

**PROPOSTA PARA CARACTERIZAÇÃO,
ESTRATIFICAÇÃO AMBIENTAL E
RECUPERAÇÃO DE MATAS CILIARES DE
UMA SUB-BACIA DO ALTO RIO GRANDE**

HENRIQUETA VELOSO FERREIRA BERNARDI

2007

HENRIQUETA VELOSO FERREIRA BERNARDI

**PROPOSTA PARA CARACTERIZAÇÃO, ESTRATIFICAÇÃO
AMBIENTAL E RECUPERAÇÃO DE MATAS CILIARES DE UMA
SUB-BACIA DO ALTO RIO GRANDE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Ambiental, para a obtenção do título de "Mestre".

Orientadora

Prof^ª. Dr^ª. Soraya Alvarenga Botelho

Co-orientador

Prof. PhD Luis Marcelo Tavares de Carvalho

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Bernardi, Henriqueta Veloso Ferreira.

Proposta para caracterização, estratificação ambiental e
recuperação de matas ciliares de uma sub-bacia do Alto Rio Grande
/ Henriqueta Veloso Ferreira Bernardi. – Lavras : UFLA, 2007.

122 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2007.

Orientador: Soraya Alvarenga Botelho.

Bibliografia.

1. Mata ciliar. 2. Imagem de satélite. 3. Estratificação ambiental.
4. Ecologia florestal. 5. Recuperação de floresta. 6. Área de
preservação permanente. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD – 577.68
634.956

HENRIQUETA VELOSO FERREIRA BERNARDI

**PROPOSTA PARA CARACTERIZAÇÃO, ESTRATIFICAÇÃO
AMBIENTAL E RECUPERAÇÃO DE MATAS CILIARES DE UMA
SUB-BACIA DO ALTO RIO GRANDE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Ambiental, para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 06 de dezembro de 2007

Margarete Marin Lordelo Volpato

EPAMIG - CTSM/UFLA

Ricardo Valcarcel

UFRRJ

Profa. Dra. Soraya Alvarenga Botelho
UFLA
(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais pela oportunidade de aprendizado e realização desse curso. À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

À Professora Soraya Alvarenga Botelho pela orientação, liberdade de escolha, tolerância e pela amizade. Ao Professor Passarinho pelos ensinamentos, paciência, apoio e espaço para trabalhar.

Ao Zé Pedro pela valorosa e indispensável ajuda nos trabalhos de campo. A todos os outros professores da universidade pelos ensinamentos, pelas participações e sugestões. À todos os funcionários do Departamento pelos momentos de descontração, cafezinhos e boas conversas.

Aos meus pais a quem tudo devo, pela boa educação, carinho, amor, companheirismo e total apoio em todas as horas. Aos meus irmãos pelo companheirismo, pelos bons momentos, pelas boas conversas, pelos conselhos, pelo amor e pela oportunidade de crescer ao lado deles. A toda a minha família por me preencher de um amor que eu não imaginava existir.

Aos meus amigos pelo carinho e por contribuírem tanto para o meu crescimento pessoal, principalmente à Tatiana, Ana Cecília, Marcela, Cristianne, Mariana, Eduarda, Daniela, Máira, Felício, Rafael (s), Ançano, Carlos Henrique dentre outros. Á Loren com todo amor.

Aos colegas do curso de Pós-graduação, pelos bons momentos, trocas de experiência e aprendizado. A todos os funcionários do Cemac pelo apoio, acolhimento, atenção e disponibilidade em ajudar. A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a execução deste trabalho.

MUITO OBRIGADA !!!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	I
GENERAL ABSTRACT	III
CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 Bacia hidrográfica e recuperação ambiental	5
2.2 Mata ciliar	6
2.3 Métodos de regeneração florestal	9
2.3.1 Regeneração natural.....	10
2.3.2 Regeneração artificial	12
2.3.3 Enriquecimento (artificial + natural)	13
2.4 Geoprocessamento	14
2.5 Sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica	15
2.6 Classificação de imagens digitais	18
2.6.1 Classificação por regiões	21
2.6.2 Árvore de decisão	23
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
CAPÍTULO 2: Caracterização física em uma sub-bacia hidrográfica através da classificação por regiões em imagem de satélite de alta resolução espacial ..	30
1 RESUMO.....	30
2 ABSTRACT	32
3 INTRODUÇÃO	34
4 MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 Caracterização da área de estudo	37
4.1.2 Processamento da imagem.....	37
4.1.2.1 Imagem	37
4.1.2.2 Mapa de declividade	39
4.1.2.3 Mapa de solos	40
4.1.2.4 Classificação de imagem orientada ao objeto	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1 Caracterização da área de estudo	45
5.2 Mapa de classes de declividade e das classes de solos	45
5.3 Mapa de uso e ocupação do solo	49
6 CONCLUSÕES	58
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

CAPÍTULO 3: Estratificação ambiental e propostas de recuperação da mata ciliar em uma sub-bacia hidrográfica.....	62
1 RESUMO.....	62
2 ABSTRACT	64
3 INTRODUÇÃO	66
4 MATERIAL E MÉTODOS	72
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	72
4.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE REFERENTE AOS CURSOS D'ÁGUA.....	72
4.3 MAPAS TEMÁTICOS.....	73
4.4 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO	74
4.4.1 Árvore de decisão	76
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
5.1 MAPAS TEMÁTICOS.....	79
5.2 INDICAÇÃO DE MODELOS DE RECUPERAÇÃO	87
6 CONCLUSÕES	92
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

RESUMO GERAL

BERNARDI, Henriqueta Veloso Ferreira. **Proposta para caracterização, estratificação ambiental e recuperação de matas ciliares de uma sub-bacia do Alto Rio Grande**. 2007. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Este trabalho teve como principais objetivos definir metodologia para o uso de imagem de satélite tomada por sensor de alta resolução espacial (Quickbird) visando à caracterização física, estratificação ambiental e proposição de métodos de recuperação de matas ciliares. Para tanto foi usada uma imagem tomada pelo sensor Quickbird, datada de 27/05/2003. A sub-bacia, com área total de 1600 ha e Área de Preservação Permanente (APP) ao redor dos cursos d'água de 200 ha, pertence ao Ribeirão Santa Cruz no município de Lavras, MG. Para corrigir as distorções da imagem foi preciso ortorretificá-la. Gerou-se um mapa de relevo, de solos e de cobertura atual do solo para toda a sub-bacia e para a APP ao redor dos cursos d'água. O processamento da imagem para a classificação da cobertura do solo foi feito utilizando a análise orientada ao objeto, sendo realizada sobre segmentos na imagem. Foram estabelecidas 7 classes de cobertura do solo, individualizadas em: vegetação nativa; área campestre; área cultivada; área construída; área asfaltada; área com solo exposto e água. Para a confecção do mapa dos fragmentos foi considerado aqueles com área igual ou maior do que 1500 m². Para a delimitação das APPs foi criado um *buffer* de 30 (trinta) metros de largura para os cursos d'água. Para a obtenção da estratificação dos ambientes e indicação dos métodos mais adequados para a recuperação das matas ciliares foi utilizado o algoritmo árvore de decisão. A amostragem dessas áreas baseou-se nas condições específicas de cada metodologia proposta para a recuperação das áreas. No total foram sugeridos seis métodos para a recuperação das áreas de preservação permanente. Para a verificação da exatidão dos mapas foi utilizada a Acurácia Global e o Índice *Kappa*. Nos resultados pode-se observar que a classe predominante de solos da sub-bacia foi a dos Latossolos com 40% da área e na APP o grupo de solo predominante foi o grupo Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos, com 51,67%. O relevo predominante na sub-bacia e na APP foi o tipo várzea com 33,89% e 51,67% respectivamente. A cobertura do solo predominante foi a classe de vegetação campestre. Verificou-se que 25,8% da APP possuem vegetação nativa, necessitando, portanto apenas da conservação da vegetação. Dentre os métodos de regeneração artificial indicados, o método 1 foi

* Comitê Orientador: Soraya Alvarange Botelho - UFLA (Orientador) e Luis Marcelo Tavreres de Carvalho- UFLA (Co-orientador) .

recomendado para ser utilizado em cerca de 20% das áreas. O método 2 foi indicado para uma pequena área (4,7%). A matriz de erro para a classificação da cobertura do solo apontou uma exatidão global de 87,71%, e um Índice *Kappa* de 0,8407 demonstrando a qualidade do mapa temático. A classificação da estratificação ambiental apresentou uma acurácia global de 83,33% e um Índice *Kappa* de 0,7657.

Palavras-chave: imagem de satélite de alta resolução, caracterização ambiental, estratificação ambiental, métodos de recuperação de matas ciliares, Áreas de Preservação Permanente.

GENERAL ABSTRACT

BERNARDI, Henriqueta Veloso Ferreira. **Proposal for environmental stratification, characterization and recovering of riparian vegetation in a subbasin in upper Rio Grande.** 2007. 95p. Dissertation (Mastress in Forest Engineering) – Federal University of Lavras (Universidade Federal de Lavras-UFLA), Lavras, MG.*

The main objectives of this study were to define a methodology using satellite images obtained from a high resolution spatial sensor (Quickbird) in order to obtain a physical characterization, environmental stratification and recovery of riparian vegetation. The used image in this study was taken on May 27, 2003. The subbasin where this study was carried out belonged to *Ribeirão Santa Cruz* Basin, located in Lavras (southern Minas Gerais State, Brazil). It presented a 1600 ha and a 200-ha Permanent Preservation Areas (APP) surrounding their water courses. An orthorectification was performed to correct the image distortions. A relief map, a soil map and a current soil coverage map were obtained for the subbasin and the APP around the water courses. The image processing for the soil coverage classification was obtained through an Object-Oriented Analysis on image segments. A total of seven soil coverage classes were determined: native vegetation, grassland area, cultivated area, built-up area, paved area, area with soil exposure and water. Only fragments presenting a 1500 m² area or more were considered for the fragment map. A 30-meter wide *buffer* was used to set the APP boundaries on the water courses. A decision tree algorithm was used to obtain the environment stratification and to indicate the more adequate methods for the riparian forest recovering. The sampling within these areas was based on conditions peculiar to each methodology proposed for the area recovering process. A total of six methods were proposed for the APP recovery. The *Global Accuracy* and the *Kappa* Index were used to verify the map accuracy. The predominant soil class observed in the subbasin area was the Latossoil (40%). On the APP, the predominant groups were the Haplic Gleysols and Fluvic Neosols, representing 51.67% of the area. The lowland relief was the most representative in the subbasin (33.89% of the area) and in the APP (51.67% of the area). The grassland soil coverage was the most representative soil coverage class. It was also observed that 25.8% of the APP presented native vegetation, which indicated the need for its conservation. Through this study it was possible to recommend the adoption of method number 1 for approximately 20% of the areas, and method number 2 for a small area (4.7%). The Error

* Guidance Committee: Soraya Alvarange Botelho - UFLA (Adviser) and Luis Marcelo Tavreres de Carvalho- UFLA (Co-adviser).

Matrix for the classification of soil coverage presented a *Global Accuracy* of 87.71%, as well as a *Kappa Index* of 0.8407. These results guarantee the quality of the thematic map. The classification of environmental stratification presented a Global accuracy of 83.33% and a *Kappa Index* of 0.7657.

Keywords: high resolution satellite image, environmental characterization, environmental stratification, riparian vegetation recovery methods, Permanent Preservation Area.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

As matas ciliares são sistemas particularmente frágeis face aos impactos promovidos pelo homem, pois, além de conviverem com a dinâmica erosiva e de sedimentação dos cursos d'água, alojam-se nos fundos dos vales, onde naturalmente recebem os impactos da interferência humana sobre a bacia hidrográfica como um todo (Oliveira-Filho et al., 1995). A mata ciliar constitui ecossistemas protegidos por lei, representando importante refúgio para a fauna, atuando como corredores de fluxo gênico vegetal e animal e essenciais para a proteção do solo e dos recursos hídricos.

Historicamente, o homem se fixou junto às margens dos cursos d'água devido às riquezas ali encontradas, que lhe proporcionavam alimento e matéria-prima para suprir suas necessidades. Estas áreas se apresentam produtivas em função da fertilidade do solo, dando assim início às perturbações antrópicas, que perduram até hoje, mesmo com a evolução tecnológica que proporciona o cultivo em áreas com fertilidade natural menor.

A situação crítica das matas ciliares do centro-sul do Brasil impulsionou, nos últimos anos, uma série de iniciativas voltadas para a sua conservação ou recuperação. Estas iniciativas deixaram claro para os pesquisadores que estudos sobre as matas ciliares e sobre técnicas de recuperação destas, são fundamentais para embasar quaisquer iniciativas no sentido de se proteger, enriquecer, recuperar ou reconstituir este tipo de ecossistema.

Uma das questões altamente discutidas trata do planejamento ambiental das propriedades rurais. A adequação ambiental destas propriedades, realizada, de preferência, de forma integrada para cada microbacia hidrográfica, é uma estratégia fundamental para a recuperação dos ambientes degradados.

Esta adequação ambiental deve ser planejada de forma a cumprir a legislação, no que diz respeito às Áreas de Preservação Permanente – APP e Reserva Legal – RL, além de indicar as melhores opções de uso do solo e recuperar áreas degradadas na propriedade.

Neste contexto, surge a necessidade de avaliar o modelo de ocupação e uso do solo a fim de identificar suas relações com diferentes níveis de degradação dos recursos locais e assim estruturar métodos de recuperação destas áreas.

Ferramentas que podem auxiliar nesse trabalho são o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto. A integração dos dados no Sistema de Informação Geográfica possibilita a manipulação de dados, construção de modelos e mapas temáticos e a análise de processos que se modificam no espaço e no tempo.

O SIG é conceituado como um sistema assistido por computador para a importação, armazenamento, análise e apresentação de dados geográficos (Eastman, 1994). Os programas de SIG desenvolveram-se no que se refere à entrada de dados de mapas temáticos e cartográficos e à integração destes com dados remotamente sensoriados.

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido, *stricto sensu*, como o uso de um conjunto de modernos sensores operados *in situ* ou a bordo de aeronaves, espaçonaves, etc., e equipamentos para transmissão e processamento dos dados adquiridos, cujo objetivo é estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e os alvos presentes na superfície (Mather, 1999). Caracterizando-o como uma tecnologia imprescindível no estudo e na análise das variações ambientais terrestres.

Dentre as várias ferramentas existentes no universo de geoprocessamento, a classificação digital das imagens de satélite surge como uma opção para o mapeamento do uso e cobertura do solo. Seu processo se

baseia na distinção e identificação de diferentes classes que possuem comportamentos espectrais diferenciados, os quais permitem a sua classificação automatizada, em tempo hábil e em grandes áreas (Maillard, 2001).

Nos últimos anos, houve uma grande inovação nas imagens orbitais para uso comercial, como o lançamento dos novos sistemas orbitais com alta resolução espacial buscando superar algumas limitações de outros sensores (Tanaka & Sugimura, 2001).

Dentre estes novos sensores orbitais podem ser citado o IKONOS-II e o Quickbird. Eles possuem alta resolução espacial e possibilitam a produção de mapeamentos em escalas maiores, permitindo uma compreensão mais detalhada tanto do padrão de cobertura do espaço como do nível da alteração deste padrão.

As imagens de alta resolução espacial, portanto permitem uma visão detalhada do ambiente ciliar, o que viabiliza o planejamento estratégico da recomposição e monitoramento das mesmas. O conhecimento acurado do mapa de uso do solo é fundamental para qualquer plano de fiscalização e recuperação de áreas antropizadas (Antunes, 2003).

O detalhamento do aspecto da cobertura do solo, considerando, por exemplo, a presença de culturas agrícolas (anuais ou perenes), campos, pasto, entre outros, além de solos exposto e vegetação nativa em diferentes estágios, possibilitam o planejamento das principais ações e modelos de recuperação de vegetação nativa.

O presente trabalho teve como objetivo geral definir metodologias para o uso de imagem de satélite tomada por sensor de alta resolução espacial (Quickbird) visando à caracterização física, estratificação ambiental e proposição de métodos de recuperação de matas ciliares.

Os objetivos específicos foram: fazer uso de imagem tomada por sensor de alta resolução espacial (Quickbird) visando à caracterização física de áreas que necessitam de classificação detalhada e foi definir metodologias para

estratificação ambiental e proposição de métodos de recuperação de matas ciliares, com base em imagem de alta resolução espacial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Bacia hidrográfica e recuperação ambiental

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório (Tucci, 2001).

Suas respectivas subdivisões de bacias e sub-bacias se relacionam a ordens hierárquicas dentro de uma malha hídrica (Fernandes et al., 1994, citados por Fernandes et al., 2001). Cada bacia hidrográfica se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia.

Atividades poluidoras eventualmente ocorridas a montante em uma sub-bacia hidrográfica acarretam efeitos à jusante do rio, podendo disseminar um problema para além dos limites de uma sub-bacia. Por isso, as sub-bacias hidrográficas constituem ecossistemas adequados para avaliação dos impactos causados pela atividade antrópica, permitindo a pontualização de problemas que tornam mais fácil a identificação de focos de degradação.

O primeiro passo a ser executado quando se pretende elaborar um programa de recuperação ambiental, de uma maneira integrada em uma sub-bacia, é a elaboração de um diagnóstico dos meios físico e biótico da sub-bacia que irá fornecer subsídios adequados na definição das estratégias para cada situação. Um aspecto importante é que a maior quantidade de informações possível deve ser obtida, considerando os seguintes aspectos: declividade do terreno, tipo de solo, caracterização da vegetação no entorno das nascentes e cursos d'água, uso atual do solo nas áreas de influência, fragmentos existentes, métodos empregados na agricultura local, dentre outros (Botelho et al., 2001).

2.2 Mata ciliar

As matas ciliares são formações vegetais que se encontram associadas aos corpos d'água, ao longo dos quais estendem-se por dezenas de metros a partir das margens e apresentam marcantes variações na composição florística e na composição comunitária, dependendo das interações que se estabelecem entre o ecossistema aquático e suas vizinhanças (Oliveira Filho, 1994).

Diversas discussões sobre a nomenclatura destas formações vegetais constam da literatura recente na tentativa de se utilizar uma terminologia mais clara para designação das diferentes formações que ocorrem no ambiente ribeirinho. Em função da diversidade de ambientes no país e dada a complexidade de fatores que interagem na definição fisionômica e florística das formações florestais, torna-se necessário a utilização de nomenclatura fitogeográfica com a utilização de termos que descrevam o tipo de vegetação, o ambiente de ocorrência e ainda a presença de fatores ambientais característicos. A terminologia popular “mata ciliar” não é suficiente para distinguir estas características, mas é utilizada por diversos autores para denominar todas as formações florestais que se caracterizam pela influência da água dos rios, lagos e nascentes, por ocorrerem nas suas margens (Botelho et al., 2001).

A função ambiental das APP's, cobertas ou não de vegetação nativa é entendida na forma da lei, como sendo a de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de flora e de fauna, além de proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas (Brasil, 2005).

As matas ciliares possuem um alto poder de absorver e adsorver, funcionando como filtros das lâminas de água que correm, das partes mais altas em direção aos cursos d'água. A serrapilheira e o sistema radicular destas matas retêm sedimentos e substâncias que poderiam provocar assoreamento, eutroficação e poluição dos cursos d'água (Martins & Dias, 2001).

De acordo com Zakia (1998) o resultado direto do papel desempenhado pela mata ciliar na hidrologia da microbacia hidrográfica, pode ser verificado com mais facilidade, em termos da qualidade da água do deflúvio, quando a vegetação age como um filtro superficial e sub-superficial da água que flui para os canais. Entretanto não se pode esperar que somente a presença da mata ciliar seja suficiente para sanar todos os problemas da poluição decorrente da atividade agrícola em uma encosta da microbacia, a menos que outras medidas complementares de manejo adequado de uso do solo sejam tomadas.

As matas ciliares estão protegidas no art. 2º da Lei Nº 4771/65, que abrange como APPs as florestas e demais formas de vegetação existentes ao redor de rios, lagos, nascentes e reservatórios. A largura da faixa marginal que deve ser preservada poderá variar de 30 a 600m, dependendo da largura dos cursos d'água. No caso de nascentes, mesmo que intermitentes, o raio mínimo de vegetação deve ser de 50m (Brasil, 2002).

Deve-se considerar que as matas ciliares compreendem ambientes diferentes, variando desde sítios méxicos, sem influência das cheias, até as áreas de depleção, onde as plantas ficam parcial ou totalmente submersas durante o período de cheia (David et al., 2000).

Uma consequência da variação do grau de hidromorfismo são os variados tipos de solos que são encontrados sob as formações ciliares. Além disso, segundo Jacomine (2004) a natureza do material originário é outro fator importante na distribuição das classes de solos. Nas áreas onde há permanente encharcamento desenvolvem-se principalmente os organossolos (solos orgânicos) e em menor proporção os gleissolos e os neossolos quartzarênicos hidromórficos (areias quartzosa hidromórficas). Nos terrenos de várzeas mais altas, com drenagem boa ou moderada, não sujeitas a encharcamentos, predominam os neossolos flúvicos (solos aluviais) e os cambissolos. Numa situação intermediária, onde há restrição de drenagem e verifica-se uma

significativa flutuação do lençol freático, são constatados principalmente os plintossolos (Jacomine, 2004).

