



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS AO ESTUDO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA NA OTTOBACIA – NÍVEL 4 DO RIO JACUÍ

Manoela Sacchis Lopes

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE),
orientado pela Dr^a. Tatiana Mora Kuplich.

INPE
Santa Maria
2011

TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS AO ESTUDO DE MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA NA OTTOBACIA – NÍVEL 4 DO RIO JACUÍ

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/CNPq/INPE)

Manoela Sacchis Lopes (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: manoelasm@gmail.com

Dr^a. Tatiana Mora Kuplich (Orientadora, CRS/ INPE-MCT)
E-mail: tmk@ltid.inpe.br

COLABORADORES

Dra. María Silvia Pardi Lacruz (CRECTEALC/INPE)

Dr. Manoel Araújo Souza Jr (CRS/INPE)

Julho de 2011

RESUMO

As mudanças do uso e cobertura da terra e as dinâmicas que as envolvem estão ocorrendo de forma cada vez mais acelerada. A análise dessas modificações desordenadas é de extrema importância, devido aos impactos negativos causados no ambiente. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra na microbacia de nível 4, que inclui o Rio Jacuí, localizada no estado do Rio Grande do Sul, com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto. Para abranger a área de estudo foram necessárias três cenas do sensor *TM (Thematic Mapper)* do satélite *LANDSAT 5* para os anos de 1994, 2000 e 2009. O procedimento metodológico consistiu, primeiramente, na estruturação do banco de dados no *software SPRING*, no qual foram registradas as nove imagens e elaborados os mosaicos referentes às três datas. Posterior a essa etapa, realizou-se a aplicação do modelo linear de mistura espectral sobre as bandas 3, 4 e 5 resultando em três imagens fração: vegetação, solo e sombra. O passo seguinte consistiu na segmentação por crescimento de regiões e classificação por regiões baseado na medida da distância de Bhattacharya, tanto das bandas originais como das imagens fração, para cada data. Os resultados apontaram que o modelo linear de mistura espectral mostrou-se mais eficiente para a identificação e discriminação das diferentes classes de uso e cobertura da terra presentes na área em estudo do que as bandas originais. A área em estudo encontra-se bastante antropizada, com a constante presença de lavouras às margens do rio, desmatamentos para a inserção da pecuária, além da crescente ampliação de áreas de solo exposto. O conhecimento da dinâmica do uso e cobertura do solo possibilita a elaboração de medidas eficazes de planejamentos e práticas conservacionistas na área, a fim de atenuar os processos de degradação ambiental.

REMOTE SENSING TECHNIQUES APPLIED TO THE STUDY OF CHANGES IN THE USE AND LAND COVERING IN THE WATERSHED OF THE JACUÍ RIVER

ABSTRACT

The changes in the use and land covering and the dynamics that surround them are occurring in an increasingly accelerated way. The analysis of these disordered modifications is extremely important, because of the negative impacts on the environment. In this context, the point of this study is to evaluate the dynamics of general use and land covering in ottobacia level 4, which includes the Jacuí River, located in the state of Rio Grande do Sul, with the use of remote sensing techniques. To cover the studied area, it was required three scenes of TM sensor (Thematic Mapper) from Landsat 5 satellite, for the years of 1994, 2000 and 2009. The methodological approach consisted, primarily, in the structuring of the software SPRING database, in which were recorded the nine images and mosaics made related to the three dates. After this step, the linear mixture model on bands 3, 4 and 5 were applied, resulting in three fraction images: vegetation, soil and shadow. The next step consisted in the region growing segmentation and classification of regions based on Bhattacharya distance measure, from the original bands and from the fraction images, for each date. The results showed that the spectral linear mixture model was more efficient for the identification and discrimination of different classes of use and land covering presented in the studied area than the bands without any processing. The studied area is quite disturbed with human activity, like the constant presence of crops on the river, the deforestation for cattle ranching, and the expansion of areas of exposed soil. The knowledge of the dynamics of use and land covering enables the creation of effective planning and conservation practices in the area, in order to mitigate the environmental degradation processes.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 Localização da área de estudo	16
2 Fluxograma dos procedimentos metodológicos.	33
3 Comportamento radiométrico das classes de uso e cobertura da terra na	39
4 Destaque das imagens fração e composição colorida, resultantes do modelo.....	42
5 Destaque das imagens fração e composição colorida, resultantes do modelo.....	43
6 Destaque das imagens fração e composição colorida, resultantes do modelo linear .	44
7 Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das bandas originais do sensor <i>TM / Landsat5</i>	49
8 Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das bandas originais do sensor <i>TM / Landsat5</i>	51
9 Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das bandas originais do sensor <i>TM / Landsat5</i>	53
10 Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das imagens fração do modelo linear de	55
11 Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das imagens fração do modelo linear de	57
12 Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das imagens fração do	58
13 Gráfico da dinâmica de uso e cobertura da terra na ottobacia de nível 4	61
14 Modificação de áreas de pastagem e campo para áreas de solo exposto e	62
15 Descumprimento ao código florestal relacionados às áreas de matas	63

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 Tipos geomorfológicos característicos da área de estudo.	18
2 Unidades litoestratigráficas representativas da área de estudo.....	19
3 Principais características das imagens utilizadas no projeto.	31
4 Classes de uso e cobertura da terra e suas definições.....	38
5 Classificação do uso e cobertura da terra a partir das bandas originais do	47
6 Classificação do uso e cobertura da terra a partir das imagens fração do	54
7 Mudanças das classes de uso e cobertura da terra no período de 1994 a	59

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
2.	Área de estudo.....	15
2.1	Localização da área de estudo	16
2.2	Caracterização física da área de estudo	17
2.2.1	Geomorfologia.....	17
2.2.2	Geologia	18
2.2.3	Solos	19
2.2.4	Clima	20
2.2.5	Vegetação	20
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3.1	Ottobacias – Otto Pfafstetter – Nivel 4	21
3.2	Geotecnologias	23
3.2.1	Sensoriamento remoto	23
3.2.2	Tratamento de dados orbitais.....	23
3.2.3	Sensoriamento remoto e as mudanças de uso e cobertura da terra.....	30
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	Materiais utilizados	31
4.1.1	Produtos orbitais	31
4.1.2	Sistemas de processamento	32
4.2	Procedimentos metodológicos.....	32
4.2.1	Tratamento digital	34
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5.1	Definição e caracterização da legenda temática	37
5.1.1	Comportamento espectral dos tipos de classes de uso e cobertura da terra	38
5.2	Modelo linear de mistura espectral	41
5.3	Classificação.....	45
5.3.1	Mapeamento de uso e cobertura da terra – Bandas originais – Ano 1994	47
5.3.2	Mapeamento de uso e cobertura da terra – Bandas originais – Ano 2000	50
5.3.4	Mapeamento de uso e cobertura da terra – Bandas originais – Ano 2009	52
5.3.4	Comparação entre os mapas do uso e cobertura da terra com aplicação do modelo linear de mistura espectral	54
5.4	Análises da dinâmica de uso e cobertura da terra.....	59
6.	CONCLUSÕES.....	64
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1. INTRODUÇÃO

As mudanças do uso e cobertura da terra e as dinâmicas que a envolvem estão ocorrendo de forma cada vez mais acelerada. A análise dessas modificações desordenadas é de extrema importância, devido aos impactos negativos causados no ambiente. Convém ressaltar, que os processos de desmatamento, os assoreamentos e inundações de reservatórios e cursos d'água ocasionam as perdas significativas de solo, matéria orgânica, nutrientes, e em especial, de água, prejudicando o equilíbrio dos sistemas hídricos em bacias hidrográficas. Fatores esses são conseqüências do mau uso e ocupação da terra.

Diante do exposto, as técnicas de sensoriamento remoto e o geoprocessamento são considerados ferramentas eficazes para análises, planejamentos ambientais e pesquisas sobre os recursos hídricos, podendo enfatizar o cumprimento da legislação ambiental (DUARTE et al., 2009). A partir disso, também inserem uma maior viabilidade econômica, menores tempos de processamentos, caracterização e abrangência acurada da área de estudo, identificação de processos erosivos e de extrema degradação ambiental, mapeamento do avanço de ocupação em áreas de preservação, além de melhorar a qualidade e visualização dos mapas (PRADO et al, 2006).

Gomes e Maldonado (1998) enfatizam que a viabilidade e a agilidade nos dados adquiridos pelas imagens de satélite e o processamento destas, é evidente e fundamental nos estudos sobre as mudanças do uso e cobertura da terra.

Sendo assim, o sensoriamento remoto permite uma análise quantitativa das alterações na paisagem como conseqüência dos padrões do uso e ocupação do solo, avaliando as dinâmicas do ambiente. A preservação e manejo da área em estudo podem ser realizados através de um monitoramento constante do uso e cobertura da terra da região (GOMES et al., 2009).

Juntamente a isso, a análise de apenas uma data de dados obtidos por sensores remotos com o intuito de extrair informações importantes de variáveis biofísicas do uso e cobertura da terra, freqüentemente é de grande valor. Porém, quando se pretende analisar as mudanças do ecossistema, é necessário monitorar a vegetação e todas as outras classes de cobertura, através do tempo e determinar quais sucessões de alterações estão ocorrendo (JENSEN, 2009).

1.1 Objetivos

Essa pesquisa tem como objetivo geral avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra na ottobacia de nível 4 que inclui o rio Jacuí, com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto. Nesse contexto, realizou-se um estudo multitemporal para essa ottobacia, decorrente dos anos de 1994, 2000 e 2009. Juntamente a isso, aplicou-se o modelo linear de mistura espectral com o intuito de comparar o desempenho das classificações e verificar se houveram mudanças significativas nos resultados finais.

Salienta-se a importância do estudo dessa região, devido ao mau uso do solo agrícola e a falta de práticas conservacionistas, não apresentando padrões apropriados a um ambiente sustentável, necessitando de medidas eficazes de planejamento.

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Interpretar e analisar as características da ottobacia de nível 4, código 7767, compreendendo parte de 30 municípios do estado do Rio Grande do Sul;
- Aplicar o modelo linear de mistura espectral (MLME) nas imagens do sensor *TM (Thematic Mapper)* do satélite *LANDSAT 5* para os anos de 1994, 2000 e 2009;
- Segmentar e classificar as bandas originais e as imagens resultantes do modelo linear de mistura espectral do sensor *TM* do satélite *LANDSAT 5* mediante o algoritmo de classificação por regiões baseado na medida da distância de Bhattacharya;

- Elaborar os mapas de uso e cobertura da terra da ottobacia referente aos anos de 1994, 2000 e 2009;
- Avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra na ottobacia de nível 4, código 7767, do Rio Jacuí no período em estudo e comparar o desempenho das classificações resultantes para cada período.

2. Área de estudo

Inicialmente, no projeto que foi aprovado, a área em estudo correspondia à bacia hidrográfica do rio Jacuí. No entanto, resolveu-se utilizar as bacias de Otto Pfafstetter (1989), as ottobacias, que juntamente a utilização dos sistemas de informações geográficas ajuda os gestores na tomada de decisões em recursos hídricos, pois não levam em conta os limites políticos-territórias e sim a área drenada do rio principal.

Os critérios para a escolha das ottobacias basearam-se devido elas apresentarem um melhor planejamento das redes hidrométricas, por tratar-se de um método natural, hierárquico, fundamentado na topografia da área drenada e na topologia da rede de drenagem, na codificação de bacias, de fácil implementação por técnicas de programação, de aplicabilidade global, e de fácil integração com os Sistemas de Informação Geográfica - SIG (GALVÃO e MENESES, 2005).

De acordo com a Agência Nacional das Águas (2006), a codificação de bacias de Otto Pfafstetter (1989) permite a hierarquização das bacias hidrográficas, ou seja, a demarcação da posição relativa e o ordenamento entre as bacias e interbacias. Nesse trabalho utilizou-se o 4º nível de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras, as quais são divididas em 892 (oitocentos e noventa e dois) sub-bacias.

2.1 Localização da área de estudo

A área de estudo corresponde à ottobacia de nível 4 que compreende o Rio Jacuí, localizada no estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 28° 53' 20'' e 30° 50' 25'' latitude Sul e 51° 38' 50'' e 53° 38' 00'' longitude Oeste (Figura 1).

A ottobacia em estudo possui o código 7767, através da codificação de Otto Pfafstetter, e tem uma área de 14.947,66 km².

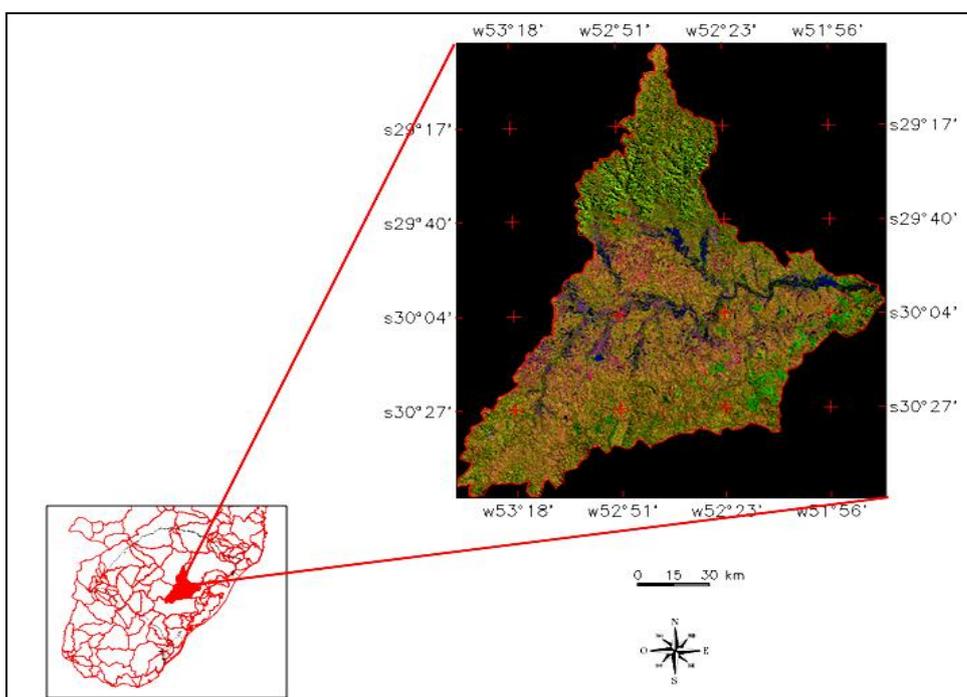


Figura 1 – Localização da área de estudo

A região de estudo, compreende a totalidade dos municípios de Herveiras, Vale do Sol, Candelária, Vera Cruz, Rio Pardo, Minas do Leão, Pantano Grande e parte de Soledade, Barros Cassal, Lagoão, Gramado Xavier, Boqueirão do Leão, Passa Sete, Sinimbu, Santa Cruz do Sul, Venâncio Aires, Lagoa Bonita do Sul, Cerro Branco, Novo Cabrais, Cachoeira do Sul, Passo do Sobrado, Vale Verde, General Câmara, Butiá, São Jerônimo, Arroio dos Ratos, Caçapava do Sul, Santa da Boa Vista, Encruzilhada do Sul e Dom Feliciano. A área apresenta as mesoregiões Noroeste Rio – grandense,

Metropolitana de Porto Alegre, Sudeste Rio – grandense e Centro Oriental Rio – grandense, sendo esta última a que possui maior representatividade na ottobacia em estudo.

2.2 Caracterização física da área de estudo

A região que compõe a ottobacia do Rio Jacuí é considerada umas das mais importantes do estado do Rio Grande do Sul, devido principalmente às atividades econômicas que o rio proporciona, contribuindo para o sustento dos municípios que o rodeiam. Dentre as atividades mais realizadas destaca-se a extração de areia, extração de carvão e a pesca, assim como a irrigação auxiliando no desenvolvimento dos cultivos agrícolas.

