



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-10235-TDI/900

**ESTIMATIVA DE ÁREAS AGRÍCOLAS POR MEIO DE
TÉCNICA DE SENSORIAMENTO REMOTO,
GEOPROCESSAMENTO E AMOSTRAGEM**

Marcos Adami

Dissertação de Mestrado do Curso da Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. Maurício Alves Moreira, aprovada em 25 de junho de 2003.

INPE
São José dos Campos
2004

528.711.7 (816.2)

ADAMI, M.

Estimativa de áreas agrícolas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e amostragem /

M. Adami. – São José dos Campos: INPE, 2003.

183p. – (INPE-10235-TDI/900).

1.Sensoriamento remoto. 2.Geoprocessamento.
3.Amostragem. 4.Café. 5.Milho. 6.Soja. 7.Paraná (PR)
I.Título

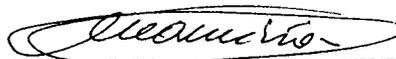
Aprovado pela Banca Examinadora em cumprimento a requisito exigido para a obtenção do Título de **Mestre em Sensoriamento Remoto.**

Dr. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff



Presidente/INPE, SJCampos-SP

Dr. Maurício Alves Moreira



Orientador/INPE, SJCampos-SP

Dr^a Corina da Costa Freitas



Membro da Banca/INPE, SJCampos-SP

Dr. João Argemiro de Carvalho Paiva



Membro da Banca/INPE/SJCampos-SP

Dr. Rogério Teixeira de Faria



Membro da Banca
Convidado Instituto Agrônômico do Paraná
Londrina - PR

Candidato: Marcos Adami

São José dos Campos, 25 de junho de 2003.

*“Uma característica importante do homem inteligente é não tentar buscar mais
precisão do que a natureza das coisas permita”.*

ARISTÓTELES

A Deus eu ofereço

*A meus pais,
Esposa e filho,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro de dois anos de bolsa de mestrado.

À Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná – SEAB, pela liberação para cumprir esta etapa e pelo apoio durante o trabalho de campo.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

Ao meu orientador, Dr. Mauricio Alves Moreira, pela orientação, pela amizade, por toda a paciência e coragem que teve.

Aos pesquisadores, Mestres e Doutores, Antonio Roberto Formaggio, Bernardo Friedrich T. Rudorff, Corina da Costa Freitas, Egidio Arai, João Argemiro C. Paiva, João Pedro C. Cordeiro, José Carlos N. Epiphanyo, José Simeão de Medeiros, Nelson Jesus Ferreira, Teresa Galloti Florezano, Valdete Duarte, Yosio Edemir Shimabukuro, pela amizade e apoio.

Aos professores do INPE pelo conhecimento compartilhado.

À minha eterna namorada, Ana Cláudia, pelo amor, compreensão e carinho.

Aos meus amigos Alcina Maria Nepomuceno, Alda Monteiro Barbosa, Alessandro Ferraz Palmeira, Alexandre da Silva Xavier, Alfredo José Barreto Luiz, Brenner Stefan Gomes Silva, Bruno Eustáquio Moreira Lima, Camilo Daleles Rennó, Cláudia Ramos Zagaglia, Cláudio Clemente F Barbosa, Claudio Gelelete Teixeira, Cleber Gonzales de Oliveira, Clerio Lemos de Sousa, Eddy Hoover Mendonza Rojas, Eliana Lima da Fonseca, Emerson Vieira Marcelino, Enzo D' Arco, Fabio Furlan Gama, Felix Carriello, Fernanda Gonçalves Miranda, Fernando Del Bom E Santo, Francisco Dario Maldonado, Ieda Del'Arco Sanches, Isabela Pena Viana de Oliveira, José Marinaldo Gleriani, Liana Oighenstein Anderson, Luiz Eduardo Oliveira Aragão, Marcelo Lopes Latorre, Melissa Carvalho, Morris Scherer-Warren, Pabrcio Marcos O Lopes, Patrícia Carneiro Genovez, Patrícia Guedes da Silva, Paula de Almeida Cardoso, Paulo Eduardo Ubaldino Souza, Pierre Moura, Raúl Patricio Silva Gómez, Renato Feijó da Rocha, Roberto Javier Rivera Lombardi, Rodrigo Rizzi, Salete Gürtler, Silvio Pimentel Martins, Stélio Soares Tavares Júnior, Waldiza Souza Brandão da Silva e em especial a Brummer Seda Alvarenga, Maria Silvia Pardi Lacruz e Renata Cilene Dainese.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho: Adélio Ribeiro Borges, Agenor Santa Ritta Neto, Baltazar Henrique dos Santos, Devanir Ladeira, Disionei Zampieri, Francisco Carlos Simioni, Gilberto Martins B. da Silva, Gilka Maria A. C. Andretta, Isabel Cristina Rolin, Mauricio Tadeu Lunardon, Methodio Groxko, Neuza Gomes A. Rucker, Norberto Anacleto Ortigara, Guilherme Oscar Richter, Otmar Hubner, Paulo Fernando S. Andrade, Richardson de Souza, Rodrigo Aquino de Paula, Rogério Luiz Alves, Rubens Pimenta de Pádua, Santo Pulcinelli Filho, Vera da Rocha Zardo.

