução temporal	5 dias
Frequência da portadora de RF	8203,35 MHz
Taxa de dados da imagem	1,1 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	31,8 dBm
Características da Câmera Imageadora de Alta Resolução CCD	
Bandas espectrais	0,51 - 0,73 μm (pan) 0,45 - 0,52 μm (azul) 0,52 - 0,59 μm (verde) 0,63 - 0,69 μm (vermelho) 0,77 - 0,89 μm (infravermelho próximo)
Campo de Visada	8,3°
Resolução espacial	20 x 20 m
Largura da faixa imageada	113 km
Capacidade de apontamento do espelho	$\pm 32^\circ$
Resolução temporal	26 dias com visada vertical (3 dias com visada lateral)
Frequência da portadora de RF	8103 MHz e 8321 MHz
Taxa de dados da imagem	2 x 53 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	43 dBm
Características do Imageador por Varredura de Média Resolução IRMSS	
Bandas espectrais	0,50 - 1,10 μm (pancromática) 1,55 - 1,75 μm (infravermelho médio) 2,08 - 2,35 μm (infravermelho médio) 10,40 - 12,50 μm (infravermelho termal)
Campo de Visada	8,8°
Resolução espacial	80 x 80 m (160 x 160 m termal)
Largura da faixa imageada	120 km
Resolução temporal	26 dias
Frequência da portadora de RF	8216,84 MHz
Taxa de dados da imagem	6,13 Mbit/s
Potência Efetiva Isotrópica Irradiada	39,2 dBm

QUADRO 2 – Características dos sensores CBERS-2.

FONTE – DGI-INPE

Para obter as informações desejadas sobre o uso do solo a partir de imagens de SR, estas devem estar sem cobertura de nuvens e apresentar resolução espacial compatível com a escala de trabalho, um contraste adequado de forma que os alvos sejam facilmente discerníveis e ter boas características radiométricas. Dentre os sensores do CBERS-

2, o CCD é o que apresenta as melhores características para estudo em maiores escalas (p.ex. 1/50.000), pois este fornece imagens de uma faixa de 113 km de largura, com uma resolução de 20 m, adequado, por exemplo, para caracterização de bacias hidrográficas de médio porte (XAVIER et al. 2005). O mesmo autor concluiu que uma possível classificação digital entre algumas classes parece ser de difícil execução e, apesar de uma possível dificuldade de uma classificação automática entre algumas classes, as imagens demonstraram ser, com a utilização de técnicas de fotointerpretação, um excelente meio para mapeamento do uso e cobertura do solo, podendo ser utilizadas em diversos trabalhos nas áreas de: agricultura, ambiente, recursos hídricos etc.

O termo “uso da terra” refere-se à utilização “cultural” da terra, enquanto que o termo “cobertura da terra” refere-se ao seu revestimento. Assim áreas florestais representam um tipo de cobertura que pode ter diferentes usos: lazer, exploração de madeira, reservas biológicas, etc. O sensoriamento remoto fornece principalmente informações sobre a cobertura do solo, sendo necessário um sistema de classificação de uso da terra que tenha a função de fornecer um quadro de referência para a organização e hierarquização da informação. Vários autores propuseram quadros com níveis de classificação de uso da terra, em regiões agrícolas e urbanas na tentativa de estimativas mais precisas em percentuais de acerto (NOVO, 1992).

O monitoramento da ocupação agrícola requer informações diversas sobre cultura instalada, área plantada e distribuição espacial, sendo fundamentais para a tomada de decisões do ponto de vista de planejamento. A aquisição dessas informações pode ser obtida ou por questionários ou através do sensoriamento remoto (SANO et al., 1998).

A utilização do sensoriamento remoto na identificação das formas de uso da terra mostrou-se eficiente, particularmente quanto ao emprego combinado das classificações digitais e do geoprocessamento. As imagens do sensor digital dos satélites possibilitaram a classificação digital do uso da terra na bacia de forma rápida, confiável e atual, tendo em vista a deficiência de informações sobre este tema na carta topográfica (BECKER; BRAUN, 1999).

Segundo Campos et. al. (2004), as imagens de satélites têm condições de oferecer uma visão clara, abrangente e atual do uso da terra.

O georreferenciamento de imagens considera a seleção de pontos de controle que podem ser adquiridos de cartas, GPS ou de outra imagem corrigida previamente. A qualidade da correção aplicada dependerá, dentre outros fatores, da precisão com que estes pontos foram adquiridos, de sua distribuição sobre a imagem e da perfeita marcação dos mesmos (CRUZ, et al., 2005).

O GPS é um sistema de radionavegação de alta acurácia que proporcionou o surgimento de uma grande comunidade de usuários civis, permitindo-se colocar em prática algumas concepções antigas e facilitando todas as atividades que necessitam de posicionamento, como é o caso da agricultura de precisão. A concepção do sistema GPS é a de um usuário localizado na superfície da terra, ou próximo a ela, poder ter à sua disposição, ao menos quatro satélites para serem rastreados, permitindo que se obtenha o posicionamento em tempo real. O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de distância entre o usuário e quatro satélites, no mínimo, e, uma vez que se conhece a coordenada dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência dos satélites. (MONICO, 2000).

O receptor GPS pode ser utilizado sob quaisquer condições climáticas. O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de distâncias entre o usuário e quatro satélites que permitem um posicionamento em tempo real. Recentemente entrou no mercado uma grande variedade de equipamentos GPS apropriados para a coleta de dados para um SIG. Além de obter a posição da feição de interesse, um coletor acoplado ao receptor permite que se colem vários atributos associados às feições levantadas. O sistema resultante da integração SIG e GPS é extremamente poderoso. Enquanto o GPS proporciona meios de obtenção de dados precisos e com registro digital, o SIG permite que se realizem análises a partir dos dados, auxiliando na tomada de decisões (MONICO, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

3.1.1 Localização Geográfica

Localizada na região centro-sul do Estado de São Paulo, o Ribeirão Descalvado é uma sub-bacia do Rio Capivara, pertencente ao Município de Botucatu.

A Bacia do Rio Capivara, está situada entre os paralelos $22^{\circ} 57' 39''$ e $22^{\circ} 39' 36''$ de latitude S, e entre os meridianos $48^{\circ} 17' 34''$ e $48^{\circ} 29' 36''$ de longitude W.Gr (CAMPOS, 1993). A Figura 2 mostra a localização do Município de Botucatu em relação ao Estado de São Paulo, e a Figura 3 mostra a localização da Bacia do Rio Capivara em relação ao Município de Botucatu e a Sub-bacia do Ribeirão Descalvado em relação ao município e em relação à bacia.

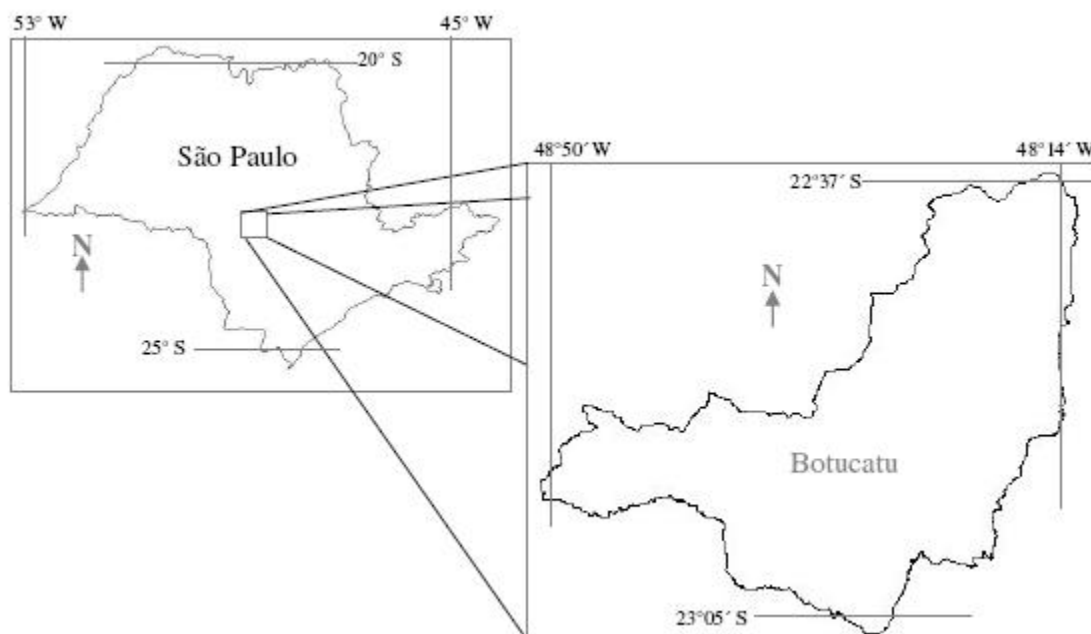


FIGURA 2 – Localização do Município de Botucatu-SP dentro do Estado de São Paulo.

FONTE – PIROLI, 2002.



FIGURA 3 – Localização da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado em relação à Bacia do Rio Capivara e ao Município de Botucatu-SP.

3.1.2 Clima

O clima predominante para o município de Botucatu é do tipo Cfa, pelo sistema de Köppen – clima temperado chuvoso e a direção predominante do vento é a sudeste (PIROLI, 2002). A precipitação média anual está ao redor de 1.447 mm, ocorrendo uma precipitação média no mês mais chuvoso de 223,4 mm e de 37,8 mm no mês mais seco. A temperatura média anual é de 20,2° C, sendo 23,2° C a média dos meses mais quentes e 16,9° C a média dos meses mais frios (MARTINS, 1989).

3.1.3 Relevo

A área drenada pelo Ribeirão Descalvado pertence às três feições geomorfológicas regionais: reverso da Cuesta, front da Cuesta e depressão periférica. O reverso da Cuesta apresenta relevos de suave ondulosos a ondulosos; o front da Cuesta predominantemente, relevos montanhosos a escarpados e a depressão periférica relevos semelhantes ao reverso.

3.1.4 Vegetação

As formações florestais são classificadas como Cerrado Tropical Subcaducifólio, e ocorrem alguns poucos remanescentes nas encostas íngremes de morros ou em galerias margeando alguns cursos d'água. Há presença de espécies florestais nativas de Mata Atlântica, porém, a maior parte da região é dominada pelas pastagens, várias delas em mal estado de conservação e trechos de agricultura familiar, com alguns pomares e pequenas lavouras.

3.1.5 APA Corumbataí Botucatu Tejuapá – perímetro Botucatu

A Sub-bacia do Ribeirão Descalvado, assim como a Bacia do Rio Capivara localiza-se dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí, Botucatu, Tejuapá - perímetro Botucatu, de acordo com ENGEA (1990).

3.1.6 Geologia

A sub-bacia do Ribeirão Descalvado apresenta as feições geológicas características do Grupo Bauru, que está dividido nas formações Marília, Adamantina, Santo Anastácio e Caiua e do Grupo São Bento, nas formações Serra Geral e Botucatu (IPT, 1981).

3.1.7 Solos

Segundo Piroli (2002), os solos que abrangem o local de estudo são caracterizados pela presença de latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVAd1) predominando nas cotas médias a baixas (depressão periférica) e à margem esquerda do Ribeirão Descalvado, e em sequência pelo neossolo lítico eutrófico (RLe), já localizados no frente da cuesta. À margem esquerda predomina o neossolo quartzarênico órtico típico (RQotípico), coincidindo com a depressão periférica da sub-bacia, e nas porções mais elevadas, já próximas ao topo da cuesta pode-se encontrar o latossolo vermelho distrófico (LVd) ainda ao lado esquerdo da sub-bacia e latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVAd1) ao lado direito e bem no topo há presença de nitossolo vermelho distroférrico (NVdf). A Figura 4 ilustra os solos.

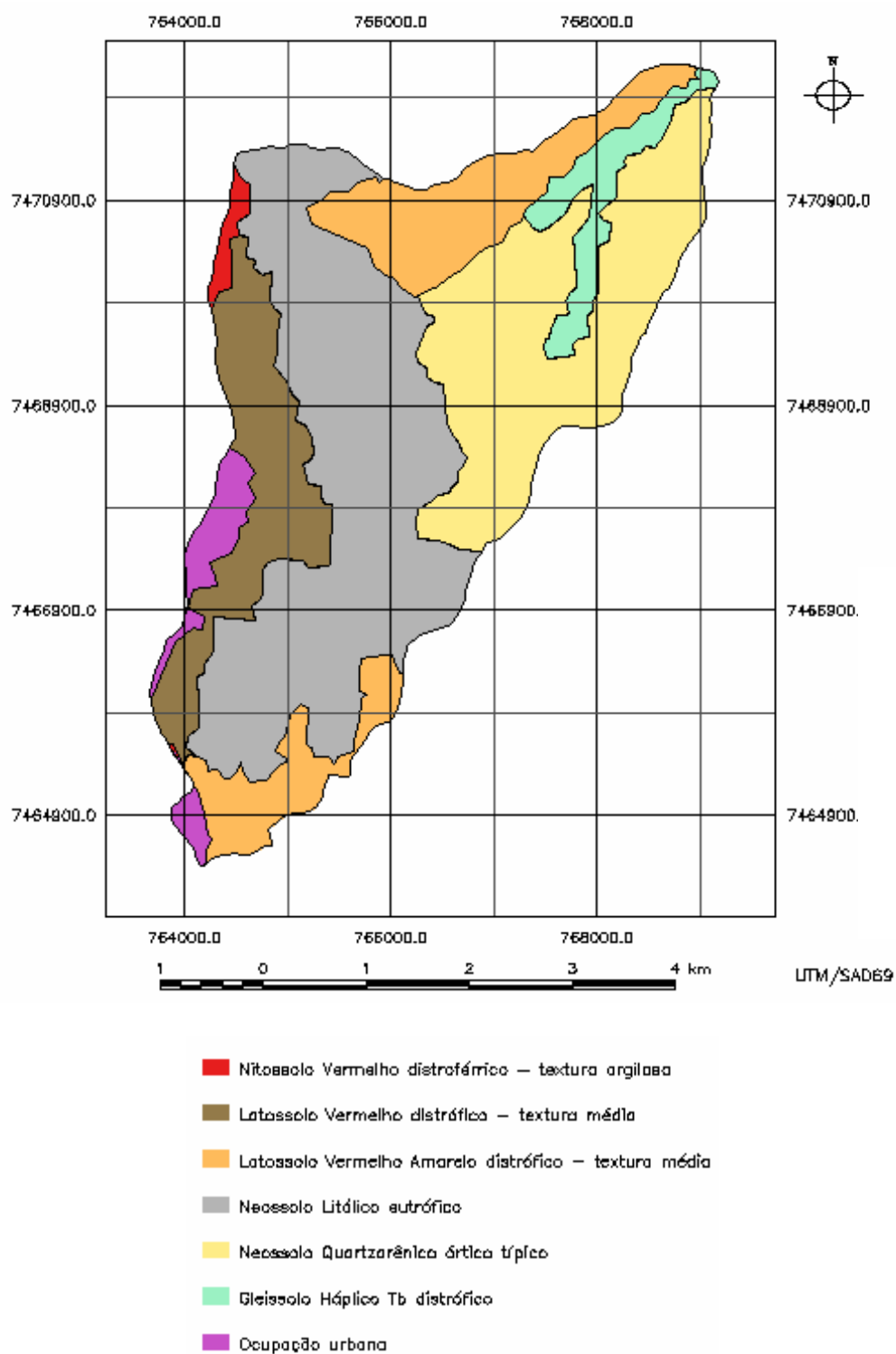


FIGURA 4 – Mapa de solos da Sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu-SP.

FONTE – PIROLI (2002)

3.2 Materiais

3.2.1 Material Cartográfico

O material cartográfico usado foram cartas do IGC (Instituto Geográfico e Cartográfico) na escala 1:10.000, com equidistância vertical de 5 m, da área em estudo. Articulações: SF-22-Z-B-VI-3-NO-F (BOTUCATU-II), SR-22-Z-B-VI-3-NE-C (BOTUCATU-IV).

3.2.2 Imagens de Satélite

Foram utilizadas imagens provenientes do satélite CBERS 2, câmera CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução) que fornece imagens com uma resolução espacial de 20 metros operando em 5 faixas espectrais, sendo uma no pancromático, uma no azul, uma no verde, uma no vermelho e uma no infravermelho próximo, órbita 156, ponto 126, provenientes do DGI-INPE (Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Utilizaram-se as bandas 2, 3 e 4 correspondentes ao azul (banda 2: 0,45 - 0,52 μm), verde (banda 3: 0,52 - 0,59 μm) e vermelho (banda 4: 0,63 - 0,69 μm).

A escolha da imagem de satélite usou basicamente os critérios de cobertura de nuvens, e visibilidade do local de estudo. Assim sendo, buscou-se uma imagem proveniente de um período seco do ano de 2005. No Quadro 3, encontram-se as informações da imagem de satélite utilizada.

Informações	
Satélite	CB2
Sensor	CCD
Órbita	156
Ponto	126
Data de Passagem	2005-05-29
Revolução	8413
Latitude Norte	-22.68410
Longitude Oeste	-48.88400
Latitude Sul	-23.84860
Longitude Leste	-48.03220
Tempo Central (GMT)	13:20:15
Orientação da Imagem	8.50435
Ângulo Nadir	52.0889
Azimuth Sol	32.5618
Elevação do Sol	37.9111
Cobertura de Nuvens	
Q1 0	Q2 0
Q3 0	Q4 0

QUADRO 3 – Informações da imagem CBERS utilizada no presente trabalho.

FONTE – DGI-INPE

3.2.3 Equipamentos

Os equipamentos utilizados foram:

- Impressora - Scanner HP – PSC500
- Computador AMD XP-2600
- Receptor GPS Garmin e-MAP
- Impressora HP DJ-3840

3.3 Métodos

3.3.1 Banco de Dados

O presente trabalho apresenta uma sequência de métodos aplicados divididos em etapas distintas e posterior integração das diferentes informações, de acordo com a necessidade e objetivos propostos.

Foi confeccionado um banco de dados com as seguintes informações:

- Curvas de nível e pontos cotados e limites da bacia hidrográfica (divisor de águas) vetorizados a partir das cartas topográficas do IGC;
- rede de drenagem e nascentes vetorizadas a partir das cartas topográficas do IGC;
- mapa de unidades de solos (PIROLI, 2002);
- imagens de satélite CBERS-2 (bandas 2, 3 e 4).

Cada informação foi obtida e preparada previamente antes de compor o banco de dados do SIG-Spring.

3.3.1.1. Cartas do IGC

As cartas topográficas são a base utilizada para a obtenção das curvas de nível, rede de drenagem e principais nascentes. Para transportá-las para o sistema computacional, elas foram digitalizadas com o auxílio de um scanner de mesa. Este procedimento representa a rasterização dos dados. O formato raster é caracterizado pela presença de pixels inseridos numa matriz de dados (imagem).

As cartas do IGC digitalizadas foram agrupadas de acordo com suas articulações para montar uma base de dados cartográficos contínuo da região estudada. Utilizando-se um software CAD (ferramenta de desenho) e tendo-se como base a imagem rasterizada da carta efetuou-se a vetorização da rede de drenagem e nascentes, as curvas de nível e pontos cotados e os limites da bacia hidrográfica (divisor de águas). Cada informação foi gravada num layer (camada) diferente e salvos no formato DXF.