Porém, salienta-se o mau uso do solo agrícola e a falta de práticas conservacionistas, devido às culturas intensivas de arroz, soja, trigo, e o incremento da pecuária. Essas características negativas acarretam os intensos processos erosivos, através do aumento da turbidez das águas e degradação da qualidade ambiental da bacia com o uso indiscriminado de agrotóxicos nos cultivos.

2.2.1 Geomorfologia

Quanto à geomorfologia da área, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a área é caracterizada pelos domínios morfoestruturais do tipo depósitos sedimentares quaternários interioranos, destacando as planícies fluviais sobre depósitos de sedimentos horizontais e sub-horizontais de ambientes fluviais, inserida no entorno do Rio Jacuí. Há também a presença das bacias e coberturas sedimentares fanerozóicas do Rio Paraná, enfatizando a presença da depressão central gaúcha e patamares da borda oriental da bacia do Rio Paraná. O domínio morfoestrutural intitulado cinturões móveis neoproterozóicos abrange a área de estudo com o planalto rebaixado de Canguçu.

De forma mais específica, a ottobacia de nível 4 é constituída pelo relevo característico de planícies alúvio coluvionares, depressão do Rio Ibicuí, depressão do Rio Jacuí, patamares Serra Geral, planalto campos gerais, planaltos rebaixado marginal, planalto

residual e Serra Geral. Conforme a tabela abaixo, o relevo inserido pela depressão do Rio Jacuí apresenta maior área representativa na região em estudo, seguida pelas planícies alúvio coluvionares.

Tabela 1 – Tipos geomorfológicos característicos da área de estudo.

Geomorfologia	Área compreendida na ottobacia (km²)
Depressão - Rio Jacuí	5.797,05
Depressão - Rio Ibicuí	8,51
Planície - Alúvio Coluvionar	2.347,79
Planalto - Campos Gerais	1.213,45
Planaltos Residuais	811,31
Planaltos - Rebaixados Marginal	3.557,19
Serra Geral	962,43
Patamares Serra Geral	194,99

2.2.2 Geologia

A região possui as formações Rosário do Sul, Serra Geral e os depósitos aluvionares compreendidos em maiores representações. A formação Serra Geral ocorre na parte norte da ottobacia em estudo, sendo composta por rochas ígneas extrusivas, com predominância da rocha basalto. Corpos de arenitos eólicos ocorrem também nessa unidade.

A Formação Rosário do Sul apresenta ampla distribuição no Rio Grande do Sul, ocorre em toda a faixa central compreendida pelo Rio Jacuí, na chamada depressão periférica. É constituída por arenitos médios e finos a muito finos, de cor avermelhada, rosa, amarela e esbranquiçada.

Os depósitos aluvionares são compostos por areias grossas a finas, cascalhos e sedimentos síltico-argilosos inconsolidados. São formados por depósitos sedimentares,

constituídos de sedimentos atuais depositados na planície de inundação (HARTMANN et. al, 2010).

Tabela 2 – Unidades litoestratigráficas representativas da área de estudo.

Formação	Área compreendida na ottobacia (km²)
Formação Rosário do Sul	3664,91
Formação Serra Geral	2404,81
Depósitos Aluvionares	2221,92
Grupo Guatá	1657,28
Grupo Camaquã	1049,74
Complexo Canguçu	853,64
Formação Mangueirão	755,75
Complexo Encruzilhada do Sul	645,66
Subgrupo Porongos	415,79
Formação Rio do rasto	253,21
Subgrupo Estrada nova	238,72
Suite Intrusiva - Caçapava Sul	161,72
Formação Piquiri	149,65
Complexo vacacaí	87,49
Formação Hilário	72,10
Formação Irati	70,67
Suite Intrusiva Caçapava do sul	57,57
Suite Intrusiva - Arroio dos Ladrões	26,93
Complexo Arroio das ilhas	41,66
Formação Rio do sul	22,36

2.2.3 Solos

Os solos predominantes na área de estudo são argissolo vermelho distrófico com textura média e argilosa, apresentando as variações argissolo vermelho amarelo álico e distrófico. O solo do tipo neossolo litólico distrófico é bem característico da região, são solos jovens de início de formação, apresentando textura média e cascalhenta.

Os planossolos háplicos também são representativos, apresentando textura média e argilosa em relevos planos. Na ottobacia em estudo, os planossolos são utilizados, principalmente para cultivos de arroz.

2.2.4 Clima

O clima da região, assim como de todo o Rio Grande do Sul, é subtropical, com as quatro estações bem definidas. A precipitação média anual na bacia é variável, atingindo 1.600 mm anuais, no seu valor mais alto, e aproximadamente 1.200 mm anuais no valor mais baixo (FEPAM, 2009).

2.2.5 Vegetação

A região da otobacia de nível 4 apresenta os tipos fitogeográficos de Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual, Estepe e Áreas de tensão ecológica.

Segundo dados do IBGE (2004) os tipos fitogeográficos podem ser descritos como:

- Estepe (Campanha Gaúcha): composta por vegetação predominantemente campestre. Apesar do regime de chuvas manterem-se homogêneo durante o ano, as plantas estão submetidas à dupla estacionalidade, uma fisiológica, provocada pelas frentes polares, e outra seca, mais curta, com déficit hídrico.
- Floresta Ombrófila Mista: também é denominada Floresta de Araucária, pela presença predominante desta espécie. Ocorre em áreas elevadas das Serras do Mar e Serra da Mantiqueira, onde a temperatura média é 18°C e nos meses mais frios é inferior a 15°C.
- Floresta Estacional Decidual: é caracterizada por responder a duas estações distintas, uma chuvosa e uma seca. No prolongado período seco, mais de 50% dos indivíduos perdem as folhas.
- Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica): é composta por árvores de grande e médio porte, em áreas sem período seco durante o ano, nas quais a temperatura média oscila entre 22°C e 25°C.

- As Áreas de Tensão Ecológica: são consideradas áreas de transição ambiental, onde comunidades ecológicas diferentes entram em contato. São áreas de mistura florística entre tipos de vegetação.

De acordo com o Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul, a Floresta Estacional Decidual apresenta as famílias Myrtaceae, Lauraceae, Euphorbiaceae, Flacourtiaceae e Rubiaceae. Em relação à Floresta Ombrófila Mista têm-se as famílias Myrtaceae, Lauraceae, Asteraceae, Fabaceae e Mimosaceae em maior número. Já o tipo fitogeográfico Estepe, as famílias características são Myrtaceae, Flacourtiaceae, Anacardiaceae, e Mimosaceae. Quanto às famílias representativas das Áreas de Tensão Ecológica têm-se as famílias Myrtaceae, Lauraceae, Fabaceae, Flacourtiaceae, Mimosaceae, Meliaceae e Rutaceae.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento desse projeto foi realizada uma revisão bibliográfica abordando aspectos relacionados à codificação de ottobacias segundo o método de Otto Pfafstetter, sensoriamento remoto, tratamentos dos dados orbitais e sensoriamento remoto associado às mudanças de uso e cobertura da terra.

3.1 Ottobacias – Otto Pfafstetter – Nível 4

As ottobacias são áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas, segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação de bacias. No fim da década de 80, o engenheiro brasileiro Otto Pfafstetter desenvolveu um método de codificação numérica de bacias hidrográficas, considerando como insumo principal as áreas de contribuição direta de cada trecho da rede hidrográfica.

Segundo a ANA (2006), Agência Nacional das Águas, a codificação de bacias de Otto Pfafstetter possibilita identificar as posições relativas de bacias e interbacias em relação

às outras, tanto a montante ou a jusante, caracterizando uma hierarquização das bacias hidrográficas.

Através disso, apresenta aplicabilidade global, com o emprego de poucos dígitos, além da amarração nos dígitos da relação topológica entre as bacias hidrográficas, distinguindo como um método natural e hierárquico baseado topografia da área drenada e na topologia (conectividade e direção) da rede de drenagem (GALVÃO e MENESES, 2005).

As bacias, interbacias e intrabacias passam a ser ottobacias, após estar devidamente codificadas e discretizadas, conforme o nível de detalhe para o trecho (ANA, 2006). Segundo Pfafstatter (1989), o processo de subdivisão das bacias e das interbacias pode ser dividido em vários níveis desde que a escala da base cartográfica permita. O método de Pfafstatter adquire um detalhamento maior a cada nível.

Segundo Rupert (2000), as ottobacias aperfeiçoam o gerenciamento das bacias de drenagem e possibilitam maior controle da ação do homem nessas áreas e as conseqüências das atividades antrópicas.

O processo de ottocodificação apresenta muitas vantagens ao facilitar o sistema de gestão e implementação de ações em diversas áreas, quanto às características hídricas. Entretanto, como enfatiza Gomes e Barros (2011), é necessário buscar uma metodologia de geração de ottobacias única e de fácil assimilação permitindo unificar os estudos hidrológicos relativos a uma mesma área, com uma mesma codificação. Com isso, há a possibilidade de cruzamento de informações, em menores tempos e maiores conhecimentos sobre uma determinada área sob diversos pontos de vista.

Sendo assim, de modo geral, a utilização da ottobacias é considerada de fácil implementação por técnicas de programação, de aplicabilidade global, e de fácil integração com os sistemas de informação geográfica (SIG) (GALVÃO e MENESES, 2005). Deste modo, ajudam os gestores na tomada de decisão em recursos hídricos, principalmente quando as unidades de gestão baseiam-se na divisão por bacias e dominialidade de cursos d'água (ANA, 2006).

3.2 Geotecnologias

As geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica. As geotecnologias referentes ao sensoriamento remoto e aos sistemas de informações geográficas (SIG) estão cada vez mais interligadas.

3.2.1 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é o registro da informação das regiões ultravioleta, visível, infravermelho e microondas do espectro eletromagnético, sem contato, por meio de instrumentos como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e a análise adquirida por meio visual ou processamento digital de imagens (JENSEN, 2009).

O sensoriamento remoto pode ser definido, como a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos da superfície, sem que haja contato direto entre eles, por meio de sensores capazes de coletar dados dos objetos, a fim de extrair as informações desejadas (NOVO, 1998).

Os dados de sensoriamento remoto são coletados usando sistemas de sensoriamento remoto ativos ou passivos. Os sensores ativos são caracterizados por fornecerem a sua própria energia como fonte de iluminação, como por exemplo, os sistemas de sensores de Radar e LiDAR. Os sensores passivos registram a radiação eletromagnética que é refletida ou emitida pelo terreno. Os sistemas de sensoriamento remoto coletam dados analógicos e/ou dados digitais, um dos sistemas passivos são os sensores em satélites como o sensor *TM* do satélite *Landsat 5*.

3.2.2 Tratamento de dados orbitais

Uma imagem de satélite resulta de uma matriz de números relacionados com a energia refletida e, ou, emitida dos alvos de uma área da superfície terrestre, expresso em níveis

de cinza para um determinado intervalo de tempo de imageamento e em determinados comprimentos de onda do espectro eletromagnético (MOREIRA, 2011).

Através disso, é possível realizar a previsão do tempo, estudar fenômenos oceânicos, detectar e monitorar queimadas e desflorestamentos, gerar mapas geológicos e de uso da terra, mapear recursos hídricos, agrícolas, além de acompanhar a dinâmica desses processos.

A interpretação de uma imagem pode possuir uma abordagem apenas visual ou realizada através do processamento digital com programas implementados em computadores (JENSEN, 2009).

Para a realização de um processamento digital de imagens utilizam-se ferramentas computacionais, denominadas sistemas de informações geográficas (SIG), as quais permitem realizar análises complexas e integrar dados de diversas fontes, além de criar bancos de dados georreferenciados, com possibilidade de elaboração de documentos cartográficos (CÂMARA e MEDEIROS, 1998)

As técnicas de processamento digital são ferramentas muito úteis, possuem vantagens como economia de tempo para realizar uma interpretação de imagem, melhoria na precisão dos resultados, redução do espaço físico para armazenamento de dados e facilidade de divulgação das conclusões. Entretanto, devem ser utilizadas com cautela para não acarretar conseqüências indesejadas nos resultados almejados (PONZONI E SHIMABUKURO, 2009).

3.2.2.1 Técnicas de pré – processamento

As técnicas de pré – processamentos consistem em procedimentos computacionais aplicados às imagens de satélite que visam à melhoria da qualidade visual das imagens, como é o caso do registro e a atenuação dos efeitos atmosféricos (MOREIRA, 2011).

3.2.2.1.1 Registro

O registro das imagens visa eliminar os tipos de erros que, freqüentemente, ocorrem nos dados de satélites: erros geométricos causados por: curvatura e rotação da Terra, movimento do espelho de imageamento dos sensores ópticos de varredura mecânica, atitude do sensor, altura e posição do satélite e distorções panorâmicas e topográficas.

O registro das imagens pode ser efetuado de duas formas: modelando a natureza e a magnitude das fontes de distorções através do chamado modelo de geometria orbital, ou fazendo uma reamostragem dos pixels em relação a uma base cartográfica, para o qual se torna necessária a localização de pontos de controle (SPARDI LACRUZ, 1996).

A qualidade do registro dependerá da precisão dos pontos de controle que devem levar em conta três aspectos importantes: número, localização, distribuição. No que se referem à localização, os pontos devem ser facilmente identificados tanto na imagem como na base cartografia de referência. Com respeito à distribuição, é conveniente que os pontos se distribuam em toda a imagem.

A reamostragem dos pixels para corrigir a geometria de uma imagem pode ser implementada através de vários métodos, os quais se diferenciam pela interpolação utilizada. Os interpoladores mais utilizados são: vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica.

O interpolador vizinho mais próximo é considerado um método mais rápido, de menor custo computacional e que não altera os níveis de cinza originais. Porém tem a desvantagem de deixar as feições lineares com aparência de blocos. É um método que atribui o valor do nível de cinza a um pixel na imagem corrigida baseado no valor de cinza do pixel que se encontrar mais próximo da posição ocupada por esse pixel na imagem original.

3.2.2.3 Modelo Linear de Mistura Espectral

Os sensores orbitais medem a radiância espectral refletida ou emitida de objetos presentes na superfície terrestre. A intensidade de energia refletida ou emitida por um objeto está inserida dentro de um pixel, caracterizado por ser um elemento de resolução (SHIMABUKURO e PONZONI, 2009). Devido à resolução espacial desses sensores orbitais, em geral, a resposta contida no pixel é uma mistura de três componentes: solo, vegetação e sombra (MOREIRA, 2011). Isto caracteriza a mistura espectral de um pixel da imagem, sendo resultante da combinação da resposta espectral dos componentes que formam este pixel.

Vale ressaltar, que dependendo do sistema sensor e da altitude da plataforma que o sustenta, o tamanho do pixel varia, ou seja, a resolução espacial do sensor varia (SHIMABUKURO e PONZONI, 2009). Assim, a radiância registrada pelo sensor depende basicamente das características específicas de cada sensor, propriedades físico-químicas dos objetos contidos dentro do pixel e interferência atmosférica. A partir disso, o que o sensor detecta não representa qualquer material que compõe um pixel, somente se ele apresentar apenas um único objeto. Com isso, atribui-se o conceito de mistura espectral.

A mistura espectral, dependendo das características específicas dos alvos no terreno, pode ser linear ou não linear. Nessa pesquisa utilizou-se o modelo linear de mistura espectral.

A resposta espectral em cada pixel, em qualquer banda de um sensor, pode ser intitulada como uma combinação linear das respostas espectrais de cada componente presente na mistura. Portanto, para qualquer imagem multiespectral gerada por qualquer sistema sensor, considerando o conhecimento da proporção dos componentes, será possível estimar a resposta espectral de cada um desses componentes. Similarmente, se esta resposta for conhecida, então a proporção de cada componente na mistura pode ser estimada (SHIMABUKURO e PONZONI, 2009).