As variações dos solos sob matas ciliares, apresentam reflexos nos diversos tipos de formações florestais, variando desde as de terrenos mais encharcados (florestas paludosas ou matas de brejo) até os mais secos, onde as florestas apresentam características florísticas e fisionomias distintas, de acordo com o gradiente de umidade e influência fluvial do solo, até o extremo onde as formações do interflúvio chegam até as margens dos cursos d'água, onde o rio e o lençol freático não exercem influência direta (Jacomine, 2004).

Rodrigues & Nave (2004) expõem que as formações florestais ciliares são muito diversas, apresentando baixos valores de similaridade, que pode ser explicado devido diversos fatores como o estado de conservação ou degradação dos remanescentes florestais, o tamanho da faixa ciliar florestada, tipo vegetacional de origem, matriz vegetacional e o acaso na chegada dos propágulos.

A heterogeneidade florística possui intensidades diferentes conforme determinadas características do ambiente, como o nível do lençol freático, sendo este determinado pelas condições de relevo e de topografia e determinando ou interagindo com as características edáficas, como a composição química e física do solo, a profundidade, a ciclagem dos nutrientes, etc.

Rodrigues & Nave (2004) compararam quarenta e três levantamentos florísticos e fitossociológicos de florestas ciliares do Brasil extra amazônico, onde foram amostradas 947 espécies arbustivo-arbóreas e comprovaram a grande heterogeneidade florística das florestas ciliares através do elevado número de grupos formados pelo dendrograma de similaridade. Sendo que do total de 947 espécies amostradas, 350 espécies (36,96%) foram amostradas em apenas uma das áreas e 531 espécies (56,07%) em uma ou duas das quarenta e três áreas consideradas.

É indiscutível a importância de se manter ou recuperar a cobertura florestal junto aos corpos d'água. O desafio está, no entanto, em encontrar técnicas adequadas de revegetação que promovam a recuperação de matas ciliares em larga escala (Durigan & Silveira, 1999).

2.3 Métodos de regeneração florestal

A regeneração florestal objetiva criar condições para que uma área perturbada ou degradada recupere algumas características da floresta original, criando uma nova floresta com características estruturais e funcionais próximas às das florestas naturais.

Devem ser observados, conforme ressaltam Barnett & Baker (1991), vários critérios para definição do método de regeneração a ser empregado numa determinada área, podendo-se citar critérios como: os objetivos, as características do local, o custo de implantação e os recursos técnicos disponíveis. Segundo Flor (1984) a escolha do método de regeneração poderá ser determinada por fatores ecológicos, econômicos e administrativos, que quase sempre, exigem o emprego de diferentes técnicas e avanço tecnológicos que garantem simplicidade nas operações e benefícios ao meio.

A partir da análise desses critérios e possível escolher entre os diferentes tipos de métodos para a regeneração de uma área, podendo ser pelo método de regeneração artificial, regeneração natural ou ainda pelo método de enriquecimento, que combina a regeneração artificial e a natural.

Na definição da escolha das espécies para regeneração de proteção ambiental, deve-se buscar a garantia da sustentabilidade futura da floresta a ser formada. O uso de espécies nativas representa uma série de vantagens para um programa de recuperação ambiental. Em primeiro lugar, ao adotar esta orientação, um programa contribui para a conservação da biodiversidade regional explorando, protegendo ou mesmo expandindo as fontes naturais de

diversidade genética, não só das espécies vegetais em questão, mas também da fauna local a elas associada (Souza Junior, 2005).

Deve-se sempre ter como referência os processos naturais de recuperação e regeneração da floresta e lembrar que o modelo de regeneração a ser adotado não implica necessariamente no plantio de mudas. Em muitos casos, o isolamento da área já é suficiente para que ela se recupere gradual e naturalmente. Por isso, é fundamental que se conheça muito bem a área a ser trabalhada, para que se possa definir qual ou quais os modelos apropriados a adotar, sempre tendo em mente que é interessante reduzir custos, tempo e trabalho, maximizando eficiência do processo (Crestana et al., 2004).

Atualmente as metodologias existentes para a implantação de florestas de proteção, em áreas degradadas ou não, se bem conduzidas propiciam a formação de matas que cumprem sua função protetora e iniciam o processo de recuperação do ecossistema. Entretanto, existem muitos programas executados de maneira inadequada, causando grandes prejuízos econômicos e ambientais (Botelho et al., 2001).

Considera-se fundamental para o sucesso de um programa de recuperação ambiental um bom diagnóstico da área, um projeto bem elaborado e executado por técnico capacitado, recursos financeiros disponíveis e o envolvimento do proprietário ou comunidade local.

2.3.1 Regeneração natural

De acordo com Rollet (1978), existem dois conceitos de regeneração natural das espécies: um estático, em que a regeneração natural significa o número de indivíduos de cada espécie na categoria de tamanho inferior; e um dinâmico que significa o processo natural de estabelecimento da vegetação.

Na regeneração natural a própria natureza estabelece o equilíbrio dinâmico, porque o habitat é propício à germinação das sementes e ao

desenvolvimento das plantas, favorecendo a regeneração, principalmente, das espécies adaptadas ao sítio (Flor, 1984).

Através da regeneração natural, as florestas apresentam capacidade de se regenerarem de distúrbios naturais ou antrópicos. A regeneração natural das espécies vegetais é um processo natural, característico de cada espécie, em resposta às condições ambientais.

A regeneração natural é o método que pode ser aplicado em locais pouco perturbados, em ambientes alterados e que mantêm características bióticas ligadas à flora e à fauna das formações florestais típicas dos locais em que se vai intervir. Próximo desses locais é necessário a existência da remanescente florestal, de modo que os meios de recuperação biótica estejam presentes e possam atuar como fornecedor de propágulos para a área a ser regenerada (Crestana et al., 2004).

Para que a regeneração natural ocorra de forma adequada são necessários três fatores básicos: fontes de semente, ambiente adequado para a germinação e ambiente adequado para o estabelecimento das plantas (Botelho et al., 2001). Portanto, para que a regeneração natural seja um processo recomendado para a recuperação da vegetação será necessário se conhecer a distância dos remanescentes, as características do solo como, por exemplo a umidade disponível e a densidade na camada superficial, e a presença de plantas competidoras e animais predadores que possam interferir no estabelecimento das plantas.

O sistema consiste, portanto, em tornar possível a recuperação natural de áreas recentemente desmatadas ou pouco degradadas, por meio de isolamento do gado, controle das plantas invasoras e formiga, e demais técnicas necessárias para a condução da regeneração.

As áreas que perderam a cobertura florestal há mais tempo e próximos dos quais há fragmentos de matas ou reservas expressivas podem ter seu banco

de sementes reabastecido pelas sementes provenientes desses fragmentos, através da chuva de sementes, as quais podem ser trazidas por agentes de dispersão como o vento e os animais presentes. Não sendo muito degradadas, desde que isoladas e protegidas da ação do fogo da predação pelo gado, essas áreas podem se recuperar em período variável de 5 a 20 anos (Crestana et al., 2004).

2.3.2 Regeneração artificial

A regeneração artificial é a revegetação da cobertura florestal através de sementeira ou plantio de mudas feitas pelo homem. A regeneração através do plantio de mudas é o método mais utilizado no Brasil, principalmente em função do desenvolvimento tecnológico do processo, alcançado ao longo das últimas 4 décadas, principalmente no setor das florestas de produção. Havendo disponibilidade de mudas de boa qualidade, o plantio destas mudas apresenta vantagens, principalmente em relação ao maior controle de estabelecimento das plantas e à facilidade de operações de manutenção.

E regeneração por sementeira direta, se conduzida com sucesso, pode apresentar uma significativa redução no custo de implantação, em função da menor mão-de-obra no plantio, menor custo operacional e menor custo da semente em relação ao custo da muda. Entretanto, ainda faltam estudos para maior desenvolvimento da tecnologia da sementeira direta em florestas tropicais.

A regeneração artificial é muito usada na recuperação de áreas degradadas, devido ao fato de que muitas destas áreas já estão em avançado grau de perturbação (Kageyama et al., 1992). Com este método o controle das espécies introduzidas e da densidade são maiores, como também pode ser maior o investimento.

O sucesso da regeneração artificial depende da definição de vários aspectos: - modelos de plantio, que engloba a definição de quantas espécies

plantar, seu grupo ecológico, espaçamento, arranjo e distribuição espacial das espécies/grupo ecológico; - a seleção das espécies mais adequadas; - métodos de preparo do solo e de plantio; - métodos de controle da competição por plantas invasoras e de formigas, etc.

2.3.3 Enriquecimento (artificial + natural)

O enriquecimento da vegetação consiste em aumentar o número de espécies ou o número de indivíduos de espécies já presentes na área. O aumento do número de indivíduos de espécies já existentes também pode ser denominado adensamento.

O enriquecimento pode ser indicado nos casos onde há um declínio no vigor da vegetação em função da fragmentação ou da ocorrência de perturbações por fatores ambientais ou antrópicos, como fogo e cortes seletivos, ou em áreas em fase inicial de regeneração, onde se deseja acelerar o processo da sucessão. É um dos tratamentos silviculturais que procura estimular, acelerar ou direcionar o processo de sucessão natural. O método de introdução das plantas nestas áreas pode ser através de mudas ou de semeadura direta. A decisão de quais espécies plantar, quantas mudas e sua distribuição, dependem do estudo prévio da composição florística local (Botelho et al., 2001).

O sistema de enriquecimento apresenta algumas variações na forma de distribuição das plantas no campo, que pode ser em linhas, faixas ou grupos. Este tipo de distribuição uniforme facilita os tratamentos silviculturais, principalmente de manutenção, e na orientação de plantio. Entretanto a distribuição aleatória pode ser utilizada, além da distribuição localizada, principalmente considerando as condições e necessidades dentro da área a ser enriquecida (Botelho et al., 2001).

Originalmente este método só deve ser adotado se a área contiver quantidade insuficiente de espécies, porém boa quantidade de regeneração natural de espécies desejáveis (Flor, 1984).

2.4 Geoprocessamento

Segundo Teixeira et al. (1997), geoprocessamento é a tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação, armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados.

Rodrigues (1990) define geoprocessamento como um conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais, e de desenvolvimento e uso de sistemas que as utilizam. Já segundo Silva et al. (1998), geoprocessamento é um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre bases de dados geocodificados, executa análises, reformulações e síntese sobre os dados ambientais, tornando-se utilizáveis em um sistema de processamentos automáticos.

Até pouco tempo quando necessitava-se de informações mais detalhadas de um determinado local (casa, rua, bairro, entre outros), era utilizado sistema de sobreposição de mapas. Utilizado para verificar, por exemplo, as áreas de conflito de uso da terra, que posteriormente compilados para outro mapa calculava-se a área ou distância através de métodos como planímetro. Porém, estes métodos tornaram-se inviáveis, uma vez que, consumiam grande mão-de-obra, tempo e a precisão deixava a desejar, gerando assim, alto custo na elaboração destas informações (Bolfé, 2001).

Com a evolução da tecnologia dos sensores remotos, processamento de dados digitais e a popularização de equipamentos como GPS (Sistema de Posicionamento Global), “scanner”, computadores pessoais com processadores propícios para o processamento de grande número de informações, resolveu-se

grande parte dos problemas de tempo, mão-de-obra e de pouca precisão relativa ao volume de informações geradas (Bolfe, 2001).

2.5 Sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica

Novo (1992) define sensoriamento remoto como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. O registro dessas informações é feito pelo rastreamento regular da interação da radiação eletromagnética em diferentes faixas espectrais, formando distintas imagens. A interação de cada faixa com cada alvo é função da estrutura física e química do alvo e do comprimento de onda da radiação eletromagnética. A radiação guarda uma relação direta com a reflectância e, por sua vez, a característica de cada alvo (assinatura espectral do alvo). Como cada alvo interage diferentemente com a radiação eletromagnética de cada faixa espectral, o resultado é uma ampliação do espectro de observação dos alvos terrestres através de sensores remotos aéreos ou orbitais.

As imagens digitais de sensoriamento remoto, que podem ser obtidas por satélites ou aeronaves, representam a forma de captura indireta de informação espacial. As informações são armazenadas como matrizes, sendo que cada elemento da imagem, denominado pixel, tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente (Câmara & Medeiros, 1998).

O sensoriamento remoto é uma das tecnologias que têm se destacado no estudo dos recursos naturais, abrangendo um conjunto de técnicas para coleta, processamento e análise de dados da superfície terrestre, a partir de informações eletromagnéticas oriundas da interação energia versus alvo. Este conjunto permite a execução de várias etapas que podem contribuir no estudo dos recursos florestais, tais como a identificação, descrição ou caracterização de padrões espaciais do terreno; a avaliação da disponibilidade, qualidade e

quantidade de recursos localizados; e o acompanhamento das alterações e das condições desses recursos, provocadas pelo uso e manejo, ou por acidentes naturais ou culturais (Carvalho et al., 1990).

As imagens orbitais, devido a suas características espectrais e pela sua repetitividade, apresentam os melhores resultados, para mapeamentos e monitoramento ambiental, na discriminação de alvos que ocorrem na superfície da terra (Bolfé, 2001).

Avanços em métodos de extração de informação das imagens digitais vêm sendo desenvolvidos desde o primeiro lançamento, na década de 70, com os satélites orbitais de observação da superfície terrestre. Na década de 80, os esforços foram desenvolvidos em métodos para a análise espectral e classificação de imagens. Na década de 90, os avanços em sensores hiperespectrais compostos com centenas de bandas ou canais espectrais vieram junto com o aumento da capacidade suportes no campo da computação (Burrough & McDonnell, 1998).

Na última década foram desenvolvidos sistemas sensores orbitais com alta resolução espacial, como o Ikonos 2 e o Quickbird, exigindo em consequência novos paradigmas na área de aplicações em sensoriamento remoto (Tanaka & Sugimura, 2001). As imagens de alta resolução espacial do Quickbird necessitam de novas metodologias de processamento. Para corrigir as suas distorções, há necessidade de ortoretificação. Para a classificação digital de imagens, os classificadores convencionais por pixels não são adequados, tendo sido proposto o método de classificação orientada a objeto (Blaschke et al., 2000; Toutin & Cheng, 2002).

O Quickbird foi projetado e construído em cooperação entre as empresas *DigitalGlobe*, *Ball Aerospace & Technologies Corp.*, *Kodak* e *Fokker Space*. Os sensores CCD (*Charge coupled device*), que realizam a varredura eletrônica em fileira linear (*pushbroom linear array*), são flexíveis para visadas *off-nadir* até

25°, ao longo do terreno imageado (Petrie, 2002). O satélite foi colocado em órbita pela *Vandenberg Air Force Base* (Califórnia, EUA), em 18.10.2001, pelo lançador *DELTA II* (Eurimage Products and Services, 2002).

Um Sistema de informações geográficas (SIG) é constituído por um conjunto de “ferramentas” especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e operar dados georreferenciados para obtenção de novas informações. Essas informações podem ser obtidas por meio de operações analíticas, sobreposição e cruzamento de dados tendo grande crescimento e aplicabilidade nas áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional (Câmara & Davis, 2006).

Calijuri & Röhn (1994) afirmam ser os sistemas de informações geográficas (SIGs), a tecnologia para investigação de fenômenos diversos, relacionados com engenharia urbana, meio ambiente, pedologia, vegetação e bacias hidrográficas, sendo um conjunto de procedimento e equipamentos projetados para capturar, armazenar e gerenciar, informações referentes a características espaciais, de uma região, usando mapas, fotografias aéreas, imagens orbitais e informações de campo.

Sua grande importância para estudos ambientais refere-se à possibilidade de manipular os dados de forma interativa, antecipando os possíveis resultados para a tomada de decisões e o planejamento, antes de serem cometidos erros irreversíveis na paisagem (Burrough, 1986).

O desenvolvimento do SIG possibilitou aos técnicos a integração e manipulação de dados de diversas fontes e a construção de modelos de processos que se modificam no espaço e no tempo (Rosa, 1992). Atualmente, muitos trabalhos têm utilizado os SIGs na produção de planos de manejo de recursos como os trabalhos de Pinto (2003), Costa (2004) e Sousa Junior (2005).

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2000), citado por Bolfe (2001), o sistema de informações geográficas, tem como principais objetivos; integrar informações numa única base de dados; permitir a visualização conjunta de imagens e mapas; gerar mapeamento derivados e integrar dados gráficos e informações armazenadas em banco de dados alfanuméricos.

Com isso os SIGs, segundo Bolfe (2001), apresentam-se como uma ferramenta imprescindível para profissionais que desenvolvam atividades nestas áreas, proporcionando suporte na tomada de decisões técnicas-administrativas ancoradas em informações atuais, precisas e referenciadas.

2.6 Classificação de imagens digitais

Na classificação de dados digitais, os alvos do universo real recebem a denominação genérica de classes ou classes temáticas. Existem duas formas de representação da classificação final em um mapeamento, uma sendo consideradas as classes em regiões discretas e de elementos puros e a outra abrangendo em contínuo como multi-elementos de valores diferentes contidos em uma única classe (Moreira, 2001).

O resultado de uma classificação é uma imagem temática onde cada classe é identificada por um índice ou cor (Gonzalez & Woods, 2000). Para obter a imagem temática a partir das imagens espectrais é necessário estabelecer a relação entre os valores digitais e as classes. Esta não é uma tarefa simples, pois em alguns casos esta relação não é discreta (Cavassim Júnior & Centeno, 2003).

A função primordial do processamento digital de imagens é a de fornecer meios para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análises e manipulação

de imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens originais (Crósta, 1993).

O processo de classificação de imagens é de grande importância na extração de informações de imagens de Sensoriamento Remoto. A classificação das imagens de satélites multiespectrais consiste da associação de cada pixel da imagem a um “rótulo” que descreve um objeto real (vegetação, solo, etc.). Assim, os valores numéricos associados a cada pixel, definidos pela reflectância dos materiais que compõem esse pixel, são identificados em termos de um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada (água, tipo de solo, de vegetação, etc.), podendo ser chamadas de temas ou classes (Cavassim Júnior & Centeno, 2003).

De acordo com Novo (1992), a classificação digital procura eliminar a subjetividade do processo de mapeamento e aumentar seu potencial de repetição em situações subsequentes. É importante também o fato de se ter um produto diretamente na forma digital (mapa temático digital), o que é altamente interessante quando este se destina à “alimentação” de um sistema de informações geográficas (SIG), permitindo sua utilização como fonte de informação diversos interesses.

O método de classificação mais conceituado é o método supervisionado, pois nele o usuário pode definir as classes de interesse e guiar a classificação através da escolha de amostras. O método supervisionado se inicia a partir do conhecimento da área de estudo, adquirido por experiências anteriores ou por trabalho de campo. Este método envolve três passos básicos. O treinamento é onde são identificadas as áreas de treinamento e onde há uma descrição dos atributos de cada tipo de cobertura de interesse na cena. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade do tema em questão (Novo,

1999). Na classificação o elemento é atribuído a uma das classes em questão em função de seus atributos. Três formas típicas de produtos são os mapas temáticos, tabelas com dados estatísticos para várias classes de cobertura de solo e dados para posterior utilização em geoprocessamento (Novo, 1999).

Segundo Cavassim Júnior & Centeno (2003) a classificação supervisionada necessita de um conjunto inicial de informações sobre as classes a serem classificadas. Esses conjuntos iniciais são denominados de áreas de treinamento. Estas áreas devem ser selecionadas na imagem levando-se em consideração informações disponíveis sobre a vegetação da região, dados de campo, mapas etc. Alguns procedimentos devem ser adotados a fim de selecionar áreas de treinamento representativas; as amostras com número de pixels suficientemente grande para permitir a estimativa das características espectrais das classes a serem mapeadas; áreas de treinamento mais homogêneas possíveis; interpretação prévia da imagem e de levantamentos de campo.

Conforme Assad & Sano (1998), os mapas temáticos descrevem, por exemplo, de forma qualitativa a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, como os mapas de pedologia ou aptidão agrícola de uma região.

Segundo Lepsch et al. (1983), o sistema de classificação de terras em capacidade de uso, foi elaborado primordialmente para atender a planejamentos de conservação do solo. Esse princípio tem como objetivo selecionar as técnicas de uso da terra mais recomendadas e adaptadas para o meio físico, de forma que não haja deterioração ambiental e que aqueles solos permaneçam indefinidamente estáveis, quanto à estrutura, sem diminuição de sua capacidade produtiva.

2.6.1 Classificação por regiões

Conforme o processo de classificação empregado, os classificadores podem ser divididos em classificadores "pixel a pixel" e classificadores por regiões.

Os classificadores por região agrupam "pixels" vizinhos com características similares e depois classificam estes agrupamentos (regiões) levando em consideração os atributos espectrais da região e os parâmetros espaciais que podem ser derivados da distribuição espacial dos "pixels" que formam a região. Estes classificadores procuram simular o comportamento de um fotointérprete, ao reconhecer áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens (Cavassim Júnior & Centeno, 2003).