3.3.1.2. Mapa de Solos

Foi utilizado o mapa de unidades de solo de Piroli (2002), no formato digital. Dentro de um CAD o mapa de solos foi usado como base para a vetorização dos limites das unidades de solo formando polígonos fechados, os quais foram posteriormente salvos em formato DXF. Além das classes de solos, foram marcados pontos de controle

representados pelos cruzamentos entre as coordenadas UTM do mapa de solos, necessários para o georreferenciamento do mapa dentro do SIG.

3.3.1.3. Imagens de Satélite

As imagens de satélite CBERS-2 foram preparadas dentro do módulo IMPIMA do SPRING (módulo de leitura de imagens) antes de comporem o banco de dados do SIG. Este procedimento corresponde ao recorte de parte da imagem onde se localiza a área em estudo e gravação em formato GRIB (formato de arquivo de exportação para o SPRING). Na primeira banda a ser preparada, abre-se seu arquivo TIFF correspondente (em escala de cinza, 8 bits) dentro do IMPIMA e desenha-se a imagem na tela de exibição. Os níveis de contraste da banda original são pouco visíveis ao olho humano e aparecem escurecidas na tela. Para melhorar a visualização dos alvos na imagem utiliza-se a ferramenta de realce. Feito isto, recorta-se um retângulo envolvente contendo toda a área em questão, anotando-se os parâmetros da imagem de saída (imagem a ser gravada), isto é, os seus dados de coordenadas: X1, X2, Y1 e Y2 (as coordenadas do retângulo).

O passo seguinte é o recorte das demais bandas que serão utilizadas. Para isto, basta-se abrir o arquivo de imagem TIFF (das outras duas bandas restantes) e digitar na tela os parâmetros da imagem de saída com as mesmas coordenadas do retângulo obtido no primeiro recorte. As bandas 2, 3 e 4 provenientes da câmera CCD de uma mesma imagem de satélite possuem as mesmas informações espaciais alterando-se somente a faixa de leitura espectral.

3.3.2 Entrada de dados no SIG

O Sistema de Informações Geográficas é a essência do trabalho, pois visa a incorporação das diferentes informações e dados referentes ao estudo, atrelando-lhes a referência geográfica (georreferenciamento). Feito isto, todas as informações passam a ter representatividade, uma vez que se encontram dentro da mesma base geográfica, isto é, estão dispostos na mesma escala, e as posições geográficas para os parâmetros mensurados e as

informações colhidas da região em estudo passam a representar camadas – layers passíveis de sobreposição, comparação, análise e tomadas de medidas métricas.

As etapas principais dentro da operação do SIG são:

- Aquisição de pontos de controle com receptor GPS para georreferenciamento das informações;
- criação do banco de dados no SIG;
- registro das imagens de satélite;
- importação e registro vetorial.

3.3.2.1. Aquisição dos pontos de controle

O primeiro passo foi a coleta das informações geográficas do local de estudo, isto é, as coordenadas geográficas para o georreferenciamento. A forma utilizada para foi o uso dos pontos de controle, conforme segue no Quadro 4.

<i>Marcador GPS</i>	<i>Coordenadas</i>	<i>Marcador GPS</i>	<i>Coordenadas</i>
1	22 K 762582 7469731	13	22 K 767693 7464931
2	22 K 762620 7466080	14	22 K 768166 7465303
3	22 K 762632 7466175	15	22 K 767761 7466162
4	22 K 762843 7466773	16	22 K 766769 7467816
5	22 K 763626 7466460	17	22 K 770194 7468633
6	22 K 763553 7465883	18	22 K 769833 7468335
7	22 K 763801 7465638	19	22 K 769471 7468236
8	22 K 764796 7464200	20	22 K 766630 7467789
9	22 K 765397 7463863	21	22 K 766266 7467652
10	22 K 763968 7465590	22	22 K 766471 7469554
11	22 K 764612 7465485	23	22 K 765920 7469210
12	22 K 766526 7465807	24	22 K 764867 7468696

QUADRO 4 – Pontos de Controle obtidos por receptor GPS

Foram coletados 24 pontos de controle (Quadro 4) usando um receptor GPS Garmim e-MAP realizando um caminhamento no local em estudo e aos redores, obtendo

uma malha de pontos bem distribuída em relação à área estudada, visando, assim, a redução das possíveis distorções e erros de georreferenciamento. Durante a marcação dos pontos e sua identificação, utilizou-se uma carta topográfica como guia e, buscaram-se locais de fácil localização e identificação, tanto na carta como na imagem de satélite, como cruzamentos de estradas rurais, entre ferrovia e estradas, entre rios e estrada, pontes e locais urbanos nas imediações (esquinas, construções, etc). Cada ponto de controle possui a informação de onde foi colhido que foi anotada numa caderneta de campo. Os dados obtidos foram descarregados por uma interface Receptor GPS – Computador e gravados em formato DXF contendo as informações georreferenciadas.

3.3.2.2. Criação do banco de dados

Para a criação do banco de dados no software SIG-SPRING, optou-se por utilizar uma pasta externa ao diretório do programa e o sistema de banco de dados Acess. Definiu-se um projeto com o sistema de coordenadas UTM, modelo SAD69, zona 22, longitude de origem 51° 00' 00" e, retângulo envolvente caracterizados pelas coordenadas planas: X1 – 763.400 metros e Y1 – 7.463.900 metros (pontos inferior e esquerdo do retângulo); X2 – 769.700 e Y2 – 7.472.900 (pontos superior e direito do retângulo), no hemisfério Sul.

O banco de dados contém os seguintes planos de informações (PI):

- Limites da sub-bacia do Ribeirão Descalvado (modelo temático)
 - o Área total da bacia hidrográfica (Divisores de águas)
- Mapa da rede de drenagem e nascentes (modelo temático)
 - o Rios representados por linhas (polylines) e nascentes por pontos
- Imagens CBERS-2 (modelo imagem)
 - o Bandas 2, 3 e 4
 - o Composições de falsa cor
- Pontos de controle – receptor GPS – (temático)
 - o Pontos de controle e o trajeto percorrido

- Mapa do uso da terra (modelo temático)
 - o Classes de uso: Matas, Capoeira, Culturas, Pasto e Urbano
- Mapa das unidades de solos (modelo temático)
 - o Nitossolo Vermelho distroférico – textura argilosa, Latossolo Vermelho distrófico – textura média, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – textura média, Neossolo Litólico eutrófico, Gleissolo Háptico Tb distrófico e Neossolo Quartzarênico órtico típico
- Mapa de altimetria (modelo MNT)
 - o Amostras (curvas de nível e pontos cotados) com valores Z , Grade TIN, Grade retangular TIN
- Grades Numéricas (modelo MNT)
 - o Armazenar dados numéricos: declividade (%), grades de distâncias de nascentes e rios
- Mapa de declividade (modelo temático)
 - o Classes de declividade em %: 0-3%, 3-6%, 6-12%, 12-20%, 20-40% e 40% ou maior
- Mapa de capacidade de uso (modelo temático)
 - o Classes: III, IV, V, VI e VII
 - Sub-classes: III-s; III-s,e; IV-e; IV-s; IV-se; V-a; VI-e; VII-e
- Mapa de distâncias – APP's (temático)
 - o APP: 20 metros a partir das margens e ao longo dos rios e, 50 metros ao redor das nascentes
- Mapa de ocorrência de matas ciliares (temático)
 - o APP – classes: adequada à legislação e conflitantes
- Mapa de conflitos de uso do solo (temático)
 - o Uso adequado e conflitos de uso

3.3.2.3. Registro das imagens de satélite

Antes de efetuar-se o registro propriamente dito, importou-se o arquivo DXF gerado pelo receptor GPS diretamente para seu PI temático correspondente. Os pontos e o trajeto realizado (Figura 5) apenas aparecem na tela quando são exibidos e, estão na mesma coordenada na qual foram gravados (UTM/SAD69).

Em seguida inicia-se a função de registro de imagens onde é pedido para cadastrar as bandas a serem georreferenciadas (banda 2, 3 e 4) e é exibida uma tela auxiliar (tela 5) onde efetuamos um realce da imagem a fim de identificar com mais facilidade os pontos de controle. Foram utilizadas as três bandas das imagens CBERS-2 e ajustadas para falsa cor (imagem sintética) na sequência banda 2 (B), banda 3 (G) e banda 4 (R).

Confrontando-se os pontos de controle e suas identificações de locais com as imagens de satélite podemos usar pontos de coincidência entre o local registrado pelo receptor GPS e o local na imagem CBERS-2 exibida na tela 5 (Figura 6) específica para o registro de imagens. O percurso gravado (linhas pretas – Figura 5) auxilia no processo de georreferenciamento e a aquisição dos pontos é tomada via tela.

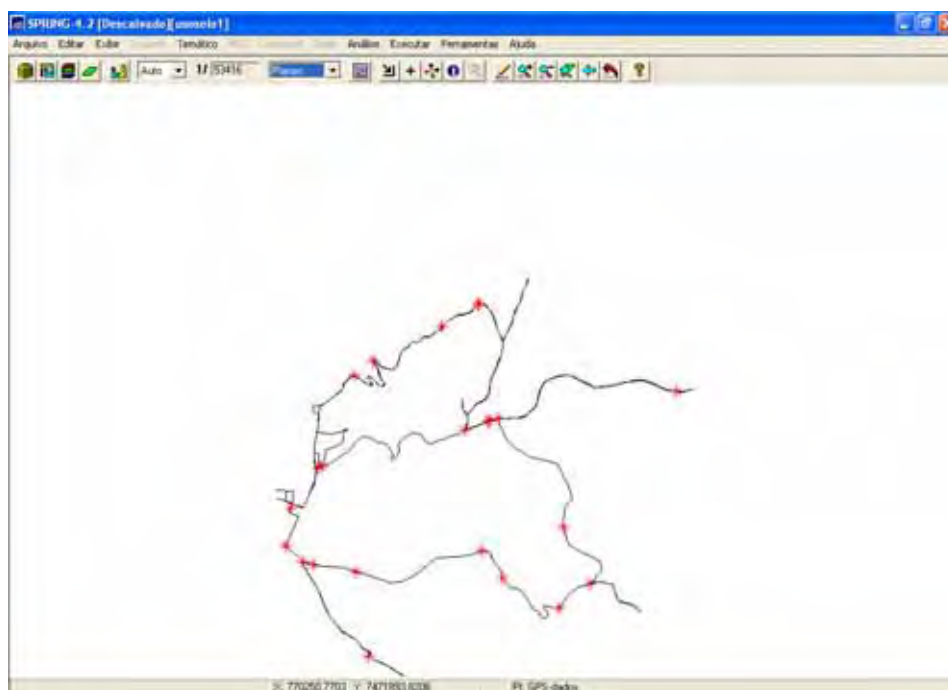


FIGURA 5 – Tela do Spring com o PI importado a partir dos dados do receptor GPS.

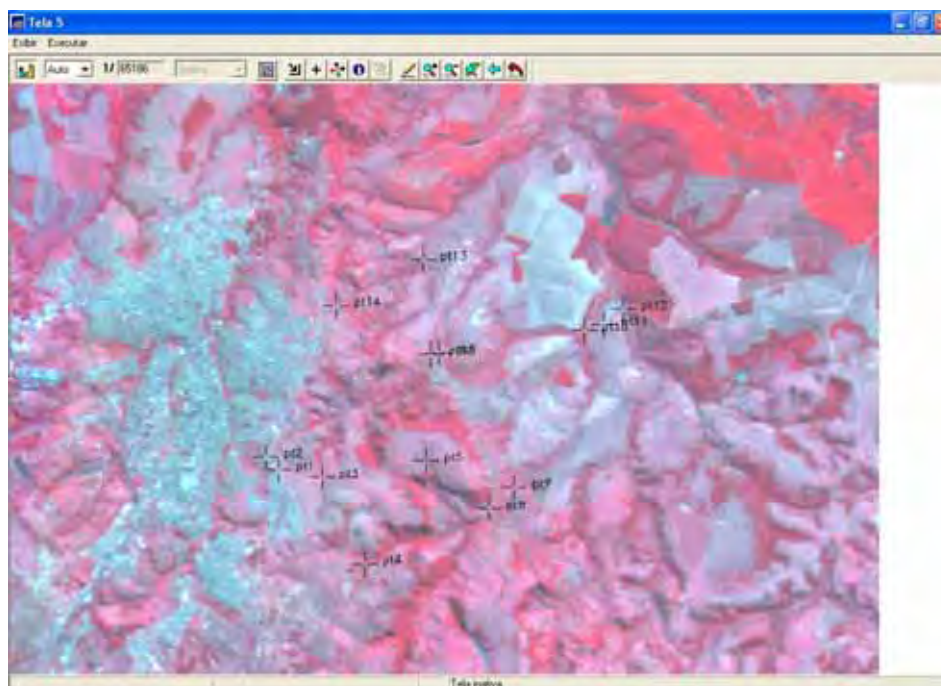


FIGURA 6 – Tela 5 exibindo os pontos de controle para georreferenciamento de uma imagem de satélite em composição RGB falsa cor.

Durante o processo de registro é exibido um resultado do ajuste para cada um dos pontos de controle onde é mostrada a acurácia do georreferenciamento. Através dos erros para cada ponto de controle pode-se verificar qual deles apresenta maior erro, editando-os para corrigir pequenos desvios atenuando o erro final do georreferenciamento. Contudo, em alguns casos, quando há incerteza da posição de um ponto de controle, ou mesmo uma dificuldade no seu ajuste é preferível removê-lo do processo. O resultado final é a imagem de satélite e os pontos de controle coincidindo a mesma localização (Figura 7) dentro de um erro de registro aceitável.

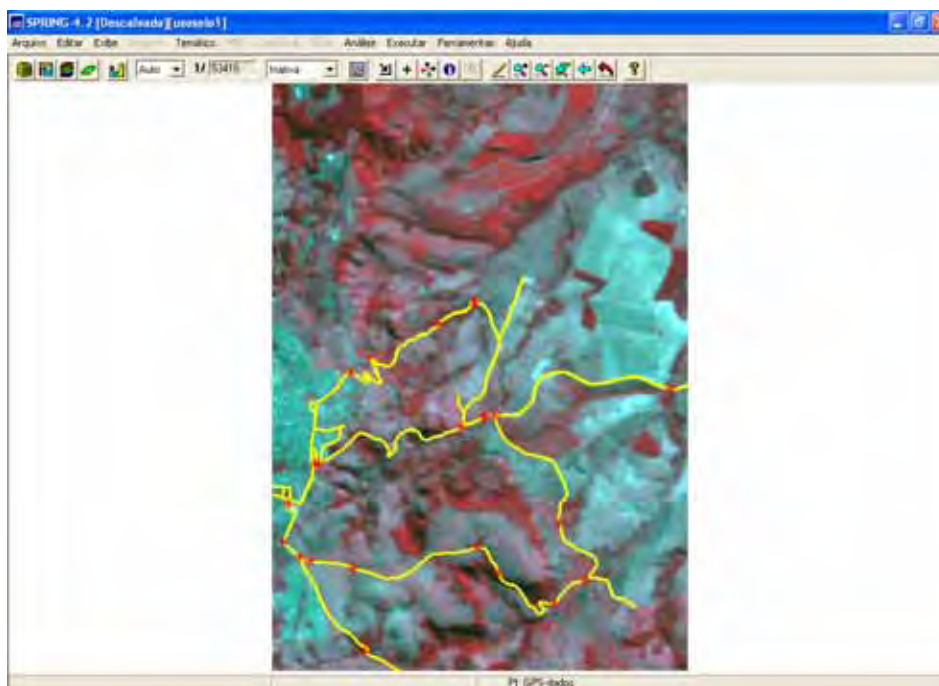


FIGURA 7 – Tela do Spring exibindo os pontos de controle após georreferenciamento de uma imagem de satélite em composição RGB falsa cor.

3.3.2.4. Importação e registro vetorial dos arquivos DXF

Na importação do arquivo DXF escolhe-se o layer (camada) que represente a informação a ser importada direcionando-a para seu respectivo PI (plano de informação).

Como na imagem de satélite é mais fácil a localização da rede de drenagem, o layer que contém esta informação é o primeiro a ser importado e registrado. Da mesma forma que no processo de registro de imagens, o Spring dispõe de um registro vetorial no qual é exibida uma tela especial (tela 5) para a plotagem dos pontos de controle. Assim, são adquiridos pontos sobre a imagem de satélite onde se encontram os rios e seus afluentes, e em alguns casos podemos utilizar as nascentes também. No final do processo é exibido um relatório de erros de georreferenciamento e ao contrário das imagens, podem-se gravar as informações dos pontos de controle num arquivo *.PRO.

Como todos os layers deste arquivo DXF possuem a mesma base de referência, significa que o registro deles procederia da mesma forma que o layer da rede de

drenagem. Como o arquivo *.PRO já possui as informações de georreferenciamento adequados, basta importar todos os layers restantes, exceto o mapa de solos, e registrá-los usando o mesmo arquivo *.PRO.

A importação do mapa de solos, por se tratar de uma base de dados distinta, efetuou-se o registro vetorial independente. Foram adquiridos pontos de controle a partir dos cruzamentos da malha de coordenadas do mapa (Figura 2) e submetidos ao registro vetorial, gerando um arquivo *.PRO também.

Tanto os limites vetorizados da bacia hidrográfica como os polígonos das classes do mapa de solos foram submetidos a um processo de ajuste, poligonalização e associação deste à classe temática, previamente definida no banco de dados.

3.3.3 Declividade em porcentagem

A declividade em porcentagem foi obtida através de uma grade retangular gerada a partir de uma grade triangular TIN. Para isto, foi feito o tratamento dos dados das curvas de nível e pontos cotados, submetendo-os à geração de uma grade triangular em um PI “MNT” usando como linha de quebra a rede de drenagem (representando as cotas mínimas do relevo) e, posterior conversão para uma grade retangular (Figura 8). Seguiu-se a operação de declividade sobre a grade retangular gerada a partir da grade TIN, optando-se pelos valores de declividade em porcentagem (%). Os valores armazenados no PI “MNT” são fatiados para uma categoria “temática” definindo-se as faixas de declividade (em porcentagem) de interesse.

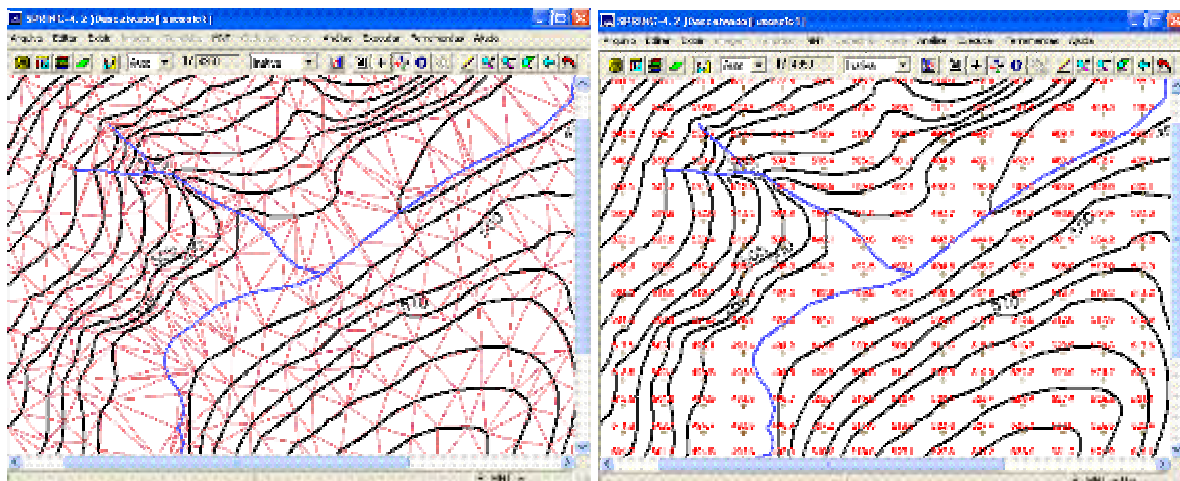


FIGURA 8 – À esquerda - uma grade TIN com linha de quebra a partir da rede de drenagem (azul) e as curvas de nível em preto com as cotas na forma de texto; - À direita - uma grade retangular criada a partir de uma grade TIN e sua malha de pontos contendo informação altimétrica contínua.