A meus pais por sempre acreditarem na importância do estudo.

E a todos vocês que direta ou indiretamente contribuíram para que eu atingisse este objetivo fica o meu muito obrigado.

RESUMO

Estimativas eficientes de safras agrícolas exigem métodos rápidos e práticos para a sua realização. Neste contexto, é importante o uso do computador para acelerar os processos envolvidos durante as estimativas. Assim, o presente trabalho vem a contribuir com a automatização dos procedimentos de estratificação e alocação de amostras para estimativa de área cultivada, tendo como base o procedimento de amostragem de área. O objetivo principal desta pesquisa foi estimar a área cultivada com as culturas de café, milho e soja, por meio de imagens de satélites, técnicas de geoprocessamento e amostragem probabilísticas de área, no município de Cornélio Procópio e no Núcleo Regional, composto por 23 municípios. Para a realização deste trabalho, mapeou-se o uso e a ocupação do solo, estratificou-se a área de estudo em função do nível de utilização do solo para a agricultura, utilizou-se a amostragem aleatória estratificada para a alocação das amostras, realizou-se trabalho de campo para coleta da área cultivada e expandiram-se os dados utilizando a expansão direta e a regressão. Os resultados deste trabalho demonstram que através do aplicativo SPRING foi possível realizar todos os procedimentos de construção do painel de amostra, isto é, estratificação, cálculo de área e alocação de amostra. Foi possível também utilizar imagens Landsat-7/ETM⁺ como base para alocar o segmento para a coleta de dados no campo, desde que auxiliada com o Sistema de Posicionamento Global (GPS). Além disso, a pesquisa possibilitou estimar a área dessas culturas em escala regional e municipal por meio de amostragem de área, dentro de uma confiabilidade aceitável e com resultados objetivos. Ainda como resultado, apresenta o custo variável da pesquisa para a região e faz-se uma estimativa do custo para a expansão da metodologia para o estado do Paraná.