Ademais, imagens de alta resolução espacial apresentam padrões de textura mais evidentes. Em muitos casos, a textura pode estar presente ao nível de objeto. Tomando, por exemplo, um agrupamento de árvores na imagem Landsat, este pode ser considerado como um objeto homogêneo; porém na mesma área, em uma imagem de alta resolução espacial (tipo Quickbird), o agrupamento é representado por vários pixels de diferentes tons de cinza, os quais compõem o objeto. Desta forma, objetos homogêneos não são apenas caracterizados por sua assinatura espectral, mas também pela textura (Antunes, 2003).

A classificação digital de imagens orbitais de alta resolução espacial baseada em regiões permite que se leve em consideração propriedades oriundas do agrupamento de pixels, como forma, textura e brilho. Objetos que possuem propriedades similares podem ser associados à determinada categoria. Tais propriedades embasadas em parâmetros refletem, de certa forma, o contexto e são de fundamental importância na detecção de tipologia florestais. A observação de diferentes formas florestais, considerando conjuntamente de

textura e forma, parece ser mais adequada do que a simples análise multiespectral (Antunes, 2003).

No que se refere à classificação por regiões, cada objeto ou região representa uma feição do mundo real. Os objetos passam a possuir propriedades temáticas e geométricas.

A extração de feições geográficas de imagens orbitais de alta resolução já se configura como uma das principais fontes de dados em Sistema de Informações Geográficas (SIG), por sua acurácia e atualidade. Contudo, diferentes métodos convencionais de extração de feições baseados em probabilidade de distribuição Gaussiana, as imagens de alta resolução demandam um novo delineamento metodológico (Antunes, 2003).

Existem várias opções para efetuar a segmentação de uma imagem. Os algoritmos de segmentação mais comuns são baseados na análise de descontinuidade e/ou da similaridade da informação espectral ao longo da imagem. Na primeira categoria a abordagem é particionar a imagem baseando-se em mudanças bruscas nos níveis de cinza. As técnicas de detecção de linhas e bordas na imagem são as mais conhecidas no primeiro grupo. A segunda categoria inclui técnicas de limiarização, crescimento de regiões e divisão e fusão de regiões (Gonzales & Woods, 2000).

A segmentação numa primeira instância é determinada por um grau de homogeneidade que permita um agrupamento de pixels de acordo com a resolução. O critério de semelhança é usado para definir a uniformidade dos segmentos. Dois critérios são usados para descrever a separação do objeto da imagem: critério da cor (espectral) e o critério da forma (suavização e compactação) (Antunes, 2003).

Os segmentos são discriminados por meio de variáveis espectrais e/ou espaciais. As variáveis espectrais podem ser o “brilho”, o valor médio, a razão,

etc; e pode-se citar como variáveis espaciais o comprimento, a largura, a direção principal, dentre outros (Cavassim Júnior & Centeno, 2003).

Com o aparecimento de sensores de alta resolução no sensoriamento remoto, a eficiência da classificação “pixel a pixel”, tradicionalmente usada, está sendo questionada, pois o alto grau de detalhe destas imagens torna evidentes variações espectrais entre os objetos que antes, com resolução espacial mais grosseira, não eram vistas. Ao mesmo tempo tornam-se visíveis os contornos dos objetos, o que propicia a identificação de cada um deles em lugar de uma região ocupada por vários objetos similares, como ocorria nas imagens de resolução espacial média. Assim, fica aberta a escolha do método mais apropriado para a extração de informações temática de imagens de alta resolução espacial (Cavassim Júnior & Centeno, 2003).

2.6.2 Árvore de decisão

Este classificador quando aplicado aos dados multiespectrais separa as classes baseado no conhecimento das propriedades espectrais e na relação parental entre as classes vizinhas (Tso & Mather, 2001).

Este método também chamado de *data mining*, ou mineração de dados, tem como principal característica a extração de informações previamente desconhecidas e de máxima abrangência usando-as para efetuar decisões (Figueiredo & Carvalho, 2006).

Considerado um classificador não paramétrico que se baseia no aprendizado indutivo, onde o algoritmo aprende as regras para separar as classes de acordo com amostras de treinamento. A partir das amostras de treinamento, o algoritmo separa os atributos do conjunto de amostras, por regra de decisões binárias em subconjuntos mais homogêneos. Este procedimento é submetido a novas regras a fim de gerar conjuntos puros determinando as classes finais (Quilan, 1986, citado por Oliveira, 2004).

A árvore de decisão utiliza mecanismos de categorização usando divisão hierárquica dos dados. O objetivo do uso de uma estrutura hierárquica é aumentar o conhecimento da relação entre os objetos em diferentes escalas de observação ou diferentes níveis de detalhe. É simplesmente a representação da forma de uma árvore invertida com diferentes níveis de classificação representados por níveis ou hierarquia (Tso & Mather, 2001).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. 2003. 147 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.

BARNETT, J. P.; BAKER, J. B. Regeneration methods. In: DURYEY, M. L.; OUGHERTY, P. M. **Forest regeneration manual**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1991. p. 35-50.

BLASCHKE, T.; LANG, S.; LORUP, E.; STROBL, J.; ZEIL, P. **Objected oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications: environmental information for planning**. Metropolis: Verlag, 2000. v. 2, p. 555-570.

BOLFE, É. L. **Geoprocessamento aplicado à análise de recursos florestais estudo de caso: folha SH. 22-Y-A/DSG**. 2001. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BOTELHO, S. A.; FARIA, J. M. R.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V. **Implantação de florestas de proteção**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 81 p. (Textos Acadêmicos).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei n. 4771**, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília, 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm>. Acesso em: 10 jun. 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 303**, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente. Brasília, 2002. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_303.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2009.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon, 1986. 194 p.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographic information systems**. 2. ed. New York: Oxford University, 1998. 356 p.
CALIJURI, M. L.; ROHM, S. A. **Sistemas de informações geográficas**: CCET/DEC. Viçosa, MG: UFV, 1994. 34 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Apresentação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2006. cap. 1. Disponível em:
<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 8 maio 2006.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Mapa e suas representações computacionais. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas**: aplicações na agricultura. Brasília: EMBRAPA-SPI; EMBRAPA-CPAC, 1998. cap. 3, p. 31-43.

CARVALHO, W. A.; PANOSO, L. A.; PFEIFER, R. M.; ROSSI, M. Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos do Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Cunha, SP (Bacia “D”). **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 127-155, dez. 1990.

CAVASSIM JÚNIOR, I.; CENTENO, J. Classificação de uma imagem Ikonos utilizando as técnicas “pixel a pixel” e a análise orientada a região. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2003. 1 CD-ROM.

COSTA, S. S. B. **Estudo da bacia do ribeirão Jaguará – MG como base para o planejamento da conservação e recuperação das nascentes e matas ciliares**. 2004. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CRESTANA, M. de S. M.; FERRETTI, A. R.; TOLEDO FILHO, D. V.; ÁRBOEZ, G. de F.; SCHMIDT, H. A. P.; GUARDI, J. F. C. **Florestas**: sistemas de recuperação com essências nativas, produção de mudas e legislação. 2. ed. Campinas: CATI, 2004. 216 p.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1993. 170 p.

DAVIDE, A. C.; FERREIRA, R. A.; FARIA, J. M. R.; BOTELHO, S. A. Restauração de matas ciliares. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 65-74, 2000.

DURIGAN, G.; SILVEIRA, E. R. Recomposição da mata ciliar em domínio de cerrado, Assis, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 135-144, dez. 1999.
EASTMAN, J. R. **IDRISI**. Porto Alegre: UFRGS, 1994. 1 CD-ROM.

EURIMAGE PRODUCTS AND SERVICES. **QUICKBIRD**. Disponível em:
<<http://www.eurimage.com/Products/qb.shtml>>. Acesso em: 7 fev. 2002.

FERNANDES, M. R.; SOUZA, E. R.; SILVA, A. M. **Caracterização de ecossistemas**: bases para planejamento sustentável em nível regional e municipal. Lavras: UFLA, 2001. 17 p.

FIGUEIREDO, S. M. de M.; CARVALHO, L. M. T. de. Avaliação da exatidão do mapeamento da cobertura da terra em Capixaba, Acre, utilizando classificação por árvore de decisão. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 38-47, jan./mar. 2006.

FLOR, H. M. **Princípios e métodos silviculturais tropicais**. Brasília: FAO, 1984. 194 p.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: E.Blucher, 2000. 510 p.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. (Ed.). **Matas ciliares**: conservação e recuperação. São Paulo: USP/FAPESP, 2004. p. 27-32, 320 p.

KAGEYAMA, P. Y.; REIS, A.; CARPANEZZI, A. A. Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1992. p. 1-7.

LEPSCH, I. C.; BELINAZZI JUNIOR, R.; BEROLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1983. 175 p.

MAILLARD, P. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 2001. Disponível em:
<<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/centrorecursos/apostilas/apostilas.html>>. Acesso em: 17 jan. 2007.

MARTINS, S. V.; DIAS, H. C. T. Importância das florestas para a quantidade e qualidade da água. **Ação Ambiental**, Viçosa, MG, v. 4, n. 20, p. 14-16, out./nov. 2001.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2. ed. Nottingham: J. Wiley, 1999. 292 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicações**. São José dos campos: INPE, 2001. 250 p.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: E. Blucher, 1992. 308 p.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1999. v. 2, 308 p.

OLIVEIRA FILHO, A. T. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 64-72, jan./jun. 1994.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; VILELA, E. A.; CARVALHO, D. A.; GAVILANES, M. L. **Estudos florísticos e fitossociológicos em remanescentes de matas ciliares do alto e médio rio Grande**. Belo Horizonte: CEMIG, 1995. 27 p.

OLIVEIRA, L. T. de. **Fusão de imagens de sensoriamento remoto e mineração de dados geográficos para mapear as fitofisionomias do bioma Cerrado**. 2004. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PETRIE, G. **Optical imagery from airborne & spaceborne platforms, comparisons of resolution, coverage & geometry for a given ground pixel size**. Disponível em: <<http://www.geoinformatic.com>>. Acesso em: 2 jul. 2002.

PINTO, L. V. A. **Caracterização física da sub-bacia do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG, e propostas de recuperação de suas nascentes**. 2003. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RODRIGUES, M. Introdução ao geoprocessamento. In: SIMPÓSIO SOBRE GEOPROCESSAMENTO, 1., 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1990. p. 1-26.

RODRIGUES, R. R.; NAVE, A. G. Heterogeneidade florística das matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: USP/FAPESP, 2004. 1 CD-ROM.

ROLLET, B. **Arquitetura e crescimento das florestas tropicais**. Belém: SUDAM, 1978. 22 p.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 2. ed. Uberlândia: EDEFU, 1992. 136 p.

SILVA, E. M.; GONÇALVES, M. E.; MUROLO, V.; CARLOS, A. **Pesquisa operacional: programação linear, simulação**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1998. 184 p.

SOUZA JUNIOR, G. A. **Zoneamento da faixa tampão do reservatório da UHE-Camargos e avaliação de sua regeneração natural**. 2005. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TANAKA, S.; SUGIMURA, T. A new frontier of remote sensing from IKONOS images. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 22, n. 1, p. 1-5, Jan. 2001.

TEIXEIRA, A. L. de A.; MORETI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informações geográficas**. Rio Claro: UNESP, 1997. 80 p.

TOUTIN, T.; CHENG, P. QUICKBIRD: a milestone for high resolution mapping. **Earth Observation Magazine**, Washington, v. 11, n. 4, p. 14-18, Apr. 2002.

TSO, B.; MATHER, P. M. **Classification methods for remotely sensed data**. London: Taylor & Francis, 2001. 332 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS-ABRH, 2001. 943 p.

ZAKIA, M. J. B. **Identificação e caracterização da zona ripária em uma sub-bacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas**. 1998. 98 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, São Carlos.

CAPÍTULO 2

1 RESUMO

Caracterização física em uma sub-bacia hidrográfica através da classificação por regiões em imagem de satélite de alta resolução espacial

BERNARDI, Henriqueta Veloso Ferreira. Caracterização física em uma sub-bacia hidrográfica através da classificação por regiões em imagem de satélite de alta resolução espacial. In: _____. **Proposta para caracterização, estratificação ambiental e recuperação de matas ciliares de uma sub-bacia do Alto Rio Grande**. 2007. Cap. 2, p. 30-61. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Este trabalho tem como objetivo principal fazer uso de imagem de satélite tomada por sensor de alta resolução espacial (Quickbird) visando à caracterização física de áreas que necessitam de classificação mais detalhada. Para tanto foi usada uma imagem tomada pelo sensor Quickbird, datada de 27/05/2003. Este produto possui resolução espacial de 0,60m na banda pancromática e 2,4m na multiespectral. A sub-bacia pertence ao Ribeirão Santa Cruz pertencente ao município de Lavras, MG. A cena passou por um recorte baseado em vetores de curvas de nível, que possibilitam a identificação do divisor de águas, base para a delimitação da área de estudo. A área teste abrange uma superfície aproximada de 1600 ha. Para corrigir as distorções da imagem foi preciso ortorretificá-la. Gerou-se um mapa de relevo, um de solos e outro de cobertura atual do solo. O processamento da classificação de cobertura do solo foi feito utilizando a análise orientada ao objeto, sendo realizada sobre segmentos na imagem. Para a classificação da imagem segmentada, foram selecionadas amostras de treinamento com pixels representativos das classes de interesse e fornecidas ao classificador para caracterização individual das classes temáticas. Foram estabelecidas 7 classes de acordo com a interpretação visual da imagem e em visita ao campo. As classes de cobertura foram individualizadas em: vegetação nativa; área campestre; área cultivada; área construída; área asfaltada; área com solo exposto e água. O mapa dos fragmentos presentes na sub-bacia foi feito a partir do mapa de cobertura atual do solo, selecionando a

* Comitê Orientador: Soraya Alvarange Botelho - UFLA (Orientador) e Luis Marcelo Tavreres de Carvalho- UFLA (Co-orientador) .

classe de vegetação nativa. Boa parte da sub-bacia é constituída por Latossolo (40%) e outra grande parte por Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos (34%), seguidos por Solos B texturais (20%) e Solos B texturais associados à Cambissolos (6%). As áreas representadas pelas menores classes de declividade, 0% a 12%, constituem a maioria das áreas da sub-bacia, com aproximadamente 74% ao total. A cobertura predominante é a vegetação campestre com 60% da área total, aproximadamente 20% da sub-bacia possui áreas com solo exposto. A vegetação nativa que corresponde aos fragmentos florestais ocupa 7% da área total, a classe área cultivada 3%, áreas pavimentadas 1% e as classes área construída e água, menos de 1%. O mapa de fragmentação demonstrou que a área é composta por vários fragmentos pequenos, cuja área de um único fragmento contínuo não ultrapassa 11 ha. A soma das áreas de todos os fragmentos totalizou 125 ha o que equivale a 8% da área total de estudo. A classe de fragmento que ocupou a maior fração da área é a de fragmentos que possuem de 0,14 a 0,5 hectares, representados em 60,58% da área total da sub-bacia. A matriz de erro para a classificação apontou uma exatidão global de 87,71%, e um índice *Kappa* de 0,8407 provando a qualidade do mapa temático como excelente.

Palavras-Chave: sub-bacia hidrográfica, processamento de imagens, cobertura do solo, imagem de alta resolução, sensoriamento remoto e SIG.

2 ABSTRACT

BERNARDI, Henriqueta Veloso Ferreira. Physical characterization of a hydrologic subbasin through region classification on high spatial resolution. In: _____ . **Proposal for environmental stratification, characterization and recovering of riparian vegetation in a subbasin in upper Rio Grande.** 2007. Chapt.2, p.30 – 61. Dissertation (Masters in Forest Engineering) – Federal University of Lavras (Universidade Federal de Lavras-UFLA), Lavras, MG.*

The aim of this study was to perform a physical characterization of areas in need of a more detailed classification. This characterization was performed through the satellite image analysis obtained from high resolution sensors (Quickbird) with a 0.6-meter panchromatic and a 2.4-meter multispectral resolution. The used images were obtained on May 27, 2003. This subbasin belonged to the *Santa Cruz* watershed, located in Lavras (Minas Gerais State, Brazil). The scene was cut based on the isoline vectors, which have enabled the identification of the water divisors responsible for the Basins' borderline delimitation. These water divisors were important factors for the area delimitation. The test area had a 1600-ha area. An orthorectification was necessary to make corrections to the image. A relief, a Soil, and updated soil coverage maps were obtained in this study. The soil coverage classification was performed through an *Object-Oriented Analysis* on image segments. Training samples (which consisted of pure pixels with characteristics stronger than the ones on selected classes) were selected with representative pixels of the classes of interest and supplied to the classifier to obtain the individual characterization of the thematic classes. A total of seven classes were established, according to the visual interpretation of the image and through field observations. The soil coverage was divided into seven classes: native vegetation, grassland area, cultivated area, built-up area, paved area, area with soil exposure, and water. The map containing the fragments present in the subbasin was obtained through the native vegetation class present on the soil coverage map. A great part of the subbasin consisted on latossoil (40%); as well as Haplic Gleysols and Fluvial Neosols (34%); textural B soils (20%); and finally textural B soils associated with Cambisols (6%). The areas presenting the lowest slope classes (0% to 12%) were present on 74% of the study area. The grassland vegetation was present on 60% of the area. The areas with soil exposure were present on 20% of the total area; the native vegetation, which corresponds to the forest fragments, on 7%; the cultivated area on 3%,

* Guidance Committee: Soraya Alvarange Botelho - UFLA (Adviser) and Luis Marcelo Tavreres de Carvalho- UFLA (Co-adviser).

and the paved areas on only 1% of the total area. Through the Fragmentation Map it was possible to observe that the area consists of various small fragments, which are no larger than 11 ha. The total area of all fragments was of 125 HA, which represented 8% of the study area. The fragment class representing the greater fraction of the area consisted of 0.14-ha to 0.5-ha fragments, and represents 60.58% of the total subbasin's area. This thematic map could be considered of excellent quality, since it presents a *Global Accuracy* of 87.71% and *Kappa* index of 0.8407. Both values were obtained through an *Error Matrix*.

Keywords: hydrologic subbasin, image processing, soil coverage, high resolution image, remote sensing, GIS.

3 INTRODUÇÃO

A noção de recursos naturais inesgotáveis estimulou e ainda estimula a expansão da fronteira agrícola, a criação de empreendimentos de alto impacto e a própria expansão urbana, sem planejamento e conseqüente destruição dos recursos naturais, particularmente das florestas. Esta ampliação desordenada desencadeia processos de degradação que envolve o solo, a cobertura florestal nativa, o relevo e os recursos hídricos.

Na tentativa de disciplinar o uso dos recursos florestais no Brasil, foi elaborado o Código Florestal Brasileiro, Lei Federal Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, ainda vigente, com alterações em alguns artigos por legislações ordinárias (Brasil, 2005).

O Código Florestal Brasileiro, em seus artigos 2^o e 3^o, define as Áreas de Preservação Permanente (APPs) como aquelas situadas em nove tipos de ambientes: ao longo dos cursos d'água; em nascentes; no topo de elevações; nas encostas com declividade superior a 45°; nas restingas; nas bordas dos tabuleiros e chapadas; em terrenos com altitude superior a 1800 metros; nas áreas metropolitanas definidas em lei; e em áreas declaradas por ato do Poder Público.

Entretanto a existência da legislação pertinente não impediu a aceleração da degradação destes ambientes.

A crescente preocupação do meio científico e técnico e da sociedade com a degradação ambiental nas duas últimas décadas levou o setor público e as empresas envolvidas à busca de melhorias nos processos de exploração dos recursos e de recuperação dos ambientes degradados.

Neste contexto, surge a necessidade de avaliar o modelo de ocupação e uso do solo de determinada área a fim de identificar suas relações com diferentes níveis de degradação dos recursos locais e assim estruturar os melhores modelos de recuperação destas áreas.

Ferramentas que podem auxiliar nesse trabalho são o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto. A integração dos dados do Sistema de Informações Geográficas com os do Sensoriamento Remoto possibilita a manipulação de dados, construção de modelos e mapas temáticos e a análise de processos que se modificam no espaço e no tempo.

O SIG é conceituado como um sistema assistido por computador para a importação, armazenamento, análise e apresentação de dados geográficos (Eastman, 1994).

Sensoriamento Remoto pode ser entendido, *stricto sensu*, como o uso de um conjunto de modernos sensores operados *in situ* ou a bordo de aeronaves, espaçonaves, etc., e equipamentos para transmissão e processamento dos dados adquiridos, cujo objetivo é estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e os alvos presentes na superfície (Mather, 1999). Atualmente caracteriza-se o sensoriamento remoto como uma tecnologia imprescindível no estudo e na análise das variações ambientais terrestres.

A classificação digital das imagens de satélite, uma ferramenta do geoprocessamento para o mapeamento do uso e cobertura do solo, baseia-se na distinção e identificação de diferentes classes que possuem comportamentos espectrais diferenciados, os quais permitem a sua classificação automatizada, em tempo hábil e em grandes áreas (Maillard, 2001).