O modelo decompõe a reflectância contida em um determinado pixel, em três componentes referentes à vegetação, solo, sombra. O modelo linear de mistura espectral pode ser escrito como nas seguintes equações:

$$r_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + e_1 \quad (1.1)$$

$$r_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n + e_2 \quad (1.2)$$

...

$$r_m = a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n + e_m \quad (1.3)$$

Onde:

r_i = Reflectância espectral média na i -ésima banda espectral de um pixel;

a_{ij} = Reflectância espectral da j -ésima componente no pixel para a i -ésima banda espectral;

x_j = valor de proporção do j -ésima componente do pixel;

e_i = corresponde para a i -ésima banda espectral;

$i = 1, 2, \dots, m$ (m = número de bandas espectrais para o sistema sensor).

O modelo linear de mistura espectral visa estimar a proporção dos componentes solo, vegetação e sombra, para cada pixel, a partir da resposta espectral nas diversas bandas dos sensores, gerando as imagens-fração solo, vegetação e sombra (MOREIRA, 2011).

De maneira simplificada, o modelo de mistura espectral também pode ser escrito como:

$$r_i = a \cdot \text{vege} + b \cdot \text{solo} + c \cdot \text{sombra} + e_i, \quad (1.4)$$

Onde:

r_i = Resposta do pixel na banda i ; a , b e c são as proporções de vegetação, solo e sombra;

e_i = Erro na banda i e i indica a banda do sensor.

A utilização do modelo linear de mistura espectral mostrou-se eficiente e viável em trabalhos como o de Salinas e Pardi Lacruz (2009). Os autores utilizaram as imagens fração vegetação, solo e sombra resultantes do modelo, assim como as bandas 3, 4 e 5 do sensor *TM* do satélite *Landsat* para a classificação de áreas desflorestadas. Os resultados obtidos mostraram que tanto a classificação das bandas originais quanto as bandas resultantes do modelo obtiveram um bom desempenho, porém a classificação oriunda a partir do modelo de mistura espectral apresentou uma maior precisão.

Borges e Santos (2009) aplicaram o modelo linear de mistura espectral no monitoramento do cerrado, na sub-bacia do Rio Caririnha, localizada na divisa dos estados de Minas Gerais e Bahia. Os autores concluíram que aplicação do modelo adequou-se ao objetivo do trabalho, pois a combinação dos três componentes, solo, vegetação e sombra, discriminaram razoavelmente bem os diversos aspectos da vegetação e do uso do solo na época em estudo.

Servello et al. (2007), realizaram o mapeamento de uso da terra na região Centro-Sul do Paraná com imagem *CBERS* a partir da técnica de modelo linear de mistura espectral. A utilização dessa metodologia juntamente aos processos de segmentação e de classificação supervisionada viabilizou o conhecimento espacializado do uso e cobertura atual da terra nessa região.

Em áreas agrícolas essa técnica também vem sendo utilizada. Alves (2009) analisou a utilização do modelo linear de mistura espectral aplicado às imagens *MODIS* para o mapeamento da cultura de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul. A utilização das imagens *MODIS* mostrou-se como uma alternativa viável, tendo em vista que a área estimada com arroz irrigado aproxima-se dos dados oficiais, tanto em nível regional quanto em nível municipal. Além disso, o uso das imagens-fração do modelo de mistura espectral para a classificação automática das áreas cultivadas com arroz é satisfatório, já que as imagens fração geradas permitem definir adequadamente as áreas de solo, vegetação e água, e menores tempos de processamento.

3.2.2.4 Segmentação

A segmentação tem o intuito de dividir a imagem em um conjunto de regiões homogêneas e significativas, de maneira que os pixels de cada região possuam propriedades e atributos idênticos. Estas propriedades podem ser: nível de cinza, contraste, valores espectrais, textura. Os processos utilizados para dividir a imagem em regiões espectralmente homogêneas implementadas no SPRING, são: crescimento de regiões, detecção de bordas e a combinações desses dois.

A região, segundo Moreira (2011), pode ser um pixel ou um conjunto de pixels. Para cada região, o segmentador calcula os atributos espectrais de média, variância e textura. A agregação das regiões é feita segundo os limiares de similaridade e área, que são fornecidos pelo intérprete.

O resultado de um processo de segmentação é um número finito de regiões homogêneas, que individualizam as diferentes regiões contidas na imagem. Assim, a imagem será formada por um conjunto de regiões conectadas pelas bordas e que não se sobrepõem, de forma que cada pixel pertence unicamente a uma determinada região.

3.2.2.5 Classificação

A classificação digital de imagens consiste em um grupo de procedimentos que permitem associar objetos (pixels ou regiões) presentes na imagem a um conjunto de classes. O algoritmo utilizado denomina-se a classificação é denominada supervisionada ou não supervisionada.

Na classificação supervisionada, o usuário informa *a priori* o conjunto de classes para as quais os pontos da imagem serão mapeados (treinamento). Nesse caso é necessário um conhecimento da área para a seleção das amostras de treinamento.

A classificação não supervisionada não exige que o usuário forneça nenhuma informação *a priori* relativa ao conjunto de classes para as quais se deve mapear a

imagem. Tem como intuito eliminar a subjetividade no processo de obtenção das amostras das classes.

Os classificadores podem ser divididos em pixel a pixel ou por regiões. Na classificação pixel a pixel, o classificador associa determinado pixel da imagem a uma das classes contidas nas amostras de treinamento. Nessa situação, considera-se o pixel como entidade isolada e independente dos pixels que compõe o restante da imagem.

Os classificadores por regiões utilizam a informação espectral de cada pixel e a informação espacial que envolve a relação entre o pixel e seus vizinhos, com o intuito de simular o comportamento de um fotointérprete ao reconhecer áreas homogêneas dentro de uma imagem. A classificação por regiões é dividida em fases, ou seja, segmentação, classificação, extração de regiões, classificação e mapeamento. (MOREIRA, 2011)

3.2.3 Sensoriamento remoto e as mudanças de uso e cobertura da terra

O mapeamento do uso e da cobertura da terra permite a identificação de diversas modificações da superfície e o reconhecimento de padrões e modelos de organização do espaço geográfico. Esses trabalhos permitem análises e mapeamentos da condição atual da cobertura da superfície terrestre, sendo necessários ao planejamento e à tomada de decisões em diferentes campos (ANDERSON, 2004).

Diante do exposto, a verificação e o entendimento dos padrões de uso e cobertura da terra que envolve a área de estudo são fundamentais. Através disso, podem-se realizar planejamentos de políticas públicas, preservação dos recursos naturais, além do cumprimento da legislação ambiental.

Com o advento e evolução das tecnologias relacionadas ao sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, acrescentou-se uma maior viabilidade em termos econômicos, de tempo de processamento e abrangência da área a ser mapeada, além de

calcular áreas com maior facilidade, identificar processos de degradação ambiental intensos, e mapear o avanço de ocupação em áreas de preservação (PRADO, 2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais utilizados

4.1.1 Produtos orbitais

A área estudada nesse projeto é compreendida pela Ottobacia de nível 4, segundo a Agência Nacional das Águas. Para abranger toda a região de estudo foram necessárias:

- Três cenas do sensor *TM* do satélite *Landsat 5* para os anos de 2009, 2000 e 1994, disponíveis para *download* em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>, cujas principais características encontram-se na Tabela 1.
- Imagem *Geocover TM Landsat 5* (30 m de resolução espacial) para servir como base georreferenciada, disponível para *download* em <http://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>.
-

Tabela 3 – Principais características das imagens utilizadas no projeto.

Satélite <i>Landsat 5</i>		
Sensor	Órbita/Ponto	Data de passagem
TM	222/80	22/5/2009
TM	222/81	22/5/2009
TM	222/80	14/6/2000
TM	222/81	14/6/2000
TM	222/80	27/4/1994
TM	222/81	27/4/1994
TM	221/80	29/4/2009
TM	221/80	23/6/2000
TM	221/80	23/6/1994

4.1.2 Sistemas de processamento

O sistema utilizado para o processamento das imagens, estruturação do banco de dados e futura geração dos mapas temáticos foi o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas SPRING versão 4.3.3.

4.2 Procedimentos metodológicos

A metodologia de trabalho adotada para o desenvolvimento desta pesquisa compreende diversas etapas de procedimentos metodológicos. A Figura 2 mostra o fluxograma de atividades que integram cada uma destas etapas, as quais serão tratadas em detalhe a seguir.

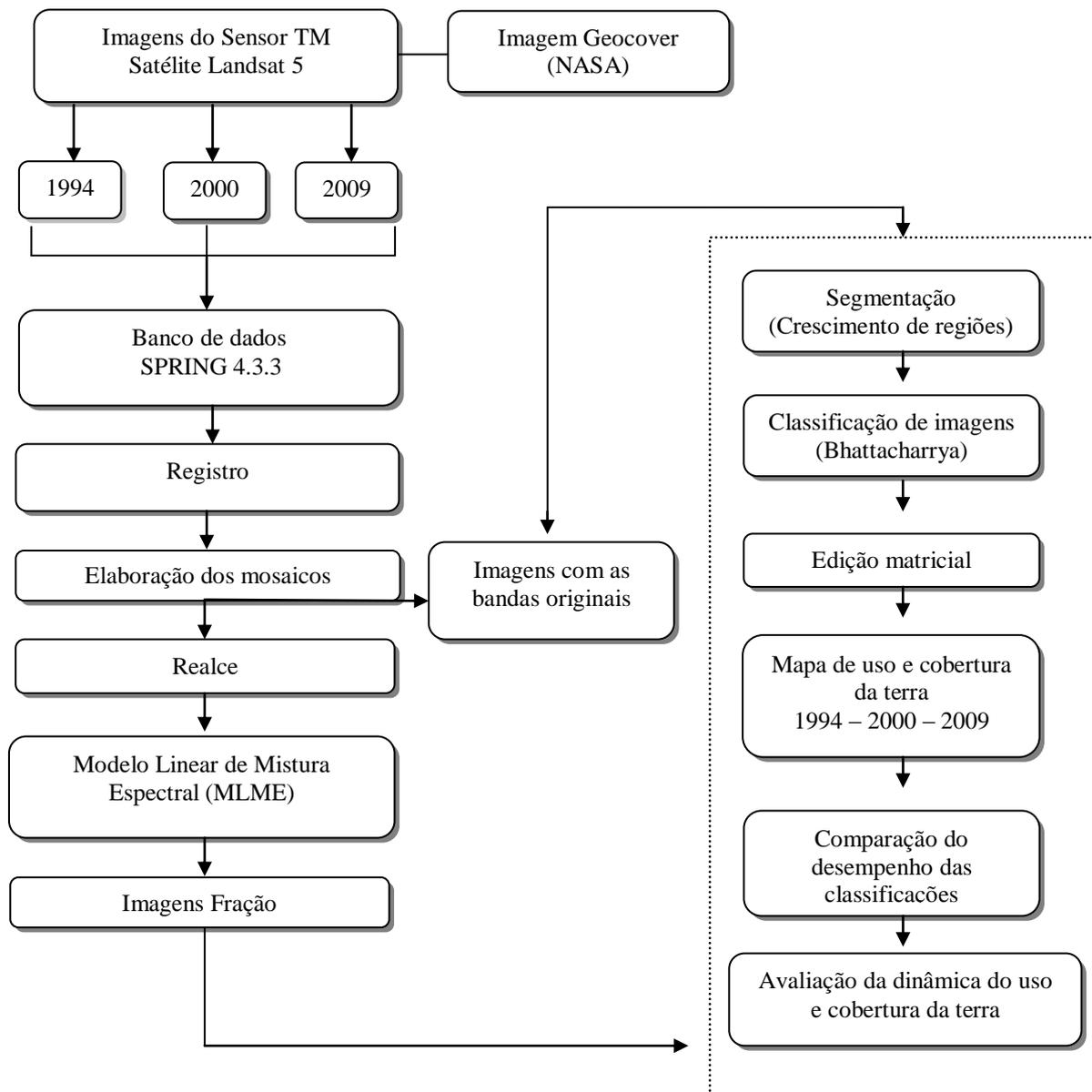


Figura 2 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

Os procedimentos metodológicos iniciaram, primeiramente, com a definição do cronograma de atividades do projeto. Após essa etapa, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os assuntos do trabalho, dentre eles, técnicas de sensoriamento remoto aplicadas às mudanças de uso e cobertura da terra, modelo linear de mistura espectral e informações específicas da área de estudo para a caracterização das análises temporais.

A etapa seguinte objetivou a capacitação para uso do software SPRING versão 4.3.3. Nessa fase foram realizadas atividades de treinamento, como estruturação de banco de dados, criação de projetos, manipulação de categorias, segmentação e classificação supervisionada de imagens.

Após isto, foram adquiridas as imagens, via Internet. Para uma melhor comparação dos resultados, foram coletadas imagens em épocas próximas do ano, e selecionadas em função da presença de nuvens, aceitando-se 10% ou menos da imagem coberta por nuvem.

4.2.1 Tratamento digital

Após essa etapa, iniciou-se a estruturação do banco de dados para realizar o processamento digital de imagens e a futura elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra propostos. Nessa ordem, o projeto foi definido com a projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*) e o Datum WGS84 (*World Geodetic System*).

4.2.1.1 Registro

Em seguida, foi realizado o registro das imagens no *software* SPRING. Anteriormente ao início da fase de georreferenciamento de todas as imagens, realizou-se a importação do mosaico *Geocover* da *NASA* que foi utilizado como base de coordenadas, o qual é ortorretificado. Em uma primeira etapa, as imagens do satélite *Landsat 5* do sensor *TM* foram transformadas para o formato *.grb* e registradas com uma média de 20 pontos de controle, obtendo um erro aceitável de menos de um pixel, sabendo que o pixel possui 30x30m.

Com as nove imagens registradas realizou-se o mosaico das três cenas para o ano de 1994, 2000 e 2009. No entanto, ao analisar o resultado da união das cenas avaliou-se uma linha de um pixel ao longo de toda a imagem, no limite entre as cenas de órbita/ponto 222/80 e 222/81. Portanto, houve a necessidade de recortar a faixa inferior

da cena órbita/ponto 222/80 para os três anos de estudo e posteriormente foram elaborados novamente os mosaicos, conseguindo os resultados esperados e satisfatórios.

Com os mosaicos prontos e georreferenciados foi feita uma máscara contendo os limites da ottobacia de nível 4 e realizou-se o recorte para os três períodos. Os processamentos digitais posteriores a essa etapa foram realizados nos mosaicos compreendidos pela ottobacia de nível 4 do Rio Jacuí.

4.2.1.2 Realce

O realce aplicado nas imagens do sensor *TM* do satélite *Landsat 5* foi caracterizado por um aumento linear de contraste. O objetivo da aplicação foi apresentar um bom contraste entre os diferentes tipos de classes de cobertura da terra, adquirindo uma maior distinção visual entre eles, auxiliando na aquisição de amostras para a classificação.

4.2.1.3 Modelo de mistura espectral

Neste trabalho utilizou-se o modelo linear de mistura espectral, expresso através da equação 1, implementado no *software* SPRING 4.3.3.

Os dados de entrada para a implementação do modelo linear de mistura espectral foram as bandas 3, 4 e 5. A utilização destas bandas deve-se ao comportamento espectral diferencial dos alvos solo, vegetação e água, nessas regiões do espectro.

O modelo linear de mistura foi aplicado nos anos de 1994, 2000 e 2009 na ottobacia em estudo. Sendo originadas três novas imagens denominadas de imagens fração para cada período, que correspondem às frações de solo, vegetação e sombra.

As imagens fração solo, vegetação e sombra foram geradas a partir da técnica decomposição de pixels. Inicialmente, foram identificados os denominados “pixels

puros” de vegetação, solo e água. A seleção foi feita com base na resposta espectral dos pixels, verificando se os valores de reflectância identificados eram coerentes com as respostas espectrais teórica padrão destes alvos.