CROP AREA ESTIMATION USING REMOTE SENSING, GEOPROCESSING AND SAMPLE TECHNIQUES

ABSTRACT

Efficient estimates of agricultural production require practical and rapid methods for its accomplishment. In this context, the use of computer to speed up the involved processes during the estimates is important. Thus, the present work comes to contribute with the automation of the procedures for stratification and allocation of samples to estimate the cultivated area, having the area sampling procedure as base. The main objective of this research was to estimate the cultivated area with coffee, maize and soybean crops, using satellite images, geoprocessing techniques and probabilistic area sampling, in the municipality of Cornélio Procópio and in the Regional Nucleus composed by 23 municipalities. For the accomplishment of this work, it was mapped land use and land occupation, it was stratified the study area based on land use level for agriculture, it was used the random stratified sampling for the allocation of the samples, it was accomplished the field work to collect information about the cultivated area, and the data was expanded utilizing the direct expansion and regression. The results of this work demonstrate that through the SPRING software package it was possible to perform all the procedures for constructing the sample panel, that is, stratification, area calculation, and sample allocation. It was also possible to use Landsat-7/ ETM⁺ images as support to allocate the segment for collecting data on the field, since that it assisted with the Global Positioning System (GPS). Moreover, this research made possible to estimate the area of these crops in a regional and municipal scale by using area sampling, within of an acceptable reliability and with objective results. Still as result, it presents the changeable cost of the research for the region and it makes an estimate of the cost for the expansion of the methodology for the Paraná State.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1	23
INTRODUÇÃO	23
1.1 Objetivos	26
CAPÍTULO 2	29
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1 Culturas Agrícolas	29
2.1.1 Café	30
2.1.2 Milho	32
2.1.3 Soja	33
2.2 Métodos de Obtenção da Área Cultivada	34
2.2.1 Censos	36
2.2.2 Levantamentos por Amostragem	36
2.2.2.1 Métodos Subjetivos	37
2.2.2.2 Métodos Probabilísticos	38
2.3 Levantamentos de Área Cultivada por Amostragem de Área	40
2.4 Estimadores	46
2.4.1 Conceitos Básicos Utilizados nas Equações da Expansão Direta e na Regressão	48
2.4.2 Equação da Expansão Direta	51
2.4.3 Equação do Estimador por Regressão	53
2.5 Tratamento de Imagens Digitais	59
2.5.1 Georeferenciamento e Registro de Imagens	60
2.5.2 Realce de Imagens	60
2.5.3 Restauração de Imagens	61
2.5.4 Transformação do Atributo Espectral ou das Cores	61
2.5.5 Segmentação de Imagens	63
2.5.6 Classificação de Imagens Digitais	64
2.5.7 Pós-Classificação	67
2.6 Sistemas de Informações Geográficas e Banco de Dados Espaciais	67
2.7 Características do Sensor ETM ⁺ do Satélite Landsat-7	68
2.8 Sistema de Posicionamento Global - <i>GPS</i>	70
CAPÍTULO 3	71
MATERIAIS E MÉTODOS	71
3.1 Área de Estudo	71
3.2 Materiais	78

3.3 Método.....	79
3.3.1 Criação do Banco de Dados Geográficos.....	80
3.3.1.1 Georeferenciamento dos Dados.....	80
3.3.2 Classificação e Mapeamento Temático Realizado para Fornecer Parâmetros para a Estratificação da Área de Estudo.....	83
3.3.3 Estratificação da Área.....	86
3.3.3.1 Estratificação da Região.....	86
3.3.4 Procedimento para Amostragem de Área.....	90
3.3.5 Impressão dos Segmentos e Coleta de Dados.....	95
3.3.6 Classificação de Imagens Landsat-7/ETM ⁺ Obtidas Durante o Ciclo das Culturas de Café, Milho e Soja para Fornecer Parâmetros de Entrada para a Estimativa de Área por meio da Regressão.....	100
3.3.7 Procedimentos Utilizados para Inserir, Extrair e Expandir os Dados.....	102
3.3.7.1 Expansão Direta.....	102
3.3.7.2 Regressão.....	103
3.3.8 Caracterização das Variáveis Usadas na Pesquisa.....	104
3.3.9 Estimativa de Custos para a Realização da Pesquisa.....	105
CAPÍTULO 4.....	109
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	109
4.1 Estratificação da Área de Estudo.....	109
4.2 Alocação de Amostras.....	120
4.3 Resultados da Utilização das Imagens Obtidas pelo Satélite Landsat-7/ETM ⁺ para Coleta dos Dados a Campo.....	124
4.4 Dados Coletados em Campo para o Projeto REGIÃO.....	127
4.4.1 Estrato A.....	127
4.4.2 Estrato B.....	129
4.4.3 Estrato D.....	131
4.4.4 Estrato E.....	133
4.4.5 Estrato G.....	133
4.5 Resultados das Estimativas de Área da REGIÃO, por meio da Expansão Direta.....	134
4.6 Dados Coletados em Campo para o Projeto MUNICÍPIO.....	137
4.6.1 Estrato B.....	137
4.6.2 Estrato D.....	139
4.7 Resultados da Estimativa de Área por meio da Expansão Direta para o Município de Cornélio Procópio.....	140
4.8 Resultados da Estimativa de Área por meio da Regressão.....	142
4.8.1 Resultados da Classificação Temática de Imagem Landsat-7/ETM ⁺ para a Cultura do Café.....	143
4.8.2 Resultados da Estimativa da Área de Café por meio da Regressão Linear para o Município de Cornélio Procópio.....	145
4.8.3 Resultados da Classificação Temática de Imagem Landsat-7/ETM ⁺ para o Estrato B' Sem Cobertura de Nuvens.....	148
4.8.4 Resultados da Estimativa de Área das Culturas de Milho e Soja, por meio da Regressão Linear, no Município de Cornélio Procópio.....	150