Nos últimos anos, houve uma grande inovação nas imagens orbitais para uso comercial, como o lançamento dos novos sistemas orbitais com alta resolução espacial buscando superar algumas limitações características de outros satélites (Tanaka & Sugimura, 2001). Dentre estes novos sensores orbitais podem ser citados os sensores IKONOS-II e o Quickbird, que exigem novos métodos para a extração de informações das respectivas imagens, de alta resolução espacial.

A tarefa de classificação de imagens de alta resolução pode ser considerada difícil, tendo em vista a elevada complexidade e composição dos tipos de cobertura do solo que podem ser discriminados nesse tipo de imagem.

A análise dos atributos dos pixels pode ser feita com base no pixel ou no pixel e seus vizinhos. Assim a classificação é dita “pixel a pixel” ou por regiões. A análise por regiões pode simplificar a complexidade de informação contida em um pixel de uma imagem, especialmente em imagens de alta resolução, tanto espacial quanto radiométrica. Imagens de alta resolução classificadas por métodos baseados em pixel tendem a mostrar pixels isolados como uma classe claramente inserida em uma área que representa uma outra classe.

Estes novos sensores orbitais com alta resolução espacial possibilitam a produção de mapeamentos em escalas maiores que permitem uma compreensão detalhada tanto do padrão de cobertura do solo como, com o passar do tempo, do nível da alteração deste padrão.

O presente trabalho teve como objetivo principal:

- fazer uso de imagem de satélite tomada por sensor de alta resolução espacial (Quickbird) visando à caracterização física de áreas que necessitam de classificação detalhada.

Objetivos específicos:

- aplicar metodologia de segmentação e classificação por região em imagem de alta resolução, visando a obter o mapa temático detalhado da cobertura atual do solo;

- classificar, quantificar e gerar mapas dos solos, da declividade, do relevo e dos fragmentos de mata nativa na área de estudo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado em parte da sub-bacia Ribeirão Santa Cruz, localizada no município de Lavras, MG. A bacia têm como curso d'água principal o Ribeirão Santa Cruz, que é tributário do Rio Capivari que, por sua vez, é tributário do Rio Grande e este último, integrante da bacia do Rio Paraná. A área de estudo foi de aproximadamente 1600 ha.

O clima da região é do tipo Cwa, conforme a classificação de Köppen. A temperatura média anual está em torno de 19°C e a precipitação anual normal é de 1.530mm (Brasil, 1992). A formação florestal da bacia é classificada como floresta estacional semidecidual montana (Veloso et al., 1991). A vegetação presente na região pode ser definida como uma disjunção do bioma Cerrado, inserida dentro da área de distribuição das florestas estacionais semidecíduais do Sudeste brasileiro (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1993).

A região de Lavras pode ser estratificada em função de seus ambientes agrícolas em Gleissolos e Neossolos Flúvicos, Latossolos, Solos com horizonte B textural, Cambissolos de rochas pelíticas e gnáissicas, e Neossolos Litólicos de quartzitos e micaxistos (Curi et al., 1990; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1999).

4.1.2 Processamento da imagem

4.1.2.1 Imagem

Para os trabalhos de sensoriamento foi usada uma imagem tomada pelo sensor Quickbird, datada de 27/05/2003. A imagem adquirida possui as seguintes correções (*Standard Imagery*): radiométricas, do sensor, geométricas, além de ter sido ajustada para a projeção cartográfica UTM e Datum WGS 84, assim como os demais resultados oriundos da mesma. Este produto possui

resolução espacial de 0,60m na banda pancromática (PAN) e 2,4m na multiespectral (MS). O sensor pancromático (PAN) registra imagens em uma banda que abrange todo espectro visível (0,40 - 0,73 μm). As imagens possuem 8 bits e 5 bandas espectrais no total: 1 PAN e 4 MS (azul, verde, vermelho e infravermelho-próximo).

A cena passou por um recorte baseado em vetores de curvas de nível, que possibilitam a identificação do divisor de águas, usado para delimitar a área de estudo. Delimitada pelas coordenadas geográficas 21°14' a 21°16' de latitude sul e 44°57' a 44°59' de longitude oeste (Figura 1).

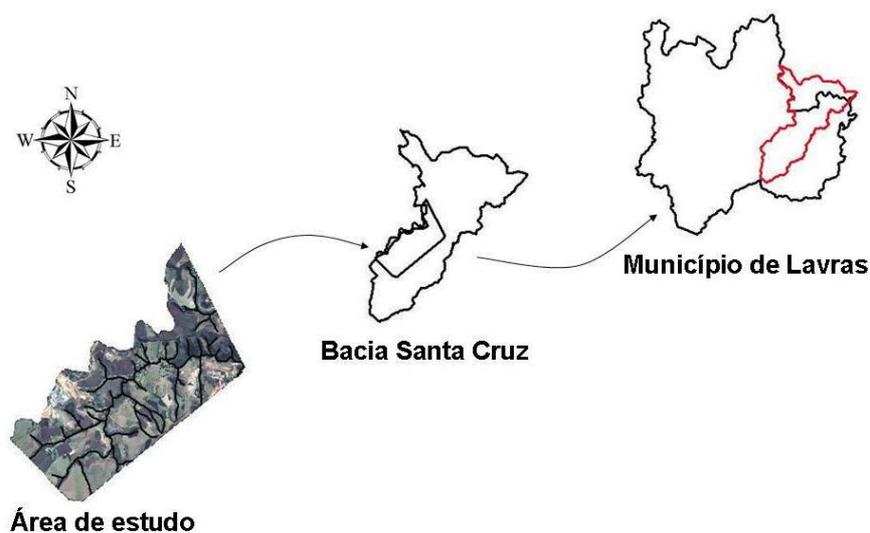


FIGURA 1 Localização da área de estudo, em relação ao município de Lavras.

Os sistemas de Informação Geográfica utilizados para o processamento da imagem foram:

- ENVI 4.1.
- ArcGIS 9. e
- eCognition 4.

Para corrigir as distorções foi preciso ortorretificá-la, feito através do software ENVI 4.1. A ortorretificação é um procedimento de correção geométrica utilizado em mapa planimétrico, que consiste na modelagem da superfície do relevo de três dimensões em imagem ou mapa representando em duas dimensões. A imagem Quickbird permite a retificação com uso do modelo de elevação digital do terreno, associado aos parâmetros RPC (*Rational Polynomial Coefficients or Rapid Positioning Coordinates*), disponibilizados no arquivo metadados da imagem.

Os parâmetros RPC interpretam os dados de valor médio dos mares e gravidade potencial da superfície para definir a elevação correta do geóide, possibilitando um aumento na acurácia de mensurações em uma projeção geométrica definida (Sulsoft, 2004).

4.1.2.2 Mapa de declividade

A partir do modelo de elevação digital do terreno, feito a partir de digitação das curvas de nível, foi gerada uma imagem representando a declividade do terreno. Esta imagem possui resolução de 30 X 30m e posteriormente foi reamostrada para se adequar à imagem de alta resolução espacial. Posteriormente gerou-se um mapa com classes de relevo baseando-se na metodologia proposta por Biase (1993), onde a declividade do terreno é dividida em intervalos os quais correspondem a tipos de relevos diferentes entre si.

Assim foram divididos, em: várzea (0 a 3%); plano à suave ondulado (3 a 6%); suave-ondulado a ondulado (6 a 12%); ondulado a forte ondulado (12 a 20%); forte ondulado a montanhoso (20 a 40%); e montanhoso (declividade superior a 40%) ilustrado na Tabela 1.

TABELA 1 Correlação entre classes de declividade e relevo (Biase, 1993).

Classes de declividade (%)	Relevo
0-3	Várzea
3-6	Plano a suave ondulado
6-12	Suave ondulado a ondulado
12-20	Ondulado a forte ondulado
20-40	Forte ondulado a montanhoso
>40	Montanhoso

4.1.2.3 Mapa de solos

O mapa de solos foi gerado a partir do modelo de elevação do terreno, onde os valores foram transformados em declividade do terreno e enquadrados em faixas correspondentes a tipos diferentes de solo.

As classes de solos (Tabela 2) foram definidas de acordo com o modelo estabelecido por Andrade et al. (1998), que correlaciona às classes de declividade e as classes de solos atualizadas pela EMBRAPA (1999).

TABELA 2 Correlação entre classes de declividade e classes de solo da região de Lavras, MG (Andrade et al., 1998).

Classes de declividade (%)	Classes de solos	Classes de solos (EMBRAPA, 1999)
0 – 3 (Topo)	Latossolos	Latossolos
0 – 3 (Várzea)	Solos Hidromórficos e Aluviais	Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos
3 – 12	Latossolos	Latossolos
12 – 20	Solos B texturais	Solos B texturais
20 – 45	Solos B texturais e Cambissolos	Solos B texturais e Cambissolos
> 45	Cambissolos e Solos Litólicos	Cambissolos e Neossolos Litólicos

4.1.2.4 Classificação de imagem orientada ao objeto

Uma das formas de processar a classificação da imagem para gerar a cobertura atual do solo é através da análise orientada ao objeto, sendo realizada sobre objetos ou segmentos na imagem. Na imagem um objeto representa uma entidade que pode ser individualizada, tem atributos próprios e as mesmas propriedades da classe que lhe deu origem (Definiens Imaging, 2000). Entre os motivos para se adotar a classificação de imagem orientada ao objeto podemos citar que o processamento de imagens aproxima-se mais dos processos cognitivos humanos; a maior facilidade de incorporar informação de contexto com significado numa abordagem orientada ao objeto do que numa abordagem apenas por *pixel* (Gonçalves et al., 2001).

O processamento de imagens no SIG eCognition desenvolveu-se a partir de uma segmentação, construção de uma hierarquia de classes e a classificação conforme pode ser visualizado na Figura 2.

A segmentação usada foi obtida a partir do parâmetro de escala 20, o qual distinguiu a maior heterogeneidade possível dos objetos, um parâmetro menor não apresentou diferença significativa em relação à distinção dos objetos.

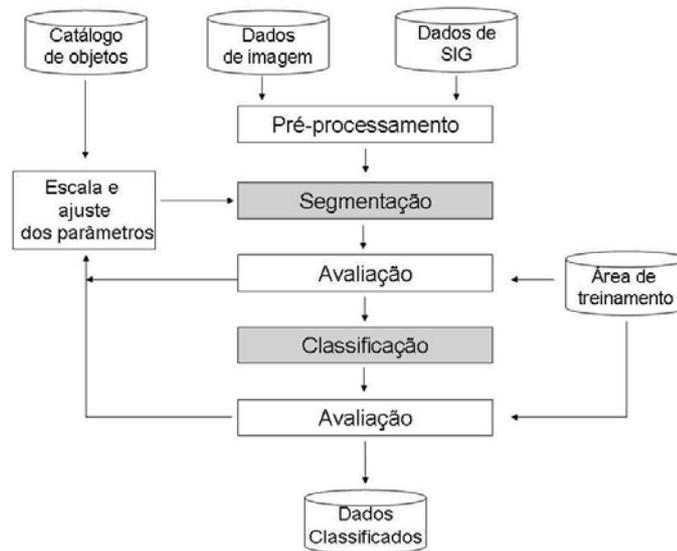


FIGURA 2 Fluxograma conceitual de uma análise de dados de SR baseada em regiões.

Fonte: Schiewe & Tufte (2002).

O eCognition utiliza a Segmentação Multi-resolução, que realiza a fusão de regiões onde os setores da imagem são agrupados par a par, além de distintos critérios de homogeneidade como cor, forma, suavização e compactação. Inicialmente, um pixel individual é sinônimo de um objeto da imagem ou de uma região. Nos passos seguintes, pequenos objetos da imagem são agregados gerando outros maiores. Em cada passo o par adjacente do objeto da imagem é fundido segundo um patamar de crescimento definido pela heterogeneidade. O processo ocorre segundo um critério de homogeneidade, descrevendo a semelhança dos objetos vizinhos (Hoffmann & Vegt, 2008).

Para a classificação da imagem segmentada, foram selecionadas amostras de treinamento com pixels puros, ou seja, que representam a classe de interesse e fornecidas ao classificador para caracterização individual das classes temáticas. Após adquirir amostras para todas as classes, seguiu-se com a classificação.

A classificação da imagem realizada pelo eCognition considera, além do nível de cinza, a forma, a textura e funções de SIG (tamanhos de bordas de objetos, as suas relações topológicas) segundo Hoffmann & Vejt (2008). Estas funções foram escolhidas após passarem pela ferramenta otimização de funções, a qual escolheu-se o melhor conjunto de operações para classificar a imagem segmentada.

Para elaborar a classificação do uso do solo foi realizada, primeiramente, uma revisão bibliográfica sobre as formações vegetais e uso da terra na área de estudo. Além disso, foram realizadas visitas *in loco* e interpretações visuais na banda PAN, resolução 0,6m, para a formação das classes.

Foram estabelecidas 7 classes que foram individualizadas conforme a listagem a seguir:

- Vegetação nativa: correspondente aos fragmentos florestais e às matas ciliares primárias ou secundárias em avançado estágio de sucessão;
- Área campestre: representada pelas áreas cobertas por campos nativos e pasto plantado;
- Área cultivada: representada por áreas cultivadas com plantações perenes e anuais;
- Área construída: representadas por áreas cobertas por edificações;
- Área asfaltada: representada por vias pavimentadas, pátios, aeroporto entre outros;
- Área com solo exposto: representada por áreas com pastagem com alto grau de degradação, terra preparada para plantio ou já cultivada em estágio inicial de crescimento, áreas de pós - colheita e áreas degradadas;
- Água: corresponde os espelhos d'água formados por lagoas artificiais ou naturais.

A imagem foi classificada no eCognition através do classificador Vizinho mais Próximo (*Nearest Neighbor*), que classifica os objetos da imagem num dado espaço de características e com áreas de treinamento das classes. Depois de gerada a classificação o mapa temático foi exportado do software eCognition para o software ENVI para análises.

A exatidão temática no mapa de cobertura do solo criado por meio da classificação digital. Neste contexto, criou-se uma matriz de erros (verdade de campo e classes mapeadas) e calculou-se a Exatidão Global, Índice *Kappa* e os erros de omissão e comissão.

Como amostras de referência, foram utilizados 519 pontos distribuídos pela área de estudo através da amostragem aleatória estratificada, e identificados através da banda pancromática (PAN), dentre eles 146 pontos foram adicionados ao GPS e localizados em campo para o cálculo da Exatidão Global.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da área de estudo

A área total de estudo é de aproximadamente 1600 ha, representando 18,40% da área de toda a bacia do Ribeirão Santa Cruz, e o perímetro calculado foi de 21,95km. Através do recorte da imagem e da sobreposição da rede de drenagem foi possível identificar um total de 40 nascentes.

5.2 Mapa de classes de declividade e das classes de solos

Conforme os resultados obtidos, observa-se pela Tabela 3 e Figura 3 que boa parte da área de estudo é constituída por Latossolo (40%) que é relacionado as classes de declividade de 3 – 12% . Os latossolos apresentam boa drenagem condicionada por elevada porosidade, localizam-se nas posições mais estáveis da paisagem, textura média e argilosa e são profundos. Possuem ótimas condições físicas que aliadas ao relevo plano ou suavemente ondulado favorecem sua utilização as mais diversas culturas, além de apresentam erodibilidade baixa (Salomão, 1999). Características estas que favorecem a recarga de lençóis freáticos.

A classe representada pelos Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos corresponderam com 34%, seguidos por Solos B texturais (20%) e Solos B texturais associados à Cambissolos (6%). Os solos com B textural apresentam vegetação natural de floresta tropical subperenifólia e afloramento de rocha que estão associados a solos rasos (Silva, 1990) e a relevo ondulado a montanhoso (Silva, 1991). A taxa de infiltração e retenção de água pode ser considerada boa, mas apresenta restrições no horizonte B.

Os tipos de relevo se resumem em 33,89% de várzea, representando as áreas planas nos fundos dos vales onde a faixa de declividade está entre 0% a 3%. Relevo suave ondulado a ondulado com 30,41% da área, que engloba as

faixas 6% a 12% de declividade. A classe de declividade de 12% a 20% que representam um relevo ondulado a forte ondulado corresponderam a 19,66% da área total, seguidas por 9,90% de plano a suave ondulado, 6,14% de forte ondulado a montanhoso e menos de 1% de montanhoso, de acordo com a Figura 4 e a Tabela 4.

TABELA 3 Área total e distribuição percentual das classes de solos da sub-bacia, Lavras, MG.

Classes de solos	Área (ha)	Porcentagem (%)
Solos B texturais e Cambissolos	97,54	6,15
Solos B texturais	311,72	19,66
Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos	537,43	33,89
Latossolos	639,23	40,31
Total	1586	100

TABELA 4 Área total e distribuição percentual das classes de declive da sub-bacia, Lavras, MG.

Classes de declividade (%)	Área (ha)	Porcentagem (%)
0-3	537,43	33,89
3-6	157,03	9,90
6-12	482,20	30,41
12-20	311,72	19,66
20-40	97,36	6,14
>40	0,18	0,01
Total	1586	100

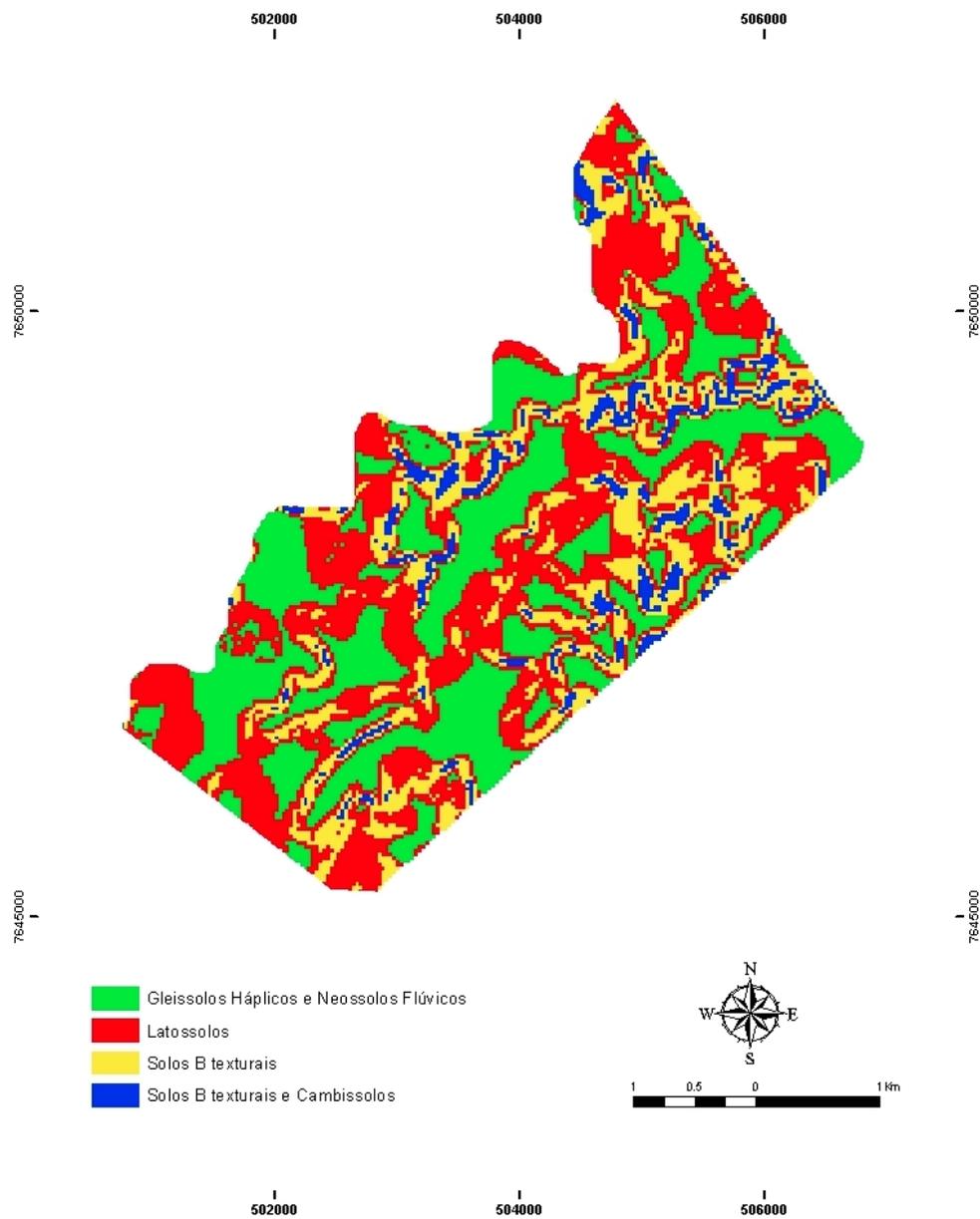


FIGURA 3 Mapa de tipos de solos encontrados na área de estudo.