A imagem fração vegetação realça as áreas de cobertura vegetal, a imagem fração solo realça as áreas de solo exposto, enquanto a imagem fração sombra/água realça as áreas ocupadas com corpos d’água (rios, lagos, etc.) e também áreas de queimadas, áreas alagadas. (MOREIRA, 2011)

4.2.1.4 Segmentação

As segmentações das imagens com as bandas originais e das imagens resultantes do modelo linear de mistura espectral foram realizadas através do método de crescimento de regiões.

Anteriormente ao processo da segmentação foram testados diferentes limiares de similaridade e área, sendo que para cada imagem utilizou-se limiares adequados para a área. Os diferentes limiares ocorrem devido a melhorar a discriminação das classes, sendo que as classes se apresentam de diferentes maneiras, tanto nos diferentes anos das bandas originais como nas bandas resultantes do modelo linear de mistura espectral.

4.2.1.5 Classificação

Para a classificação da imagem utilizou-se o método de classificação supervisionada através dos classificadores por regiões pelo algoritmo baseado na medida da distância de Bhattacharya.

A classificação foi baseada em amostras de aquisição e teste. A escolha das áreas de treinamento foi realizada a partir do conhecimento das respostas espectrais das distintas classes de interesse. O processo de treinamento repetiu-se diversas vezes até a obtenção de amostras suficientes para a representação correta das classes.

Para a classificação foram utilizadas as imagens com as bandas originais do sensor *TM* e as imagens fração de solo, água e vegetação, obtidos através do MLME (modelo linear de mistura espectral). Após a classificação foi realizada a edição matricial de forma a identificar as áreas urbanas presentes na área de estudo.

4.2.1.6 Geração dos mapas temáticos

Os mapas temáticos referentes aos anos 1994, 2000 e 2009, foram gerados com base nas imagens resultantes da classificação supervisionada, através do módulo SCARTA do SPRING 4.3.3.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos resultados e discussões serão apresentados e analisados os resultados obtidos nas diversas etapas da metodologia deste trabalho.

5.1 Definição e caracterização da legenda temática

As classes temáticas de uso e cobertura da terra determinadas na classificação da imagem digital foram: vegetação, mata ciliar, pastagem e campo, agricultura, arroz, solo exposto, área urbana, corpos d'água, nuvem e sombra. Na Tabela 4 apresenta uma descrição sucinta de cada classe.

Tabela 4 – Classes de uso e cobertura da terra e suas definições.

Classes de uso e cobertura da terra	Definições
Vegetação	Áreas com predomínio vegetal de florestas.
Mata ciliar	Áreas com formação vegetal localizada nas margens dos nos, córregos, lagos, represas e nascentes. Também é conhecida como mata de galeria, mata de várzea. Considerada pelo Código florestal como Área de preservação permanente (APP).
Pastagem e campo	Áreas destinadas à pecuária, composta por vegetação rasteira onde predominam as gramíneas
Agricultura	Áreas com cultivos agrícolas.
Arroz	Áreas com predomínio do cultivo irrigado de Arroz (<i>Oriza sativa</i>).
Solo exposto	Áreas com solo exposto, devido à ação antrópica ou por fatores naturais.
Área urbana	Área com evidência de ocupação humana sob a forma de aglomerados, vilarejos, cidades.
Corpos d'água	Correspondem aos corpos d'água existentes como rios, lagos e lagoas.
Sombra	Áreas correspondentes a sombras de nuvem e sombras do relevo.
Nuvem	Áreas correspondentes a presença de nuvens.

5.1.1 Comportamento espectral dos tipos de classes de uso e cobertura da terra

As amostras de treinamento definidas para cada tipo de classe de uso e cobertura da terra possuem diferentes níveis de cinza. A partir disso, obteve-se o valor médio de cada classe nas bandas utilizadas no processo de classificação. Com esses valores foi gerado

um gráfico do comportamento radiométrico das distintas classes na área de estudo (Figura 3).

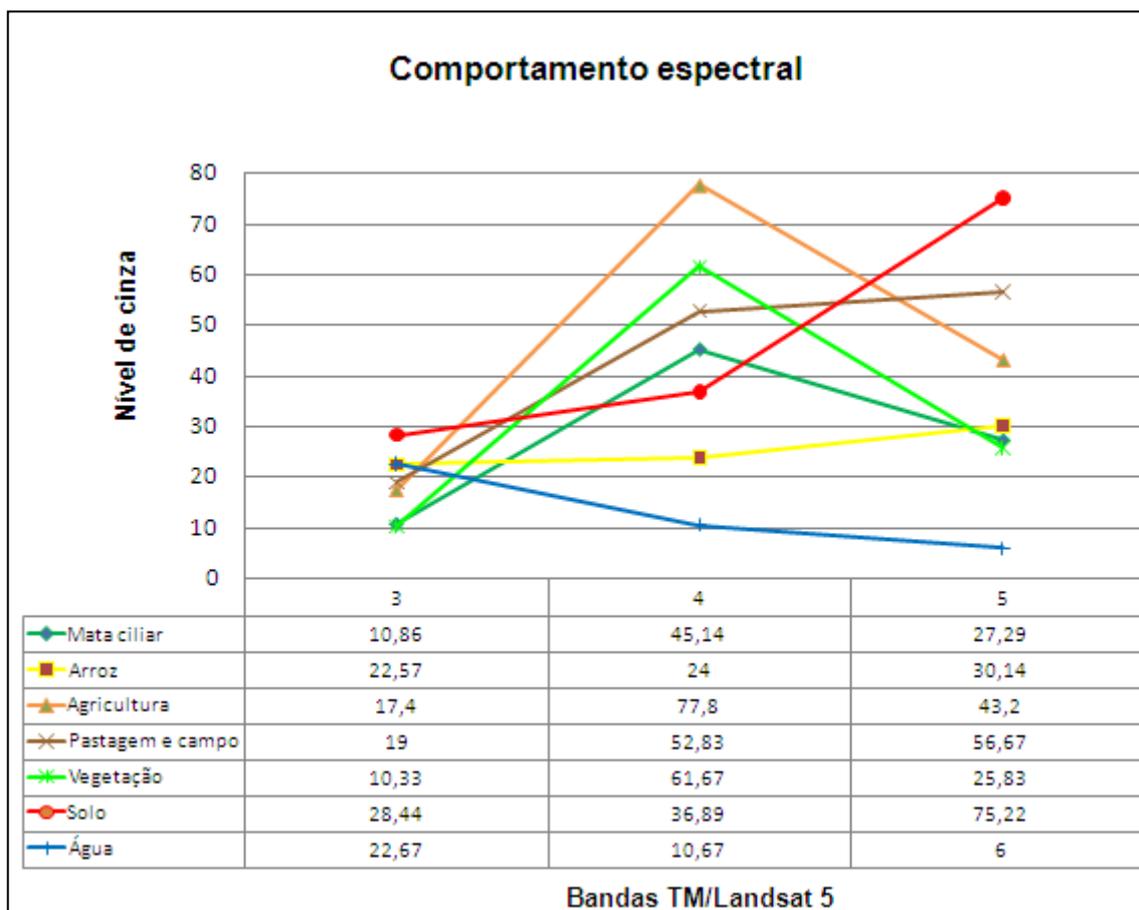


Figura 3 – Comportamento radiométrico das classes de uso e cobertura da terra na ottobacia de nível 4 que compreende o Rio Jacuí.

As curvas espectrais das classes consideradas apresentam o formato padrão do comportamento radiométrico nas distintas bandas.

As classes que apresentam algum tipo de vegetação possuem valores mais altos na banda *TM4* (Infravermelho próximo), correspondente a região de maior reflectância da vegetação. As classes de mata ciliar, vegetação, pastagem e agricultura obtiveram valores significativos na banda *TM4*.

Segundo Moreira (2011), as classes de vegetação podem ser distintas como florestas, campo, pastagem ou culturas agrícolas. Na interação com a radiação eletromagnética deve-se levar em conta que as comunidades vegetais apresentam atividades físico-químicas e biológicas e a menor unidade da vegetação que irá interagir com a radiação solar. Vários fatores influenciam na reflectância da folha, dentre eles, o conteúdo de água, maturação ou idade da folha, condição de iluminação, nutrientes e estrutura da vegetação.

Na região do infravermelho próximo, o comportamento da radiação eletromagnética quanto à reflexão, transmissão e absorção é denominado pelas propriedades ópticas da folha, que dependem das estruturas celulares internas, e também há contribuição indireta da água na folha.

Como se pode observar, as classes de mata ciliar, vegetação e agricultura apresentam um decréscimo dos valores de energia refletida na região do infravermelho médio (*TM5*), em razão principalmente da maior presença de água na folha.

A classe pastagem e campo apresenta valores de reflectância significativos tanto na banda do infravermelho próximo como na banda do infravermelho médio. Vale ressaltar que são valores médios, portanto têm-se áreas com pastagem em estado de alto verdor, como também se tem áreas com presença maior de solo, interferindo na resposta espectral.

A classe correspondente a arroz foi criada por ser a cultura agrícola mais presente nas regiões do Rio Jacuí. No estado do Rio Grande do Sul as áreas de orizicultura são cultivos irrigados, assim na área em estudo as águas do Rio Jacuí são utilizadas para a irrigação dos arrozais da região, destacando-o por ser um sistema de cultivo irrigado. A ottobacia em estudo compreende o município de Cachoeira do Sul, atualmente, um dos maiores produtores de arroz do Rio Grande do Sul. O Rio Grande do Sul é o maior produtor brasileiro, sendo conhecido também como estabilizador da safra nacional,

responsável por 58% da produção, cerca de seis milhões de toneladas de arroz (IBGE, 2006).

No cultivo irrigado, os sistemas de produção se distinguem pelo modo de como o solo é preparado e pelo modo de como é executada a semeadura, o que vem promover respostas espectrais diferentes desde a fase de pré-semeadura até o momento de entrada de água em 15 dias após a emergência das plântulas (D'Arco, 2008).

Segundo Alves (2009), a confusão gerada pela resposta espectral desta cultura com áreas de solo exposto e áreas com a presença de água é explicada pelos sistemas de produção utilizados no cultivo.

É importante mencionar que, apesar de ter o cuidado de selecionar as datas das imagens próximas nos diferentes anos analisados, as áreas de cultivo de arroz se apresentam em distintos estágios de desenvolvimento. As imagens do ano de 1994 e 2000 apresentam os cultivos de arroz em início de maturação e nas imagens do ano de 2009 já havia ocorrido a colheita e início do preparo do solo.

5.2 Modelo linear de mistura espectral

Nos três anos analisados, as imagens fração solo permitiram diferenciar áreas de solo exposto em tons de cinza claros a branco, matas ciliares com tons de cinza médios e áreas de florestas plantadas com tons de cinza escuros a preto. As imagens fração vegetação permitiram discriminar principalmente as áreas de floresta plantada que se apresentam em tons de cinza claros a branco, assim como as áreas de solo exposto, arroz na época em que o solo ainda está encharcado e corpos d'água que aparecem em tons de cinza escuros a preto. Quanto às imagens fração sombra, identificam-se as áreas compostas de corpos d'água em tons de cinza claros a branco, sombras de relevo representadas com tons de cinza muito claros e áreas encharcadas com cultivo de arroz em tons de cinza muito claros a branco.

A composição colorida das imagens fração (solo, vegetação e sombra) melhor diferencia as classes temáticas em relação às imagens fração individuais. Identificam-se a diferenciação entre as áreas de matas ciliares e de vegetação, os diferentes estágios de desenvolvimento do cultivo de arroz, bem como as áreas de florestas plantadas.

Nas figuras a seguir, são mostradas as imagens fração solo (a) vegetação (b) e sombra (c) e a composição colorida dessas imagens fração para os três anos analisados.

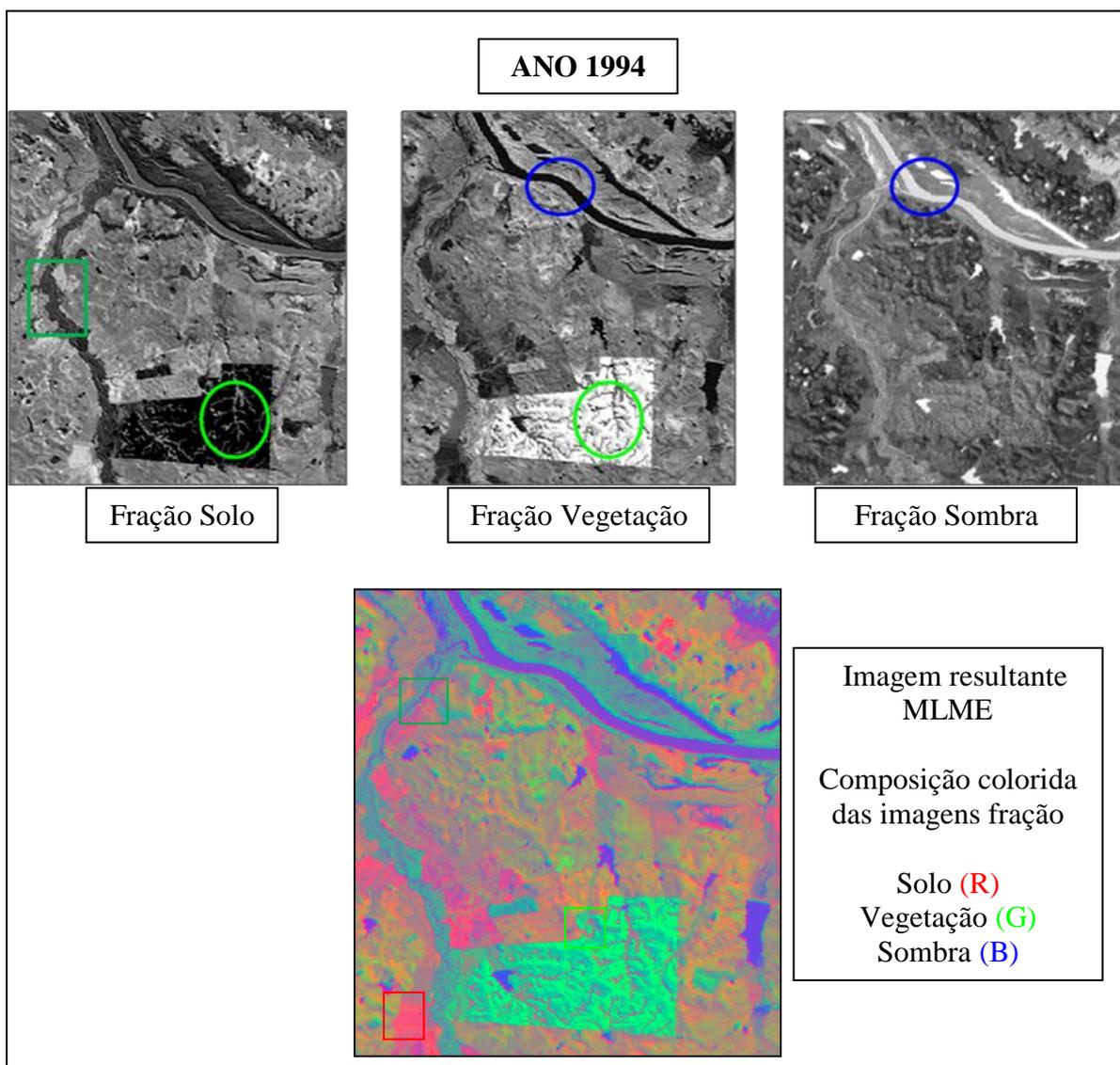


Figura 4 – Destaque das imagens fração e composição colorida, resultantes do modelo linear de mistura espectral para o ano de 1994.

No ano 2000, foi analisada, na imagem fração vegetação resultante do modelo linear de mistura espectral, uma diferença entre os estágios da floresta plantada, onde a floresta homogênea em alto verdor apresenta tons de cinza muito claros a branco enquanto as áreas de recém plantio apresentam em tons de cinza claros a médio, devido à presença. Nas outras imagens fração ocorrem as mesmas tonalidades de cinza comparadas ao ano anterior.