3.3.4 Ocupação dos solos

O mapa de ocupação dos solos foi obtido pela classificação das imagens CBERS-2 “pixel a pixel” pelo método MAXVER (Máxima Verossimilhança), considerado o método de classificação mais comum desta modalidade. Este método considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Para que a classificação por máxima verossimilhança seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de “pixels”, para cada conjunto de treinamento. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento.

Foi criado um arquivo de contexto contendo as três bandas originais usadas na classificação (banda 2, 3 e 4). Na fase de treinamento, foram adquiridos os polígonos representantes de cada classe-tema de ocupação do solo (matas, capoeira, culturas, pasto, exceto área urbana) (Figura 9). As “amostras” foram submetidas à análise apresentando um relatório de desempenho. De acordo com os resultados pôde-se interferir nas “amostras” convertendo-as para “teste”, caso se desejasse eliminá-las do processo de classificação e

melhorar o desempenho. Quando se atingiu um nível adequado de desempenho, executou-se a classificação da imagem.

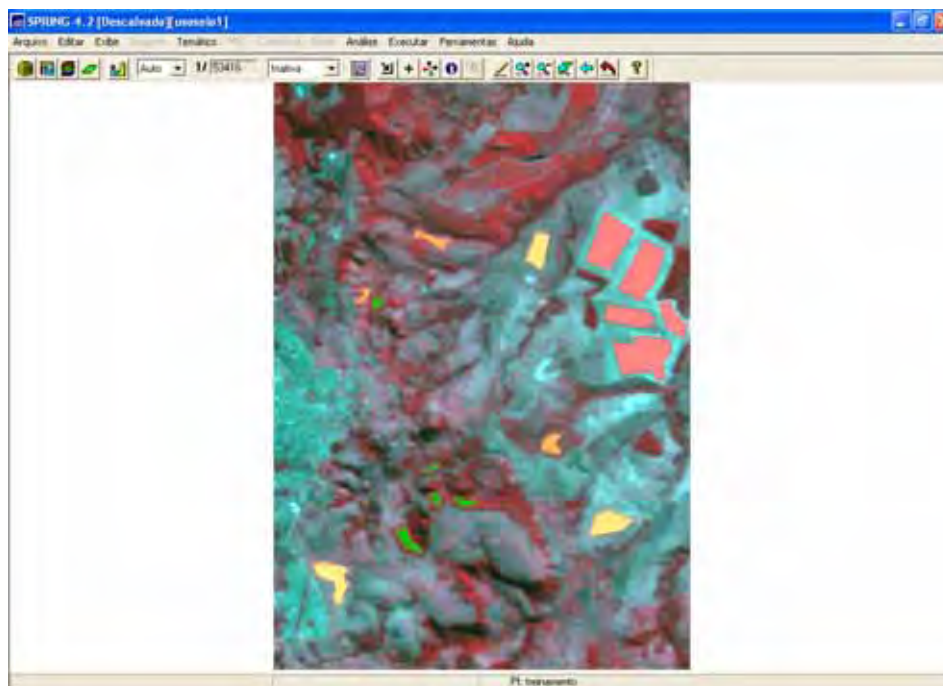


FIGURA 9 – Tela do Spring exibindo os polígonos para classificação MAXVER a partir de uma imagem de satélite em composição RGB falsa cor.

Inicialmente a classificação gera dados num PI de dados “Imagem”. Contudo, ele deve ser mapeado para um modelo “Temático” para que cada tema classificado seja associado às sua respectiva classe temática. A este processo é dado o nome de mapeamento.

A área urbana é um caso a parte durante o processo de classificação, pois sua reflectância gera confusão nos dados diminuindo muito o desempenho final da classificação. Logo, o que se faz para resolver o problema é deixar que a classificação confunda os dados urbanos e, numa etapa posterior, tais informações sejam removidas mozaicando um PI “Temático” contendo a área urbana vetorizada manualmente sobre a imagem de satélite em falsa cor. O dado vector sobrepõe a sua respectiva área sobre o mapa de classificação e convertendo-o de vetor para matriz ocorre a sobreposição definitiva com sua classe urbana já associada (Figura 10).

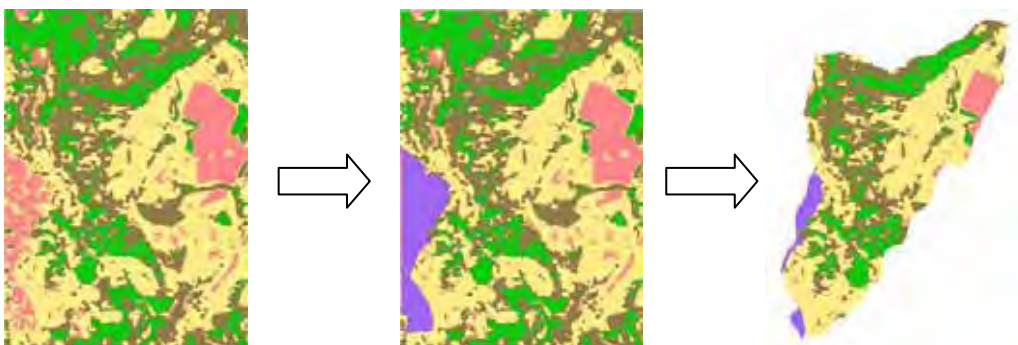


FIGURA 10 – Demonstração da adição de máscara urbana sobre uma imagem classificada pelo MAXVER.

3.3.5 Capacidade de uso

Foi obtida pelo cruzamento dos planos de informação das classes de declividade e do mapa de unidades de solos. As classes e sub-classes de capacidade foram retiradas do quadro de julgamentos de PIROLI (2002) (Quadro 5), e foram utilizadas de acordo com os critérios de linguagem LEGAL do Spring.

O SIG-SPRING usa um programa em linguagem LEGAL para realizar este procedimento, utilizando-se o método booleano. Antes da execução do programa foram realizadas alterações nas sintaxes a fim de se especificar os grupos e classes de capacidade de uso do solo. O resultado foi expresso num mapa temático de capacidade de uso do solo. As sub-classes da capacidade de uso foram também obtidos pelo uso da programação LEGAL.

Solo	Declividade	F.A.	P.E.	P.D.	Def.	Ped.	R.I.	Dec.	E.L.	E.S.	V.	Classe	Subclasse
LVd	0-3	III	I	I	I	I	I	I	II	II	I	III	s
	3-6	III	I	I	I	I	I	II	II	II	I	III	s
	6-12	III	I	I	II	I	I	III	II	II	I	III	s,e
	12-20	III	I	I	II	I	I	IV	II	II	I	IV	e
	20-40	III	I	I	III	I	I	VI	II	II	I	VI	e
	40-mais	III	I	I	III	I	I	VII	II	II	I	VII	e
Rqotip	0-3	III	I	II	I	I	I	I	II	II	I	III	s
	3-6	III	I	II	I	I	I	II	II	II	I	III	s
	6-12	III	I	II	II	I	I	III	II	II	I	III	s,e
	12-20	III	I	II	II	I	I	IV	II	II	I	IV	e
	20-40	III	I	II	III	I	I	VI	II	II	I	VI	e
	40-mais	III	I	II	III	I	I	VII	II	II	I	VII	e
LVad1	0-3	III	I	I	I	I	I	I	II	II	I	III	s
	3-6	III	I	I	I	I	I	II	II	II	I	III	s
	6-12	III	I	I	II	I	I	III	II	II	I	III	s,e
	12-20	III	I	I	II	I	I	IV	II	II	I	IV	e
	20-40	III	I	I	III	I	I	VI	II	II	I	VI	e
	40-mais	III	I	I	III	I	I	VII	II	II	I	VII	e
NVdf	0-3	III	I	II	II	I	I	I	I	II	I	III	s
	3-6	III	I	II	II	I	I	II	I	II	I	III	s
	6-12	III	I	II	I	I	I	III	I	II	I	III	s,e
	12-20	III	I	II	I	I	I	IV	I	II	I	IV	e
	20-40	III	I	II	II	I	I	VI	I	II	I	VI	e
	40-mais	III	I	II	II	I	I	VII	I	II	I	VII	e
GXbd	0-3	III	I	V	II	I	V	I	II	II	I	V	a
	3-6	III	I	V	III	I	V	II	II	II	I	V	a
	6-12	III	I	V	III	I	III	III	II	II	I	V	a
	12-20	III	I	V	IV	I	III	IV	II	II	I	V	a
Rle	0-3	II	II	III	II	IV	I	I	II	II	I	IV	s
	3-6	II	II	III	II	IV	I	II	II	II	I	IV	s
	6-12	II	II	III	III	IV	I	III	II	II	I	IV	s
	12-20	II	II	III	III	IV	I	IV	II	II	I	IV	s,e
	20-40	II	II	III	IV	IV	I	VI	II	II	I	VI	e
	40-mais	II	II	III	IV	IV	I	VII	II	II	I	VII	e

F.A. – fertilidade aparente; P.E. – profundidade específica; P.D. – permeabilidade e drenagem interna; Def. – deflúvio; Ped. – pedregosidade; R.I. – risco de inundação; Dec. – declividade; E.L. – erosão laminar; E.S. – erosão em sulcos; V. – voçorocas.

QUADRO 5 - Tabela de julgamentos para classes e subclasses de capacidade de uso.

FONTE – PIROLI (2002).

Lista dos programas LEGAL utilizados:

A. Capacidade de uso: “*Todas as classes, mas sem as sub-classes*”

ANEXO 1

B. Sub-classes da classe III: “*Classificando as subclasses*”

ANEXO 2

C. Sub-classes da classe IV: “*Classificando as subclasses*”

ANEXO 3

D. Sub-classes da classe V, VI e VII:

Como as classes V, VI e VII só possuíam uma sub-classe para sua classe, significa que as áreas das classes não necessitariam ser sub-classificadas. Assim, elas foram remapeadas por mozaico para o PI respectivo.

3.3.6 Mapa de distâncias

O mapa de distâncias consiste em uma análise de proximidade que apresenta zonas com larguras especificadas em torno de um ou mais elementos do mapa, os quais podem ser, ponto, linha ou polígono e os modelo de dados temático, numérico, cadastral ou de redes. O modelo usado como base para medir as distâncias foi o “temático” de rede de drenagem, e foi escolhida uma categoria numérica previamente criada para armazenar os valores de distâncias. Realizou-se o mesmo procedimento para as nascentes, porém, calculando-se as distâncias ao redor de pontos ao invés de linhas.

O passo seguinte foi fatiar o PI “MNT” para um PI “Temático” chamado de buffer, com resolução de 20 x 20 metros para posterior cruzamento matricial e obtenção das medidas de conflitos entre o mapa de uso dos solos e as APP’s.

3.3.7 Conflitos de uso dos solos

Para chegar aos conflitos de uso dos solos utilizaram-se as seguintes programações LEGAL:

- 1º - Um programa que retratou somente as questões de ocupação dos solos e sua capacidade de uso, assim, não considerando a legislação de APP's como conflito;
- 2º - Um programa que envolveu as questões referentes à APP's, somando-as às áreas conflitantes;
- 3º - Um programa que mediu somente os conflitos referentes às APP's, isto é, envolvendo somente as questões legais (legislação vigente).

No primeiro caso, o programa LEGAL (ANEXO 4) efetuou os cruzamentos entre as classes de solos (convertidas para suas restrições de uso) com o mapa de uso dos solos. Segue no Quadro 6 as restrições identificadas para cada classe de solo.

Classe	Restrições
III	Sem restrições
IV	Restrito a culturas
V	Restrito a culturas (inundação)
VI	Restrito a culturas e pastagens
VII	Restrito a culturas, pastagens e reflorestamento.

QUADRO 6 - Restrições de uso para cada classe de capacidade.

No segundo caso, o programa LEGAL (ANEXO 5) efetuou o mesmo que o programa anterior, porém, considerando que toda área de APP representa uma área de conflito. Assim, o programa somou todas as áreas onde a APP está inadequada e contou como conflito.

Já no terceiro caso, a detecção dos conflitos nas APP's foi realizada cruzando-se o plano de informação do buffer ao mapa de ocupação dos solos, utilizando-se a programação LEGAL (ANEXO 6).

Todos os três processos resultaram em mapas de áreas de conflitos.

3.3.8 Operações métricas

As operações métricas efetuadas foram referentes ao cálculo de áreas através dos mapas temáticos gerados, sendo que a função implementada foi a “medida de classes”. Os resultados foram gravados em arquivos de texto simples (*.TXT). Mediu-se as áreas referentes às seguintes classes temáticas: área da bacia hidrográfica, classes de capacidade de uso e suas sub-classes, uso do solo, declividade, conflitos de uso, conflitos de uso contando APP's e conflitos de uso referentes a APP somente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sub-bacia do Ribeirão Descalvado possui uma área média de 2.196,08 ha, com um desvio padrão de 22,21 ha (Quadro 7) e um perímetro de 23,26 km. O comprimento total da rede de drenagem é de 44,35 km, isto é, a somatória do comprimento de todos os rios pertencentes à bacia, contando com 54 nascentes. A Figura 11 mostra a distribuição da rede de drenagem e das nascentes.

A área total para a bacia hidrográfica foi calculada a partir dos mapas temáticos de resolução de 20 x 20 metros (tamanho do pixel), apresentando diferenças de acordo com os mapas temáticos usados como base de cálculo.

área total da bacia		
mapa temático	área calculada	
	km ²	ha
Divisor de águas (limites)	21,99	2198,96
Feições geomorfológicas	22,09	2208,56
Declividade	21,65	2164,84
Capacidade	21,73	2172,60
Uso do solo	22,16	2215,96
Áreas de Conflitos	22,16	2215,56
Média	21,96	2196,08
Desvio Padrão	0,22	22,21

QUADRO 7 – Diferença entre as medidas de área total da bacia hidrográfica de acordo com o mapa temático efetuados pelo Spring 4.2.

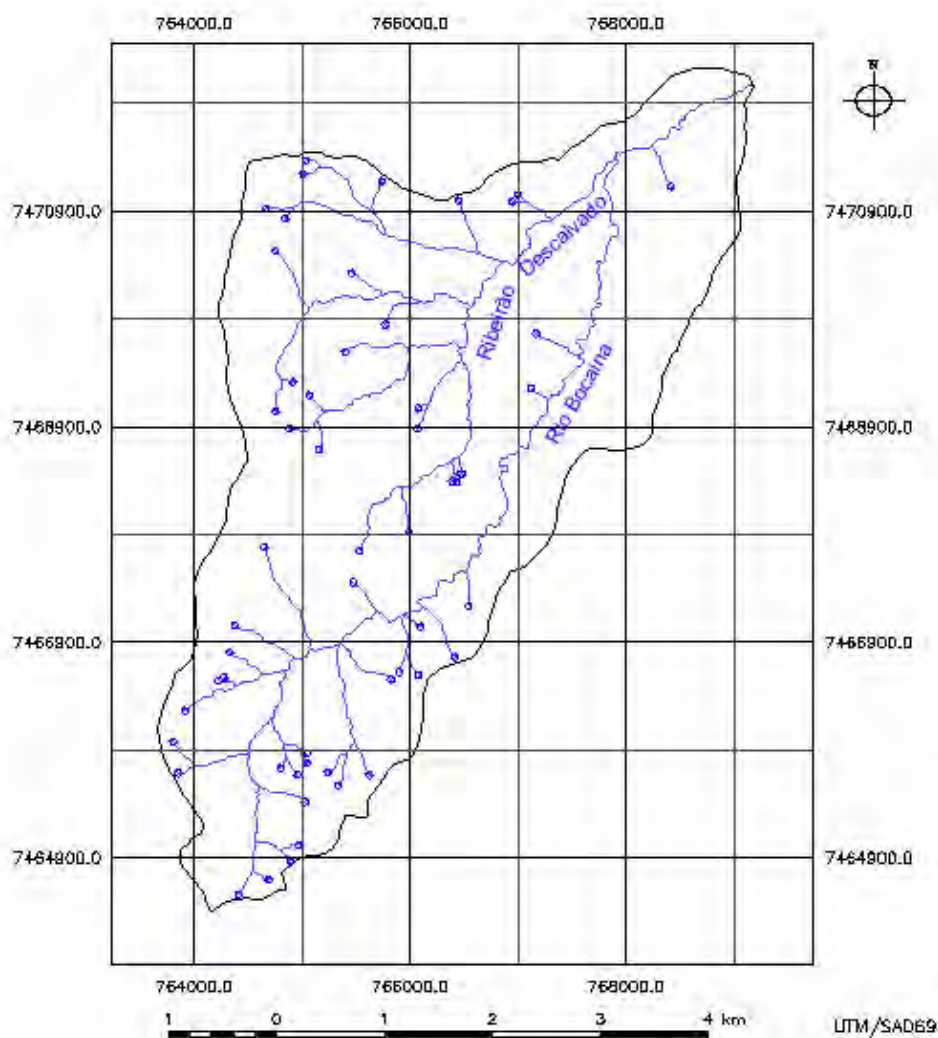


FIGURA 11 – Mapa da rede de drenagem (linhas) e das nascentes (pontos) da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

A bacia apresentada distribui-se pelas três feições geomorfológicas da Cuesta (Figura 12), sendo que as cotas abaixo de 610 metros são definidas como depressão periférica, de 610 metros e 810 metros correspondem à front da Cuesta e acima de 810 metros tem-se o reverso da Cuesta.

A bacia estudada apresenta 12,90 % de sua área localizada sobre o Reverso da Cuesta, 32,25 % no Front e 54,85 % na Depressão Periférica (Quadro 8).

De acordo com a divisão das feições geomorfológicas, 16 nascentes estão localizadas na depressão periférica, 8 no reverso e 30 no front da Cuesta.