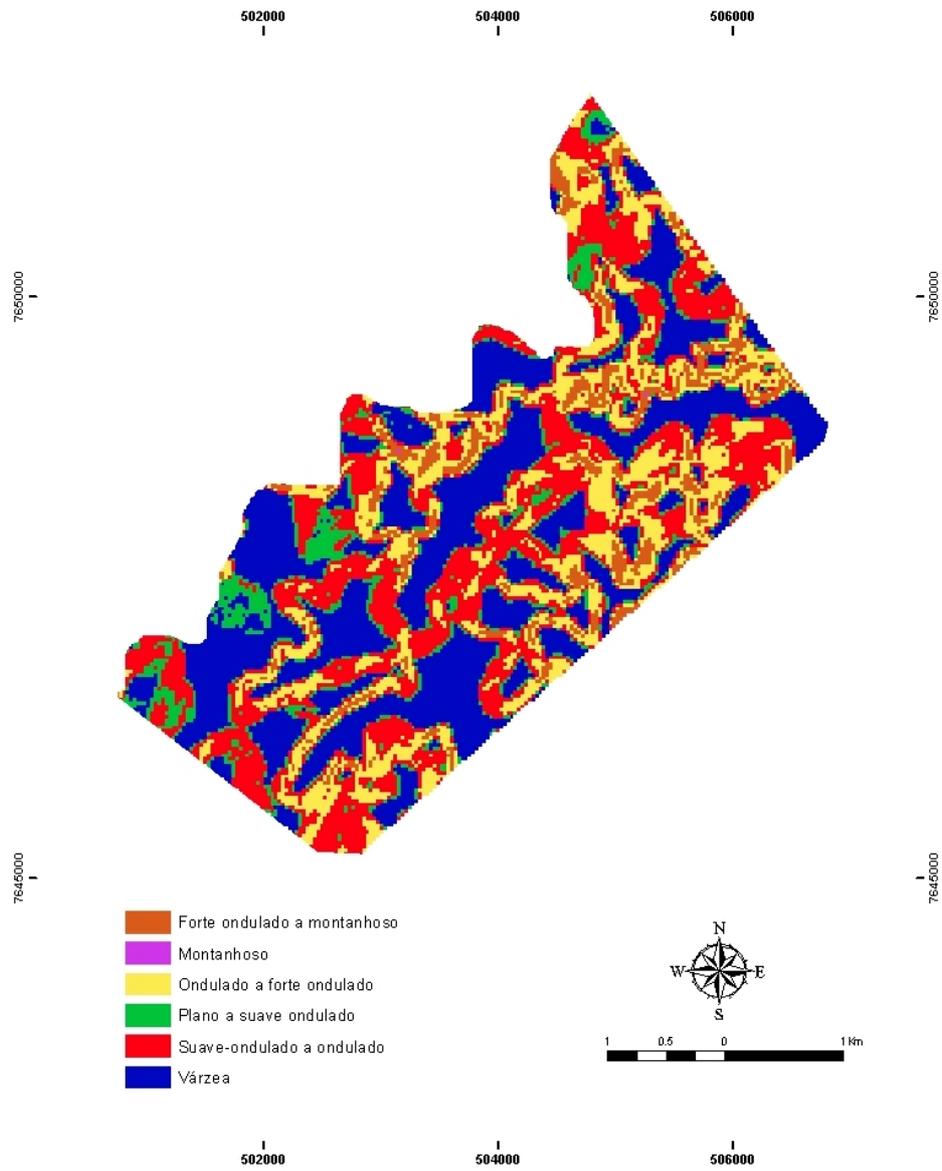


FIGURA 4 Mapa de classes de relevo encontradas na área de estudo.

As áreas representadas pelas menores classes de declividade, 0% a 12%, constituem a maioria das áreas da sub-bacia, com aproximadamente 74% ao total, sendo estas áreas as preferenciais para a agricultura e pastagem onde não se encontram muitas restrições para a mecanização, mostrando assim o intensivo uso do solo nessa sub-bacia. O restante das áreas apresenta fortes restrições para as práticas mecânicas, sendo importante destacar o uso de práticas conservacionistas de solo, para facilitar a infiltração da água e diminuir o escoamento superficial e conseqüentemente carreamento de partículas sólidas e componentes químicos, evitando assim a erosão do solo e o assoreamento dos cursos d'água.

Pinto et al. (2005) em estudo realizado na mesma bacia hidrográfica, observa que a mesma possui baixa propensão para valores elevados de vazão e alto valor da densidade de drenagem que propiciam o escoamento superficial.

5.3 Mapa de uso e ocupação do solo

Como pode-se observar na Tabela 5 e na Figura 5, a cobertura predominante é a vegetação campestre com 60% da área total. Segundo Spain & Gualdrón (1988), citados por Moreira (2003), as pastagens possuem vários níveis de degradação, que variam desde vigor e qualidade leve de degradação até níveis muito intensos de degradação. Essa variação também foi encontrada neste estudo o que dificultou o trabalho do classificador em separar pastagens com altos níveis de degradação e terra exposta. Devido ao alto poder de resolução da imagem, com a ajuda da banda PAN, é possível fazer uma edição manual das classes quando for preciso.

Isso pode ser comprovado pelo estudo de Pinto et al. (2005) que observou no campo a presença de áreas mal manejadas, altamente compactadas e com lotações animais muito altas, o que pode levar a superutilização da

forragem disponível na pastagem, deixando o solo descoberto e sem proteção contra a ação erosiva das chuvas e dos ventos.

A falta de cobertura do solo e as áreas com pastagens mal manejadas, pode ser um dos fatores mais graves no tocante ao impacto ambiental, associadas a menor capacidade de produção de biomassa condiciona o assoreamento dos mananciais e cursos d'água (Moreira, 2002). Porém, quando esta cobertura vegetal recebe os tratamentos adequados para manter o vigor, proporciona o recobrimento da superfície do solo durante todo ano, reduzindo a velocidade do escoamento superficial, quando comparado com culturas agrícolas, que deixam o solo exposto durante o preparo do solo para o plantio.

TABELA 5 Uso e ocupação do solo na sub - bacia.

Classes de uso do solo	Área (ha)	Área (%)
Área edificada	2,89	0,18
Água	6,86	0,43
Área Asfaltada	23,85	1,50
Área Cultivada	53,80	3,39
Vegetação Nativa	122,76	7,74
Área com solo exposto	377,85	23,83
Vegetação campestre	997,59	63,92
Total	1586	100

Aproximadamente 20% da área da sub-bacia possui solo exposto. Este valor foi alto devido provavelmente à época da tomada da cena, que ocorreu no mês de maio, quando as lavouras de milho da região, em sua maioria, já foram colhidas. Nesses casos, a alta reflectância da palhada seca sobre o solo confunde o classificador e pode ser classificada como classe de solo exposto.

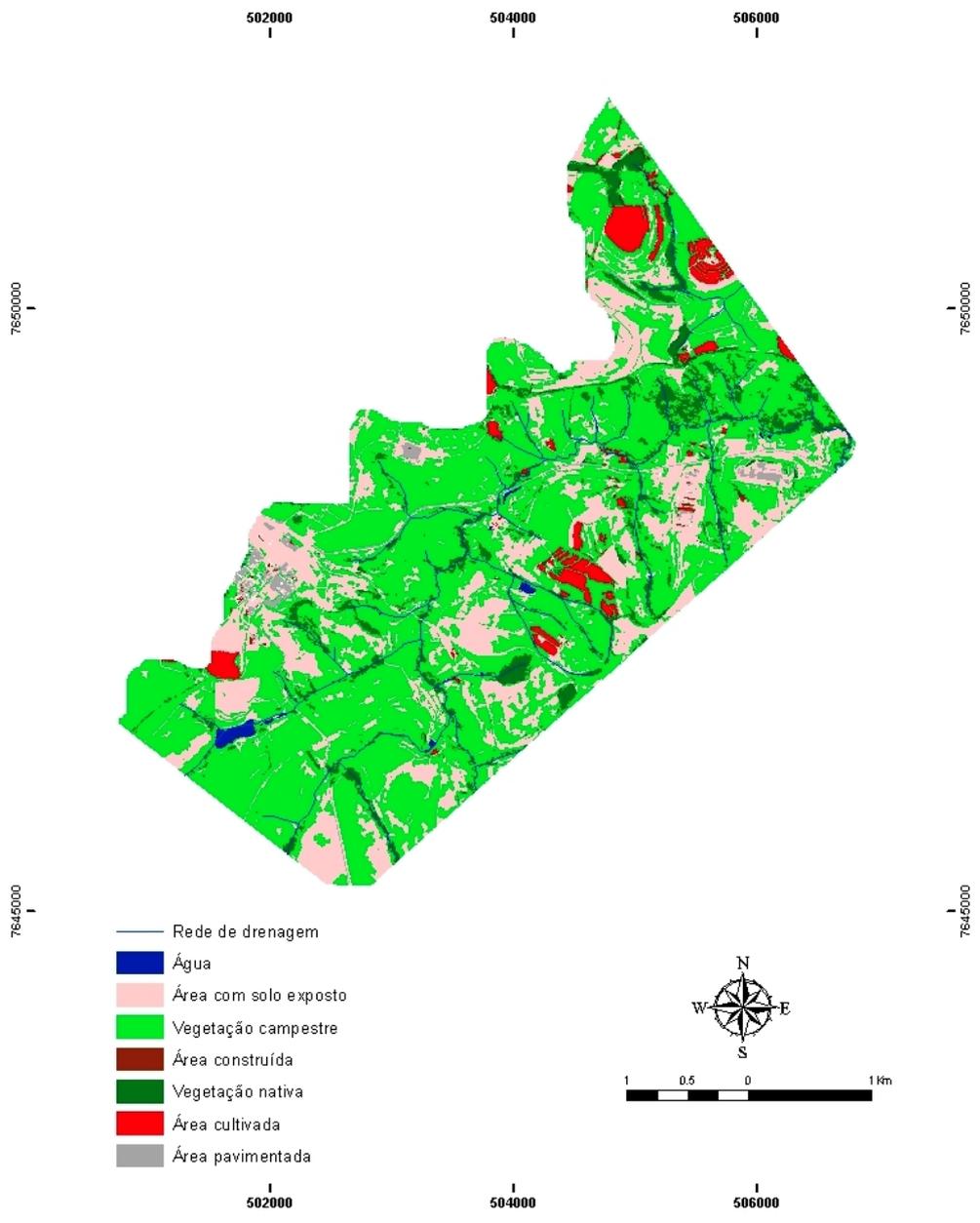


FIGURA 5 Mapa de classificação da cobertura do solo.

A vegetação nativa que corresponde aos fragmentos florestais ocupa 7% da área total, a classe área cultivada 3%, áreas pavimentadas 1% e as classes área construída e água, menos de 1%.

A escolha da resolução espacial e da resolução espectral da imagem é muito importante e irá depender dos objetivos do trabalho e do aspecto da imagem que serão observados. Portanto para estudos que necessitam de maiores detalhes, como este estudo, em que serão feitas observações na área de preservação permanente de cursos de rios com menos de 10 metros de largura, o ideal é trabalhar com imagens de alta resolução espacial. Em uma imagem do sensor Landsat, por exemplo, a área mínima imageada é de 30 metros o que facilmente acarretaria em erros advindos desde a correção geométrica da imagem até a posição da rede de drenagem, nos estudos em que são necessários detalhes em áreas de tamanhos menores.

A elevada resolução espacial das imagens Quickbird permitiu a detecção e mapeamento das áreas pavimentadas e construídas com bastante precisão. Identificaram-se na área de estudo construções, representadas por casas, galpões e outros, facilmente visualizados devido à reflectância do telhado e ao formato, estradas pavimentadas e não pavimentadas.

As principais atividades econômicas da área de estudo são a pecuária e agricultura. As plantações que ocupam pequenas áreas com no máximo 10 ha. Nos levantamentos de campo verificaram-se plantações de banana, hortigranjeiros, agriculturas de subsistência e, principalmente, milho. Na classificação da imagem, a classe área cultivada, conforme mencionado anteriormente, pode ter sido confundida com a classe solo exposto, podendo, portanto, ser maior do que o que foi identificado (3%).

A matriz de erro para a classificação apontou uma Exatidão Global de 87,71%, e um Índice *Kappa* de 0,8407 provando a qualidade do mapa temático como excelente demonstrando que, dos 236 pixels, 207 apresentaram

concordância entre a situação observada no mapa e a verificada pelas amostras de acurácia. Pelos dados da Tabela 6 verifica-se que nem todas as classes possuem erros de omissão. As classes que não apresentaram nenhum erro de omissão foram as classes água e área asfaltada, e as classes que apresentaram os maiores erros de omissão foram as classes área construída e área cultivada.

Uma matriz de classificação ideal deve apresentar os valores na diagonal principal próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes. Contudo, esta é uma situação difícil em imagens com alvos de características espectrais semelhantes, melhorando quando a forma e a textura são analisadas.

TABELA 6 Matriz de Erros da Classificação.

	Água	Área campestre	Área com solo exposto	Área cultivada	Vegetação nativa	Área asfaltada	Área construída
Água	100	0	0	0	0	0	0
Área campestre	0	93,98	0	22,86	6,12	0	0
Área com solo exposto	0	3,61	90,48	8,57	0	0	0
Área cultivada	0	0	0	62,86	0	0	0
Vegetação nativa	0	2,41	0	5,71	93,88	0	0
Área asfaltada	0	0	2,38	0	0	100	40,00
Área construída	0	0	7,14	0	0	0	60,00
Total	100	100	100	100	100	100	100

Índice Kappa = 0,8407

A análise visual permitiu observar que a qualidade da segmentação gerada foi adequada. No aplicativo não há como analisar a qualidade da segmentação de forma quantitativa.

Apesar dos testes de acurácia demonstrarem que a classificação foi excelente, observou-se confusão entre algumas classes, como as áreas de mata

nativa e áreas agrícolas como também nas áreas de solo exposto e pastagem, que pode ser explicado devido ao alto grau de similaridade em relação à reflectância dos objetos e a heterogeneidade dos espaços dentro da sub-bacia.

Este fato foi também observado por Rosário et al. (2007) quando analisou a classificação orientada a objetos no mapeamento temático do uso do solo e da cobertura vegetal na região costeira do leste do estado do Rio de Janeiro. Como resultado preliminar, observou-se que após a execução da classificação orientada a objetos, as áreas que apresentaram a maior confusão são as mais próximas da costa, onde a diversidade e o nível de fragmentação são maiores.

Apesar da segmentação multi-resolução realizada no *eCognition* apresentar excelente desempenho em relação ao agrupamento de objetos e ao tempo de processamento, no momento de classificação da imagem foi difícil separar as classes pré-definidas. Esta insatisfação com a classificação orientada ao objeto também foi observada por Kux & Pinheiro (2005) sendo explicado, no seu estudo, devido à heterogeneidade de áreas compostas de floresta tropical.

Porém o método de classificação orientada ao objeto continua sendo melhor, para imagens de alta resolução espacial, do que a classificação por pixel, confirmado por Antunes (2003) que desenvolveu uma pesquisa com o intuito de analisar a metodologia de classificação de tipologias vegetais em ambientes ciliares através de imagens IKONOS-II. Foram testados classificadores por pixel e o classificador orientado ao objeto. No resultado percebeu-se que a classificação orientada ao objeto foi superior ao método por pixel.

A metodologia empregada e a imagem utilizada permitiram a obtenção de uma classificação detalhada da área de estudo. Entretanto, devido a dificuldade na discriminação das classes temáticas, em função da grande heterogeneidade das feições mapeadas e do tempo necessário para o processamento da imagem, considera-se que não se justifica o uso de imagens

com alta resolução espacial para o mapeamento dessas classes temáticas quando o nível de detalhamento requerido não é muito alto. Nestes casos, provavelmente o resultados semelhantes aos obtidos com a classificação digital da imagem Quickbird poderiam ser obtidos com uma outra imagem de resolução espacial mais grosseira e conseqüentemente mais barata ou até mesmo gratuita.

Não obstante, as imagens Quickbird permitem classificar a área de estudo com grande detalhamento e, portanto, são adequadas para uso em áreas de menor tamanho, onde as imagens de menor resolução não permitem discriminar as classes adequadamente, e em casos onde o maior detalhamento é fundamental para alcançar os objetivos.

O mapa de fragmentação (Figura 6) demonstrou como pode ser visto na Figura 6, que a área é composta por vários fragmentos pequenos, cujas áreas de um único fragmento contínuo não ultrapassam 11 ha. A soma de todos os fragmentos totalizou 125 ha o que equivale a 8% da área total.

A classe de fragmento que ocupou a maior fração da área é a de fragmentos que possuem de 0,14 a 0,5 hectares, representados em 60,58% da área total da sub-bacia, conforme pode ser observado na Tabela 7. Segundo Scariot et al. (2005) os fragmentos pequenos podem ser importantes na paisagem por representarem uma amostra da heterogeneidade espacial original do ambiente remanescente. Adicionalmente, pequenos fragmentos podem desempenhar papel fundamental na conexão entre fragmentos maiores e áreas contínuas, contribuindo para o fluxo de genes entre populações. Condição importante, principalmente quando se trata de uma pequena sub-bacia, altamente antropizada como a deste estudo.

TABELA 7 Classes de tamanho dos fragmentos presentes na sub-bacia.

Classes (ha)	Quantidade	Ocupação (%)
0,14 a 0,5	83	60,58
0,5 a 1,0	29	21,17
1,0 a 3,0	15	10,95
3,0 a 5,0	6	4,38
> 5,0	4	2,92
Total	137	100

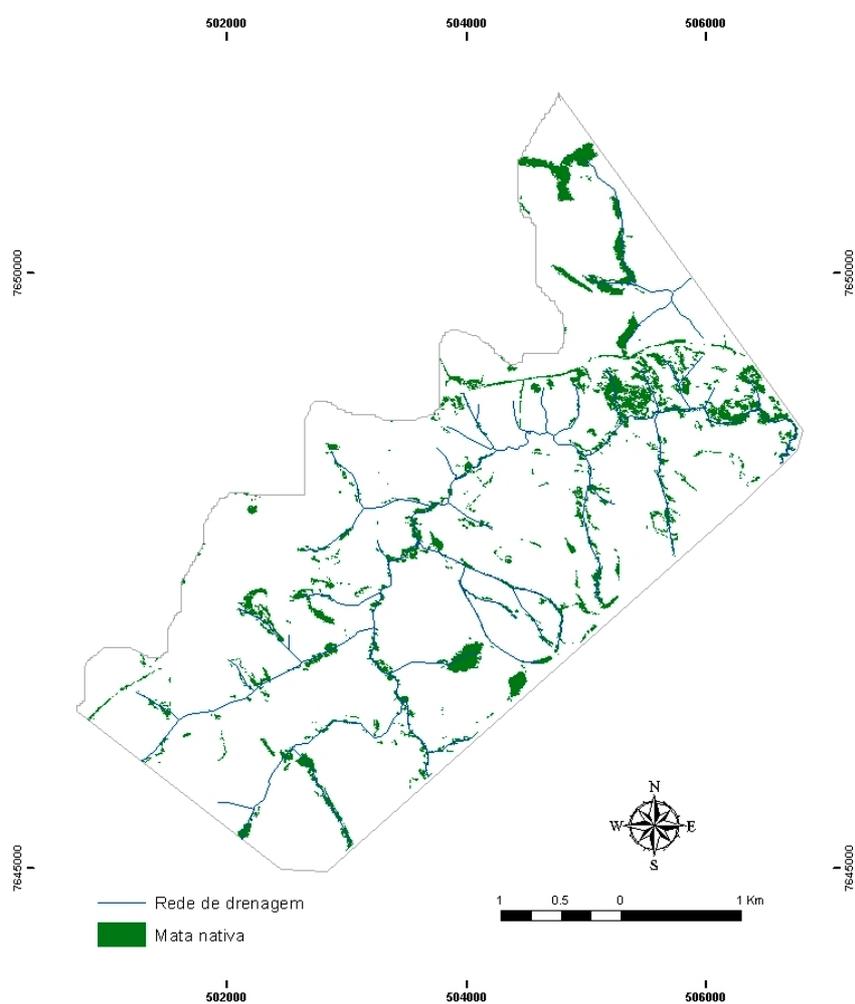


FIGURA 6 Mapa de fragmentos presentes na sub-bacia hidrográfica estudada.

Assim, quando considerados em conjunto, fragmentos pequenos podem manter uma parcela significativa da biodiversidade regional. Conforme Scariot et al. (2005), os efeitos do tamanho dos fragmentos podem se manifestar de várias formas. Por exemplo, em pequenos fragmentos de Floresta Atlântica houve uma redução no número e abundância de espécies polinizadoras e frugívoras, na taxa de visita de polinizadores e na fertilidade de algumas espécies arbóreas, com a canjerana (*Cabranea canjerana*). Ao mesmo tempo ocorreu um aumento na predação de sementes. Além disso, a redução do tamanho dos fragmentos pode diminuir a variabilidade genética das populações, como foi observado no Cambuí (*Myrciaria floribunda*). Indicando que nestes casos é recomendado um monitoramento da área para garantir a diversidade da população e, caso necessário, uma intervenção na área com plantios de enriquecimento.