4.9 Custo da Pesquisa	152
CAPÍTULO 5	157
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	157
CAPÍTULO 6	159
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
APÊNDICE A	169
PROGRAMA EM LEGAL PARA TRANSFORMAR UM PLANO DE INFORMAÇÃO TEMÁTICO EM NUMÉRICO	169
APÊNDICE B	171
PROGRAMA EM LEGAL PARA CALCULAR A MÉDIA PONDERADA DO USO DO SOLO POR ESTRATO	171
APÊNDICE C	173
PROGRAMA EM LEGAL PARA A GERAÇÃO DE GRADE RETANGULAR (AMOSTRAS)	173
APÊNDICE D	175
QUESTIONÁRIO PARA A COLETA DE DADOS NO CAMPO	175
APÊNDICE E	177
FORMATO DO ARQUIVO ASCII PARA A IMPORTAÇÃO NO SOFTWARE TRACKMAKER	177
APÊNDICE F	179
FORMATO DO ARQUIVO DE LINHAS, EM ASCII, PARA A IMPORTAÇÃO NO SOFTWARE SPRING EM COORDENADAS GEOGRÁFICAS	179
APÊNDICE G	181
FORMATO DO ARQUIVO DE PONTOS, EM ASCII, PARA A IMPORTAÇÃO NO SOFTWARE SPRING EM COORDENADAS PLANAS	181
APÊNDICE H	183
MACRO PARA O EXCEL, EM VBA, QUE IDENTIFICA SE O ELEMENTO FOI SORTEADO OU NÃO	183

LISTA DE FIGURAS

2.1 – Participação dos principais estados brasileiros na produção de grãos, em percentual, no ano de 2000.....	29
2.2 – Zoneamento agroclimático do café no Paraná.....	31
2.3 – Zoneamento agroclimático do milho, safra normal, no Paraná.....	33
2.4 – Formas indiretas para obtenção da área cultivada.....	35
2.5 – Exemplo fictício da distribuição espacial de culturas dentro de um estrato.....	50
2.6 – Aumento de contraste para realçar a imagem.....	60
2.7– Representação do espaço <i>IHS</i>	62
3.1 – Localização da área de estudo.	72
3.2 – Evolução da área plantada com culturas de verão (ha), na região de estudo de 1979 a 2000.	73
3.3 – Área em hectares, cultivada com cafezais em produção, na região de Cornélio Procópio.....	74
3.4 – Aptidão da região de Cornélio Procópio ao cultivo do café.....	75
3.5 – Área em hectares, utilizada com a cultura de milho, safra de verão, na região de Cornélio Procópio.	75
3.6 – Zoneamento agroclimático do milho safra normal para a região de Cornélio Procópio.....	76
3.7 – Área em hectares, utilizada pela cultura da soja na região de Cornélio Procópio.....	77
3.8 – Época de cultivo da soja na região de Cornélio Procópio.....	77
3.9– Fluxograma para mostrar as etapas de segmentação e classificação da área de estudo.....	85
3.10 – Fluxograma demonstrando os procedimentos adotados para a criação dos estratos homogêneos de uso do solo.....	89
3.11 – Fluxograma para a criação e sorteio dos segmentos.....	91
3.12 – Procedimento para restauração das imagens e <i>IHS</i>	97
3.13 – Procedimento para obter os resultados referentes a expansão direta.....	103
4.1 – Resultado da classificação para a região.	110
4.2 – Resultado da classificação para o município.....	111
4.3 – Resultado da segmentação para a definição dos estratos de uso do solo na Região.....	113
4.4 – Resultado da segmentação para a definição dos estratos de uso do solo no Município.	114
4.5 – Resultado do ajuste dos polígonos obtidos pela segmentação aos limites das unidades amostrais para a região em estudo.	115
4.6 – Resultado do ajuste dos polígonos obtidos pela segmentação aos limites das unidades amostrais para o município em estudo.....	116
4.7 – Resultado final da estratificação dos usos do solo, para a região.....	117
4.8 – Resultado final da estratificação dos usos do solo para o município.	118
4.9 – Localização das amostras, por estrato, para a região.....	122
4.10 – Localização das amostras, por estrato, para o município.	123