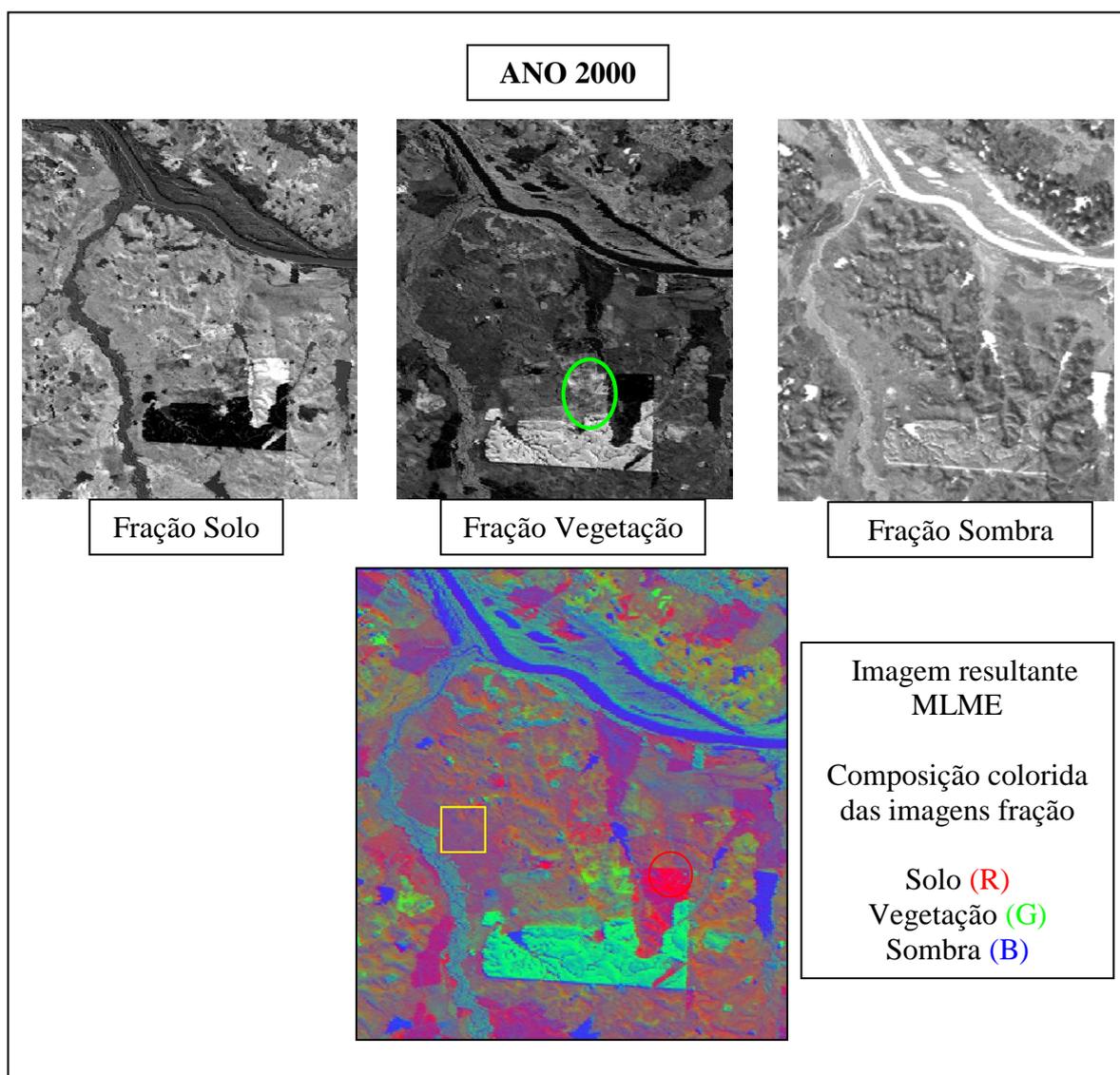


Figura 5 – Destaque das imagens fração e composição colorida, resultantes do modelo linear de mistura espectral para o ano de 2000.

Na composição colorida das imagens fração do ano de 2000, permite-se analisar também as áreas que possuem cultivo irrigado de arroz tendo a presença maior da componente sombra, nesse caso água.

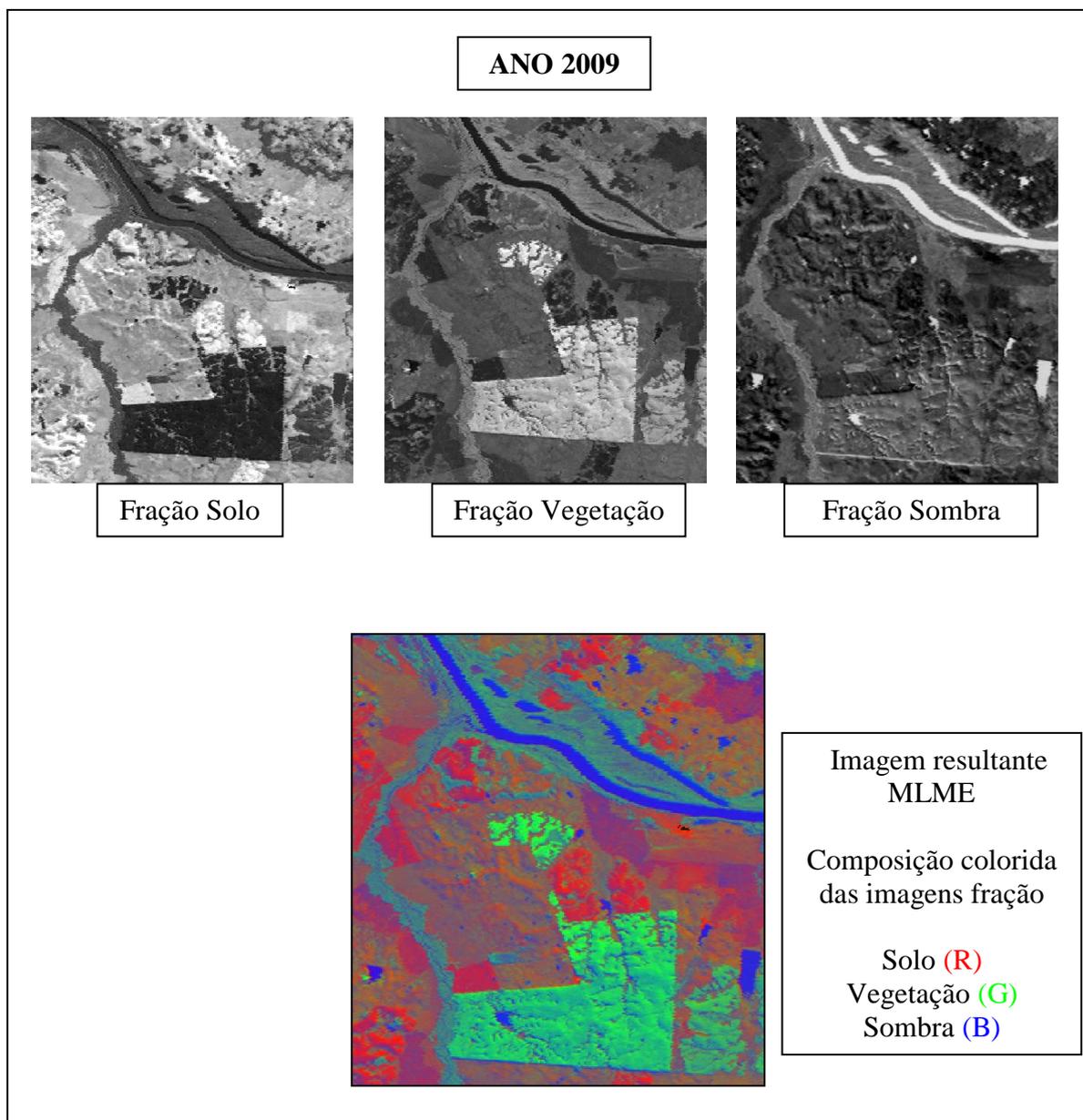


Figura 6 – Destaque das imagens fração e composição colorida, resultantes do modelo linear de mistura espectral para o ano de 2009.

No ano de 2009, a composição colorida das imagens fração demonstra facilmente a distinção entre os tipos de cobertura e uso do solo. Nessa data percebe-se que as áreas encharcadas pelo cultivo de arroz no ano 2000 se encontram sem a presença da componente sombra, devido à data das imagens de 2009 serem compatíveis a época de colheita e preparo do solo do cultivo de arroz.

Ao analisar os destaques das imagens fração e a composição colorida dos três anos, pode-se identificar a área de floresta plantada, caracterizada pela homogeneidade do estágio de desenvolvimento da espécie em toda a extensão. Já no ano de 2000, a mesma região sofreu um desbaste e após isso foi feito o replantio, sendo que na data da imagem o plantio recém tinha sido implantado, tal caracterização podendo ser identificada apenas pela imagem fração vegetação e pela composição colorida das imagens fração. Essa análise é confirmada pela imagem fração e composição colorida do ano de 2009, em que aquela área de replantio encontra-se em estágio avançado.

5.3 Classificação

A partir da aplicação do classificador por regiões baseado na medida da distância de Bhattacharya, foram discriminadas as 9 categorias definidas na legenda temática. A classe urbana não foi possível discriminá-la já que as amostras apresentavam confusão com as áreas de solo exposto. Assim, a classe urbana não foi considerada no processo de classificação e foi necessária a edição matricial das imagens classificadas de maneira de poder incluir este tema.

A classificação foi realizada a partir dos classificadores por regiões baseado na medida da distância de Bhattacharya, tanto das bandas originais como das imagens fração resultante do modelo linear de mistura espectral para as três datas em estudo.

As amostras foram selecionadas com base no conhecimento prévio da área, utilização de imagens do *Google Earth*, além do auxílio do realce e da segmentação da imagem. No caso da seleção das amostras no modelo linear de mistura espectral, o processo foi

facilitado já que as imagens fração geradas permitem definir adequadamente as áreas de solo, vegetação e água.

Adquiriu-se uma média de 550 amostras de treinamento e teste na classificação das bandas originais sendo que o número médio de amostras necessárias para classificar as imagens fração foi de 350 amostras de treinamento e teste. Com a aplicação do modelo linear de mistura espectral houve reduções significativas no tempo de classificação da área em estudo, não somente devido à menor quantidade de amostras necessárias, mas principalmente pela melhor discriminação das classes temáticas.

As imagens resultantes da classificação das bandas originais apresentaram resultados satisfatórios, porém houve uma confusão média maior entre as classes que possuem uma resposta espectral similar, diferentemente do modelo linear de mistura espectral

As amostras correspondentes a solo exposto e arroz, assim como vegetação e mata ciliar nas bandas originais apresentaram maior confusão entre si, quando comparadas com as amostras das imagens fração.

Para finalizar foram obtidas as medidas de cada classe nos mapas resultantes da classificação das diferentes imagens para os períodos analisados, através da ferramenta medida de classes do software SPRING. As Tabelas 5 e 6 apresentam as áreas de cada classe e as diferenças entre as classificações sobre as imagens com e sem modelo de mistura espectral, respectivamente.

Em proporções de áreas classificadas observa-se a diferença significativa na classificação das bandas originais entre mata ciliar no ano 2000, apresentando 6,39% e nas bandas resultantes do MLME obteve-se 15,21% da área total das classes. Esse fato deve-se a menor distinção dos tipos de vegetação pela classificação supervisionada sem o modelo linear de mistura espectral, com a diminuição da mata ciliar tem-se um aumento das classes de vegetação e agricultura.

Tabela 5 – Classificação do uso e cobertura da terra a partir das bandas originais do sensor *TM* do satélite Landsat 5 – 1994, 2000 e 2009.

Classes	Área 1994		Área 2000		Área 2009	
	ha	%	ha	%	ha	%
Arroz	95.329,89	6,40	71.296,11	4,79	81.607,23	5,48
Agricultura	36.086,13	2,42	95.026,5	6,38	27.882,99	1,87
Pastagem e campo	804.346,38	54,01	575.259,48	38,62	445.411,62	29,90
Vegetação	165.289,32	11,10	381.485,97	25,61	399.121,38	26,79
Mata ciliar	199.044,18	13,37	95.176,8	6,39	235.218,87	15,79
Solo exposto	108.058,23	7,26	186.040,8	12,49	243.200,79	16,33
Área urbana	4.148,01	0,28	6.350,49	0,43	6.627,96	0,44
Corpos d'água	55.586,16	3,73	44.239,68	2,97	21.482,55	1,44
Sombra	21.367,08	1,43	34.658,28	2,33	29.173,86	1,96
Nuvem	0	0	0	0,00	13,77	0,00
TOTAL	1.489.255,38	100	1.489.534,11	100	1.489.741,02	100

5.3.1 Mapeamento de uso e cobertura da terra – Bandas originais – Ano 1994

A partir da análise do mapa resultante das bandas originais, do ano de 1994 (Figura 7) pode-se observar que a classe temática pastagem e campo apresenta 54,01% da área total, cuja distribuição espacial ocorre em praticamente toda a ottobacia em estudo. Esta classe compreende as áreas de vegetação rasteira, pastagem típica para a criação de gado e campos sujos.

A classe mata ciliar, caracterizada pela vegetação ao longo dos cursos d'água, apresentou 13,37% da área da ottobacia de nível 4, no ano de 1994.

A classe solo exposto corresponde a 7,26% da área total nesta data. Vale ressaltar que as áreas com solo exposto são decorrentes da ação antrópica ou por fatores naturais. As áreas destinadas ao plantio e rochas expostas também são consideradas nessa classe.

A classe agricultura destaca-se com 2,42% da área. A data da imagem explica esse fato, devido à maioria das culturas agrícolas predominante nessas áreas recém foram colhidas e outras estão em fase inicial de crescimento podendo ter sido confundidas com pastagem e campo ou vegetação.

A classe vegetação considerou-se áreas de reflorestamento e áreas de vegetação nativa. Possui uma área de 11,10%, sendo que há maior representatividade na porção norte da ottobacia, onde ocorre o tipo geomorfológico Serra geral compreendendo regiões de floresta estacional decidual.

A classe arroz representou 6,40% da área total classificada. É uma classe temática evidente na região devido à presença dos solos de várzea nas planícies dos rios da depressão central.

A classe corpos de água apresentou-se com 3,73% da área total, representando o Rio Jacuí, seus afluentes e açudes. A classe área urbana representou 0,32% da área ottobacia nesse ano.