6 CONCLUSÕES

- A imagem de alta resolução espacial (Quickbird) e a metodologia utilizada para o seu processamento promoveu eficiente e detalhada classificação e mapeamento das características físicas, relevo, solos e cobertura atual do solo, na área de estudo;
- A metodologia de segmentação e classificação por região da imagem de alta resolução para classificação da cobertura atual do solo apresentou excelente qualidade indicada pela Exatidão Global e Índice Kappa;
- Devido à alta resolução da imagem e à grande heterogeneidade das feições da vegetação campestre, esta classe apresentou maior dificuldade de discriminação em relação às classes solo exposto, vegetação nativa e área cultivada;
- A utilização de imagem de alta resolução para a classificação e estratificação propostas, em função do maior custo da imagem e tempo de processamento, é recomendada quando há necessidade de maior detalhamento espacial.
- Teste de outros métodos de processamento das imagens de satélite são necessários para a utilização de imagens de alta resolução espacial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; RESENDE, R. J. T. P. de; ESTEVES, D. R.; ROSA, E. R. Diagnóstico ambiental do Município de Lavras com base em dados do meio físico: III., estratificação em classes de declive. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v. 4, p. 356-358.

ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. 2003. 147 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BIASE, M. de. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 45-60, 1993.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Lei n. 4771**, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília, 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm>. Acesso em: 10 jun. 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normas climatológicas**: 1961-1990. Brasília, 1992. 84 p.

CURI, N.; CARMO, D. W.; BAHIA, V. G.; FERREIRA, M. M.; SANTANA, D. P. Problemas relativos ao uso, manejo e conservação do solo em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 5-16, 1992.

DEFINIENS IMAGING. **ECognition**: user guide. Munchen, 2000. 468 p. Disponível em: <<http://www.definiens-imaging.com/down/ecognition>>. Acesso em: 10 ago. 2006.

EASTMAN, J. R. **IDRISI**. Porto Alegre: UFRGS, 1994. 109 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

GONÇALVES, L.; FONSECA, A. M.; CAETANO, M. Exploração de imagens de alta resolução do satélite Ikonos. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 6., 2001, Lisboa. **Anais...** Lisboa: USIG, 2001. p. 22.

HOFFMANN, A.; VEGT, J. W. V. **New sensor systems and new classification methods**: laser-and digital camera-data meet object-oriented strategies.

Disponível em:

<http://www.terraimaging.nl/fileadmin/PDFs/publications/e/GIS_052001.pdf>.

Acesso em: 10 fev. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro, 1993. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169>. Acesso em: 10 dez. 2008.

KUX, H. J. H.; PINHEIRO, E. da S. Dados do satélite *QUICKBIRD* para o mapeamento do uso e cobertura da terra numa seção da Mata Atlântica no Estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 4509-4516.

MAILLARD, P. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Belo Horizonte: UFMG/IGC, 2001. Disponível em:

<<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/centrorecursos/apostilas/apostilas.html>>. Acesso em: 17 jan. 2007.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images**: an introduction. 2. ed. Nottingham: J. Wiley, 1999. 292 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. 307 p.

MOREIRA, M. A. **Modelos de plantio de florestas mistas para a recomposição de mata ciliar**. 2002. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PINTO, L. V. A.; FERREIRA, E.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C. Caracterização física da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 49-60, jan./mar. 2005.

- ROSÁRIO, L. S. do; CUNHA, A. S.; FABER, O. A.; CRUZ, C. B. M.; SEABRA, V. da S. Classificação orientada a objeto no mapeamento do uso e cobertura do solo: uma aplicação da modelagem Fuzzy. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 6099-6101.
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand, 1999. p. 228-267.
- SILVA, A. C. **Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras (MG)**. 1990. 133 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.
- SILVA, V. L. A. da. **Caracterização de ambientes agrícolas de podzólicos da região de Lavras (MG) e interpretação para uso e manejo**. 1991. 63 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.
- SCARIOT, A.; FREITAS, S. R.; NASCIMENTO, M. T.; OLIVEIRA, L. C. de; SANAIOTTI, T.; SEVILHA, A. C.; VILLELA, D. M. **Vegetação e flora: fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas**. 2. ed. Brasília: MMA/SBF, 2005. 124 p.
- SCHIEWE, J.; TUFTE, L. Integrative Auswertung von GIS und Fernerkundung. In: BLASCHKE, T. (Ed.). **Fernerkundung und GIS – neue sensoren: innovative methoden**. Heidelberg: H.W. Verlag, 2002. p. 42-52.
- SULSOFT. **Guia do Envi em português: ENVI 4.0**. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.envi.com.br>>. Acesso em: 8 abr. 2006.
- TANAKA, S.; SUGIMURA, T. A new frontier of remote sensing from IKONOS images. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 22, n. 1, p. 1-5, Jan. 2001.
- VELOSO, S. M.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptado a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.

CAPÍTULO 3

Estratificação ambiental e propostas de recuperação da mata ciliar em uma sub-bacia hidrográfica

BERNARDI, Henriqueta Veloso Ferreira. Estratificação ambiental e propostas de recuperação da mata ciliar em uma sub-bacia hidrográfica. In: _____. **Proposta para caracterização, estratificação ambiental e recuperação de matas ciliares de uma sub-bacia do Alto Rio Grande**. 2007. Cap. 3, p. 62-95. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

1 RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram definir metodologia para estratificação ambiental e proposição de métodos de recuperação de matas ciliares, com base em imagem de satélite de alta resolução espacial (Quickbird). Delimitar e quantificar a Área de Preservação Permanente (APP) no entorno dos cursos d'água; classificar e quantificar os tipos de solos, relevo e cobertura e uso do solo nas APP's dos cursos d'água; definir as metodologias de recuperação de mata ciliar adequadas às condições ambientais da área, baseadas no tipo de solo, relevo, cobertura do solo e distância de fragmentos de mata nativa e utilizar o algoritmo árvore de decisão para elaborar mapa temático com os métodos propostos para a recuperação das APPs no entorno dos cursos d'água. Foi criado um *buffer* de 30 metros dos rios para determinar a APP. Para a confecção do mapa de fragmento foi considerado somente aqueles com área igual ou maior do que 1500 m². No total foram sugeridos seis métodos para a recuperação das APPs. Para a obtenção da estratificação dos ambientes e indicação dos métodos mais adequados para a recuperação das matas ciliares foi utilizado o algoritmo árvore de decisão. Como resultados obtidos observou-se que as APPs da área estudada relacionada aos cursos d'água somam aproximadamente 200 ha. As áreas com relevo tipo várzea, onde a declividade é menor que 3%, são predominantes, totalizando 51,67% da APP. O relevo suave ondulado ocupou 18,71% da área total das APPs, enquanto o relevo ondulado representa 14,94% da área. O tipo de solo predominante na APP foi o grupo Gleissolos Hápicos e

* Comitê Orientador: Soraya Alvarange Botelho - UFLA (Orientador) e Luis Marcelo Tavreres de Carvalho- UFLA (Co-orientador) .

Neossolos Flúvicos, com a porcentagem de 51,67%. A maior parte da área é coberta por vegetação campestre, com 65,70% do valor total, seguida por áreas com vegetação nativa (25,64%). Verificou-se que aproximadamente 74% da APP da área estudada encontram-se com uso inadequado. E que 25,8% da APP já apresentam vegetação nativa sendo, portanto, necessárias atividades de manejo para a sua conservação. Dentre os métodos de regeneração artificial indicados, o método 1 (regeneração artificial com preparo mecanizado) foi recomendado para ser utilizado em cerca de 23,5% das áreas. O método 2 (regeneração artificial, em áreas com solo exposto, com preparo mecanizado) foi indicado para uma pequena área (4,7%). A classificação apresentou uma Exatidão Global de 83,33% e apresentou um Índice Kappa de 0,7657. O maior erro de omissão foi com o método 4 (regeneração artificial com preparo manual), apresentando um valor de 40%, entretanto não apresentou nenhum erro de inclusão. E o maior erro de inclusão (66,67%) aconteceu com o método 2 (regeneração artificial com abertura manual de covas), porém nenhum erro de omissão foi apresentado.

Palavras-Chave: imagem de alta resolução, estratificação ambiental, métodos de recuperação, árvore de decisão.

2 ABSTRACT

BERNARDI, Henriqueta Veloso Ferreira. Environmental stratification and proposals of riparian vegetation recovery at a hydrologic subbasin. In: ____ **Proposal for environmental stratification, characterization and recovering of riparian vegetation in a subbasin in upper Rio Grande.** 2007. Chapt.3, p. 62-95. Dissertation (Masters in Forest Engineering) – Federal University of Lavras (Universidade Federal de Lavras-UFLA), Lavras, MG.*

The aim of this study was to define a methodology for environmental stratification, as well as to propose methods for the recovering of riparian forest, based on high resolution spatial satellite image (QuickBird). This study also determined and quantified the Permanent Preservation Area (APP) surrounding the water courses; classified and quantified the soil types, relief and coverage, and soil usage in the APPs; determined methodologies for the recovering of riparian forest fitted for the area's environmental conditions, based on the soil types, relief, soil coverage and distance of native vegetation fragments; and used the *Decision Tree Algorithm* to elaborate a thematic map containing methods for the recovering of the APPs. A 30-meter *buffer* of the rivers was used to determine the APP limits. Only the fragments presenting at least a 1500 m² area were considered for the construction of the Map of Fragments. A total of 6 methods were suggested for the APPs recovery. The algorithm decision tree was used to obtain the environment stratification and indicated the more adequate methods for the the riparian forest recovery. Through the data obtained, it was possible to observe that the studied APPs, related with the water courses, were approximately 200-ha large. The areas presenting lowland relief, where the slope was lower than 3%, prevailed and represent 51.67% of the APP. The slightly undulate relief occupied 18.71% of the total area of the APPs, whereas the undulate relief represents 14.94% of the area. The prevailing type of relief in the APP was the group known as Haplic Gleysols and Fluvic Neosols, representing 51.67% of the area. The greatest part of the area was blanketed with grassland vegetation (65.70%), whilst areas presenting native vegetation represented 25.64% of this coverage. It was also possible to observe that approximately 74% of the APP in the studied area was under inadequate usage, and that 25.8% of the APP presented native vegetation, which highlighted the necessity of management activities for its conservation. Among the artificial regeneration methods indicated in these studies, the method number 1 (artificial regeneration

* Guidance Committee: Soraya Alvarange Botelho - UFLA (Adviser) and Luis Marcelo Tavreres de Carvalho- UFLA (Co-adviser).

with mechanized preparation) was recommended for approximately 23.5% of the areas. Method number 2 (artificial regeneration with manual holing) was indicated for a small area (4.7%). The classification presented a *Global Accuracy* of 83.33% and a *Kappa Index* of 0.7657. The highest omission error (40%) was observed in method 4 (manually prepared artificial regeneration), and it did not present any inclusion error. The highest inclusion error (66.67%) was observed in method number 2 (artificial regeneration with manual holing), although no omission error was observed.

Keywords: high resolution image, environmental stratification, recovery methods, decision tree

3 INTRODUÇÃO

As matas ciliares são formações vegetais que se encontram associadas aos corpos d'água, ao longo dos quais podem estender-se por dezenas de metros a partir das margens e apresentar marcantes variações na composição florística e na composição comunitária, dependendo das interações que se estabelece entre o ecossistema aquático e sua vizinhança (Oliveira Filho, 1994).

Diversos pontos da paisagem rural e da cobertura florestal são fundamentais e estratégicos para a produção de água, com destaque para as matas de topo de morro, as matas ciliares e as matas no entorno de nascentes (Martins & Dias, 2001).

As matas ciliares possuem um alto poder de absorver e adsorver, funcionando como filtros das lâminas de água que correm, das partes mais altas em direção aos cursos d'água. A serrapilheira e o sistema radicular destas matas retêm sedimentos e substâncias que poderiam provocar assoreamento, eutroficação e poluição dos cursos d'água (Martins & Dias, 2001). As matas ciliares são também essenciais para sobrevivência da fauna representando refúgios, água e alimento.

Apesar de sua importância e de serem, em parte, protegidas por lei, as matas ciliares têm sido intensamente utilizadas e transformadas em áreas de uso agrícola e pecuário, urbanização, mineração, lazer, dentre outros. Programas de recuperação de matas ciliares em níveis regionais e locais têm sido estabelecidos. Entretanto, vários programas não têm alcançado sucesso em função da falta de projetos técnicos adequados, dentre outros aspectos.

Vários desafios precisam ser enfrentados em recuperação de áreas degradadas. Um dos mais importantes é a adoção de técnicas de revegetação eficientes e adequadas às peculiaridades do local a ser recuperado. Na prática, entretanto, muitas vezes escolhem-se técnicas com base apenas em intuições e

receitas, com a única finalidade de amenizar, em curto prazo, a depreciação estética da área. Além disso, muitas iniciativas passam, exclusivamente, pelo cumprimento das exigências legais.

Ecossistema degradado, segundo Carpanezzi et al. (1990), é aquele que após certo distúrbio teve eliminado, junto com a vegetação, o meio biótico, apresentando, assim, baixa resiliência, ou seja, o seu retorno ao estado anterior pode não acontecer ou ser extremamente lento, sendo necessária a intervenção humana como meio de auxiliar desse processo. Diferente deste, ecossistema perturbado é aquele que sofreu determinado distúrbio, mas, que dispõe de meios bióticos de regeneração, especialmente banco de sementes e de plântulas, chuva de sementes e brotação suficientemente ativa, a tal ponto de permitirem uma recuperação da vegetação em período aceitável de tempo (Crestana et al., 2004).

Independente da intervenção a ser adotada, antes de se desenvolver qualquer ação voltada à recuperação de áreas degradadas, é preciso saber como funciona na prática a dinâmica da floresta tropical e conhecer os princípios que regem esta dinâmica, os quais não podem ser tratados isoladamente, pois são interligados (Crestana et al., 2004).

A escolha do método de regeneração florestal mais adequado para uma determinada área vai depender de vários fatores, dentre os quais se destacam: o grau de degradação da área, o histórico da área, a disponibilidade de semente e mudas no mercado, a existência de máquinas e implementos agrícolas, os recursos financeiros disponíveis, a distância de remanescentes próximos, o grau de degradação do solo, entre outras características (Crestana et al., 2004).

Frete esta escolha deve-se sempre ter como referência os processos naturais de recuperação e regeneração da floresta e lembrar que o modelo de revegetação a ser adotado não implica necessariamente no plantio de mudas. Em muitos casos, o simples isolamento da área já é suficiente para que ela se recupere gradual e naturalmente. Entretanto, neste caso é obrigatório à existência

de remanescente florestal próximo a área, de modo que os meios de recuperação biótica estejam presentes e possam atuar como por exemplo, chuva de sementes, as quais podem ser levadas pelo vento ou por animais (Crestana et al., 2004).

Por isso, é fundamental que se conheça muito bem a área a ser trabalhada, para que se possa definir qual ou quais os modelos apropriados a adotar. Sempre tendo em mente que é interessante estar reduzindo custos, tempo e trabalho e maximizando eficiência. Se comparada aos demais métodos, a regeneração natural é conhecida como o processo biológico mais econômico, porém lento, o qual pode ser acelerado mediante a adoção de algumas práticas de manejo (Crestana et al., 2004).

A regeneração natural é o método aplicado em locais pouco perturbados que ainda mantêm características típicas do local. É comum o surgimento de plantas invasoras agressivas, as quais podem interferir na sucessão, necessitando de controle específico.

Neste contexto, surge a necessidade de avaliar o modelo de ocupação e uso do solo a fim de identificar suas relações com diferentes níveis de degradação dos recursos locais e assim estruturar métodos de recuperação destas áreas.

A decisão a respeito do método de recuperação mais adequado que será utilizado em um local deverá ser tomada após o diagnóstico completo da área. A análise dos fatores que mais influenciam na qualidade do sítio, como solo e declividade, juntamente com um mapa de cobertura atual do solo, é fundamental para o planejamento da melhor estratégia de recomposição da vegetação a ser adotada, como também é a base do processo de seleção das espécies a serem utilizadas, caso a regeneração artificial seja adotada (Dutra, 2005).

Imagens de satélite de alta resolução espacial permitem uma visão detalhada do ambiente ciliar, o qual viabiliza o planejamento estratégico da recomposição e monitoramento das mesmas. O conhecimento do mapa de uso

do solo é fundamental para qualquer plano de fiscalização e recuperação de áreas antropizadas (Antunes, 2003).

A complexidade dos fatores atuantes em uma bacia hidrográfica exige um instrumento computacional que seja capaz de realizar de maneira eficiente e rápida a manipulação de informações georreferenciadas, e associar às funções de um banco de dados a visualização espacial em forma de mapas (Paiva et al., 2003).

Um dos pré-requisitos básicos para a elaboração de modelos ambientais e ecológicos é a disponibilidade de mapas acurados sobre o uso e cobertura do solo. Para a recuperação de áreas degradadas e manejo integrado de bacias hidrográficas, esse tipo de mapeamento serve como base para o planejamento de estratégias a serem adotadas, a fim de orientar futuras intervenções em uma determinada área (Dutra, 2005).

Assad & Sano (1998) descrevem o uso de SIG no planejamento de microbacias hidrográficas, considerada por eles como a unidade geográfica ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais. A primeira etapa do trabalho é o diagnóstico da microbacia, obtido através da caracterização fisiográfica e sócio-econômica. Alguns estudos têm obtido importantes informações para o planejamento de recuperação de matas ciliares através de SIG, como Assad & Sano (1998) que relacionam 58% da mata de galeria a ser recuperada na bacia do córrego Taquara, Distrito Federal; Pinto et al. (2005) constataram que 58,0% de uso indevido nas áreas de preservação permanente (APPs) das margens dos cursos d'água e nascentes na bacia do Ribeirão Santa Cruz, Minas Gerais; e Costa (2004) que constatou 79,06% de uso indevido nas APPs de cursos d'água e nascentes na bacia do Ribeirão Jaguará, Minas Gerais.

Os SIGs são sistemas cujas principais características são: integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes, dados e

modelos numéricos de terrenos; combinar as várias informações através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados; consultar, recuperar, visualizar e imprimir o conteúdo da base de dados geocodificados (Câmara, 1993).

O SIG cria informação de grande utilidade para planejadores e tomadores de decisão, podendo ser empregado no planejamento da conservação ambiental, para indicar as várias alternativas existentes. Uma das análises que o SIG possibilita é a elaboração da árvore de decisão.

Em teoria, uma árvore de decisão é um gráfico em forma de árvore contendo as decisões a serem tomadas e suas possíveis consequências, usado para criar um plano para se alcançar um objetivo (Santana & Rodrigues, 2005).

A árvore de decisão é implementada utilizando-se o processo de classificação a partir das amostras de treinamento descritas por um conjunto de atributos. Uma regra de decisão binária é estabelecida para dividir o conjunto de amostras em dois subconjuntos mais homogêneos do que o original, começando a partir do nó raiz. Cada subconjunto (nós de decisão) é então submetido a uma nova regra de decisão para gerar novos subconjuntos ainda mais homogêneos. Teoricamente, este procedimento particiona recursivamente o conjunto de treinamento, até que cada subconjunto obtido deste particionamento contenha casos de uma única classe (Breiman et al., 1984; Quinlan, 1986). Uma árvore de decisão com alto poder preditivo e um pequeno número de nós constitui uma situação altamente desejável (Clarke & Bittencourt, 2003).

O objetivo geral deste trabalho foi definir metodologia para estratificação ambiental e proposição de métodos de recuperação de matas ciliares, com base em imagem de satélite de alta resolução espacial e Sistema de Informação Geográfica.

Objetivos específicos:

- delimitar e quantificar a Área de Preservação Permanente (APP) no entorno dos cursos d'água;
- classificar e quantificar tipos de solos, relevo e cobertura do solo nas APP's dos cursos d'água;
- definir as metodologias de recuperação de mata ciliar adequadas às condições ambientais da área, baseadas no tipo de solo, relevo, cobertura do solo e distância de fragmentos de mata nativa;
- utilizar o algoritmo árvore de decisão para elaborar mapa temático com os métodos propostos para a recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) no entorno dos cursos d'água.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi realizado em parte da Bacia do Ribeirão Santa Cruz, localizada no município de Lavras, MG. A bacia tem como curso d'água principal o Ribeirão Santa Cruz, que é tributário do Rio Capivari que, por sua vez, é tributário do Rio Grande e este último, integrante da bacia do Rio Paraná. A área de estudo foi de aproximadamente 1600 ha e está localizada entre as coordenadas geográficas 21°14' a 21°16' de latitude e 44°57' a 44°59' de longitude de Greenwich.

O clima da região é do tipo Cwa, conforme a classificação de Köppen. A temperatura média anual está em torno de 19°C e a precipitação anual normal é de 1.530mm (Brasil, 1992). A formação florestal da bacia é classificada como floresta estacional semidecidual montana (Veloso et al., 1991). A vegetação presente na região pode ser definida como uma disjunção do bioma Cerrado, inserida dentro da área de distribuição das florestas estacionais semidecíduais do Sudeste Brasileiro (IBGE, 1993).

A região de Lavras pode ser estratificada em função de seus ambientes agrícolas (solos) em Gleissolos e Neossolos Flúvicos, Latossolos, Solos com horizonte B textural, Cambissolos de rochas pelíticas e gnáissicas, e Neossolos Litólicos de quartzitos e micaxistos (Curi et al., 1990; EMBRAPA, 1999).