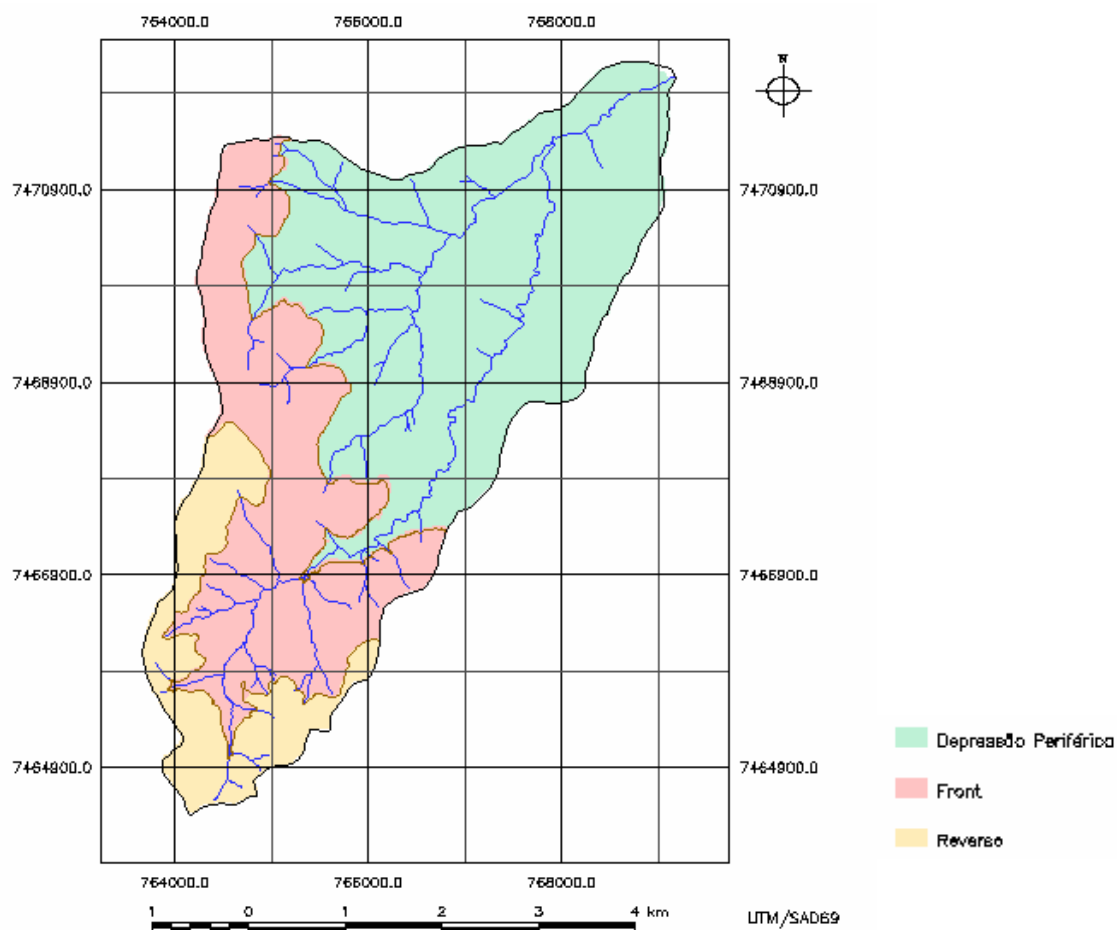


FIGURA 12 – Mapa de Feições Geomorfológicas da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP, contendo a rede de drenagem.

Feição Geomorfológica	Área em km ²	área em ha	% área
Reverso	2,85	284,80	12,90
Front	7,12	712,28	32,25
Depressão periférica	12,11	1211,48	54,85
Total	22,09	2208,56	100,00

QUADRO 8 – Áreas determinadas pelo Spring 4.2 para as feições geomorfológicas.

4.1 Levantamento das classes de declive e relevo

O relevo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado é predominantemente forte ondulado e montanhoso com variações desde o plano até o escarpado.

O relevo forte ondulado (29,57 %), ondulado (25,48 %) e montanhoso (21,23 %), representam 76,28 % da sub-bacia. O relevo plano (4,43 %) e suave ondulado (8,57 %) constituem somente 13 %, ao passo que a classe de declive escarpado representa 10,71% (Quadro 9).

Classes de Declividade	Relevo	área em km ²	área em ha	% área
0 - 3 %	Plano	0,96	95,96	4,43
3 - 6 %	Suave ondulado	1,85	185,44	8,57
6 - 12 %	Ondulado	5,52	551,64	25,48
12 - 20%	Forte ondulado	6,40	640,24	29,57
20 - 40 %	Montanhoso	4,60	459,64	21,23
40% e maior	Escarpado	2,32	231,92	10,71
Total		21,65	2164,84	100,00

QUADRO 9 – Distribuição percentual das classes de declive e relevo na sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

Segundo Piroli (2002), tratando-se do estudo realizado para todo o Município de Botucatu, o relevo predominante é plano a suave ondulado. Deste modo pode-se observar que a sub-bacia do Ribeirão Descalvado difere das características gerais constatadas pelo autor.

Na Figura 13 pode-se observar o aspecto tridimensional da sub-bacia do Ribeirão Descalvado e na Figura 14 pode-se observar a distribuição das classes de declive na

bacia hidrográfica observando a cor roxa (40 % ou mais), dividindo a bacia em duas porções e as cores verde escuro (20 – 40 %), azul (12 – 20 %) e vermelho (6 – 12 %), predominantes em área, e as cores amarelo (3 – 6 %) e verde claro (0 – 3 %) se distribuindo de forma seqüencial ao redor desta primeira (roxa - 40 % ou mais).



FIGURA 13 – Visualização 3D em tons de cinza e sombra gerada pelo Spring 4.2. As nascentes localizam-se na porção alta da figura.

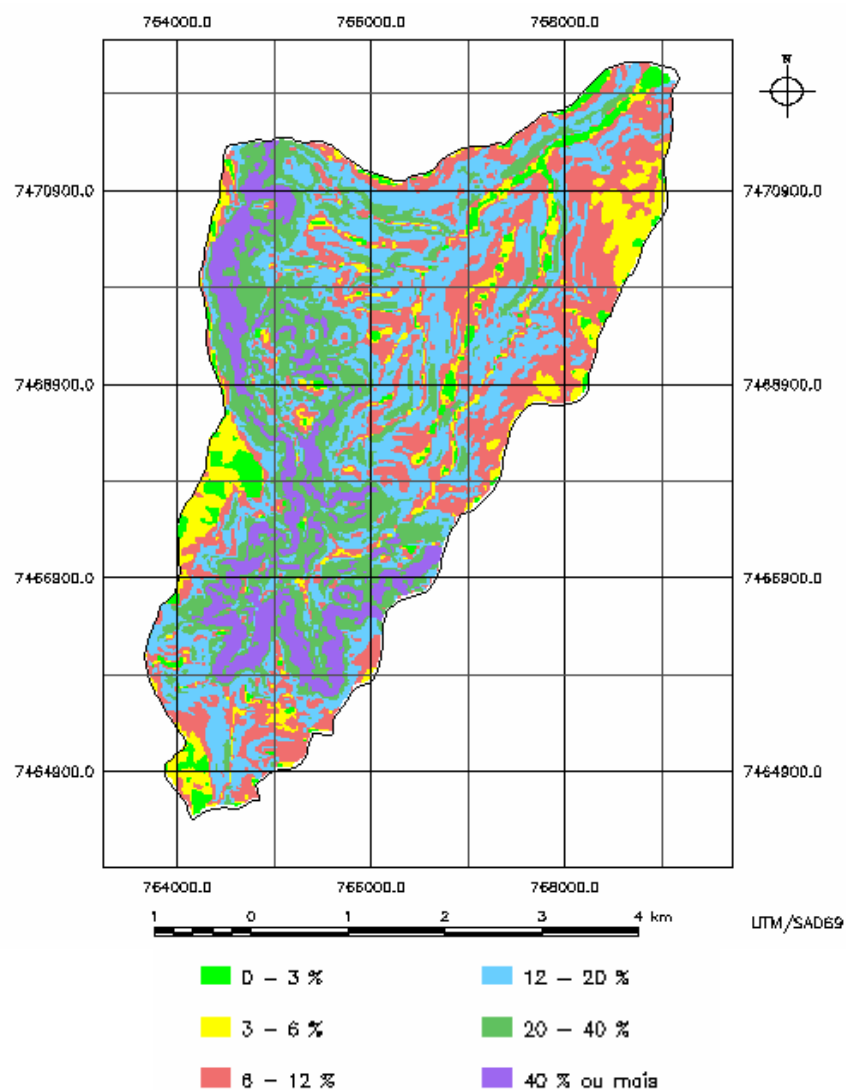


FIGURA 14 – Mapa de classes de declive da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

4.2 Levantamento das classes de capacidade de uso do solo

Os resultados do levantamento das classes de capacidade de uso do solo, na sub-bacia do Ribeirão Descalvado estão mostrados na Figura 15. Há predominância da classe de capacidade de uso IV, constituída pelas subclasses IV-s, IV-s,e e IV-e (Figura 17 – subclasse IV). As classes III e VI apresentam grande participação, sendo que a classe III apresenta subclasses III-s e III-s,e (Figura 16 – subclasse III; Figura 19 – subclasse VI). A

classe VII (Figura 20) está concentrada nas encostas montanhosas ao passo que a classe V se dispõe nas cotas mais baixas da bacia hidrográfica (Figura 18).

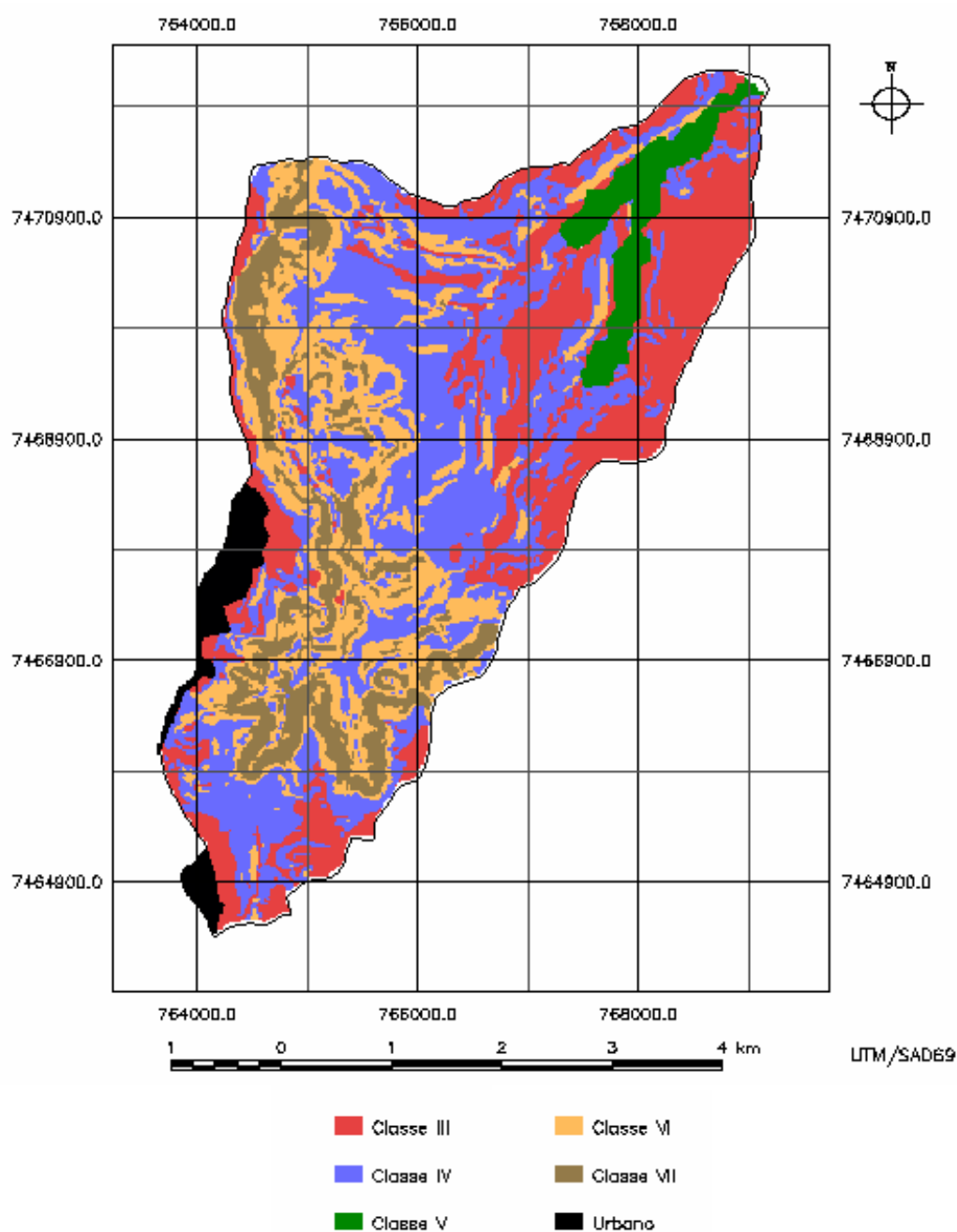


FIGURA 15 – Mapa de classes de capacidade de uso do solo, exceto a mancha urbana, da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

No mapa da Figura 16 pode-se observar que as subclasses de capacidade de uso III com restrição de solo (s) e susceptíveis à erosão (e) são predominantes em relação à subclasse de capacidade de uso III com restrição de solo (s) apenas. A susceptibilidade à erosão (e), neste caso, decorre principalmente das declividades superiores a 6%, as quais ocorrem na Depressão Periférica e no Reverso da Cuesta.

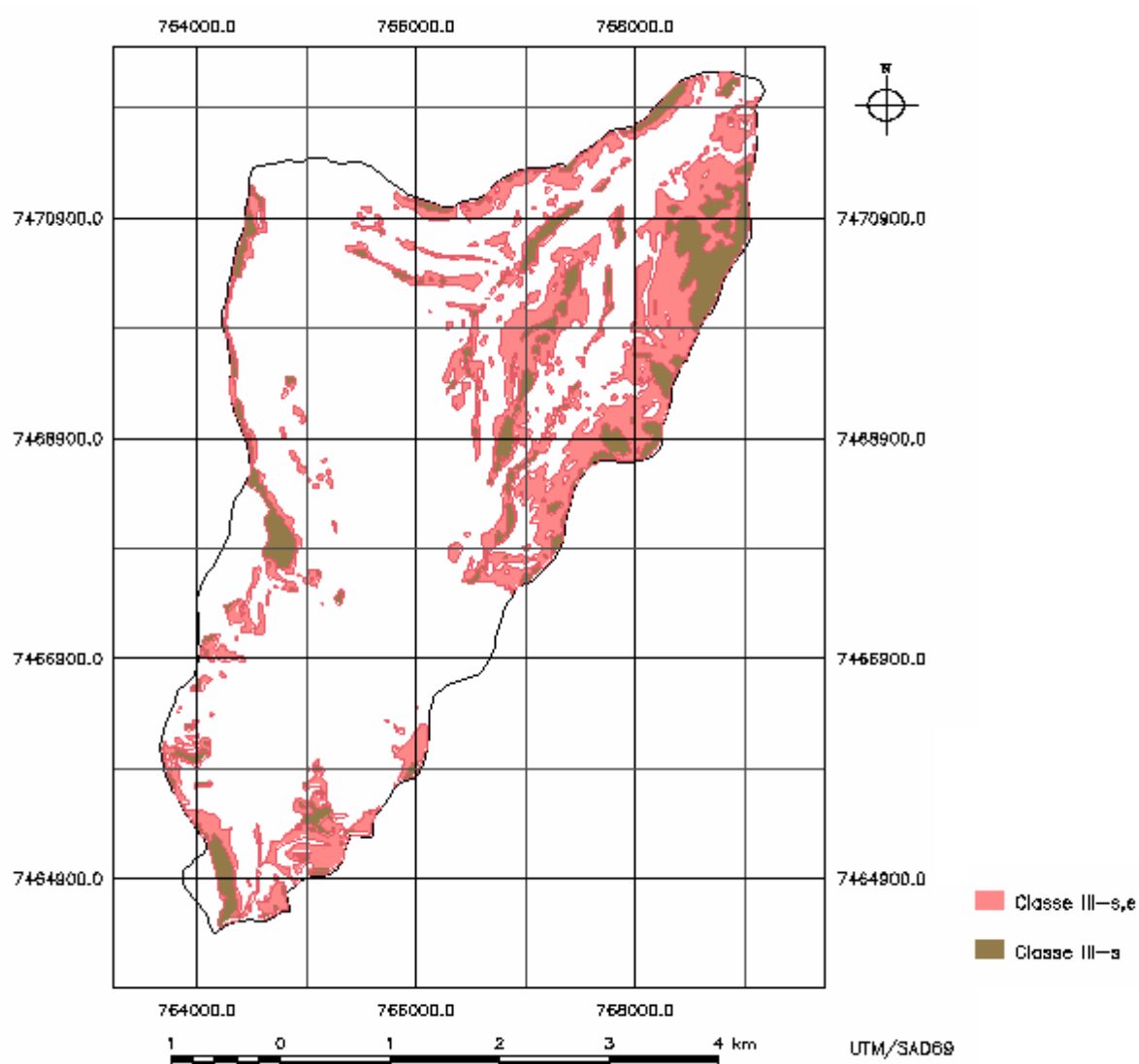


FIGURA 16 – Mapa das subclasses da classe de capacidade III do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

No mapa da Figura 17 observa-se que as subclasses de capacidade de uso IV com restrição de solo (s) decorrem basicamente em função do solo (Neossolo Lítico eutrófico). A subclasse de capacidade de uso IV com restrição de solo e susceptíveis à erosão (s,e), também ocorre sobre o Neossolo Lítico eutrófico, porém, em locais onde o relevo apresenta declividades mais acentuadas (12-20%). A subclasse de capacidade de uso IV restrita à erosão (e) ocorre sobre uma pequena porção do Nitossolo Vermelho distrófico, e boa parte do Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico Órtico típico, sendo que sua restrição à erosão (e) se deve à declividade entre 12-20%, que ocorre tanto na Depressão Periférica quanto no Reverso da Cuesta.