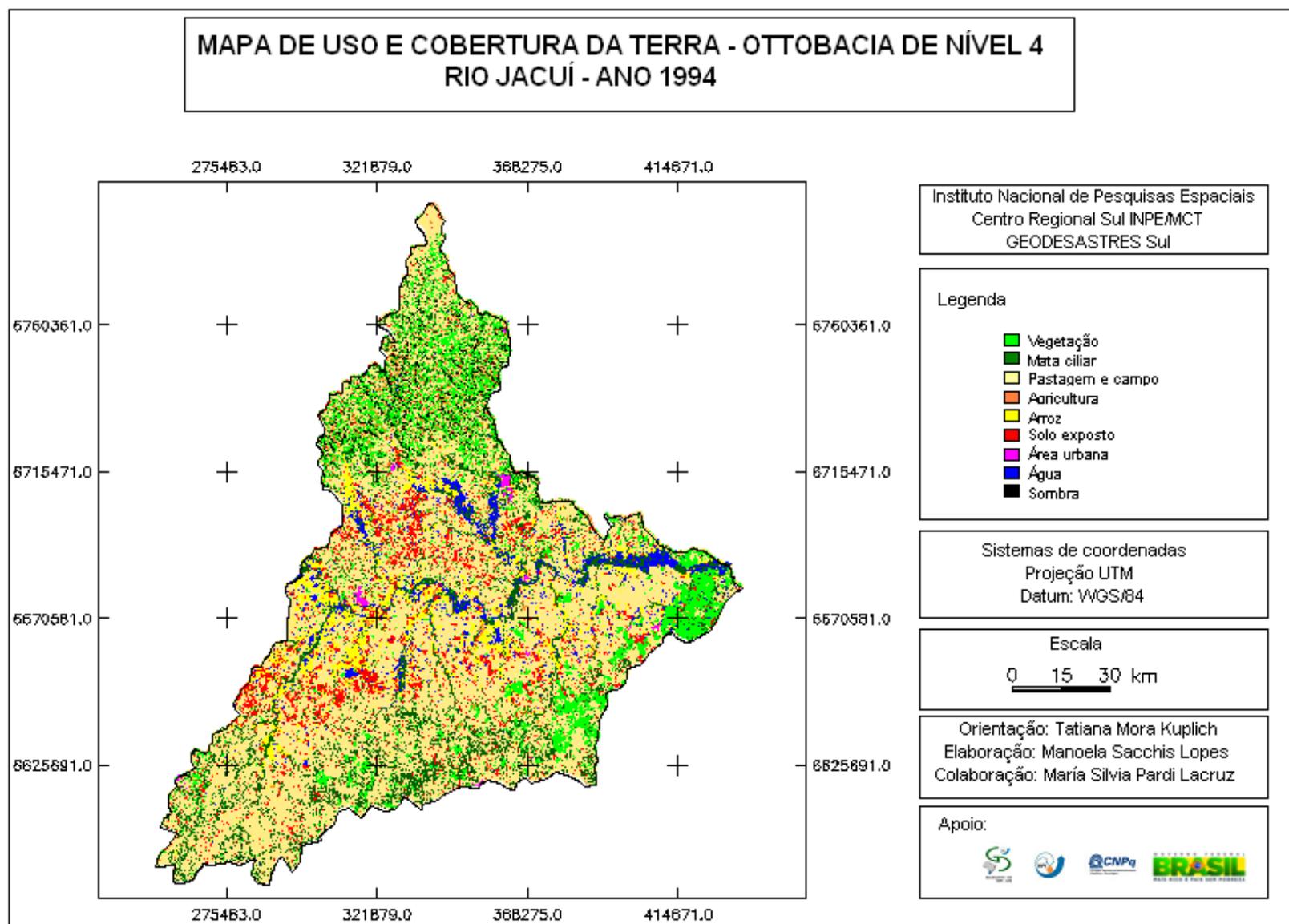


Figura 7 – Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das bandas originais do sensor *TM / Landsat5*.
Ano 1994

5.3.2 Mapeamento de uso e cobertura da terra – Bandas originais – Ano 2000

A classificação resultante das bandas originais para o ano de 2000, não apresentou diferenças significativas em todas as classes temáticas, em comparação ao ano de 1994. Algumas classes como pastagem e campo, vegetação, mata ciliar e solos expostos obtiveram resultados expressivos, porém entre o período de 1994 a 2009 as mudanças adquiriram amplitudes maiores.

A classe temática pastagem e campo apresentou 38,62% da área total em estudo, obtendo uma redução de 15,39% em relação ao ano de 1994. O mesmo ocorre para a classe mata ciliar que apresentou 6,39%, indicando um decréscimo dessa classe no intervalo desses seis anos.

A classe vegetação compreendeu uma área de 25,61%, em comparação ao ano de 1994 houve um aumento de mais da metade dessa classe temática na ottobacia em estudo.

A classe arroz apresentou-se com um decréscimo de aproximadamente 1,60% em comparação ao ano de 1994, porém nesse caso identificou-se o aumento da confusão média das classes temáticas pela classificação sem o modelo de mistura espectral. Na data das imagens do ano 2000, o arroz apresentou-se com o maior nível de água em comparação aos outros dois anos analisados, por isso muitas áreas de cultivo da orizicultura foram classificados como corpos d'água.

A classe solo exposto corresponde a 12,49% da área total nesta data, enquanto no ano de 1994 era de 7,26%. Esse fato é condizente com os resultados obtidos na classificação a partir das imagens fração, indicando o panorama de aumento de solo exposto com o passar dos anos.

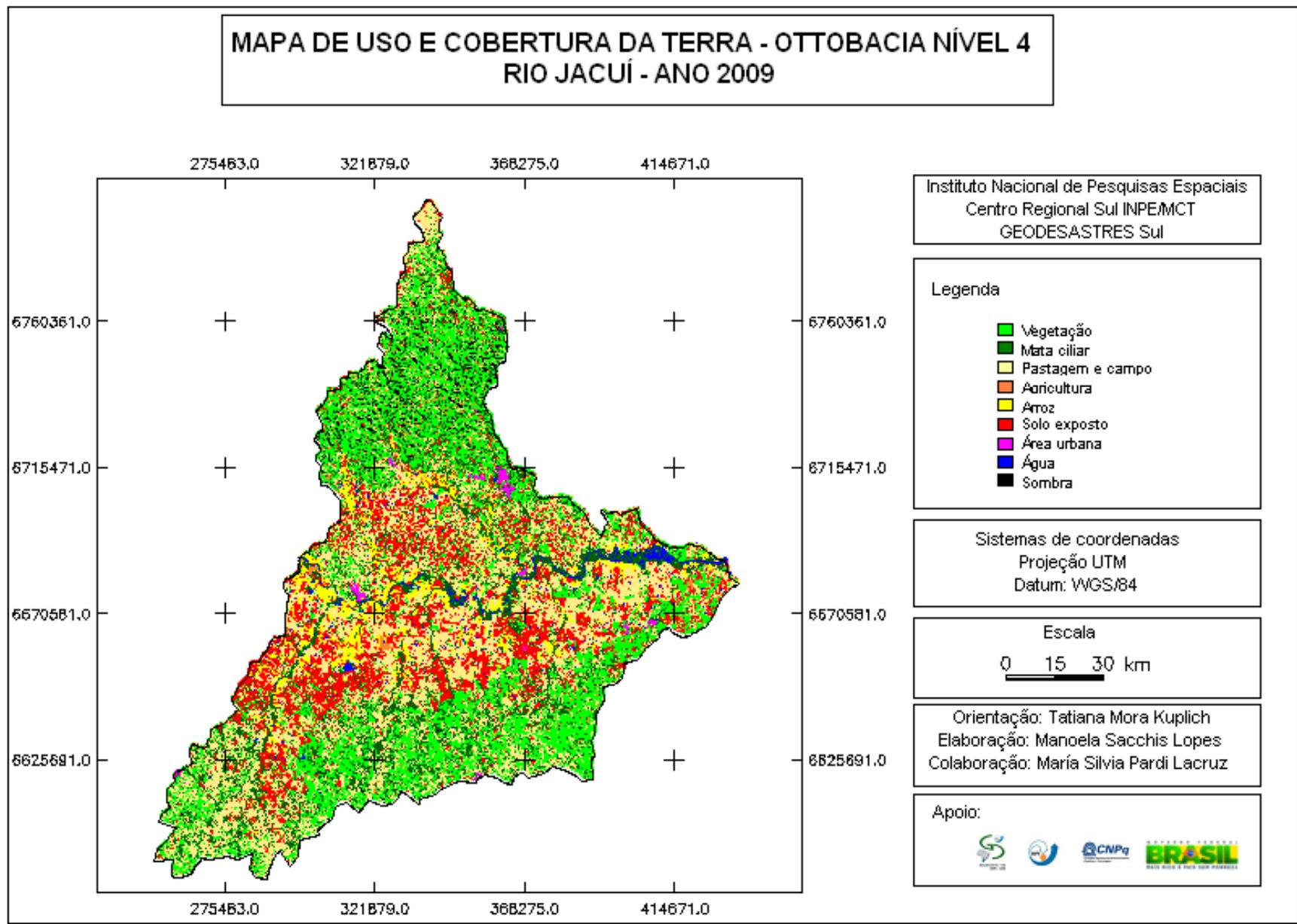


Figura 8 – Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das bandas originais do sensor *TM / Landsat5*.
Ano 2000

5.3.4 Mapeamento de uso e cobertura da terra – Bandas originais – Ano 2009

A análise do mapa temático do ano de 2009, em relação aos anos anteriores, apresentou diferenças expressivas nas mesmas classes que obtiveram transformações nas suas coberturas nos anos de 1994 e 2000. As classes de maiores mudanças na área em estudo no intervalo das três datas analisadas foram pastagem e campo, vegetação, solo exposto e mata ciliar.

As áreas de pastagem e campo apresentaram uma redução de aproximadamente 24% em relação ao ano de 1994 e 9% em relação ano de 2000.

As classes temáticas de vegetação apresentaram um aumento menor em relação ao anos de 1994 e 2000. Fato esse que não ocorre na classificação das imagens fração, devido à maior confusão média de áreas de vegetação com mata ciliar nas bandas originais e nesse ano ocorre a superestimação de áreas de mata ciliar erroneamente.

Nas áreas de solo exposto identifica-se um aumento das áreas na mesma porcentagem ocorrida entre 1994 e 2000.

Em relação à classe temática mata ciliar, houve a confusão média mais evidente no ano de 2009. As áreas de mata ciliar no ano de 2009 apresentaram em 15,79% da ottobacia em estudo, sendo que no ano 2000 era composta por apenas 6,39% da área. Esse fato decorre da classificação de regiões de vegetação e cultivos agrícolas em alto verdor como áreas de matas ciliares, devido a confusão média entre os alvos de respostas espectrais similares.

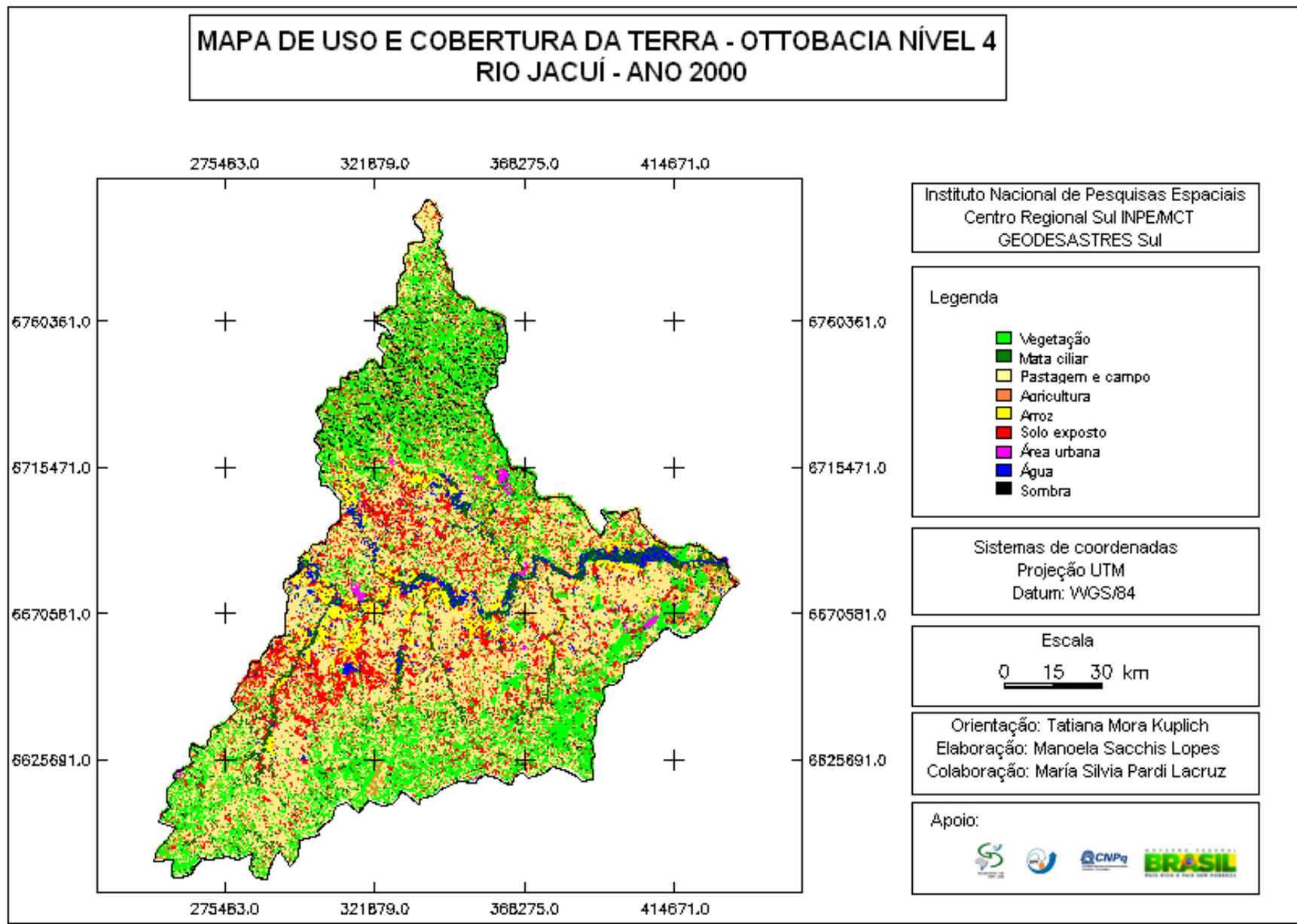


Figura 9 – Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das bandas originais do sensor *TM / Landsat5*.
Ano 2009

5.3.4 Comparação entre os mapas de uso e cobertura da terra com aplicação do modelo linear de mistura espectral

A partir da análise dos mapas resultantes da classificação das imagens fração solo, vegetação e sombra (Figura 10, 11 e 12) e das medidas das classes temáticas pode-se observar que houve mudanças significativas entre as classificações com e sem aplicação do modelo linear de mistura espectral, exceto no ano de 1994.

No ano de 1994, as áreas das classes temáticas adquiridas com a aplicação do modelo linear de mistura espectral foram aproximadamente iguais às áreas obtidas com a classificação das bandas originais, conforme a comparação entre a Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação do uso e cobertura da terra a partir das imagens fração do obtidas do modelo linear de mistura espectral – 1994, 2000 e 2009.