4.11 – Exemplo de um segmento, utilizando imagem com os processamentos de restauração e <i>IHS</i>	125
4.12 – Resultado do mapeamento temático no município, utilizado para o cálculo da regressão para estimar a área da cultura do café.	145
4.13 – Resultado do mapeamento temático no município utilizado para a o cálculo da regressão para estimar a área da cultura do milho e da soja.	149

LISTA DE TABELAS

2.1 – Área cultivada e produção das culturas de café, milho e soja, do Brasil e do Paraná no ano de 2001.....	30
2.2 – Principais características do sensor ETM ⁺ , a bordo do satélite Landsat –7.....	69
3.1 – Órbita/ponto e data das imagens Landsat – 7/ETM ⁺ utilizadas na classificação e no trabalho de campo.....	78
3.2 – Cartas utilizadas para a realização do trabalho.....	79
3.3 – Pontos coletados por GPS, para georeferenciamento dos dados.....	81
3.4 – Definição de N_h por estrato e percentual do uso do solo para agricultura, para a região.....	93
3.5 – Definição de N_h por estrato e percentual do uso do solo para agricultura, para o município de Cornélio Procópio.....	93
4.1 – Resultado do mapeamento temático para a região.....	109
4.2 – Resultado do mapeamento temático para o município.....	109
4.3 – Diferença encontradas entre a área dos pi's vetoriais anterior e posterior ao ajuste.....	119
4.4 – Número total de segmentos, segmentos sorteados e percentual da área sorteado, para a região.....	120
4.5 – Número total de segmentos, segmentos sorteados e percentual da área sorteado, para o município.....	120
4.7 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato B, das variáveis pesquisadas, em km ²	130
4.8 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato D, das variáveis pesquisadas, em km ²	132
4.9 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato E, das variáveis pesquisadas, em km ²	133
4.10 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato G, das variáveis pesquisadas, em km ²	134
4.11 – Área estimada, variância e coeficiente de variação para as variáveis da pesquisa.....	134
4.12 – Comparativo entre a área estimada pela amostragem e a estimativa subjetiva realizada pelo deral, para a região.....	135
4.13 – Comparativo entre os resultados obtidos pela classificação temática da imagem, utilizada para a estratificação e os resultados da amostragem, para a região.....	136
4.14 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato B, das variáveis pesquisadas, em km ²	138
4.15 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato D, das variáveis pesquisadas, em km ²	139
4.16 – Área estimada, variância e coeficiente de variação para as variáveis da pesquisa.....	140
4.17 – Comparativo entre a área estimada pela amostragem, para a região e a estimativa subjetiva realizada pelo DERAL.....	141