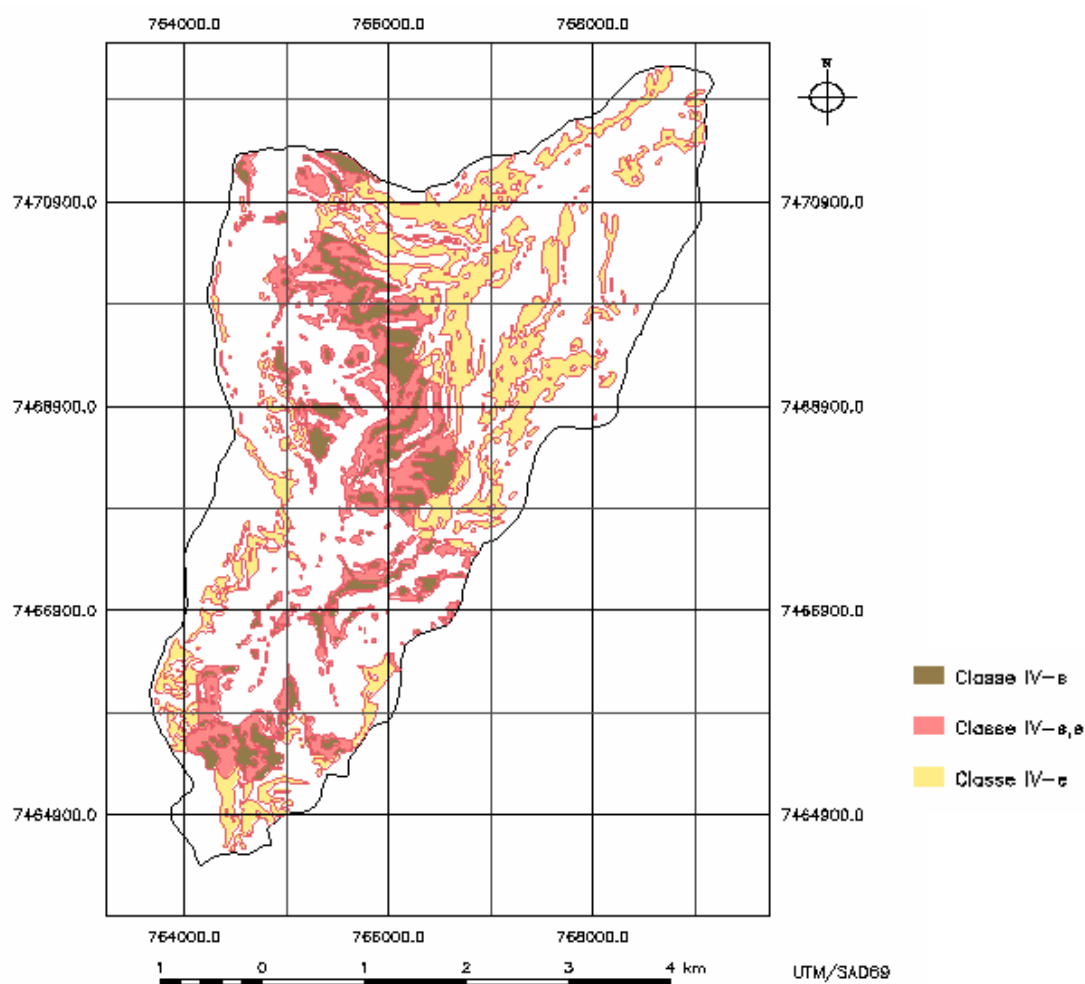


FIGURA 17 – Mapa das subclasses da classe de capacidade IV da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

A subclasse de capacidade de uso V (Figura 18) apresenta somente a restrição em relação à água (a), pois se trata de uma classe restrita à locais com excesso de água. O solo deste local é caracteristicamente um solo encharcado (Gleissolo Háplico Tb distrófico).

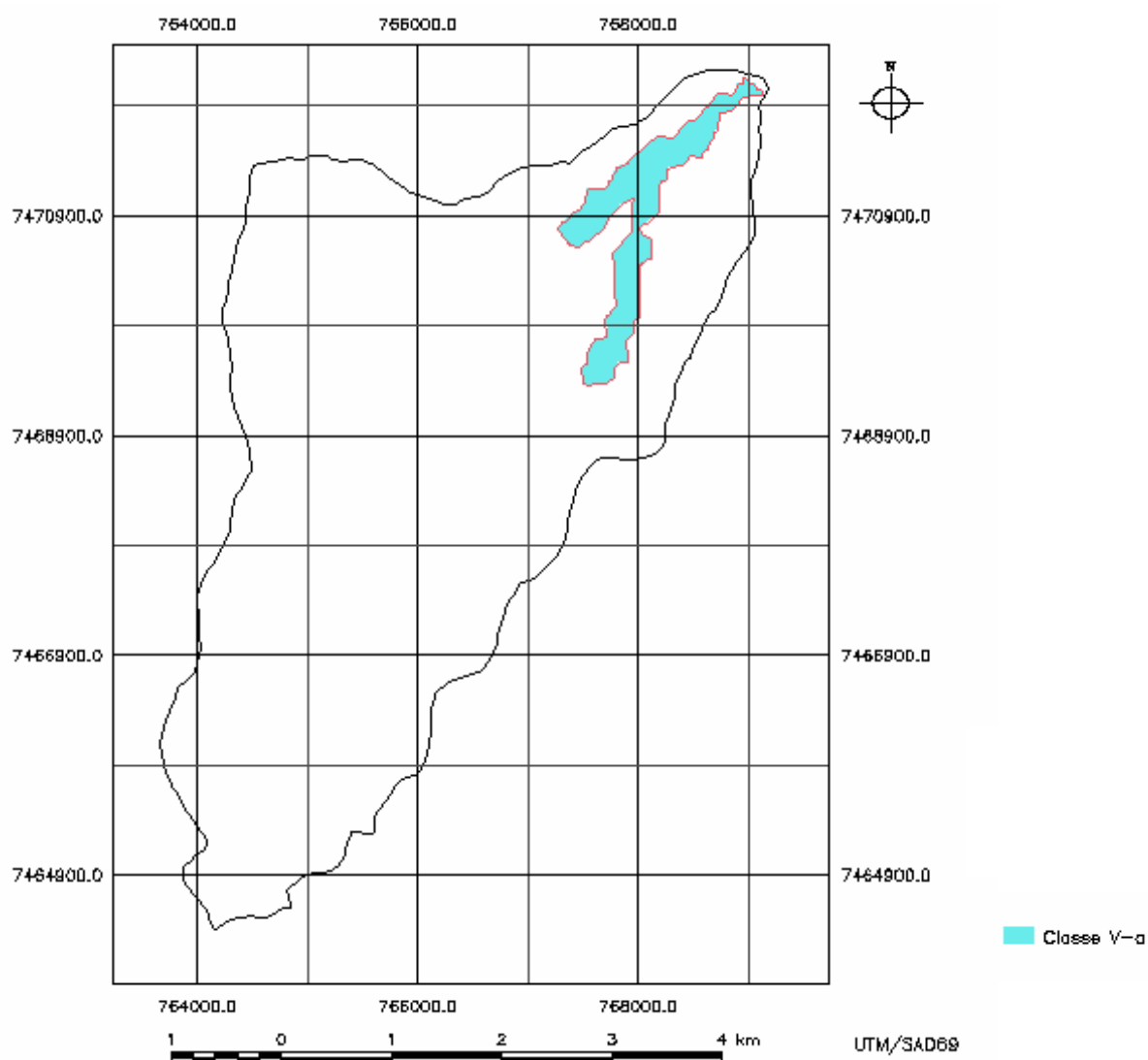


FIGURA 18 – Mapa das subclasses da classe de capacidade V do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

No mapa da Figura 19 ocorre somente a subclasse de capacidade de uso VI com restrição à erosão (e). Isto se deve a ocorrência de declividades acentuadas (20-40%), tratando-se de uma região localizada no Front da Cuesta.

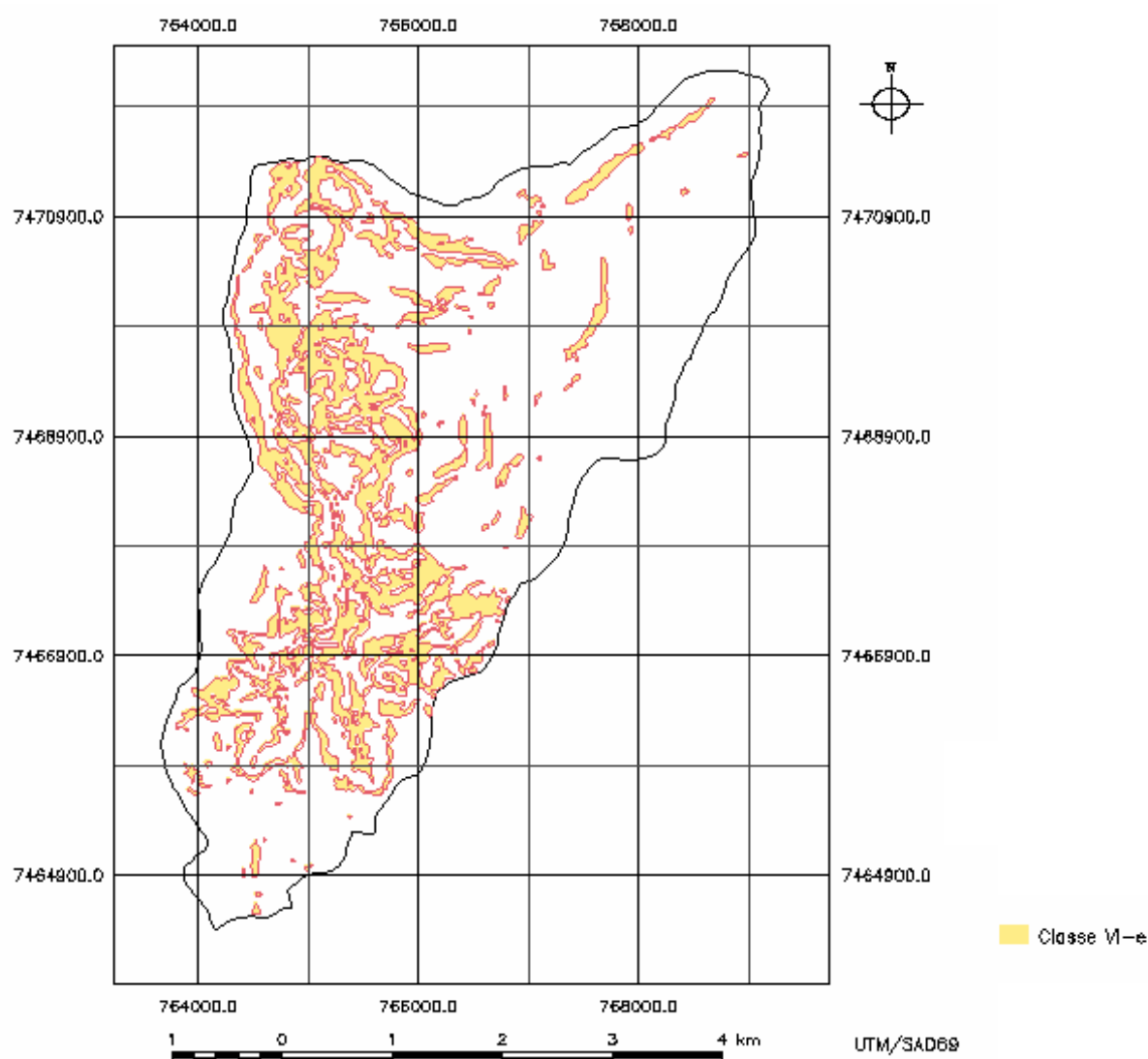


FIGURA 19 – Mapa das subclasses da classe de capacidade VI do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

A subclasse de capacidade de uso VI (Figura 20) ocorre sobre o Neossolo Lítico eutrófico e sua restrição à erosão (e), é, basicamente, função das declividades de 40% ou maiores que ocorrem nesta região de Front da Cuesta.

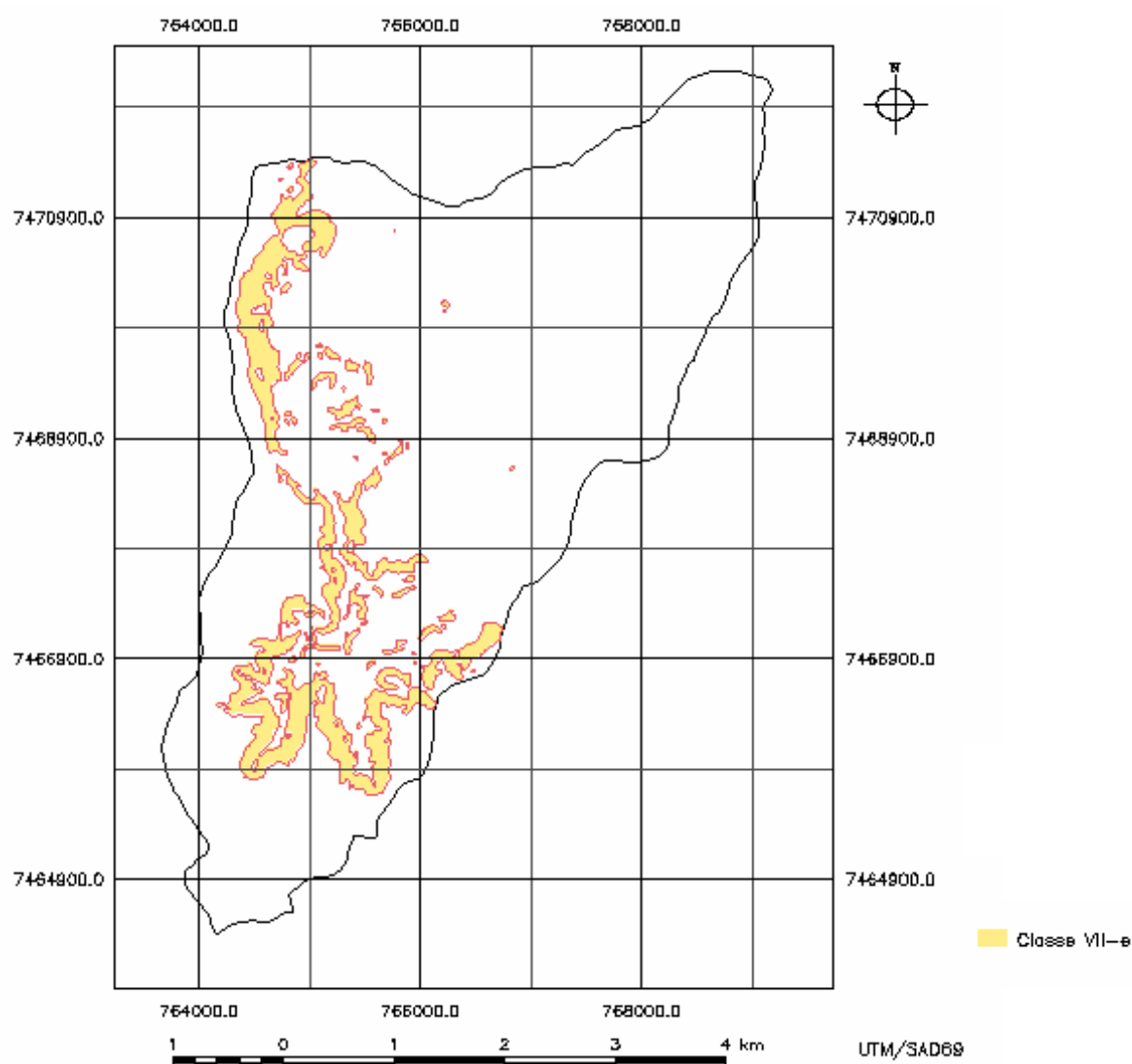


FIGURA 20 – Mapa das subclasses da classe de capacidade VII do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

No Quadro 10 estão resumidos os percentuais de cada classe de capacidade de uso do solo.

Classes de Capacidade	Subclasse	área em km ²	área em ha	% da subclasse por área	% da classe por área (bacia)
Classe III	III - s	1,75	175,28	31,08	26,85
	III - s,e	3,89	388,64	68,92	
Classe IV	IV - s	1,47	147,36	19,57	35,84
	IV - s,e	2,24	224,24	29,78	
	IV - e	3,81	381,28	50,64	
Classe V	V-a	1,01	101,24	100	4,82
Classe VI	VI-e	4,51	450,56	100	21,45
Classe VII	VII-e	2,32	231,92	100	11,04
Total das Classes		21,01	2100,52		100,00
Urbano		0,72	72,08		
Total		21,73	2172,60		

QUADRO 10 – Áreas e percentual de ocorrência das classes de capacidade de uso do solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

4.3 Levantamento das áreas de preservação permanente (APP)

As APP's ocupam cerca de 12,15 % da área da bacia hidrográfica (Quadro 11), sendo que 83,30 % representam as áreas que margeiam os rios (20 metros) e 16,70 % referentes às áreas ao redor das nascentes (Quadro 12).

Na Figura 21 tem-se o mapa das APP's ao longo dos rios e ao redor das nascentes.

Percentual de APP na bacia			
	área em km ²	área em ha	%
Área total de APP	2,67	266,80	12,15
Área total da bacia	21,96	2196,08	100,00

QUADRO 11 – Áreas e percentual das APP's da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu-SP, em relação à área total da bacia hidrográfica.

Áreas de Preservação Permanente (APP)	área em km ²	área em ha	% área
Margens dos rios	2,22	222,24	83,30
Ao redor de nascentes	0,45	44,56	16,70
Total	2,67	266,80	100,00

QUADRO 12 – Áreas e percentual das APP's da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP, discriminando os rios e as nascentes.

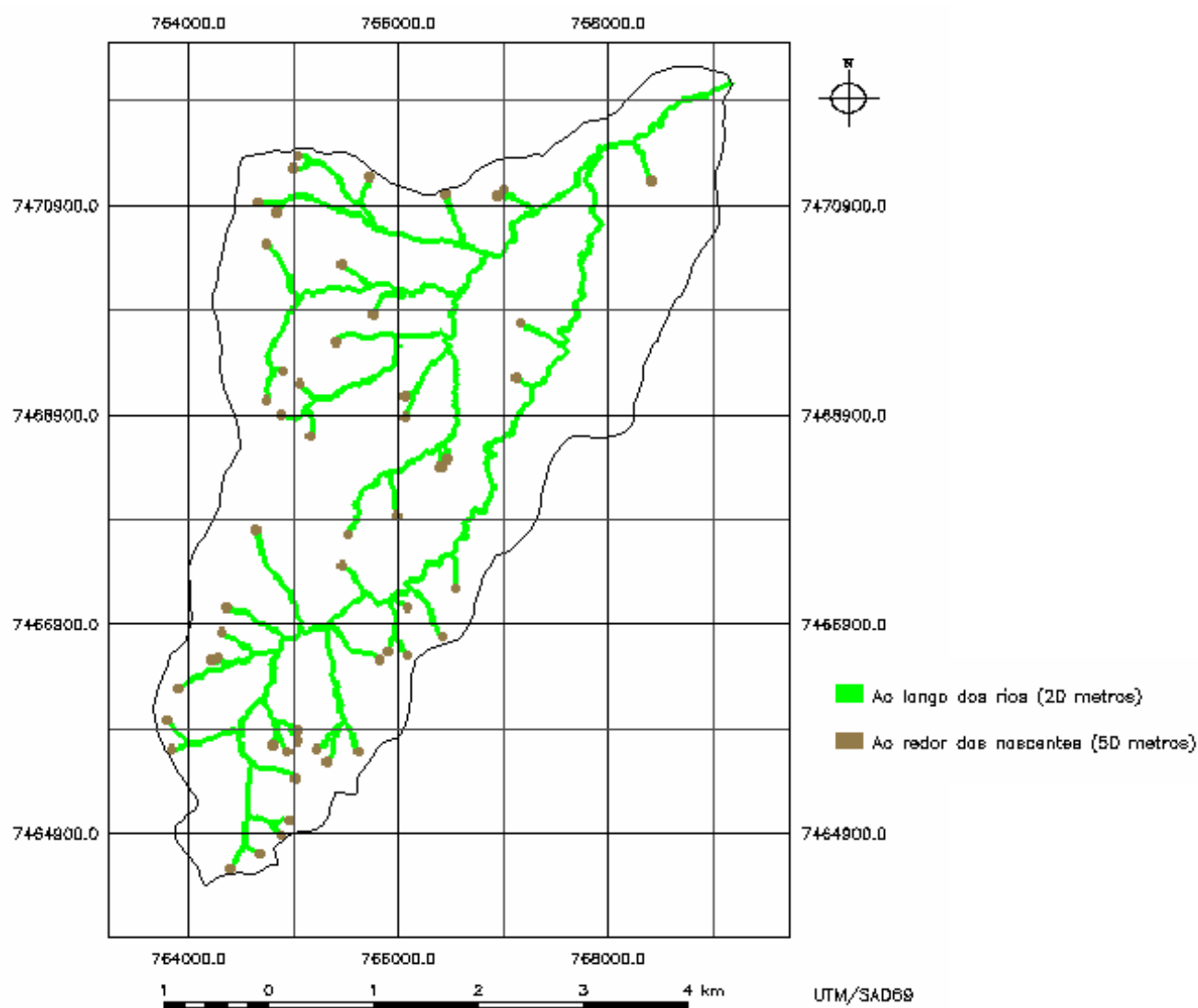


FIGURA 21 – Mapa das áreas de preservação permanente (APP) da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

4.4 Levantamento da ocupação do solo

A ocupação do solo (Figura 22) foi obtida pela análise das imagens de satélite e, através da classificação MAXVER do Spring 4.2, obteve-se um desempenho de 99,63 % (ANEXO 7). Durante o processo foram classificadas as regiões sombreadas as quais representam morros íngremes que foram posteriormente convertidas para áreas de matas.