Classes	Área 1994		Área 2000		Área 2000	
	ha	%	ha	%	ha	%
Arroz	92.303,82	6,20	110.350,53	7,41	93.783,78	6,29
Agricultura	35.833,05	2,41	38.136,96	2,56	29.695,05	1,99
Pastagem e campo	816.504,57	54,85	674.913,33	45,31	444.494,25	29,81
Vegetação	134.023,05	9,00	250.008,48	16,78	368.360,46	24,70
Mata ciliar	215.298,81	14,46	226.557,9	15,21	198.781,83	13,33
Solo exposto	106.958,16	7,19	108.065,43	7,25	290.594,61	19,49
Área urbana	4.784,49	0,32	5.837,76	0,39	6.770,8	0,45
Corpos d'água	36.540,9	2,45	39.265,29	2,64	19.533,33	1,31
Sombra	46.317,42	3,11	36.557,82	2,45	39.219,39	2,63
Nuvem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	1.488.564,27	100	1.489.693,5	100	1.491.233,5	100

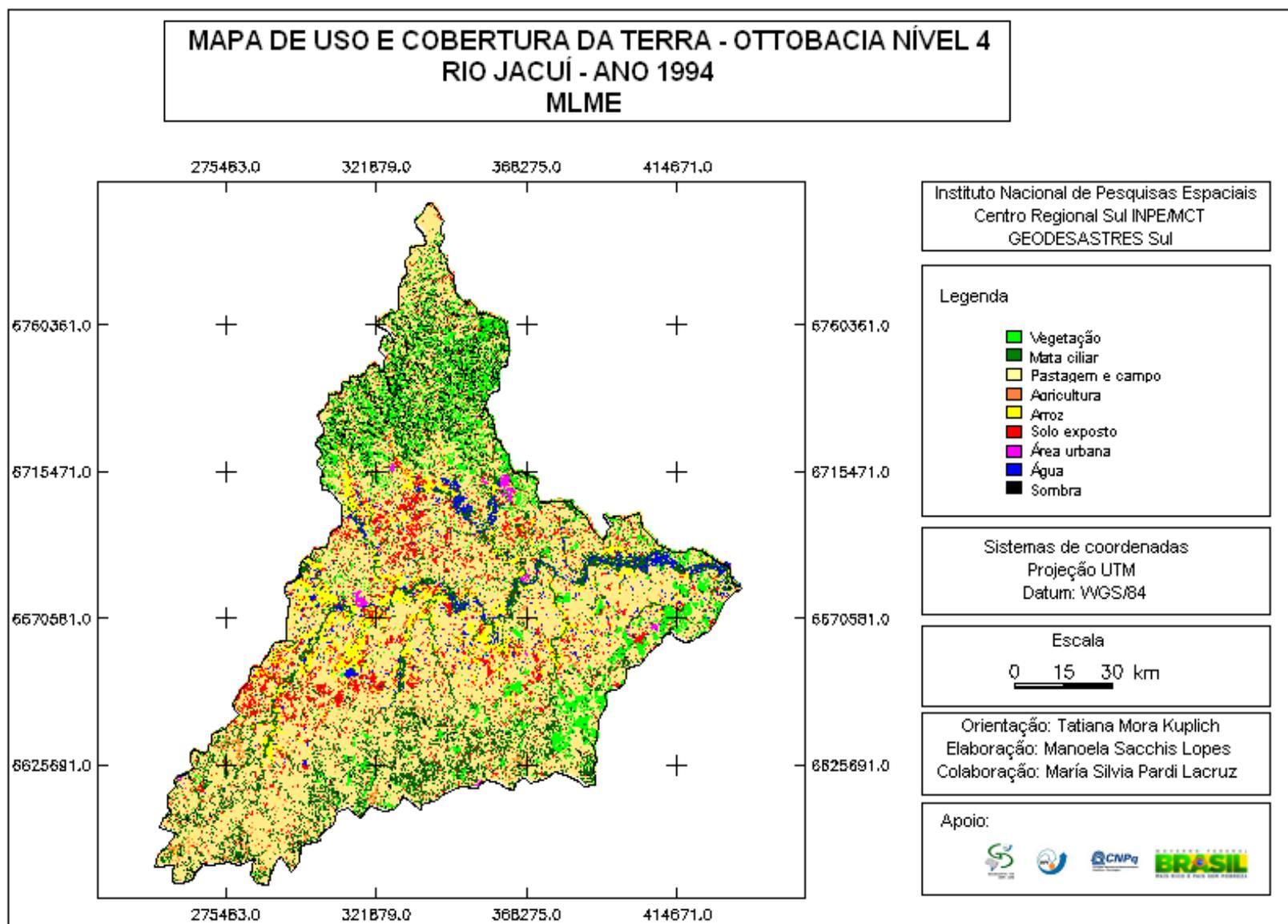


Figura 10 – Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das imagens fração do modelo linear de mistura espectral.
Ano 1994

No ano 2000, as áreas das classes temáticas aparecem com mudanças significativas em relação ao ano de 1994, conforme a Figura 11. No mapeamento desse ano que há os indícios expressivos de que o modelo linear de mistura espectral apresenta melhores discriminações das classes que a classificação das bandas originais. Como por exemplo, a classe pastagem e campo e mata ciliar.

A classe temática pastagem e campo, aparece em número reduzido relacionado ao ano de 1994. A classe pastagem e campo apresentou 45,31% da área total, tendo uma redução de 9,54%. A redução é consequência das mudanças de áreas de pastagem e campo para a inserção de florestas plantadas e o aumento da classe solo exposto. A classificação a partir das bandas originais desse tema obteve uma diferença de aproximadamente 10% em relação ao MLME, devido às bandas originais terem proporcionado maiores confusões com a classe de agricultura.

Áreas de matas ciliares apresentaram um aumento de 0,75% em relação ao ano de 1994, porém de acordo com as análises visuais e o conhecimento da evolução da área sabe-se que não houve mudanças significativas em termos de planejamentos preservacionistas. Portanto esses resultados podem ser consequentes de alguma confusão com outras classes de resposta espectral semelhante. Enquanto a classificação com a aplicação do modelo de mistura espectral apresentou um erro de 0,75%, a classificação das bandas originais apresentou um erro de 7%.

No ano de 2009, conforme a Figura 12, as áreas de solo exposto aumentaram consideravelmente, tanto na classificação das imagens fração como das bandas originais. A classe temática solo exposto apresentou-se em 19,49% da ottobacia em estudo com o modelo linear de mistura espectral e nas bandas originais apresentou 16,33%. O aumento das áreas de solo exposto no período entre 2000 e 2009 deve-se ao fato de que as imagens compreendem a data de colheita e preparo do solo do cultivo de arroz.

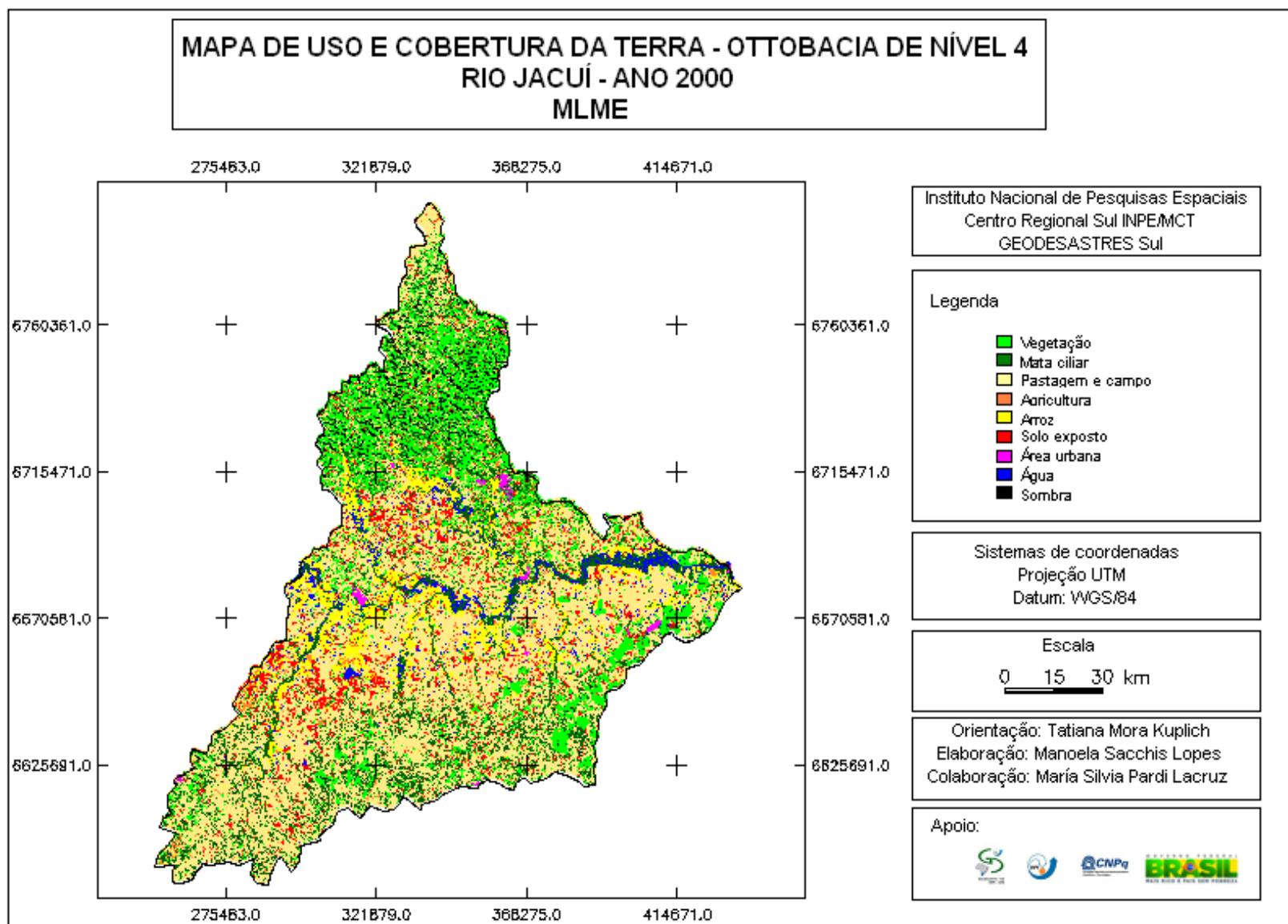


Figura 11 – Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das imagens fração do modelo linear de mistura espectral.
Ano 2000

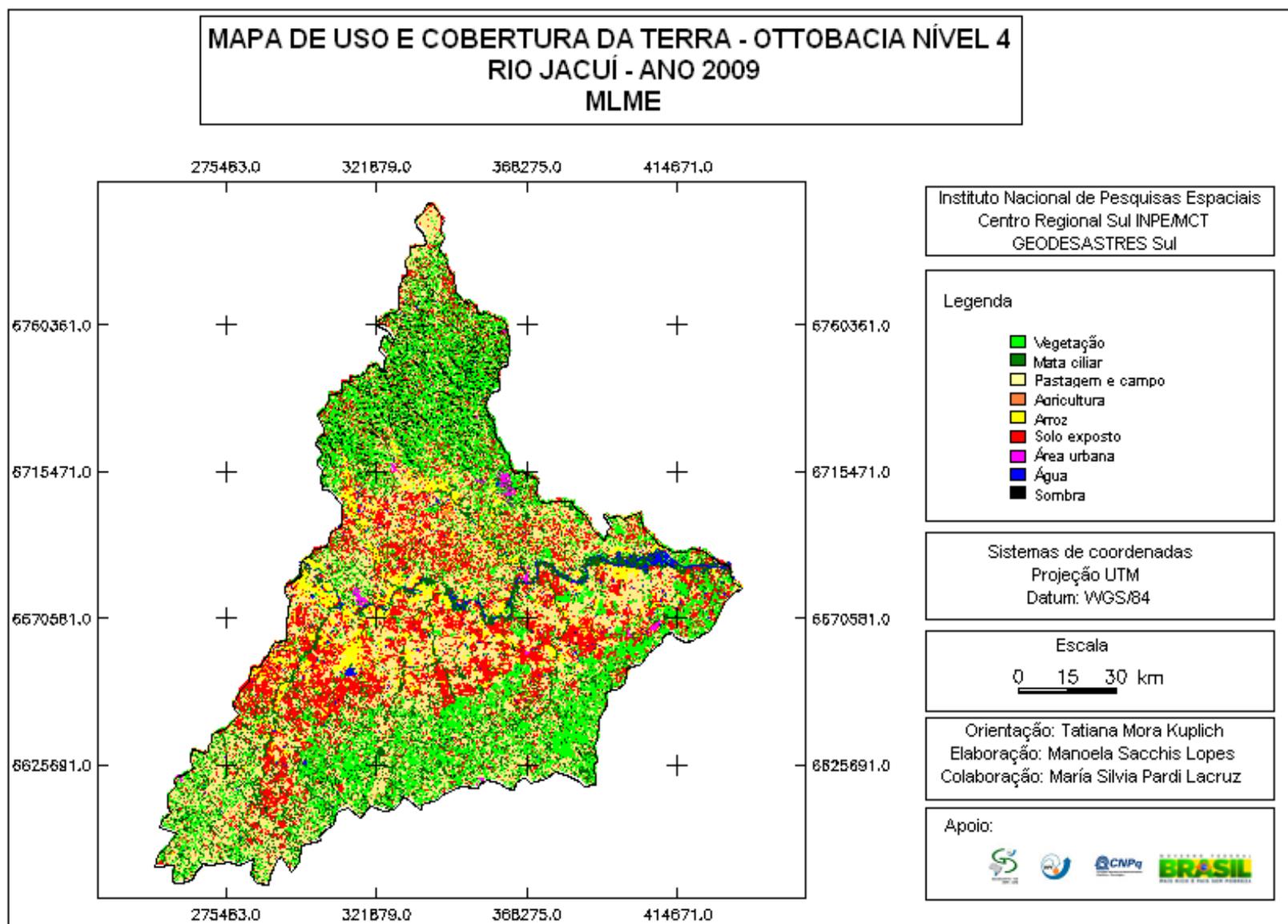


Figura 12 – Mapa de uso e cobertura da terra elaborado a partir da classificação das imagens fração do modelo linear de mistura espectral.
Ano 2009

5.4 Análises da dinâmica de uso e cobertura da terra – Anos 1994, 2000 e 2009

A avaliação da dinâmica de uso e cobertura da terra foi exclusivamente considerando os mapas temáticos resultantes da classificação do modelo MLME, devido à maior precisão dos resultados das áreas de uso e cobertura da terra.

A partir dos mapas dos anos de 1994, 2000 e 2009 obtidos, foi possível quantificar as áreas ocupadas por cada classe, conforme demonstra a Tabela 6. Por fim, foi elaborado um gráfico (Figura 13) ilustrando as mudanças no tipo de uso da terra da ottobacia de nível 4, no período analisado.

A dinâmica do uso e cobertura da terra ocorrida entre os anos de 1994 e 2000, com um intervalo de seis anos não é tão significativa quanto uma comparação entre os anos 1994 e 2009. Portanto, na Tabela 7 demonstram-se as mudanças, em hectares, nas classes temáticas estudadas entre os anos de 1994 e 2009.

Tabela 7 – Mudanças das classes de uso e cobertura da terra no período de 1994 a 2009.

Classes de uso e cobertura da terra	Área 1994 (ha)	Área 2009 (ha)	Mudança (ha)
Arroz	92.303,82	93.783,78	1.479,96
Agricultura	35.833,05	29.695,05	-6138,00
Pastagem e campo	816.504,57	444.494,25	-372.010,32
Vegetação	134.023,05	368.360,46	234.337,41
Mata ciliar	215.298,81	198.781,83	-16.516,98
Solo exposto	106.958,16	290.594,61	183.636,45
Área urbana	4.784,49	5.558,04	773,55
Corpos d'água	36.540,9	19.533,33	-17.007,57
Sombra	46.317,42	39.219,39	-7.098,03
Nuvem	0,00	0	0
TOTAL	1488564,27	1490020,74	1.456,47

A partir dos resultados obtidos, pode-se analisar que a classe solo exposto apresentou um aumento de aproximadamente 234.337 ha no período de 1994 e 2009. O acréscimo dessa classe temática deve-se à falta de práticas conservacionistas e medidas de planejamento. Muitas áreas de solo exposto se encontram impróprias ao uso, devido à falta de técnicas para o uso sustentável do solo para o plantio na ottobacia em estudo, aumentando a erosão e a compactação do solo.

A diminuição da classe pastagem e campo ocorreu de forma contínua entre os anos de 1994, 2000 e 2009. É a mais significativa, obtendo um decréscimo de aproximadamente 372.010 ha, sendo transformadas em áreas de solo exposto e áreas de reflorestamentos.

As áreas de agricultura da ottobacia de nível 4 em estudo apresentou um decréscimo segundo a ferramenta medida de classes. Isso ocorre devido à criação de uma classe arroz distinta de agricultura, mesmo sendo uma cultura agrícola, apresenta respostas espectrais muito diferentes de outros cultivos devido ao seu sistema de produção. As áreas de orizicultura são predominantes na região do Rio Jacuí, sendo uma das mais importantes culturas da região. Apresentou-se um aumento de aproximadamente 1.479 ha no período de 9 anos.

A classe temática vegetação apresentou um aumento de aproximadamente 234.337 ha, destacando o incremento da silvicultura com espécies florestais exóticas. A presença da empresa florestal Aracruz Celulose no município de Butiá compreendido pela ottobacia em estudo é uma das responsáveis pelos reflorestamentos da porção sudeste da região.

A classe mata ciliar no período entre 1994 e 2009, foi reduzida em 16.517 ha, sendo condizente com a análise da área. A região em estudo, durante essas datas, não possuiu práticas de conservação de matas ciliares, nem monitoramento de culturas agrícolas nas margens dos rios. As áreas de matas ciliares são consideradas áreas de preservação permanente segundo o código florestal, e na ottobacia de nível 4 as larguras de matas ciliares em vários trechos do Rio Jacuí não condizem com as larguras exigidas no código. Vale ressaltar, que os cultivos de arroz se encontram às margens dos rios sem

monitoramentos quanto aos agrotóxicos e avanços da cultura sobre as nascentes dos rios e retirada de matas ciliares.