4.2 Delimitação da área de preservação permanente referente aos cursos d'água

Para a realização da pesquisa foram delimitadas áreas de preservação permanente (APP) existentes ao redor dos cursos d'água. As áreas de preservação permanente foram delimitadas com base na Lei Nº 4771, de 16/09/1965 (Brasil, 2002), que instituiu o Código Florestal Brasileiro e na

Resolução CONAMA Nº 302 de 20/03/2002, que estabelece 30 (trinta) metros de largura para os cursos d'água com menos de 10 metros de largura, sendo que todos os cursos d'água da área de estudo se enquadravam nesse item da legislação.

A imagem do sensor Quickbird, imagem padrão (*Standard Imagery*), datada de 27/05/2003 foi utilizada para digitalização dos rios e delimitações das áreas de preservação permanente. A imagem adquirida possui as seguintes projeções cartográficas: UTM e Datum WGS 84. Este produto possui resolução espacial de 0,60m na banda pancromática (PAN) e 2,4m na multiespectral (MS). As imagens possuem 8 bits e 5 bandas espectrais no total: 1 PAN e 4 MS (azul, verde, vermelho e infravermelho-próximo).

Foi criado um *buffer*, correspondente aos 30 metros através do SIG ArcGis, a partir da rede de drenagem onde foram selecionados números de pixels suficientes para demarcar as distâncias estabelecidas, por lei, dos cursos d'água.

4.3 Mapas temáticos

Os mapas temáticos da área de estudo, gerados no capítulo 2 confeccionados conforme os itens 2.2.2.2, 2.2.2.3 e 2.2.2.4, foram elaborados com base no polígono do buffer de 30m em cada margem dos cursos d'água para gerar um mapa representando a APP.

Devido a alta resolução da imagem todo conjunto de indivíduos arbóreos com que ocupassem uma área igual ou maior ao tamanho do pixel (2,4 x 2,4 metros) foi classificada como fragmento de mata nativa. Entretanto, para a confecção do mapa de distância dos fragmentos foram considerados como fragmentos somente aqueles com área igual ou maior do que 1500 m², partindo-se da pressuposição de que estes são capazes de produzir sementes que serão

dispersas em áreas próximas, o que possibilitaria a recuperação à partir de regeneração natural.

Para gerar o mapa das distâncias dos fragmentos foi gerada uma imagem em que cada pixel representa a distância (metros) em que os mesmos se encontravam dos fragmentos florestais mais próximos. Posteriormente estas distâncias foram agrupadas em três classes que representaram 0m (fragmento), até 50m de distância do fragmento e mais de 50m de distância do fragmento.

O mapa de relevo passou por um agrupamento de suas quatro classes originais em duas classes finais. Com base em características físicas e possibilidade de mecanização nos processos de recuperação da vegetação o relevo, portanto, ficou dividido em áreas com declividade menor ou igual a 12% (plano, suave ondulado e ondulado) e maior que 12 % (forte ondulado e montanhoso).

O mapa de solos para a APP foi obtido através do recorte do mapa de tipos de solos gerado do acordo com o item 2.2.3 do capítulo 2.

4.4 Métodos de recuperação

A escolha destes métodos propostos para a recuperação foi realizada com base nas características físicas, tipo e cobertura do solo, relevo e distância de fragmentos, que influenciam o processo de recuperação da vegetação ciliar. Após simulações e análises comparativas dos fluxogramas gerados com base nas características selecionadas e situações reais em campo, foram definidos os seis métodos indicados abaixo.

Os métodos sugeridos para a recuperação das áreas de preservação permanente da sub-bacia hidrográfica, conforme pesquisas bibliográficas e análises de campo foram:

- ✓ Método 1: regeneração artificial em área ocupada com pastagem ou cultura agrícola, sem fragmento próximo (raio de 50m) e declividade inferior a 12%, que permite o preparo mecanizado do solo;
- ✓ Método 2: regeneração artificial em área ocupada com pastagem ou cultura agrícola, sem fragmento próximo (raio de 50m) e declividade superior a 12%, onde será necessária a abertura manual de covas para o plantio;
- ✓ Método 3: regeneração artificial em áreas com solo em exposição, independentes da distância de fragmentos, em todos os tipos de solos exceto o tipo Gleissolo, com declividade inferior a 12% que permite o preparo mecanizado do solo;
- ✓ Método 4: regeneração artificial em áreas com solo em exposição, independentes da distância de fragmentos, com declividade superior a 12% onde será necessária a abertura manual de covas para o plantio;
- ✓ Regeneração natural e enriquecimento: estes métodos serão utilizados em áreas com cobertura de pastagens e culturas agrícolas e fragmentos distantes até 50m da área, independente do tipo de solo e da declividade do terreno;
- ✓ Conservação: são as áreas já cobertas por vegetação nativa aonde as possíveis intervenções serão realizadas para proteger a vegetação existente.

Os métodos 3 e 4 diferenciam-se dos métodos 1 e 2, respectivamente, por se tratar de áreas degradadas, com solo exposto e processo erosivo acentuado, onde serão necessários tratamentos mais intensivos no preparo do solo e modelos de plantio diferenciados, em relação a escolha das espécies, proporção dos grupos ecológicos, espaçamento e arranjo, dentre outros.

4.4.1 Árvore de decisão

Para a obtenção da estratificação dos ambientes e indicação dos métodos mais adequados para a recuperação das matas ciliares foi utilizado o algoritmo árvore de decisão.

O arquivo base usado para composição da árvore de decisão foi feito a partir da ferramenta *layer stacking* do SIG Envi 4.2, onde os mapas de relevo, solos, cobertura e uso do solo e fragmento de mata nativa foram compilados em um só arquivo e exportados para o *software* See5 versão 1.2. Essa ferramenta tem a característica de sobrepor mapas para posteriormente analisar cada ponto específico, simultaneamente, em todos os mapas compilados.

O mapa cobertura e de uso do solo foi enquadrado na banda de número 1 do arquivo, e é composto por classes de 1 a 7, entretanto as classes que foram usadas para a composição da árvore de decisão foram as classes 2 (áreas com vegetação campestre), 3 (áreas com exposição de solo), 4 (áreas de cultivo agrícola) e 5 (vegetação nativa), por constituírem áreas passíveis de recuperação da mata ciliar.

O arquivo com o mapa de solos foi enquadrado na banda 2 do *layer stacking*, sendo composto pela classe 1, representada pelos gleissolos háplicos e neossolos flúvicos, a classe 2, que são os latossolos, a classe 3, representada pelos solos B texturais e por último a classe 4, que são os solos B texturais e cambissolos. Estas classes foram definidas de acordo com o modelo estabelecido por Andrade et al. (1998), que correlaciona às classes de declividade e as classes de solos atualizadas pela EMBRAPA (1999).

O mapa o relevo foi enquadrado na banda 3 do arquivo e foi agrupado em duas classes, sendo a primeira equivalendo aos tipos de relevo várzea, plano a suave ondulado e suave ondulado a ondulado ($\leq 12\%$) e a segunda classe que representa os tipos ondulado a forte ondulado, forte ondulado a montanhoso e montanhoso ($> 12\%$), em função da possibilidade de mecanização da área.

O último mapa, conseqüentemente enquadrado na banda 4, representa as classes de distância dos fragmentos. Na classe de número 1 se enquadram os fragmentos, a segunda classe representa as distâncias até 50m das bordas dos fragmentos e a terceira classe representa as distâncias acima de 50 metros. As classes foram assim determinadas devido à observação de campo na região e por resultados como os obtidos por Puerta (2002) que observou maior número de indivíduos e número de espécies arbóreas na regeneração em pastagens, até 50m de distância de fragmentos de floresta.

As classes temáticas dos mapas de cobertura e uso atual dos solos, de solos, de relevo e distância dos fragmentos estão apresentados na Tabela 8 que especifica as classes e suas respectivas bandas.

TABELA 8 Distribuição das classes nas suas respectivas bandas.

Bandas	Atributos	Classes temáticas
Banda 1	Uso atual do solo	1 – Água 2 – Pastagem 3 – Solo exposto 4 – Cultura agrícola 5 – Mata nativa 6 – Área pavimentada 7 – Área construída
Banda 2	Tipos de solos	1 – Gleissolos háplicos e neossolos flúvicos 2 – Latossolos 3 – Solos B texturais 4 – Solos B texturais e cambissolos
Banda 3	Relevo	1 – 0% a 12% 2 – >12%
Banda 4	Distância dos fragmentos	1 – Fragmento (0m) 2 – 0 - 50m 3 – > 50m

Após a organização da base de dados e aquisição das amostras construiu-se a árvore de decisão, que através do conhecimento espectral de cada classe e um conjunto de indução de regras apresenta resultados hierárquicos das classes. Essas amostras foram processadas no *software* See5 versão 1.2 para gerar a árvore de decisão e, em seguida, foram aplicadas para todo o conjunto de dados no programa ENVI 4.2. A figura 7 apresenta o algoritmo da árvore de decisão.

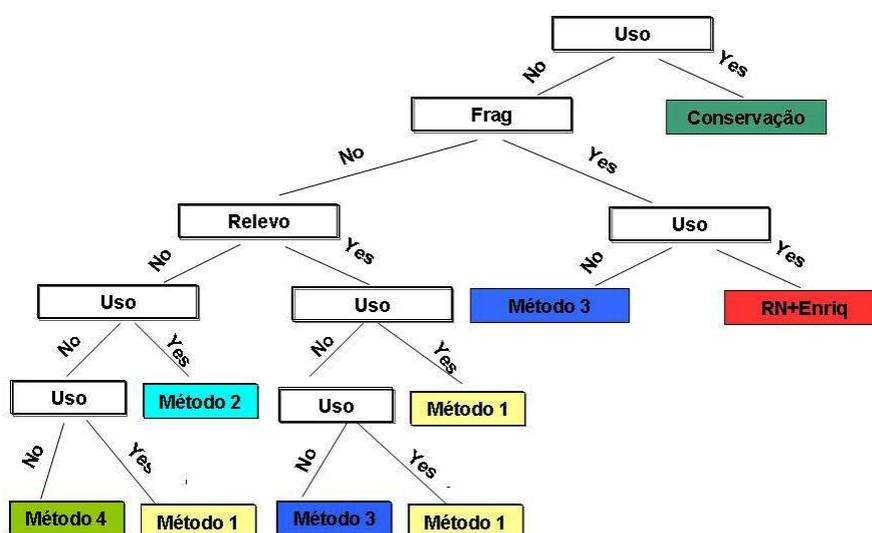


FIGURA 7 Árvore de decisão dos métodos de recuperação.

Para a verificação da acurácia da estratificação ambiental foi realizada a aleatorização de pontos a partir da estratificação na área de interesse. No total foram coletadas 150 amostras. A amostragem dessas áreas baseou-se nas condições específicas de cada metodologia proposta para a recuperação das áreas. A precisão dos métodos indicados para a recuperação das áreas foi feito a partir da análise da Matriz de Erro da classificação e o Índice Kappa e a Exatidão Global.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Mapas temáticos

As Áreas de Preservação Permanentes (APPs) da sub-bacia estudada relacionada aos cursos d'água representam aproximadamente 200 há de área. A Figura 8 mostra a área de estudo, a rede de drenagem e a respectiva APP.

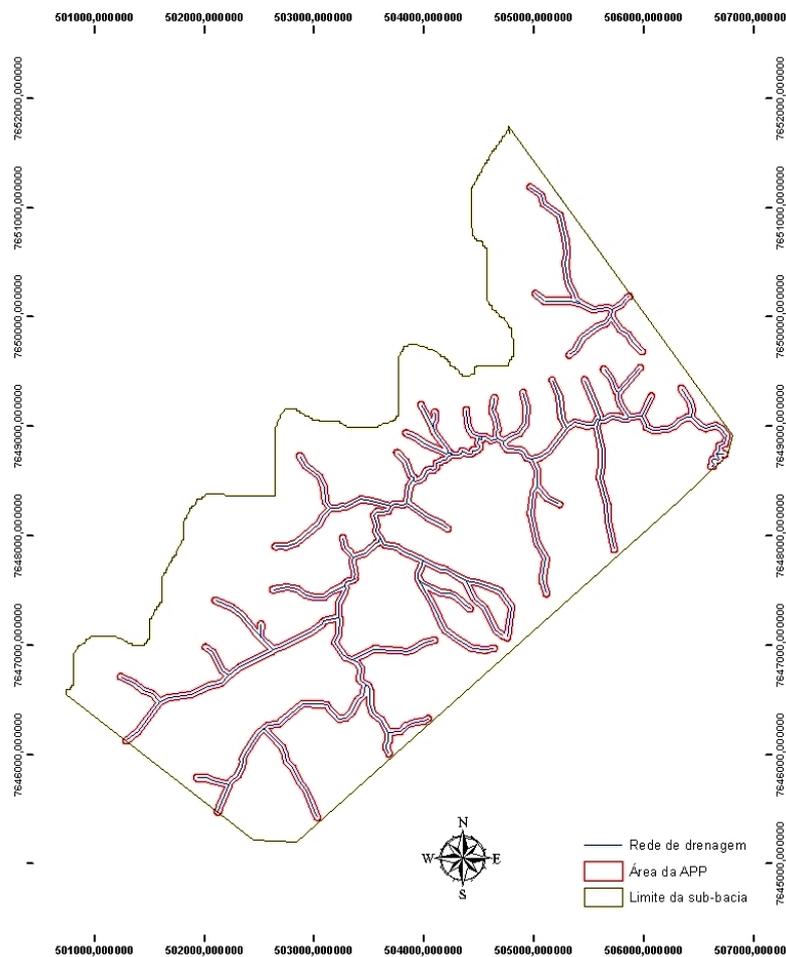


FIGURA 8 Delimitação da APP de parte da sub-bacia do ribeirão Santa Cruz.

As áreas com relevo tipo várzea (declividade menor que 3%) são predominantes na APP, totalizando 51,67% da área. Nestas áreas o escoamento superficial é mais lento, favorecendo a infiltração e consequentemente diminuindo a chance de ocorrer erosão. O relevo suave ondulado, representado por declividades entre 3 e 12% ocupam 18,71% da área total da APP, enquanto o relevo ondulado representa 14,94% da área, onde as declividades ficam compreendidas entre 12 a 20%. A distribuição espacial das classes de relevo pode ser vista na Figura 9 e Tabela 9.

TABELA 9 Tipos de relevos na APP.

Classes	Declividade (%)	Área/ha	Área%
Várzea	0-3	103,32	51,67
Suave-ondulado a ondulado	3-6	37,42	18,71
Plano a suave ondulado	6-12	14,72	7,36
Ondulado a forte ondulado	12-20	29,88	14,94
Forte ondulado a montanhoso	20-40	14,55	7,28
Montanhoso	>40	0,09	0,04
Total		200	100

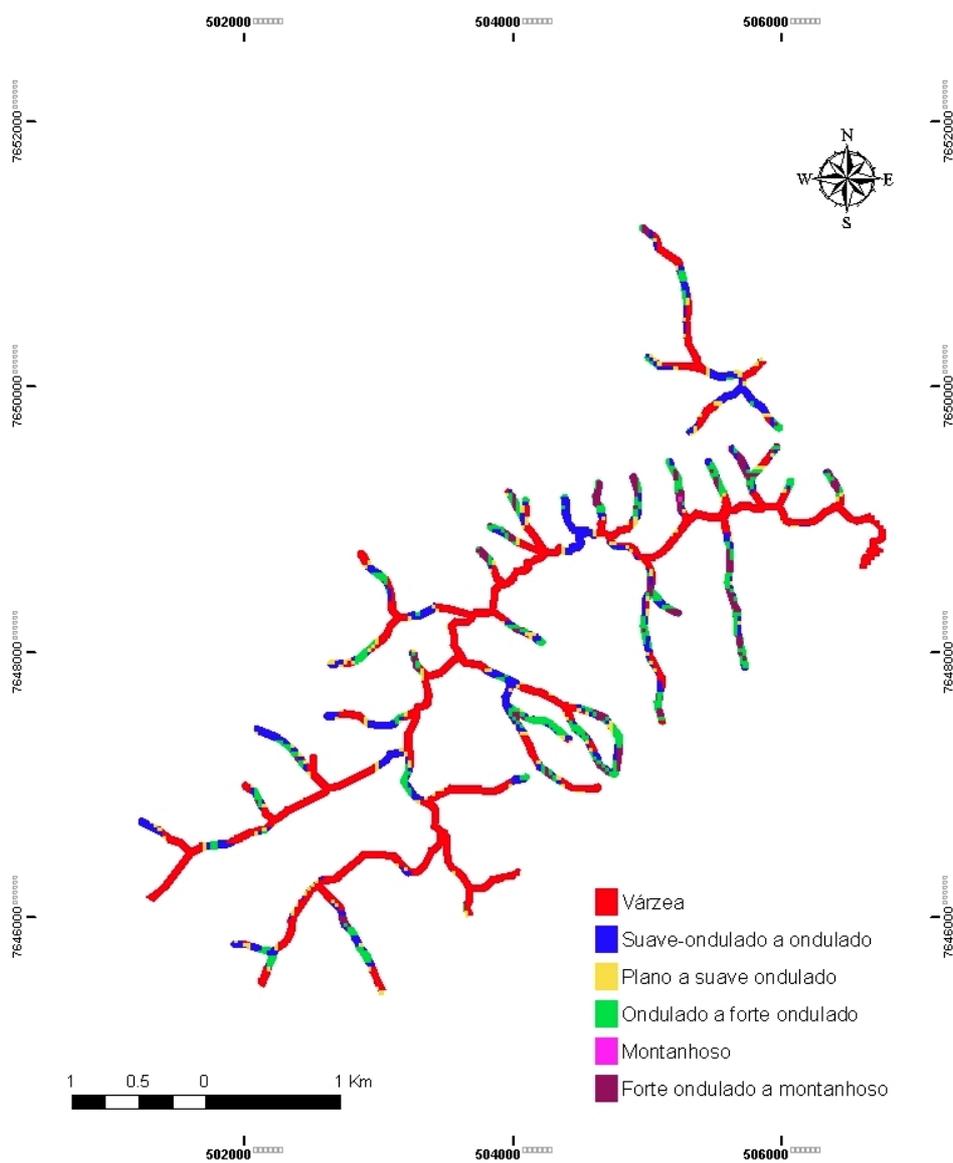


FIGURA 9 Mapa de declividade na área de preservação permanente.

As classes de solo encontradas na APP são Gleissolos Hápicos e Neossolos Flúvicos, Latossolos, Solos B texturais e Cambissolos, ilustrados na Figura 10. De acordo com a Tabela 10, pode-se observar que o tipo de solo predominante foi o grupo Gleissolos Hápicos e Neossolos Flúvicos, com a porcentagem de 51,67% coincidindo com o relevo de várzea (<3% de declividade). Os Latossolos ocupam 26,07%, os solos B textural com 14,94%, Solos B texturais associados a Cambissolos 7,32%.

Considerando-se as características de cada tipo de solo, verifica-se que grande parte dos solos da APP não apresenta grandes restrições para o crescimento da vegetação arbórea.

TABELA 10 Tipos de solos da APP.

Classes	Área/ha	Área %
Gleissolos Hápicos e Neossolos Flúvicos	103,32	51,67
Latossolos	52,14	26,07
Solos B texturais	29,88	14,94
Solos B texturais associados aos Cambissolos	14,64	7,32
Total	200	100

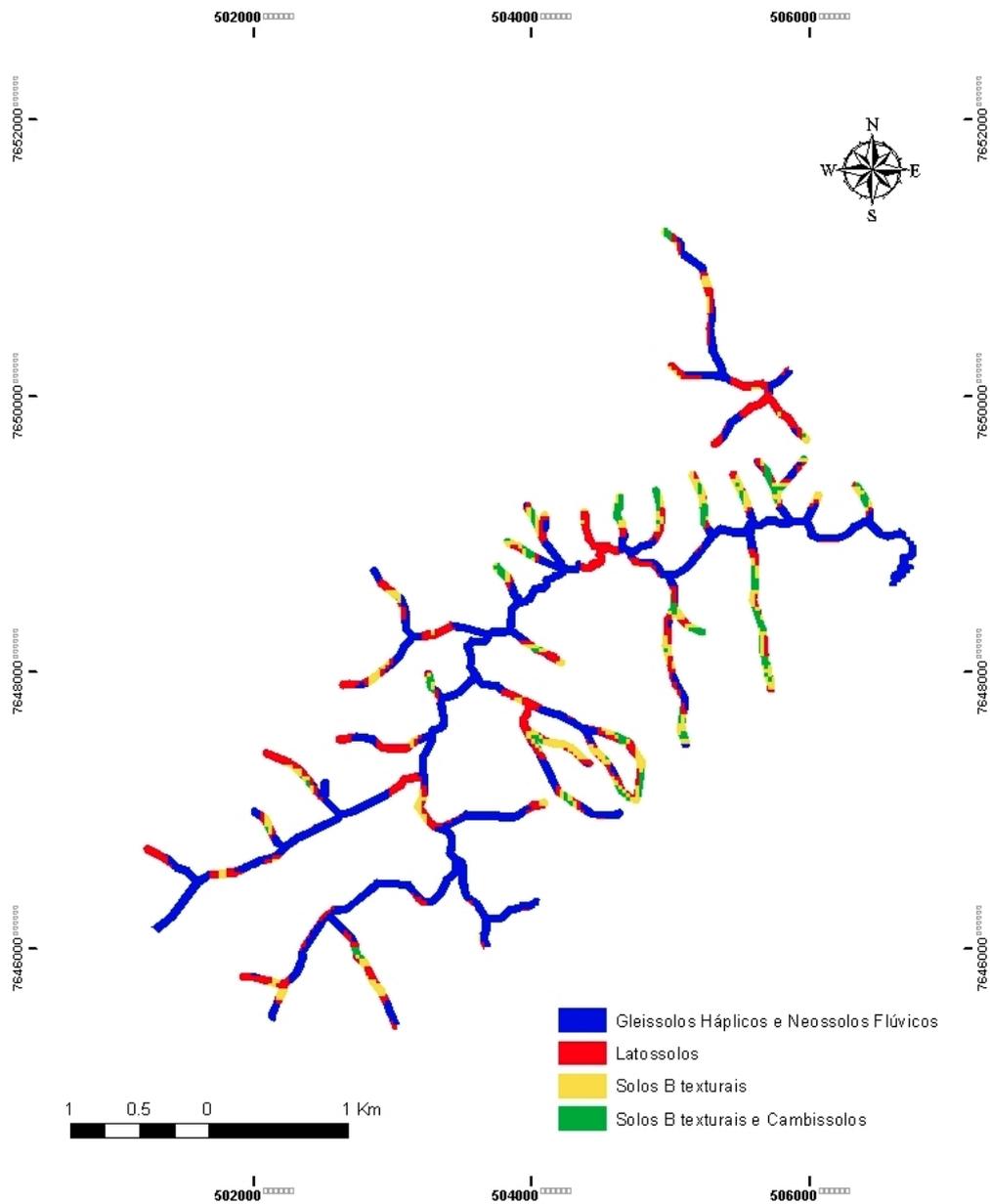


FIGURA 10 Mapa de solos na área de preservação permanente.