O resultado da classificação obteve uma predominância de pastos (43,99 %), seguido de capoeiras (32,88 %) e matas (15,48 %) para a sub-bacia estudada, a qual possui um trecho urbano na região mais elevada (3,39 %) e uma área de culturas na depressão periférica (4,25 %) (Quadro 13).

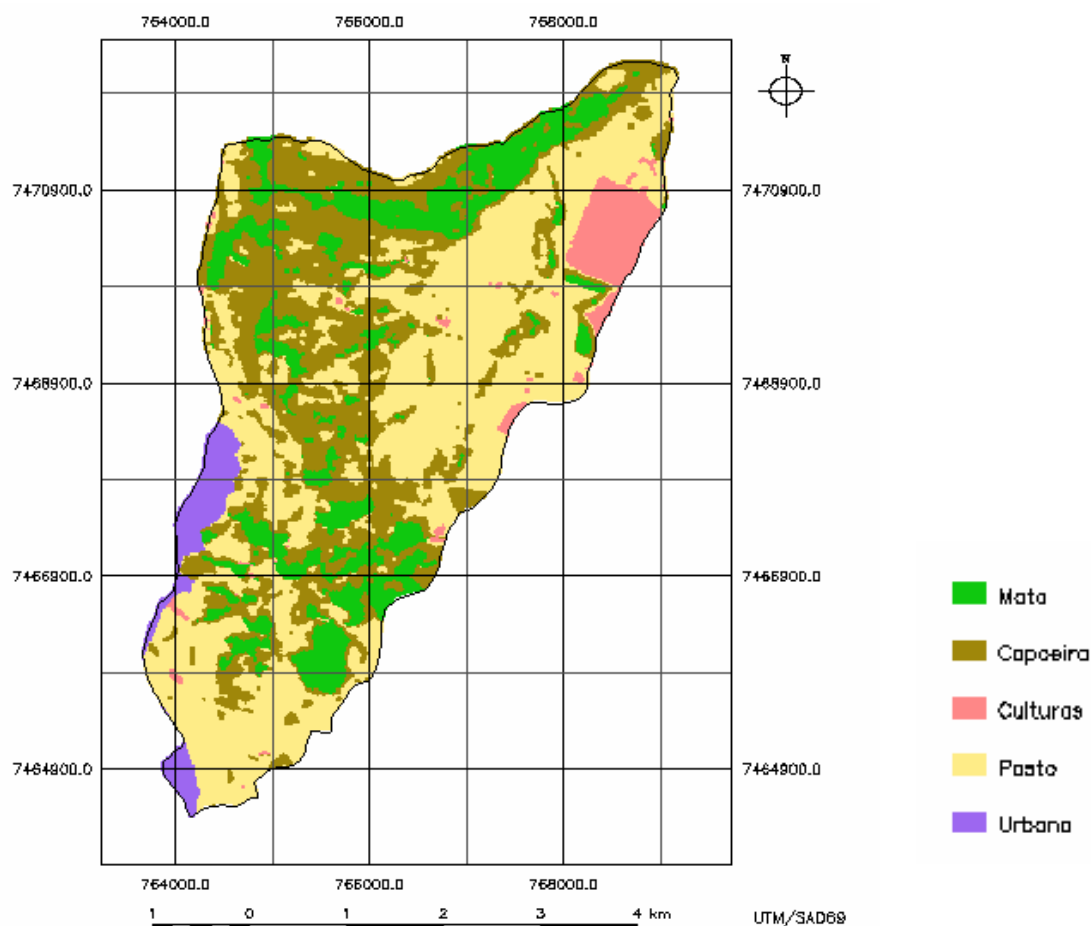


FIGURA 22 – Mapa de ocupação do solo obtido pela classificação MAXVER do Spring 4.2.

Uso do solo	área em km ²	área em ha	% área
Mata	3,43	343,04	15,48
Pasto	9,75	974,88	43,99
Capoeira	7,29	728,68	32,88
Cultura	0,94	94,20	4,25
Urbano	0,75	75,16	3,39
Total	22,16	2215,96	100,00

QUADRO 13 – Percentual da ocupação do solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

4.5 Conflitos detectados

O total de conflitos referentes ao uso do solo em local cuja classe de capacidade é incompatível representou cerca de 3,07 % em relação às áreas adequadas ao uso (Figura 23 e Quadro 14).

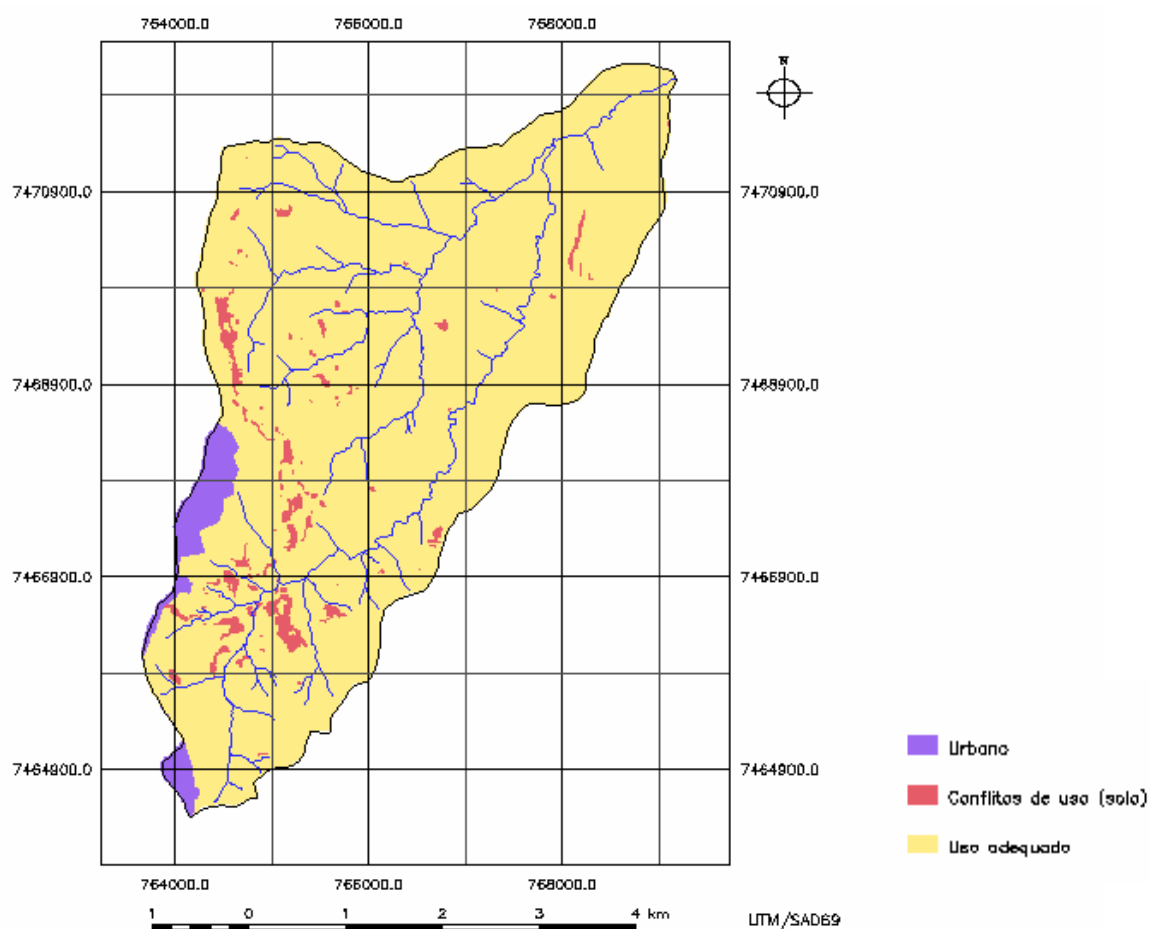


FIGURA 23 – Mapa dos conflitos de solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

Áreas de Conflitos (uso do solo)	área em km ²	área em ha	% área
Uso adequado	20,75	2074,72	96,93
Conflitos de uso (solo)	0,66	65,68	3,07
Total	21,40	2140,40	100,00
Urbana	0,75	75,16	

QUADRO 14 – Percentual dos conflitos de solo da sub-bacia do Ribeirão Descalvado, Botucatu – SP.

Com relação às áreas de preservação permanente, verificou-se que 69,72 % encontram-se em adequação, porém, deste percentual deve-se considerar que 41,38 % das áreas preservadas estão ocupadas por capoeiras e 28,43 % por matas. O uso inadequado está relacionado à ausência de matas e/ou capoeiras nas áreas de preservação permanente, sendo ocupadas basicamente por pastagens em locais indevidos (30,28 %) (Figura 24 e Quadro 15).

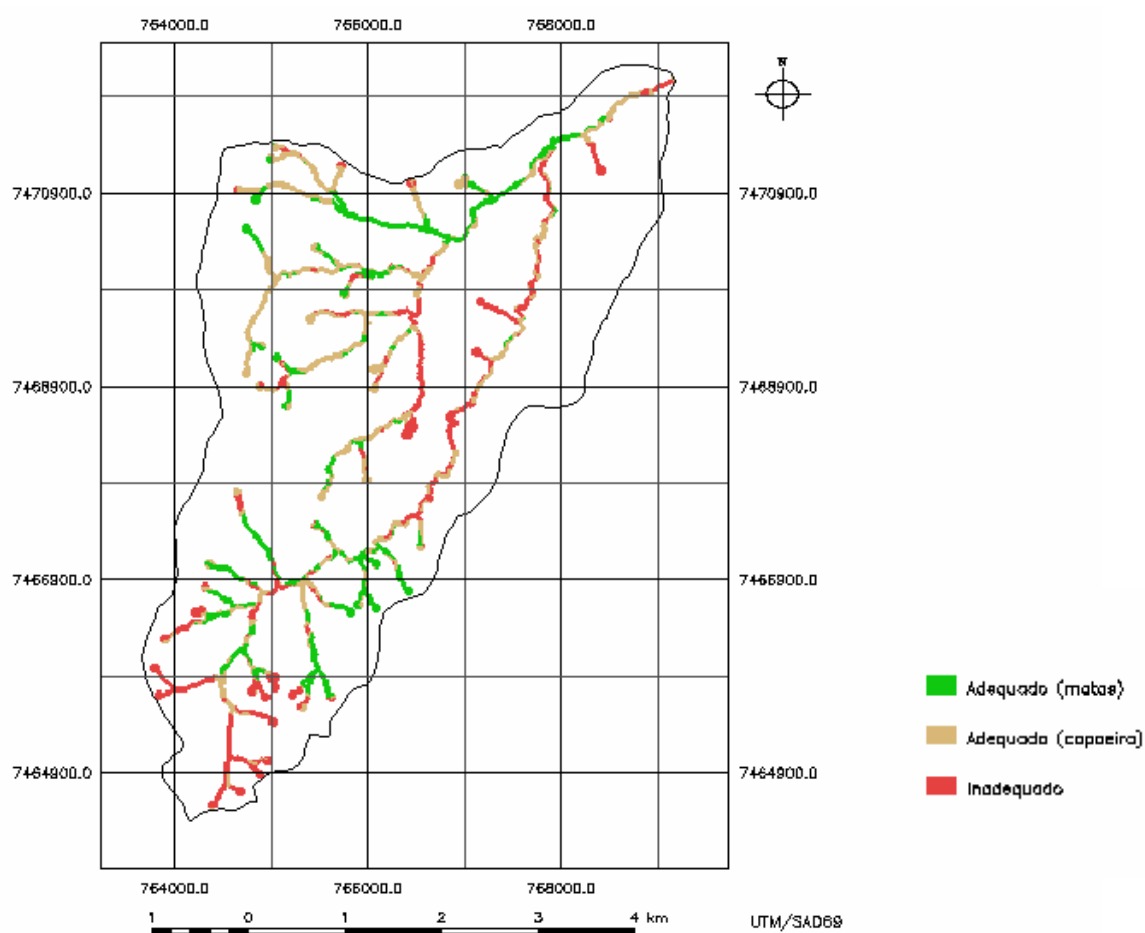


FIGURA 24 – Mapa das áreas de preservação permanente (APP) e seu estado de conservação.

Áreas de Conflitos (APP)	área em km ²	área em ha	% área	Total %
Adequado (Mata)	0,76	75,56	28,34	69,72
Adequado (Capoeira)	1,10	110,32	41,38	
Inadequado	0,81	80,72	30,28	
Total	2,67	266,60	100,00	

QUADRO 15 – Conflitos das áreas de preservação permanente (APP).

Tratando-se de um estudo de conflitos referentes ao uso inadequado das áreas da bacia hidrográfica é imprescindível ter uma noção de todos os conflitos detectados. Assim, efetuou-se a somatória dos conflitos considerando-se as áreas de conflitos de uso de solo e conflitos de áreas de preservação permanente (APP). A Figura 25 espacializa a distribuição das áreas com conflito de uso e o Quadro 16 mostra o percentual de conflitos totais, que passa de 3,07 % para 6,72 % da área total da bacia.

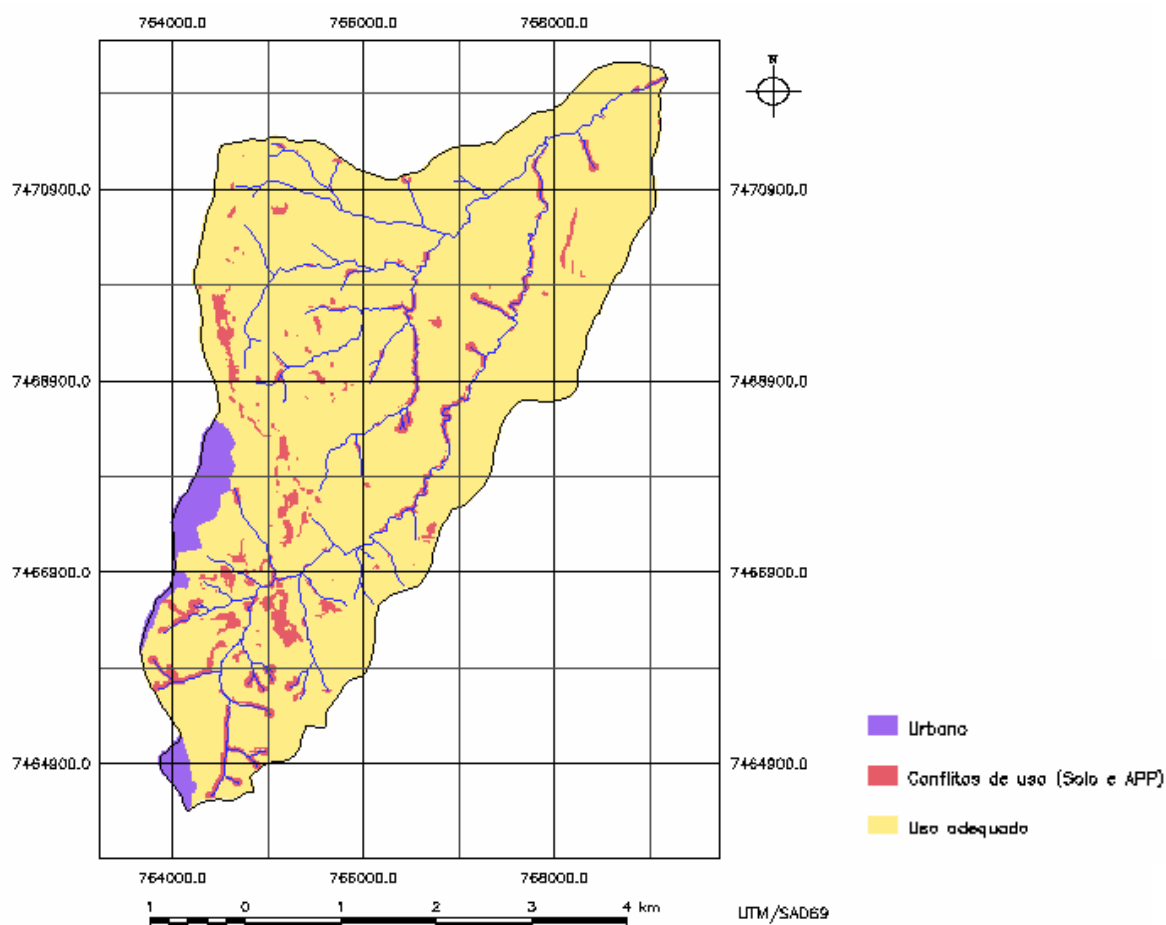


FIGURA 25 – Mapa dos conflitos das áreas de preservação permanente (APP) e dos conflitos do uso dos solos.

Áreas de Conflitos (uso do solo e APP)	área em km ²	área em ha	% área
Uso adequado	19,97	1996,52	93,28
Conflitos de uso (solo e mata)	1,44	143,88	6,72
Total	21,40	2140,40	100,00
Urbana	0,75	75,16	

QUADRO 16 – Conflitos das áreas de preservação permanente (APP) e dos solos.

Na análise dos conflitos é imprescindível discriminá-los de acordo com sua localização e percentual em relação à feição geomorfológica em que se encontra (Quadro 17). Isto permite que sejam identificadas as áreas de maior risco e as prioridades para a tomada de medidas mitigadoras dos processos degradativos. Na Figura 26 estão demonstrados os conflitos de uso de acordo com as feições geomorfológicas.

Nota-se que do total dos conflitos, os localizados no front da Cuesta são bastante pronunciados (Quadro 17), sendo que nesta feição geomorfológica estão localizadas as classes de capacidade de uso VI e VII. Isto se deve basicamente às pastagens localizadas nas descidas das encostas mais íngremes. O Quadro 18 mostra uma relação de conflitos em relação à área total da sub-bacia estudada.