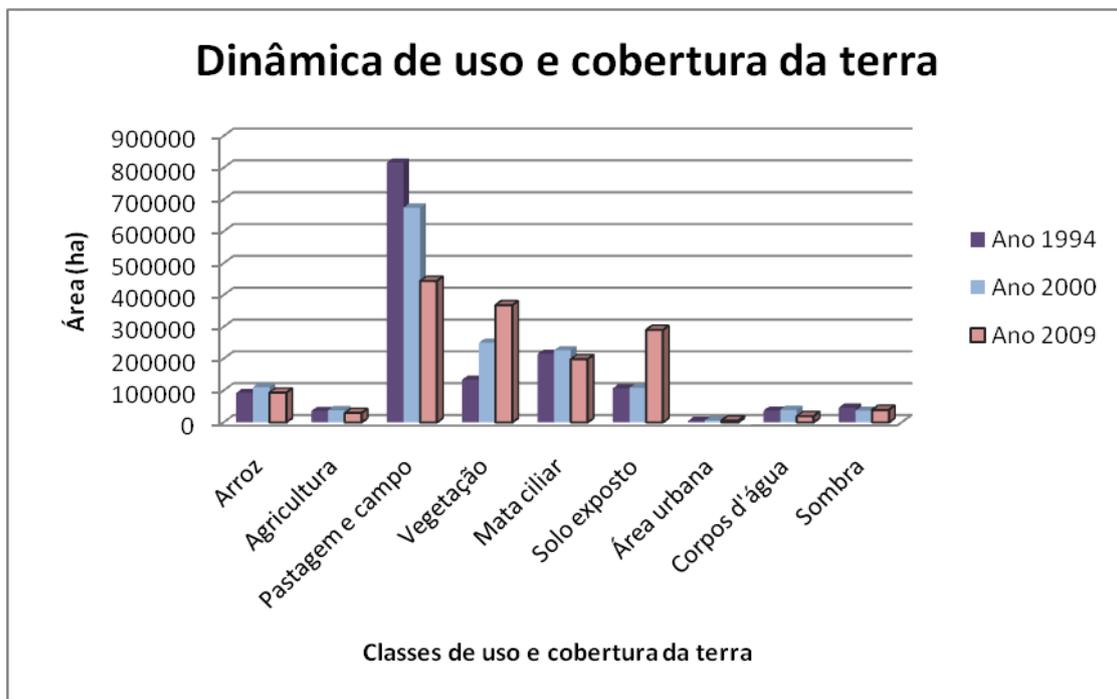


Figura 13 – Gráfico da dinâmica de uso e cobertura da terra na ottobacia de nível 4 que compreende o Rio Jacuí para os anos 1994, 2000 e 2009.

A Figura 14 demonstra as mudanças significativas de áreas de pastagem e campo nativo para áreas de solo exposto, como também o incremento da silvicultura, no período de 1994 e 2009.

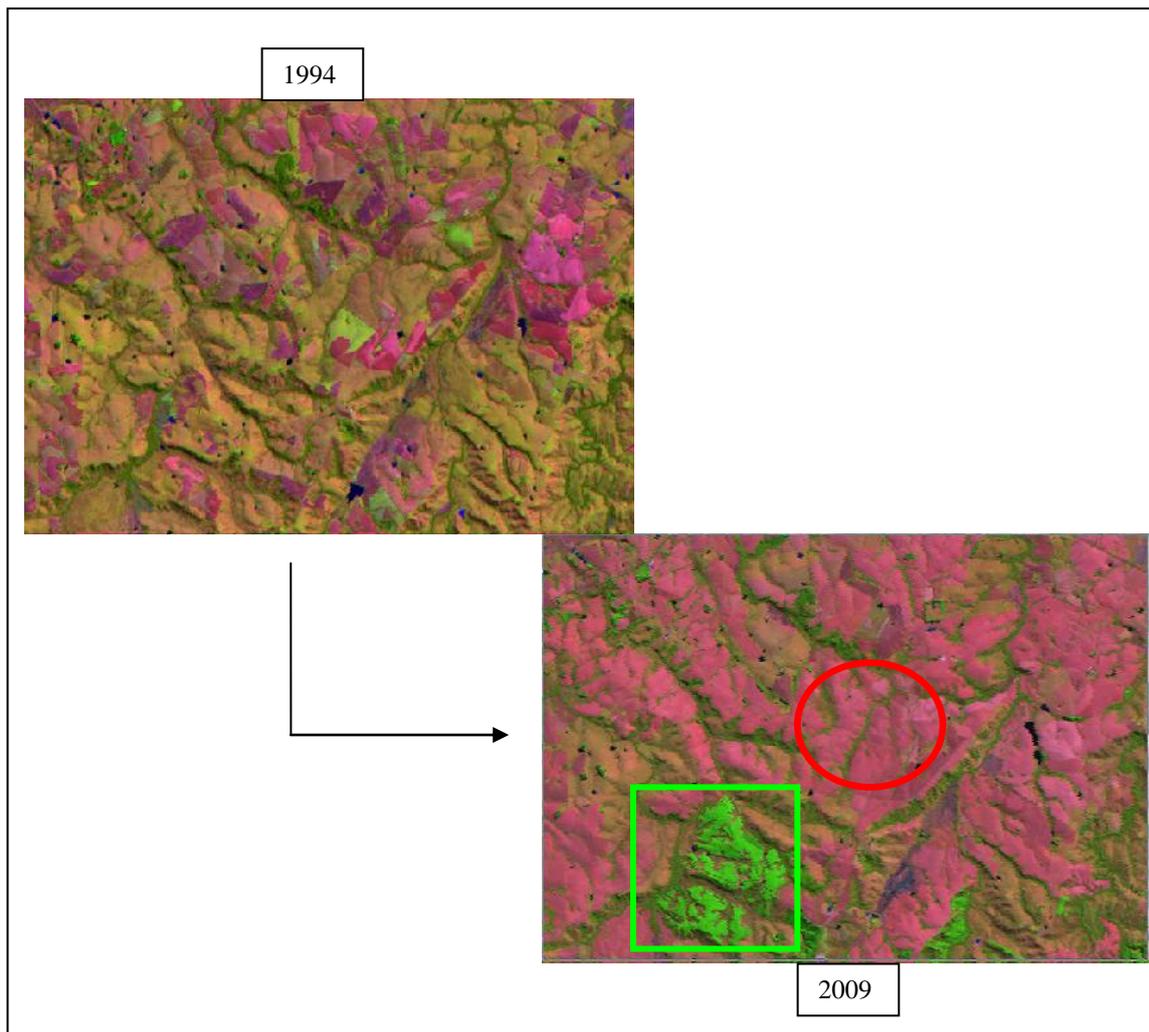


Figura 14 – Modificação de áreas de pastagem e campo para áreas de solo exposto e silvicultura, devido a ação antrópica.

A figura 15 demonstra que nesse trecho do Rio Jacuí, como em muitos outros a mata ciliar não corresponde com a área exigida pelo código florestal vigente. A largura do rio é 93,10 m, sendo necessária pelo código uma largura de mata ciliar de 100 m. Portanto, evidencia-se a falta de práticas conservacionistas nessa área.

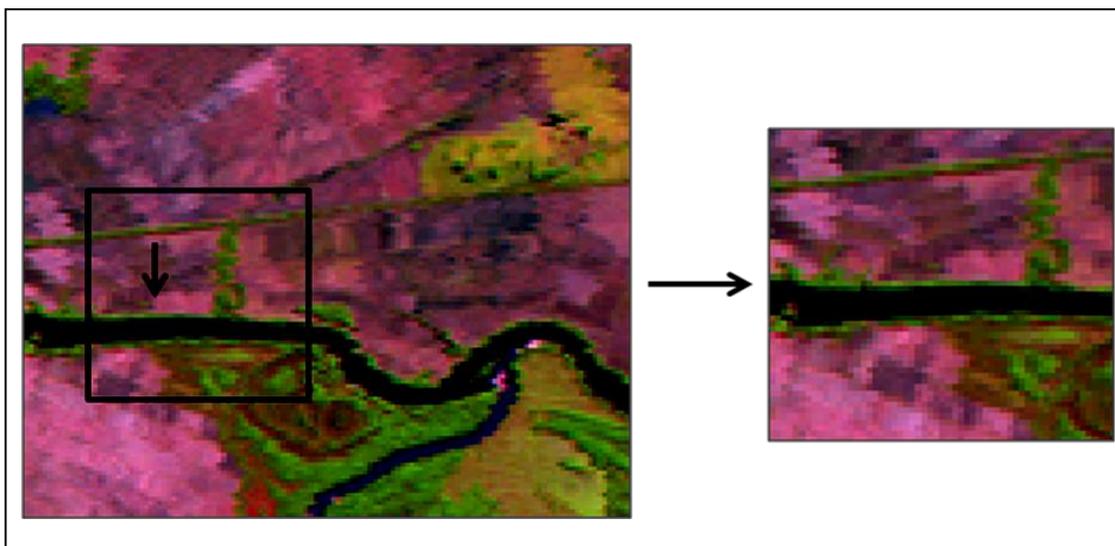


Figura 15 – Descumprimento ao código florestal relacionados às áreas de matas ciliares nas margens do Rio Jacuí.

6. CONCLUSÕES

A área em estudo encontra-se bastante antropizada, com a constante presença de lavouras às margens do rio, descumprimento do código florestal vigente, além da crescente ampliação de áreas de solo exposto.

A classificação por regiões baseado na medida da distância de Bhattacharya das imagens fração vegetação, solo e sombra, apontaram que o modelo linear de mistura espectral mostrou-se mais eficiente para a identificação e discriminação das diferentes classes de uso e cobertura da terra presentes na área em estudo do que as bandas originais do sensor *TM* do satélite *Landsat 5*.

As classes temáticas que apresentaram maiores mudanças ao longo da época de estudo, compreendida entre os anos 1994, 2000 e 2009, foram pastagem e campo, solo exposto e vegetação.

A dinâmica do uso e ocupação da terra é de grande importância, podendo indicar as fragilidades do ambiente, conseqüências da relação entre a sociedade e a natureza. Os usos antrópicos demandam por extensões de terra para o seu processo de produção econômica que, na maioria das vezes, não condizem com a realização de práticas sustentáveis em relação ao meio ambiente.

O conhecimento da dinâmica do uso e cobertura do solo da ottobacia permite analisar que há a necessidade da elaboração de medidas eficazes de planejamentos e práticas conservacionistas na área, a fim de atenuar os processos de degradação ambiental presentes na região.

Sendo assim, as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são consideradas ferramentas de auxílio aos planejamentos ambientais, pesquisas envolvendo o uso e a disponibilidade de recursos hídricos, análises estatísticas sobre uma região e monitoramento de áreas protegidas pela legislação ambiental.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA). Topologia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: versão 1.11. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Gestão da Informação. Brasília: ANA, SGI, 2006. 29 p.

ALVES, G. **Análise do modelo linear de mistura espectral aplicado a imagens MODIS para o mapeamento da cultura de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul.** 2009. 80 p. Tese (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

ANDERSON, L. O. A. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal de Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS.** 2004. 247 p. (INPE-12290-TDI/986). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/08.31.13.56>>. Acesso em: 12 mar. 2011.

BORGES, K. M. R.; SANTOS, P. M. C. Modelo Linear de Mistura Espectral - MLME aplicado ao monitoramento do Cerrado, Bacia do Rio Carinhonha (MG-BA). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5663-5669. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.13.19.00>>. Acesso em: 12 jan. 2011.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Sistemas de Informações Geográficas aplicações na agricultura. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.

D'ARCO, E. **O uso de geotecnologias para estimativas da área plantada de arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul.** 2007. 209 p. (INPE-15326-TDI/1369). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/05.18.14.08>>. Acesso em: 13 abr. 2011.

DUARTE, C. C.; SOUZA, S. F.; GALVÍNCIO, J. D.; MELO, I. D. F. Detecção de mudanças na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Tapacurá - PE através da Análise por Componentes Principais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5765-5772. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.34>>. Acesso em: 04 jan. 2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER (FEPAM). Qualidade Ambiental: qualidade das águas da bacia

hidrográfica do rio Jacuí. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp>. Acesso em: 1 nov. 2010.

GALVÃO, W. S.; MENESES, P. R. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2511-2518. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.01.26>>. Acesso em: 8 jan. 2011.

GOMES, J. V. P.; BARROS, R. S. A importância das Ottobacias para gestão de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1287-1294. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/39UQ75S>>. Acesso em: 04 jan 2011.

GOMES, A. R.; MALDONADO, F. D. Análise de componentes principais em imagens multitemporais TM/Landsat como subsídio aos estudos de vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semi-árido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9. (SBSR), 1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. p. 959-968. CD-ROM. ISBN 85-17-00015-3. (INPE-6949-PRE/2911). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.10.05>>. Acesso em: 05 jun. 2011.

HARTMANN C.; BULLA, L. A. S.; FELLINI B. D. Uso do ADCP na avaliação do fluxo e no transporte de sedimentos no baixo Rio Jacuí, Charqueadas, RS/Brasil. GRAVEL, v. 8, n. 1, p 33-44, Novembro 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Brasil: Mapa de vegetação do Brasil. Rio de Janeiro, 2004. Escala 1: 5 000 000.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Divisão de Geração de Imagens (INPE-DGI). Nove imagens do satélite LANDSAT 5 / Sensor TM - Composição RGB, bandas 3, 4, 5. Órbita/Ponto: 222/80, 222/81 e 221/80. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 25 out.2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento sistemático da produção agrícola. 2006. Disponível em: www.ibge.gov/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/. Acesso em: 05 maio 2011.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres / Remote sensing of the environment: an earth resource perspective. São José dos Campos: PARENTESE EDITORA, 2009. 672 p. ISBN 85605070, 13: 9788560507061. (INPE--/).

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de Aplicação**. Viçosa: Editora UFV, 2011. 422 p. ISBN 9788572693.

NICOLODI, J. L.; ZAMBONI, A.; BARROSO, G. F. Integrated Management of River Basins and Coastal Zone in Brazil: Implications to the Amazon Hydrographic Region. *Revista da Gestão Costeira Integrada*. v. 9, n. 2, p. 9-32, 2009. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-115_Nicolodi.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2010.

NOVO, E. M. L. de M. *Sensoriamento Remoto princípios e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1998.

PARDI LACRUZ, M. S. **Sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica como subsídio para levantamentos fisionômico - estruturais em floresta tropical úmida - estudo de caso**: Estação Científica Ferreira Penna, PA. 1996. 114 p. (INPE-6824-TDI/644). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996. Disponível em:<<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.30.10.34>>. Acesso em: 05 maio. 2011.

PRADO, B. R.; ALMEIDA FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E.; SILVA, G. B. S.; MELLO, M. P.; PEREIRA, G.; CAMARGO, F. F. Processamento de imagens digitais Landsat 5/TM para mapeamento de classes de cobertura da terra no município de Corumbiara - RO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 6101-6108. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15990-PRE/10599). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.16.19.36.53>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

PFAFSTETTER, O. *Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação*. Rio de Janeiro, RJ: DNOS, 1989.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. v. 1, 127 p. ISBN 978-85-60507-02-3.

RUPERT, Og Arão Vieira. *Codificação automática de regiões hidrográficas utilizando sistemas de informação geográfica*. Viçosa: UFV, 2000.

SERVELLO, E. L.; DISPERATI, A. A.; LOPES, A. L. B.; SANTOS, J. R.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Mapeamento de uso da terra na região Centro-Sul do Paraná com imagem CBERS a partir da técnica de modelo linear de mistura espectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 1125-1132. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16525-PRE/11101). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.16>>. Acesso em: 20 mar. 2011.