Na Tabela 11 encontram-se os valores de área e porcentagem das classes de uso da terra e na Figura 11 suas distribuições espaciais.

O mapa de cobertura e uso atual da terra da área estudada foi realizado com a intenção de caracterizar o tipo de vegetação que cobre as APP ou a ausência da mesma a fim de direcionar os métodos utilizados na sua recuperação.

A maior parte da área é coberta por vegetação campestre, com 65,70% do valor total, seguida por áreas com vegetação arbórea nativa que corresponde aos fragmentos florestais e às matas ciliares primárias ou secundárias em avançado estágio de sucessão (25,64%). As APPs, das matas ciliares, coberta por vegetação arbórea nativa foi inferior àquela diagnosticada por Pinto et al. (2005) para toda a bacia do Ribeirão Santa Cruz (41,9%), indicando que esta parte da bacia apresenta menor grau de conservação da APP do que a média de toda a bacia do Ribeirão Santa Cruz. Esta cobertura de mata nativa na APP apresenta-se superior ao valor encontrado por Resende (2000) na microbacia do Ribeirão Maranhão (18,57%), também no município de Lavras.

Áreas com exposição de solo apresentaram um valor pouco significativo de 5,37%, sendo representadas de um modo geral por áreas de empréstimo para construção de pequenas barragens e algumas áreas de barranco com processo erosivo.

TABELA 11 Uso e ocupação do solo na APP.

Classes	Área/ha	Área/%
Vegetação campestre	131,23	65,70
Vegetação arbórea nativa	51,21	25,64
Área com solo exposto	10,72	5,37
Área cultivada	2,80	1,40
Água	2,82	1,41
Área pavimentada	0,91	0,46
Área edificada	0,05	0,02
Total	200	100

A área cultivada dentro da APP foi pequena, apesar da boa topografia, representada principalmente por lavouras de milho. As áreas ocupadas por espelhos d'água, 1,41%, correspondem às pequenas barragens nas propriedades rurais para desedentação do gado.

De modo geral, a ocupação da APP reflete o predomínio da pecuária na região. Considerando que a APP por definição deve estar ocupada por vegetação nativa, verificou-se que aproximadamente 74% da área destinada a preservação permanente encontra-se com uso inadequado, necessitando ter a sua vegetação nativa recuperada.

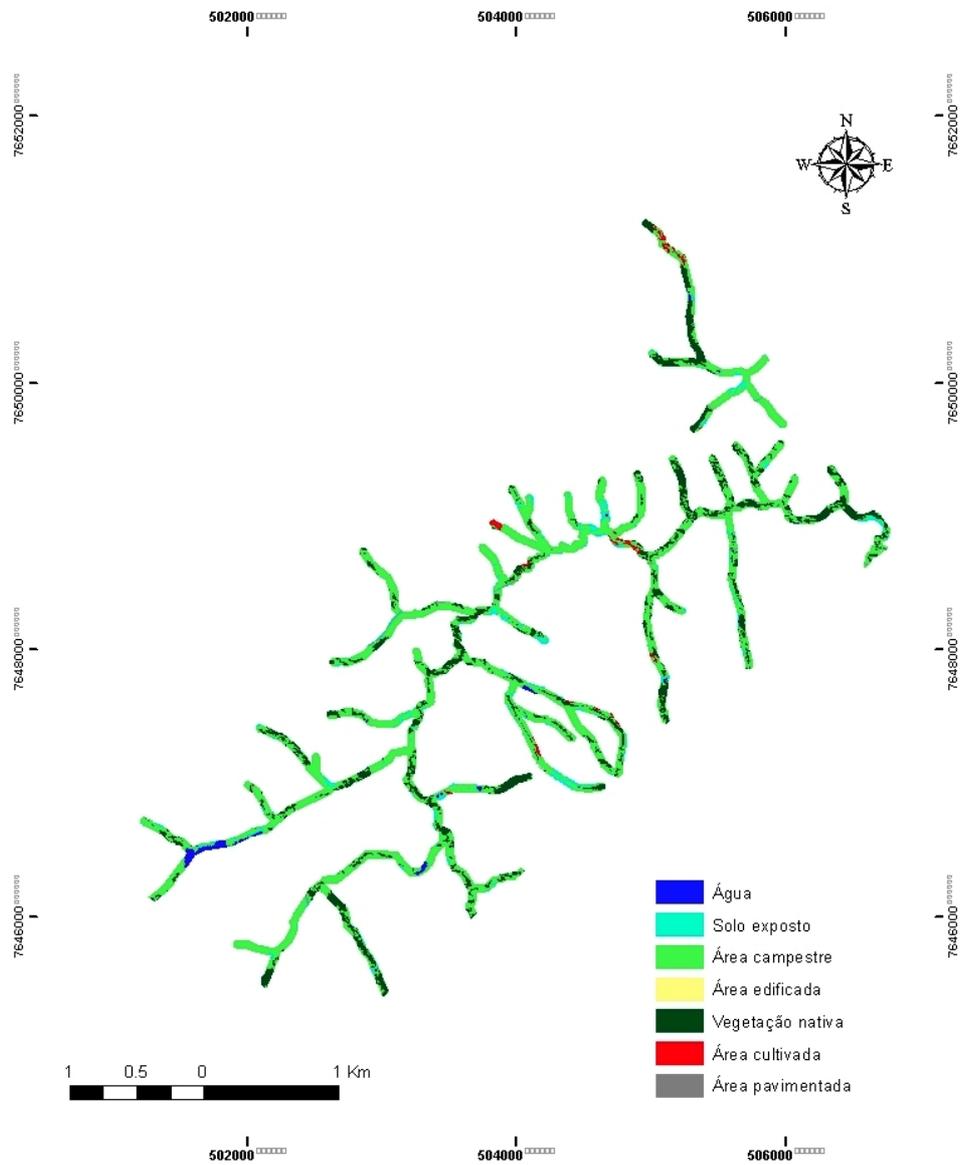


FIGURA 11 Mapa de classificação do uso e cobertura atual do solo na APP.

5.2 Indicação de modelos de recuperação

Através dos critérios estabelecidos para a utilização dos modelos propostos foi elaborada a árvore de decisão que gerou a distribuição espacial da indicação dos modelos de recuperação (Figura 12).

Pelos resultados apresentados na Tabela 12 verificou-se que 25,8% da APP da área estudada já apresentam vegetação nativa sendo, portanto, indicadas apenas medidas para a sua conservação, como a eliminação de atividades que possam comprometer a regeneração e sustentabilidade. De modo geral, pelas observações de campo, verifica-se que a maioria destas áreas de mata apresenta pastagem no seu entorno e acesso livre ao gado, o que em muitas delas, tem provocado danos significativos à regeneração natural. Portanto, nestes casos será necessário o cercamento das áreas.

Como pode se observado na Figura 12 e na Tabela 12 a maior parte da área (39,91%) pode ser recuperada através da condução da regeneração natural e enriquecimento, devido à proximidade dos fragmentos e a cobertura atual do solo com cultura agrícola ou pastagem. Esta indicação representa uma significativa redução nos custos de recuperação da APP.

A possibilidade de utilização da regeneração natural de cada local segundo Davide & Carvalho (2003), além de reduzir o custo de recuperação apresenta as vantagens de que as plantas estabelecidas encontram-se totalmente adaptadas àqueles ambientes através da seleção natural, evitando ainda o revolvimento do solo e possíveis processos erosivos que possam ser ocasionados com o preparo convencional do solo, principalmente em áreas declivosas.

A distância dos fragmentos definida como no máximo de 50m foi baseada em resultados de pesquisa e observações de campo nas áreas experimentais do estudo realizado por Puerta (2002). Entretanto, deve-se ressaltar que outros fatores, como o tamanho do fragmento e sua composição florística, a competição causada pelo crescimento vigoroso da pastagem após

seu isolamento e as características superficiais do solo, podem influenciar no sucesso da regeneração natural. Outro aspecto a ser ressaltado é que a distância indicada de 50m do fragmento deve ser melhor estudada para ser validada.

Dentre os métodos de regeneração artificial indicados, o método 1 foi recomendado para ser utilizado em cerca de 23,5% da áreas, caracterizada pela ocupação com cultura agrícola ou pastagem e declividade inferior a 12%.

O método 2 indicado para uma pequena área (4,7%) leva em consideração áreas que possuam relevos >12%, como na classificação de relevo obteve-se poucas áreas com relevos > 12% fica demonstrado a relação de poucas áreas com indicação de recuperação pelo método 2.

Os métodos 3 e 4 que são indicados para áreas degradadas, com solo exposto, representaram juntas 6% da área total de APP.

Estes resultados expressam as constatações realizadas no campo, onde observou-se poucas áreas consideradas degradadas, muitas áreas caracterizada como perturbadas, porém com algum tipo de vegetação, nativa ou de produção, como as pastagens e cultivos agrícolas, além de boas características de solo.

TABELA 12 Áreas e % de áreas por modelos de recuperação.

Modelos de recuperação	Área/ha	Área%
Conservação	52	25,86
Método 1	47	23,54
Método 2	9	4,70
Método 3	11	5,40
Método 4	1	0,60
RN+Enriquecimento	80	39,91
Total	202	100

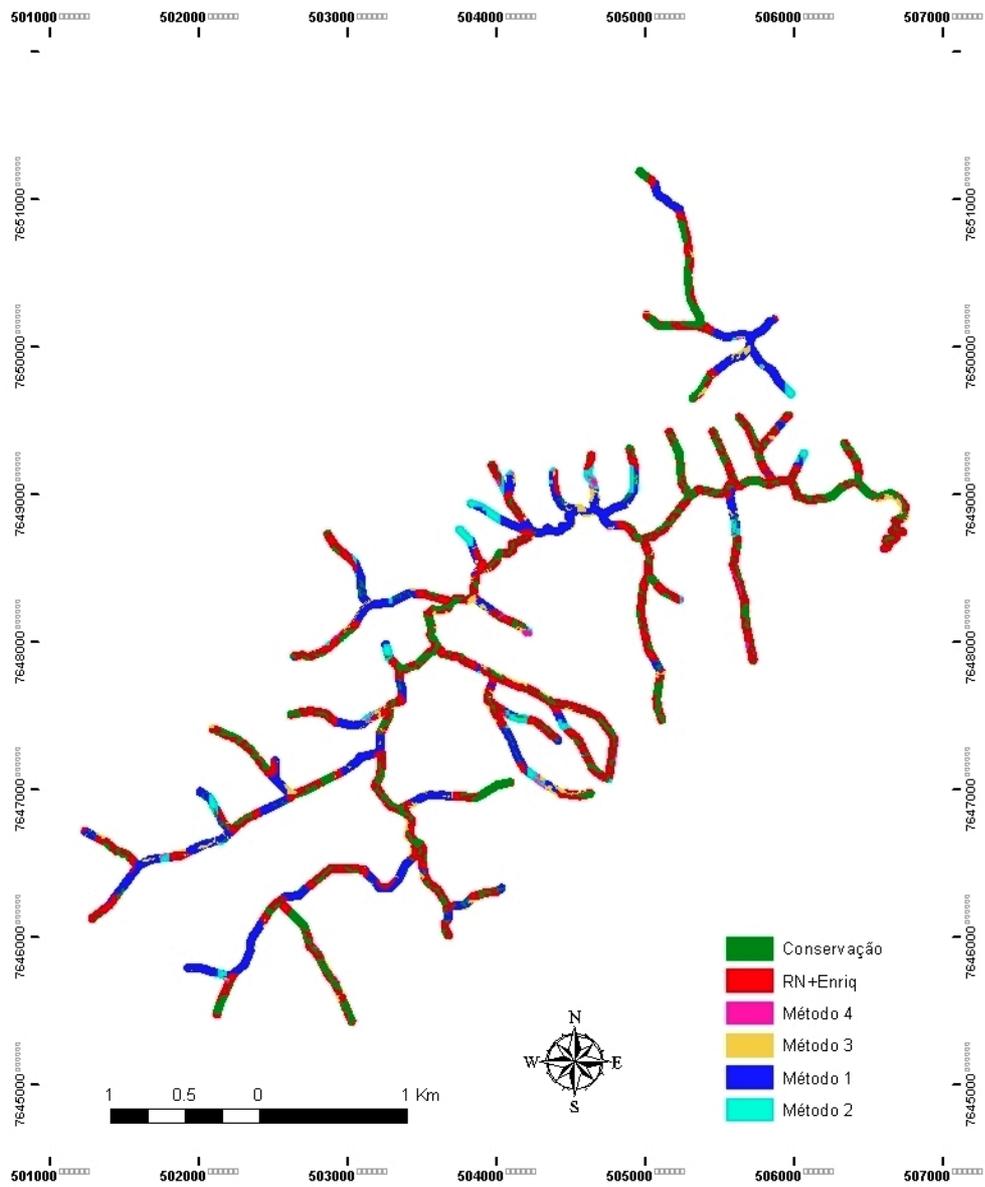


FIGURA12 Métodos de recuperação das áreas de preservação permanente.

A Matriz de Erro da Classificação (Tabela 13), em sua diagonal principal, apresenta o número de pontos que foram classificados corretamente. Os valores que se encontram fora desta diagonal representam pontos que não estão de acordo entre a situação observada no mapa e a verificada nos pontos de acurácia. Os erros de Omissão e de Inclusão por classe de mapeamento (Tabela 14) são derivados da Matriz de Erro e indicam tanto o percentual dos pixels na classificação que não pertencem à classe a qual foram atribuídos (erro de inclusão), quanto o percentual dos pixels da amostra de acurácia pertencentes a uma determinada classe, que foram atribuídos a outra classe (erro de omissão).

TABELA 13 Matriz de erros da classificação.

Amostras	Conservação	RN+ Enri	M4	M1	M2	M3	Total
Conservação	38	2	0	0	0	0	40
RN+ Enriquecimento	0	53	0	0	0	0	53
M4	0	0	3	0	0	0	3
M1	0	17	0	22	0	0	39
M2	0	4	0	0	2	0	6
M3	0	0	2	0	0	7	9
Total	38	76	5	22	2	7	150

A classificação apresentou uma Acurácia Global de 83,33%, ou seja, dos 150 pontos amostrados 125 foram classificados corretamente. Este resultado é considerado muito bom, de acordo com a avaliação quantitativa sugerida por Landis & Koch (1977), visto que a classificação apresentou um Índice Kappa de 0,7657.

TABELA 14 Erros de omissão e inclusão por classe de métodos.

Classes	Inclusão (%)	Omissão (%)
Conservação	5	0
RN+Enriquecimento	0	30,26
Método 1	43,59	0
Método 2	66,67	0
Método 3	22,22	0
Método 4	0	40

O maior erro de omissão foi com o método 4, apresentando um valor de 40%, entretanto não apresentou nenhum erro de inclusão. E o maior erro de inclusão (66,67%) aconteceu com o método 2, porém nenhum erro de omissão foi apresentado.

6 CONCLUSÕES

- A estratificação do ambiente da APP através dos atributos cobertura e uso do solo, relevo, tipo de solos e distância dos fragmentos, obtida por imagem de alta resolução e SIG, apresentou resultados com nível de detalhamento adequado para a proposição de métodos de recuperação;
- O algoritmo árvore de decisão, aplicado na base de dados obtida pelo processamento de imagem de satélite de alta resolução, permitiu a obtenção de mapa com a indicação dos métodos de recuperação propostos, com nível de detalhamento adequado.
- A estratificação ambiental proposta e a escolha do algoritmo árvore de decisão possibilitam uma segura indicação de métodos de recuperação, com rapidez e baixo custo quando comparado ao método tradicional de identificação no campo.
- A metodologia de segmentação e classificação por região da imagem de alta resolução para classificação da cobertura atual do solo apresentou excelente qualidade indicada pela Exatidão Global e Índice Kappa;

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; RESENDE, R. J. T. P. de; ESTEVES, D. R.; ROSA, E. R. Diagnóstico ambiental do Município de Lavras com base em dados do meio físico: III., estratificação em classes de declive. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v. 4, p. 356-358.

ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. 2003. 147 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normas climatológicas: 1961-1990**. Brasília, 1992. 84 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 303**, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de preservação permanente. Brasília, 2002. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_303.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2009.

BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J. H.; OLSHEN, R. A.; STONE, C. J. **Classification and regression trees**. Belmont: Wadsworth International Group, 1984. 358 p.

CAMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E.; SANO, E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA, 1993. p. 145-190, 434 p.

CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G. S.; KAGEYAMA, P. Y.; CASTRO, C. F. A. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1990. v. 3, p. 216-221.

CLARKE, R. T.; BITTENCOURT, H. R. Uso de árvore de decisão na classificação de imagens digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBSR/INPE, 2003. p. 2043-2045.

COSTA, S. S. B. **Estudo da bacia do ribeirão Jaguara, MG como base para o planejamento da conservação e recuperação das nascentes e matas ciliares.** 2004. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CRESTANA, M. de S. M.; FERRETTI, A. R.; TOLEDO FILHO, D. V.; ÁRBOEZ, G. de F.; SCHMIDT, H. A. P.; GUARDI, J. F. C. **Florestas: sistemas de recuperação com essências nativas, produção de mudas e legislação.** 2. ed. Campinas: CATI, 2004. 216 p.

CURI, N.; CARMO, D. W.; BAHIA, V. G.; FERREIRA, M. M.; SANTANA, D. P. Problemas relativos ao uso, manejo e conservação do solo em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 5-16, 1992.

DAVIDE, A. C.; CARVALHO, L. M. T. de. **Identificação de áreas com potencial para regeneração natural no entorno do reservatório da UHE Funil.** Lavras: CEMAC/UFLA, 2003. 352 p. (Boletim técnico).

DUTRA, G. C. **Estratificação ambiental visando à recuperação da vegetação ciliar no entorno do lago da Usina Hidrelétrica do Funil, em Minas Gerais.** 2005. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Mapa de vegetação do Brasil.** Rio de Janeiro, 1993. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=169>. Acesso em: 10 dez. 2008.

LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, n. 3, p. 159-179, Nov. 1977.

MARTINS, S. V.; DIAS, H. C. T. Importância das florestas para a quantidade e qualidade da água. **Ação Ambiental**, Viçosa, MG, v. 4, n. 20, p. 14-16, out./nov. 2001.

OLIVEIRA FILHO, A. T. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodológica. **Cerne**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 64-72, jan./jun. 1994.

PAIVA, C. F. E.; OLIVEIRA, V. S.; VENDRAME, I. F.; AULICINO, L. C. M. Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica na bacia do Rio Uma Taubaté-SP com emprego de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1407-1414.

PINTO, L. V. A.; FERREIRA, E.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C. Caracterização física da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 49-60, jan./mar. 2005.

PUERTA, R. Regeneração arbórea em pastagens abandonadas na região de Manaus em função da distância da floresta contínua. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 62, p. 32-39, dez. 2002.

QUINLAN, J. R. Induction of decision trees. **Machine Learning**, Boston, v. 1, n. 1, p. 81-106, June 1986.

RESENDE, R. J. T. P. de. **Caracterização do meio físico de áreas cafeeiras do sul de Minas Gerais por meio do SPRING**. 2000. 120 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SANTANA, H.; RODRIGUES, D. **Uso de árvores de decisão em mineração de dados**. Salvador: UFBA, 2005. Disponível em: <<http://im.ufba.br/pub/MATA64/SemestreArtigos20052/ArtigoIAHeltonDanilo.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2009.

VELOSO, S. M.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptado a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p.