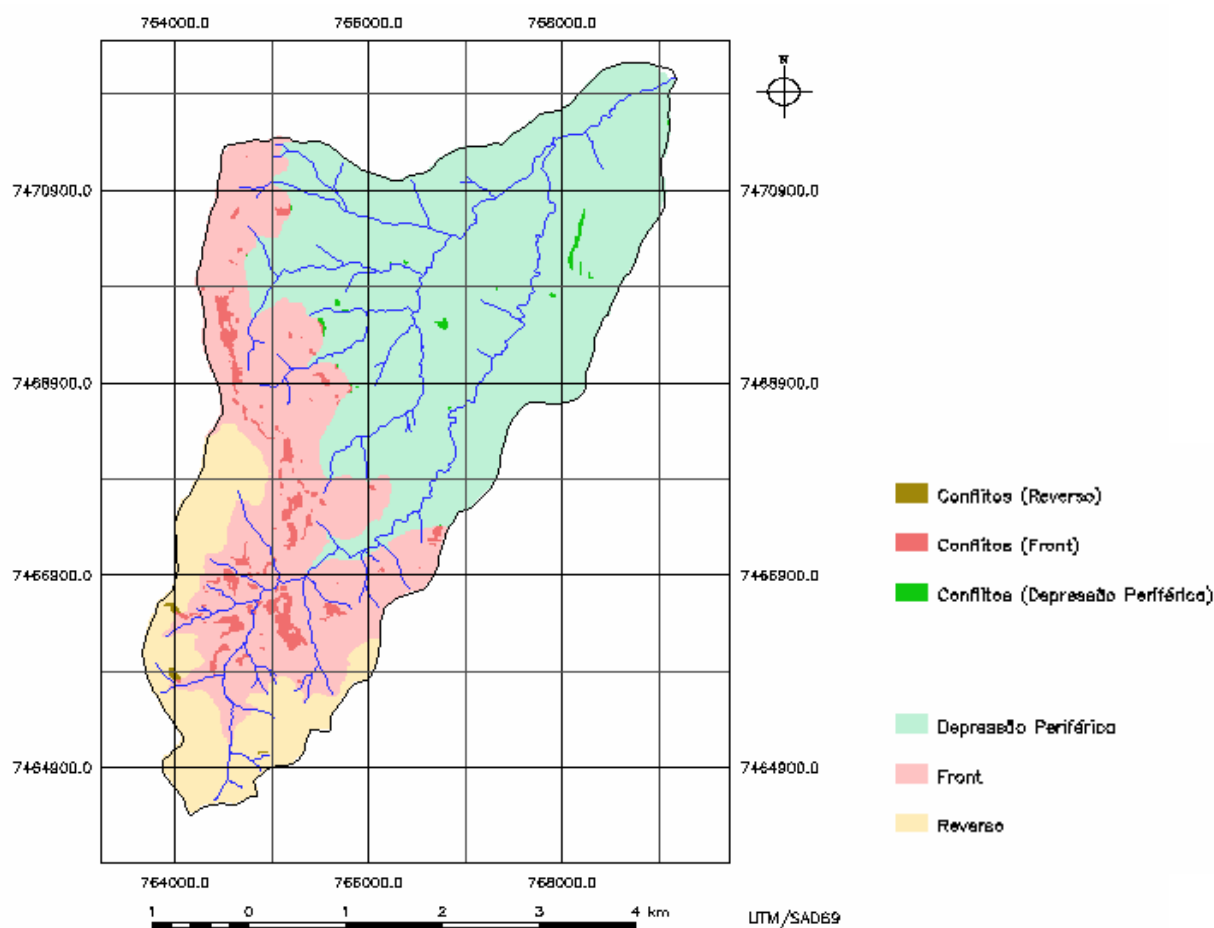


FIGURA 26 – Mapa dos conflitos do uso do solo e sua distribuição de acordo com as feições geomorfológicas.

Áreas de conflitos por feição geomorfológica (uso do solo)	área em km ²	área em ha	% área
Conflitos (Depressão Periférica)	0,06	6,28	9,56
Conflitos (Front)	0,57	57,04	86,85
Conflitos (Reverso)	0,02	2,36	3,59
Total	0,66	65,68	100,00

QUADRO 17 – Percentual dos conflitos do uso do solo de acordo com a feição geomorfológica.

Porcentagem de Conflitos pela área de cada feição geomorfológica (uso do solo)					
Feição Geomorfológica	Bacia hidrográfica		Conflitos		%
	área em km ²	área em ha	área em km ²	área em ha	
Conflitos (Depressão Periférica)	12,11	1211,48	0,06	6,28	0,52
Conflitos (Front)	7,12	712,28	0,57	57,04	8,01
Conflitos (Reverso)	2,85	284,80	0,02	2,36	0,83
Total	22,09	2208,56	0,66	65,68	2,97

QUADRO 18 – Percentual dos conflitos do uso do solo de acordo com a feição geomorfológica considerando a área total da bacia hidrográfica.

Quando as áreas de preservação permanente são computadas, o percentual de conflito de uso aumenta consideravelmente. Os Quadros 19 e 20 mostram os percentuais em relação a feição geomorfológica com APP's e quando é comparado com a bacia toda e a Figura 27 mostra a distribuição dos conflitos. Nota-se que as APP's redistribuem a porcentagem dos conflitos localizados no front da Cuesta.

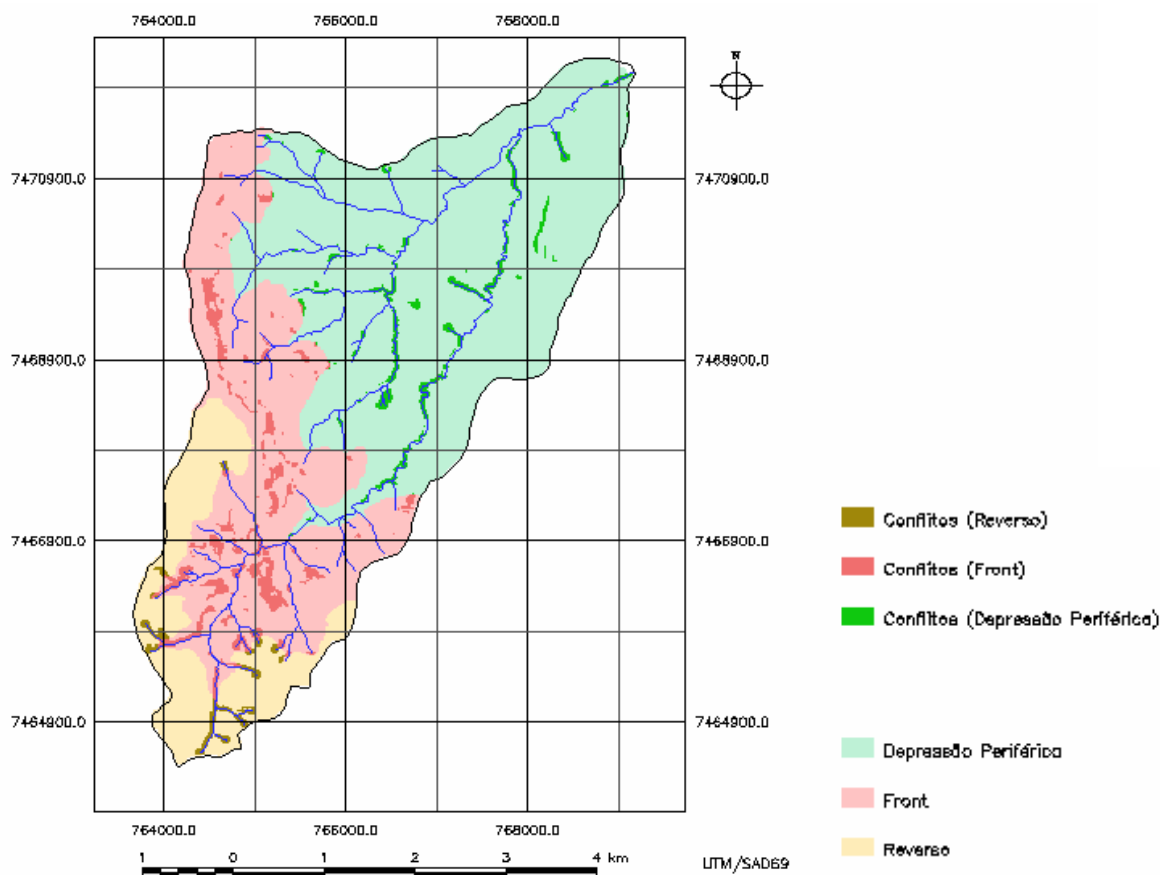


FIGURA 27 - Mapa dos conflitos do uso do solo incluindo as APP's e sua distribuição de acordo com as feições geomorfológicas.

Áreas de conflitos por feição geomorfológica (uso do solo e APP)	área em km ²	área em ha	% área
Conflitos (Depressão Periférica)	0,49	48,72	33,89
Conflitos (Front)	0,77	77,16	53,67
Conflitos (Reverso)	0,18	17,88	12,44
Total	1,44	143,76	100,00

QUADRO 19 - Percentual dos conflitos do uso do solo incluindo as APP's de acordo com a feição geomorfológica.

Porcentagem de Conflitos pela área de cada feição geomorfológica (uso do solo e APP)					
Feição Geomorfológica	Bacia hidrográfica		Conflitos		%
	área em km ²	área em ha	área em km ²	área em ha	
Conflitos (Depressão Periférica)	12,11	1211,48	0,49	48,72	4,02
Conflitos (Front)	7,12	712,28	0,77	77,16	10,83
Conflitos (Reverso)	2,85	284,80	0,18	17,88	6,28
Total	22,09	2208,56	1,44	143,76	6,51

QUADRO 20 – Percentual dos conflitos do uso do solo incluindo as APP's de acordo com a feição geomorfológica considerando a área total da bacia hidrográfica.

A sub-bacia do Ribeirão Descalvado, apresenta-se com baixo índice de degradação considerando-se os resultados das análises. Contudo, quando se analisa as três feições geomorfológicas, nota-se que nas áreas mais planas, por apresentarem uma larga gama de usos, não ocorrem problemas quanto a sua utilização.

Já nas áreas mais íngremes, mais frágeis e propensas a erosão acelerada, o percentual de área com inadequação de uso é considerável. Estas áreas necessitam de maior atenção e cuidados na preservação das matas nativas, visto que, na maior parte das vezes, é o único uso adequado para a área.

Nas áreas da depressão periférica, locais de recarga do Aquífero Guarani, muito embora apresente percentual de adequação alto, aparecem manchas com conflitos de uso, especialmente em relação aos conflitos pela ausência de matas ciliares.

Nas figuras 28 e 29, observam-se áreas com conflitos de uso, principalmente quanto à conservação do solo e ausência de matas ciliares na cabeceira do Rio Bocaina, afluente da margem direita do Ribeirão Descalvado. A região é coberta por pastagens e criações de bovinos.



FIGURA 28 – Vista do Rio Bocaina (Topo da Cuesta).



FIGURA 29 – Nascente do Rio Bocaina (Topo da Cuesta)

Na Depressão Periférica, o Rio Bocaina encontra-se bastante raso e com desbarrancamentos laterais, mostrando instabilidade do terreno devido à ausência de matas ciliares. Na Figura 30, observam-se grande quantidade de materiais arrastados pelas águas para dentro do córrego d'água.



FIGURA 30 – Rio Bocaina (ao fundo, o Morro do Perú)

Além das pastagens, as áreas próximas às cabeceiras do Rio Bocaina são utilizadas como depósito de refugos e lixo urbano, fato este, relacionado à proximidade

dos centros urbanos e de moradias populares. As Figuras 31 e 32 ilustram o aspecto destes depósitos.



FIGURA 31 – Uma outra nascente do Rio Bocaina, com a vista da cidade de Botucatu-SP ao fundo e as interferências humanas (desmatamento e lixo).



FIGURA 32 – Rio Bocaina (por onde passa o fio de alta tensão)

A Figura 33 mostra o curso d'água do Ribeirão Descalvado em sua porção média em relação à sua foz. Nota-se degradação das matas ciliares e leito raso, com presença de areias.



FIGURA 33 – Ribeirão Descalvado (passagem da ponte)

5 CONCLUSÕES

O geoprocessamento mostrou-se uma ferramenta de grande utilidade para o diagnóstico da sub-bacia do Ribeirão Descalvado.

O SIG-Spring apresentou-se adequado para a realização do estudo dispondo de todas as ferramentas necessárias para as análises propostas e, contando com a vantagem de estar disponível gratuitamente.

As imagens de satélite CBERS-2 mostraram-se adequadas para a avaliação da ocupação do solo, tendo como vantagem a fácil disponibilidade.

O estudo da capacidade de uso do solo da sub-bacia é de grande utilidade, pois trabalhando com escalas menores e com detalhamento altimétrico maior, os resultados passam a ter uma representatividade prática maior para a gestão.

A subbacia do Ribeirão Descalvado apresentou as seguintes classes de capacidade de uso do solo e sub-classes: Classe III-s, Classe III-s,e, Classe IV-s,e, Classe IV-s, Classe IV-e, Classe V-a, Classe VI-e e Classe VII-e, havendo predomínio da classe IV, com 35,84%, seguida da classe III, com 26,85% e da classe VI, com 21,35%.

A sub-bacia do Ribeirão Descalvado apresenta 43,99% de sua área ocupada por pastagens. A capoeira consiste na segunda maior área ocupada, com 32,88%, e as

matas constituem 15,48%. As matas ocorrem em locais com declividade acima de 20%, e predominantemente em locais com declividade de 40% ou mais.

Dentre os conflitos de solo, concluiu-se que somente 3,07% da área da sub-bacia encontra-se deteriorada. O front da Cuesta é a área que apresenta os conflitos mais problemáticos sob o ponto de vista de conservação do solo, representando 86,85% do total de conflitos de uso constatados, decorridos principalmente pela presença de pastagens nestas áreas, as quais são incompatíveis com sua capacidade de uso.

Nos estudos dos conflitos, concluiu-se que, as APP's representam 12,15% da área total da sub-bacia, sendo que desta área, 30,28% encontram-se em situação inadequada de conservação. O Front da Cuesta apresenta o maior percentual de conflitos, com 53,67% do total de conflitos em APP's. Assim, seja pelo mau uso do solo ou pela degradação das áreas de preservação permanente (APP), em se tratando de bacias hidrográficas localizadas nas áreas de Cuesta, merece um detalhamento referente à feição geomorfológica, pois esta estabelece parâmetros que permitem a priorização dos conflitos a serem mitigados.

Sob ponto de vista de conservação dos recursos hídricos, a degradação das matas ciliares, principalmente ao redor das nascentes localizadas na área de Reverso da Cuesta em virtude das pastagens merece atenção especial, pois, encontram-se próximas às áreas urbanas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; MEIRELLES, M. L.; MOREIRA, L. Estruturação de dados geoambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Planaltina: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa, 1998. Cap. 7, p. 119-137.

ASSIS, J. C. **Recursos hídricos: gestão participativa e descentralizada**. In: **SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**, 1997, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: CREA-RJ, 1997. p. 4-7.

BECKER, A.; BRAUN, P. **Disaggregation, aggregation and spatial scaling in hydrological modelling**. J. Hidrol., v. 217, 1999. p. 239-52.

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

BUCENE, L. C. **Sistema de informação geográfica na classificação de terras para irrigação, em Pardinho-SP**, Botucatu, 2002, 177 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. **Introdução à ciência da geoinformação**, (ed.) São José dos Campos, INPE, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html>>. Acesso em: 25 mai. 2006, 8:05.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos de geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Planaltina: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa, 1998. Cap. 1, p. 3-11.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento para projetos ambientais. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. **Introdução à ciência da geoinformação**, (ed.) São José dos Campos, INPE, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html>>. Acesso em: 25 mai. 2006, 8:05.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciências da geoinformação. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS, J. S. **Introdução à ciência da geoinformação**, (ed.) São José dos Campos, INPE, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html>>. Acesso em: 25 mai. 2006, 8:05.

CAMPOS, S. **Fotointerpretação da ocupação do solo e suas influências sobre a rede de drenagem da bacia do rio Capivara (SP), no período de 1962 – 1977**. 1993. 164 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 1993.

CAMPOS, S. P. **Planejamento agroambiental de uma microbacia hidrográfica utilizando um sistema de informações geográficas**. 137 f. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2001.

CAMPOS, S.; SILVA, M.; PIROLI, E. L.; CARDOSO, L. G.; BARROS, Z. X. **Evolução do uso da terra entre 1996 e 1999 no município de Botucatu-SP**, Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 24, n. 1, p.211-218, jan/abr., 2004. (PDF)

CARAMASCHI, E. P. **Distribuição de ictiofauna de riachos das bacias do Tietê e do Paranapanema, junto aos divisores de águas (Botucatu,SP)**, 245 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, 1986.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental **Relatório de qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo, 1997**, São Paulo: CETESB, 1998b. 106p (Série Relatórios).

CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S.; REIS, R. B. **Ortorretificação de imagens CBERS2 usando DEM do SRTM – área de aplicação: Angra dos Reis-RJ**, Anais XII, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril de 2005, INPE, p. 899-906. PDF

DAINESE, R. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. Botucatu, 2001. 186 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

DEFFUNE, G. **A avaliação dos recursos hídricos na geografia**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1994. 41 p.

DEGANUTTI, R. **Inventário da cobertura vegetal das fazendas Lageado e Edgardia – Botucatu, SP – no período de 36 anos, com utilização de imagens aéreas**. Botucatu: 2000. 170 f.. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

DGI-INPE **Divisão de geração de imagens do instituto nacional de pesquisas espaciais**, Site: Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/>> Acesso <em: 25 mai. 2006, 8:05.

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

ENGEA. **Projeto: levantamento e análise dos quadros ambientais e proposições físico territoriais de zoneamento ambiental para APA Corumbataí – Botucatu – Tejupá, perímetro Botucatu**. Departamento de Estudos Patrimoniais, Ambientais e Técnicos – DEPAT, v. 2, 1990.

GARCIA, G. J. **Sensoriamento remoto**. Princípios e interpretação de imagens. São Paulo: Nobel, 1982.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo, 2 vol., 1981.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (São Paulo). Carta topográfica. São Paulo. Escala 1:10.000.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Introdução ao spring**: teórica. INPE, 2002.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI Jr.; R., BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

MARTINS, D. **Clima da região de Botucatu**. In: Encontro de estudos sobre a agropecuária na região de Botucatu, 1, 1989, Botucatu. Anais. Botucatu, UNESP, 1989, p. 8-19.

MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento remoto**: reflectância de alvos natuarais. Brasília-DF: Editora Universidade de Brasília – UNB, Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

METZGER, J. P. O que é ecologia da paisagem? **Biota Neotrópica**, Campinas, SP, v. 1, n. 1-2, dez. 2001. Disponível em; <<http://www.biotaneotropica.org.br/>>

MONICO, J. F. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS**. Descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

MONTEIRO, R. C. **Estimativa do espaço temporal da superfície potenciométrica do sistema aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto (SP)**, Brasil. 2003. 212 f. Tese (Doutorado em Geociências / Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

MOREIRA, M. A.; CARDOSO, J.; FREITAS, R. M. de; RUDORFF, B. F. T. Comparação da resposta espectral de alvos em imagens CBERS-2/CCD e LANDSAT-5TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia, GO. *Anais ...Goiânia*. INPE, 2005. p. 1027-1034.

NEVES, M C.; SPADOTTO, C. A.; LUIZ, A. J. B.; QUIRINO, T. R. Caracterização espaço-temporal do uso de agrotóxicos para o Estado de São Paulo. In: ASSAD, E. D., SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Planaltina: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa, 1998. Cap. 12, p.233-240.

NEVES, M C.; GOMES, M. A.; LUIZ, A. J. B.; SPADOTTO, C. A. SIG na avaliação do impacto ambiental por agroquímicos. In: ASSAD, E. D.,; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2ª ed. Planaltina: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa, 1998. Cap. 13, p. 240-250.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto**. Princípios e aplicações. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 1992. 2ª ed., 3ª reimpressão.

OSEKI, J. H.; PELLEGRINO, P. R. M. Paisagem, sociedade e ambiente. In: PHILIPPI JR., A.; ROMÉRIO, M. N.; BRUNA, G. C. (Ed.) **Curso de gestão ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004. p. 485-523.

PERES, R. M. de P. **Sistema de Informação Geográfica – SIG**. Botucatu: 2002. Relatório (Estágio curricular/título de Engenheiro Agrônomo) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra no município de Botucatu – SP**. Botucatu: 2002. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

PRIMACK, R. B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Vida, 2002. 327 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As matas de galeria no contexto do bioma cerrado. In: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L.; SOUSA-SILVA, J. C. **Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria**. Planaltina: Embrapa, 2001. Cap. 1, p. 28-47.

SANO, E. E.; ASSAD, e. D.; ORIOLI, A. L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ED. Planaltina: Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa, 1998. Cap.10, p. 179-190.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In: TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Editora da Universidade do Rio Grande do Sul e Editora da Universidade de São Paulo, 1993. p. 35-51.

SILVEIRA, V. F. Geoprocessamento como instrumento de gestão ambiental. In: PHILIPPI JR.; ROMÉRIO, M.A.; BRUNA, G.C. **Curso de gestão ambiental.** Barueri, SP: Nanole, 2004. p. 945-958.

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

UIEDA, V. S.; MOTA, R. I. Peixes dos riachos da cuesta de Botucatu. In: UIEDA, W.; PALEARI, M. L. (Org) **Flora e fauna:** um dossiê ambiental. São Paulo: Editora UNESP, 2003. p. 37-47.

XAVIER, A. C.; FREITAS, R. M. de; ALVARENGA, B. S.; MOREIRA, M. A. Análise de padrões de comportamento espectral de diferentes usos do solo com base em dados de câmara CCD do CBERS-2. Goiânia: 2005. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. *Anais ...*Goiânia: INPE, 2005. p. 337-344.

ZIMBACK, C. R. L. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Pardo nos Municípios de Pardinho e Botucatu.** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 1997. 55 p.

ANEXOS

- ANEXO 1 - LEGAL: Classes de capacidade de uso do solo -

```
// Programa para determinar a capacidade de uso dos solos, utilizando método booleano
// Dados os mapas de solos e declividade.

{
// Declaracao das variaveis temáticas
Tematico solo ("Solos_new"), decl ("Declividade"), capacidade ("Capacidade_Classes");

// Instanciacao das variáveis temáticas
solo = Recuperar(Nome="Solos_urb");
decl = Recuperar(Nome="Declividade_porcent");
capacidade = Novo(Nome="Classe_IV",ResX=20,ResY=20,Escala=25000);

// Classes de solos : LVd RQotip LVAd1 NVdf GXbd RLe
// Classes de declividade : 0 a 3 3 a 6 6 a 12 12 a 20 20 a 40 40 e maior

capacidade = Atribua(CategoriaFim="Capacidade_Classes")
{
//Onde se localiza a área urbana, não haverá classificação

//"Urbano": (solo.Classe=="Urbano"),

//Para LVd - Latossolo Vermelho distrófico - SOLO 1
"Classe III": (decl.Classe=="0 a 3") &&
(solo.Classe=="LVd"),
"Classe III": (decl.Classe=="3 a 6") &&
(solo.Classe=="LVd"),
"Classe III": (decl.Classe=="6 a 12") &&
(solo.Classe=="LVd"),
"Classe IV": (decl.Classe=="12 a 20") &&
(solo.Classe=="LVd"),
"Classe VI": (decl.Classe=="20 a 40") &&
(solo.Classe=="LVd"),
"Classe VII": (decl.Classe=="40 e maior") &&
(solo.Classe=="LVd"),

//Para RQotip - Neossolo Quartzarênico órtico típico - SOLO 2
"Classe III": (decl.Classe=="0 a 3") &&
(solo.Classe=="RQotip"),
"Classe III": (decl.Classe=="3 a 6") &&
(solo.Classe=="RQotip"),
"Classe III": (decl.Classe=="6 a 12") &&
(solo.Classe=="RQotip"),
"Classe IV": (decl.Classe=="12 a 20") &&
(solo.Classe=="RQotip"),
"Classe VI": (decl.Classe=="20 a 40") &&
(solo.Classe=="RQotip"),
"Classe VII": (decl.Classe=="40 e maior") &&
(solo.Classe=="RQotip"),

//Para LVAd1 - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura média - SOLO 3
"Classe III": (decl.Classe=="0 a 3") &&
(solo.Classe=="LVAd1"),
//"Classe III": (decl.Classe=="3 a 6") &&
// (solo.Classe=="LVAd1"),
//"Classe III": (decl.Classe=="6 a 12") &&
// (solo.Classe=="LVAd1"),
"Classe IV": (decl.Classe=="12 a 20") &&
(solo.Classe=="LVAd1"),
//"Classe VI": (decl.Classe=="20 a 40") &&
// (solo.Classe=="LVAd1"),
//"Classe VII": (decl.Classe=="40 e maior") &&
// (solo.Classe=="LVAd1"),
```

continuação do programa LEGAL

```
//Para NVdf - Nitossolo Vermelho distroférrico - SOLO 4
```

```
"Classe III": (decl.Classe=="0 a 3") &&
              (solo.Classe=="NVdf"),
"Classe III": (decl.Classe=="3 a 6") &&
              (solo.Classe=="NVdf"),
"Classe III": (decl.Classe=="6 a 12") &&
              (solo.Classe=="NVdf"),
"Classe IV": (decl.Classe=="12 a 20") &&
             (solo.Classe=="NVdf"),
"Classe VI": (decl.Classe=="20 a 40") &&
             (solo.Classe=="NVdf"),
"Classe VII": (decl.Classe=="40 e maior") &&
              (solo.Classe=="NVdf"),
```

```
Para GXbd - Gleissolo Háptico Tb distrófico - SOLO 5
```

```
"Classe V": (decl.Classe=="0 a 3") &&
            (solo.Classe=="GXbd"),
"Classe V": (decl.Classe=="3 a 6") &&
            (solo.Classe=="GXbd"),
"Classe V": (decl.Classe=="6 a 12") &&
            (solo.Classe=="GXbd"),
"Classe V": (decl.Classe=="12 a 20") &&
            (solo.Classe=="GXbd"),
"Classe V": (decl.Classe=="20 a 40") &&
            (solo.Classe=="GXbd"),
```

```
//Para RLe - Neossolo Lítico eutrófico - SOLO 6
```

```
"Classe IV": (decl.Classe=="0 a 3") &&
            (solo.Classe=="RLe"),
"Classe IV": (decl.Classe=="3 a 6") &&
            (solo.Classe=="RLe"),
"Classe IV": (decl.Classe=="6 a 12") &&
            (solo.Classe=="RLe"),
"Classe IV": (decl.Classe=="12 a 20") &&
            (solo.Classe=="RLe"),
"Classe VI": (decl.Classe=="20 a 40") &&
            (solo.Classe=="RLe"),
"Classe VII": (decl.Classe=="40 e maior") &&
              (solo.Classe=="RLe")
```

```
};
}
```

- ANEXO 2 - LEGAL: Subclasse das Classes de capacidade de uso do solo III -

```
// Programa para determinar a capacidade de uso dos solos, utilizando método booleano
// Dados os mapas de solos e declividade.

// Geração das Sub-classes da Classe III - separadamente -

//{
// Declaracao das variáveis temáticas
Tematico solo ("Solos_new"), decl ("Declividade"), capacidade ("Capacidade_Classe-III");

// Instanciacao das variáveis temáticas
solo = Recuperar(Nome="Solos_urb");
decl = Recuperar(Nome="Declividade_porcent");
capacidade = Novo(Nome="Sub-classes",ResX=20,ResY=20,Escala=25000);

//Obs: A categoria Solos_urb é a categoria de solos contendo a classe urbana poligonal

// Classes de solos : LVd RQotip LVAd1 NVdf GXbd RLe
// Classes de declividade : 0 a 3 3 a 6 6 a 12 12 a 20 20 a 40 40 e maior

capacidade = Atribua(CategoriaFim="Capacidade_Classe-III")
{
    //Onde se localiza a área urbana, não haverá classificação

//"Urbano": (solo.Classe=="Urbano"),

//Para LVd - Latossolo Vermelho distrófico - SOLO 1
"s": (decl.Classe=="0 a 3") &&
    (solo.Classe=="LVd"),
"s": (decl.Classe=="3 a 6") &&
    (solo.Classe=="LVd"),
"s,e": (decl.Classe=="6 a 12") &&
    (solo.Classe=="LVd"),

//Para RQotip - Neossolo Quartzarênico órtico típico - SOLO 2
"s": (decl.Classe=="0 a 3") &&
    (solo.Classe=="RQotip"),
"s": (decl.Classe=="3 a 6") &&
    (solo.Classe=="RQotip"),
"s,e": (decl.Classe=="6 a 12") &&
    (solo.Classe=="RQotip"),

//Para LVAd1 - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura média - SOLO 3
"s": (decl.Classe=="0 a 3") &&
    (solo.Classe=="LVAd1"),
"s": (decl.Classe=="3 a 6") &&
    (solo.Classe=="LVAd1"),
"s,e": (decl.Classe=="6 a 12") &&
    (solo.Classe=="LVAd1"),

//Para NVdf - Nitossolo Vermelho distroférico - SOLO 4
"s": (decl.Classe=="0 a 3") &&
    (solo.Classe=="NVdf"),
"s": (decl.Classe=="3 a 6") &&
    (solo.Classe=="NVdf"),
"s,e": (decl.Classe=="6 a 12") &&
    (solo.Classe=="NVdf")

};
}
```

- ANEXO 3 - LEGAL: Subclasse das Classes de capacidade de uso do solo IV -

```
// Programa para determinar a capacidade de uso dos solos, utilizando método booleano
// Dados os mapas de solos e declividade.

// Geração das Sub-classes da Classe IV - separadamente -

{
// Declaracao das variaveis temáticas
Tematico solo ("Solos_new"), decl ("Declividade"), capacidade ("Capacidade_Classe-IV");

// Instanciacoess das variáveis temáticas
solo = Recupere(Nome="Solos_urb");
decl = Recupere(Nome="Declividade_porcent");
capacidade = Novo(Nome="Sub-classes",ResX=20,ResY=20,Escala=25000);

//Obs: A categoria Solos_urb é a categoria de solos contendo a classe urbana poligonal

// Classes de solos : LVd RQotip LVAd1 NVdf GXbd RLe
// Classes de declividade : 0 a 3 3 a 6 6 a 12 12 a 20 20 a 40 40 e maior

capacidade = Atribua(CategoriaFim="Capacidade_Classe-IV")
{
//Onde se localiza a área urbana, não haverá classificação

//"Urbano": (solo.Classe=="Urbano"),

//Para LVd - Latossolo Vermelho distrófico - SOLO 1
"e": (decl.Classe=="12 a 20") &&
(solo.Classe=="LVd"),

//Para RQotip - Neossolo Quartzarênico órtico típico - SOLO 2
"e": (decl.Classe=="12 a 20") &&
(solo.Classe=="RQotip"),

//Para LVAd1 - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura média - SOLO 3
"e": (decl.Classe=="12 a 20") &&
(solo.Classe=="LVAd1"),

//Para NVdf - Nitossolo Vermelho distroférico - SOLO 4
"e": (decl.Classe=="12 a 20") &&
(solo.Classe=="NVdf"),

//Para GXbd - Gleissolo Háplico Tb distrófico - SOLO 5

//Neste solo não há sub-classes para classe IV

//Para RLe - Neossolo Lítico eutrófico - SOLO 6
"s": (decl.Classe=="0 a 3") &&
(solo.Classe=="RLe"),
"s": (decl.Classe=="3 a 6") &&
(solo.Classe=="RLe"),
"s": (decl.Classe=="6 a 12") &&
(solo.Classe=="RLe"),
"s,e": (decl.Classe=="12 a 20") &&
(solo.Classe=="RLe")

};
}
```

- ANEXO 4 - LEGAL: Conflitos de Uso do Solo -

```
// Programa para determinar o conflito de uso dos solos, utilizando método booleano
// Dados os mapas de capacidade e uso do solo.
{
// Declaracao das variaveis temáticas
Tematico uso ("Uso_solo"), cap ("Capacidade_Classes"), confl ("Conflitos_Uso");

// Instanciacaoes das variáveis temáticas
uso = Recupere(Nome="Mapa_s-sombra-T-corte1");
cap = Recupere(Nome="Mapa_capacidade");
confl = Novo(Nome="Conflitos_uso2",ResX=20,ResY=20,Escala=25000);

//Obs: A categoria Mapa_s-sombra-T-corte1 é a categoria de solos contendo a classe urbana
poligonal

// Classes de uso : Capoeira, Culturas, Mata, Pasto, Urbano
// Classes de capacidade : Classe III, Classe IV, Classe V, Classe VI, Classe VII

confl = Atribua(CategoriaFim="Conflitos_Uso")
{
    //As próximas linhas satisfazem a REGRA:
    //Onde se localiza a área urbana, não haverá classificação

    "Urbano": (uso.Classe=="Urbano"),

    //Classe VII - definições:
    "Conflitos de uso":(cap.Classe=="Classe VII")&&
        (uso.Classe=="Pasto"),

    "Conflitos de uso":(cap.Classe=="Classe VII")&&
        (uso.Classe=="Culturas"),

    //Classe VI - definições:
    "Conflitos de uso":(cap.Classe=="Classe VI")&&
        (uso.Classe=="Culturas"),

    //Classe V - definições:
    "Conflitos de uso":(cap.Classe=="Classe V")&&
        (uso.Classe=="Culturas"),

    //Classe IV - definições:
    "Conflitos de uso":(cap.Classe=="Classe IV")&&
        (uso.Classe=="Culturas"),

    //Classe III - sem restrições

    "Uso adequado": Outros

};
}
```

- ANEXO 5 - LEGAL: Conflitos de Uso do Solo e APP's -

```
// Programa para determinar o conflito de uso dos solos, utilizando método booleano
// Dados os mapas de capacidade e uso do solo.
{
// Declaracao das variaveis temáticas
Tematico uso ("Uso_solo"), cap ("Capacidade_Classes"), app ("Buffer"), confl ("Conflitos_Uso");

// Instanciacaoes das variáveis temáticas
uso = Recupere(Nome="Mapa_s-sombra-T-corte1");
cap = Recupere(Nome="Mapa_capacidade");
app = Recupere(Nome="APP");
confl = Novo(Nome="Conflitos_ciliar1",ResX=20,ResY=20,Escala=25000);

//Obs: A categoria Mapa_s-sombra-T-corte1 é a categoria de solos contendo a classe urbana
poligonal

// Classes de uso : Capoeira, Culturas, Mata, Pasto, Urbano
// Classes de capacidade : Classe III, Classe IV, Classe V, Classe VI, Classe VII

confl = Atribua(CategoriaFim="Conflitos_Uso")
{
    //Onde se localiza a área urbana, não haverá classificação

    "Urbano": (uso.Classe=="Urbano"),

    //Classe VII - definições:
    "Conflitos de uso":(cap.Classe=="Classe VII")&&
        (uso.Classe=="Pasto"),

    "Conflitos de uso":(cap.Classe=="Classe VII")&&
        (uso.Classe=="Culturas"),

    //Classe VI - definições:
    "Conflitos de uso":(cap.Classe=="Classe VI")&&
        (uso.Classe=="Culturas"),

    //Classe V - definições:
    "Conflitos de uso":(cap.Classe=="Classe V")&&
        (uso.Classe=="Culturas"),

    //Classe IV - definições:
    "Conflitos de uso":(cap.Classe=="Classe IV")&&
        (uso.Classe=="Culturas"),

    //Independentemente das classes, a Mata Ciliar definida
    //pela legislação deve ser considerada como conflito de uso, assim temos:

    //Ausência de Matas Ciliares:
    "Conflitos de uso":(app.Classe=="Nascentes")&&
        (uso.Classe=="Pasto"),

    "Conflitos de uso":(app.Classe=="APP")&&
        (uso.Classe=="Pasto"),

    "Conflitos de uso":(app.Classe=="Nascentes")&&
        (uso.Classe=="Culturas"),

    "Conflitos de uso":(app.Classe=="APP")&&
        (uso.Classe=="Culturas"),

    //Classe III - sem restrições

    "Uso adequado": Outros
};
}
```

- ANEXO 6 - LEGAL: Conflitos nas APP's -

```
// Programa para determinar a ocorrência ou ausência de matas ciliares
// dentro dos limites estabelecidos pela legislação para APP's, utilizando método booleano

{
// Declaracao das variaveis temáticas
Tematico uso ("Uso_solo"), app ("Buffer"), confl ("APP");

// Instanciaco es das variáveis temáticas
uso = Recupere(Nome="Mapa_s-sombra-T-corte1");
app = Recupere(Nome="APP");
confl = Novo(Nome="Conflitos_APP-m-c",ResX=20,ResY=20,Escala=25000);

//Obs: A categoria Mapa_s-sombra-T-corte1 é a categoria de solos contendo a classe urbana
poligonal

confl = Atribua(CategoriaFim="APP")
{
//As próximas linhas satisfazem a REGRA:
//Onde se localiza a área urbana, não haverá classificação

//"Urbano": (uso.Clas se=="Urbano"),

"Adequado (matas)":(app.Clas se=="Nascentes")&&
(uso.Clas se=="Mata"),

"Adequado (matas)":(app.Clas se=="APP")&&
(uso.Clas se=="Mata"),

"Adequado (capoeira)":(app.Clas se=="Nascentes")&&
(uso.Clas se=="Capoeira"),

"Adequado (capoeira)":(app.Clas se=="APP")&&
(uso.Clas se=="Capoeira"),

"Ausência de matas":(app.Clas se=="Nascentes")&&
(uso.Clas se=="Pasto"),

"Ausência de matas":(app.Clas se=="APP")&&
(uso.Clas se=="Pasto"),

"Ausência de matas":(app.Clas se=="Nascentes")&&
(uso.Clas se=="Culturas"),

"Ausência de matas":(app.Clas se=="APP")&&
(uso.Clas se=="Culturas")

};
}
```

- ANEXO 7 - LEGAL: Desempenho da classificação do uso do solo -

 MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO

(colunas: dados de referencia)

	Mata	Pasto	Capoeira	Culturas	Sombra	Abstencao	Soma lin.
Mata	360 6.63%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	360 0.00%
Pasto	0 0.00%	1165 21.46%	14 0.26%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	1179 0.00%
Capoeira	0 0.00%	5 0.09%	376 6.93%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	381 0.00%
Culturas	0 0.00%	1 0.02%	0 0.00%	3364 61.97%	0 0.00%	0 0.00%	3365 0.00%
Sombra	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	143 2.63%	0 0.00%	143 0.00%
Soma col.	360	1171	390	3364	143	0	5428

	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
Mata	100.00%	100.00%
Pasto	99.49%	98.81%
Capoeira	96.41%	98.69%
Culturas	100.00%	99.97%
Sombra	100.00%	100.00%

Desempenho geral: 99.63 %
 Confusao media : 0.37 %
 Abstencao media : 0.00 %
 Estistica KHAT : 99.34 %
 Variancia KHAT : 2.155e-006
 Estistica TAU : 99.54 %