4.18 – Comparativo entre os resultados obtidos pela classificação temática da imagem utilizada para a regressão e os resultados da amostragem, para o município.....	142
4.19 – Resultado do mapeamento temático para o município, utilizado para a expansão por regressão, para a cultura do café.....	143
4.20 – Área e número de <i>pixels</i> classificados como café, no estrato B, do município.....	146
4.21 – Área e número de <i>pixels</i> classificados como café, no estrato D, do município.....	147
4.22 – Área e variância estimada para a cultura do café pelos modelos de regressão, expansão direta e subjetivo, no município.....	147
4.23 – Resultado do mapeamento temático para o município, estrato B' (sem nuvem), utilizado para a expansão por regressão, para as culturas de milho e soja.....	148
4.24 – Área e número de <i>pixels</i> classificados com milho e soja no estrato B' (sem nuvem) do município.....	150
4.25 – Área ocupada com milho e soja, no estrato B (com nuvem), do município..	151
4.26 – Estimativas da área e variância das culturas de milho e soja, obtidas pela regressão, expansão direta e método subjetivo, para o município de Cornélio Procópio.....	151
4.27 – Custo para operacionalização da pesquisa.....	153
4.28 – Decomposição do custo variável da mão-de-obra.....	153
4.29 – Estimativa de custo para realização da pesquisa em todo o estado do Paraná.....	154
4.30 – Estimativa de custo, ano a ano, para a realização da pesquisa em todo o estado do Paraná, para os 3 anos após a implantação da mesma.....	154

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

a. C.	- antes de Cristo
<i>AGRISTARS</i>	- <i>Agriculture and Resources Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing</i>
<i>ASCII</i>	- <i>American Standard Code for Information Interchange</i>
bit	- Dígitos binários
<i>CASS</i>	- <i>Computer Aided Stratification and Sampling</i>
<i>CITARS</i>	- <i>Crop Identification Technology Assessment by Remote Sensing</i>
C.V.	- Coeficiente de variação
DERAL	- Departamento de Economia Rural
EQM	- Erro quadrático médio
<i>ERTS</i>	- <i>Earth Resource Technology Satellite</i>
<i>ETM⁺</i>	- <i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
<i>FAO</i>	- <i>Food and Agriculture Organization</i>
<i>GPS</i>	- <i>Global Positioning System</i>
<i>HRV</i>	- <i>High Resolution Visible</i>
IAPAR	- Instituto Agrônomo do Paraná
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<i>IHS</i>	- <i>Intensity, Hue, Saturation</i>
<i>LACIE</i>	- <i>Large Area Crop Inventory Experiment</i>
<i>LANDSAT</i>	- <i>Land Remote Sensing Satellite</i>
LEGAL	- Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
LSPA	- Levantamento Sistemático da Produção Agropecuária

<i>MARS</i>	- <i>Monitoring Agriculture by Remote Sensing</i>
<i>NASA</i>	- <i>National Aeronautic and Space Administration</i>
<i>NASS</i>	- <i>National Agricultural Statistics Service</i>
<i>NC</i>	- <i>Nível de cinza</i>
<i>PAM</i>	- <i>Produção Agrícola Municipal</i>
<i>PI</i>	- <i>Plano de informação</i>
<i>Pixel</i>	- <i>Picture Element</i>
<i>PREVS</i>	- <i>Pesquisa Objetiva de Previsão de Safras</i>
<i>RGB</i>	- <i>Red (Vermelho), Green (verde) e Blue (Azul)</i>
<i>SEAB</i>	- <i>Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná</i>
<i>SEMA</i>	- <i>Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Paraná</i>
<i>SIAG</i>	- <i>Sistema de Informações Agropecuárias</i>
<i>SPRING</i>	- <i>Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas</i>
<i>TM</i>	- <i>Thematic Mapper</i>
<i>UPA</i>	- <i>Unidade Primária de Amostragem</i>
<i>USDA</i>	- <i>United States Department of Agriculture</i>

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O mercado possui necessidade crescente de saber o que, quanto, quando e aonde vai ser produzido determinado bem. Quando trazemos estas incógnitas para o mercado agrícola, as necessidades de informações são ainda maiores, pois não afetam apenas as cotações, mas a segurança alimentar de toda a população. Dessa forma, há muito tempo o homem tem se preocupado com a previsão de safras.

Procurando atender a esta demanda, os programas de previsão de safras agrícolas são empregados em vários países há muitas décadas. Os Estados Unidos, por exemplo, utilizam modelos estatísticos para estimar a área e a produtividade agrícola desde 1938. Inicialmente, a abordagem destes modelos era baseada em um cadastro de propriedades rurais, cuja metodologia foi elaborada pela Universidade de Iowa em cooperação com o *United States Department of Agriculture (USDA)*. Posteriormente, em 1945, essa metodologia foi expandida para quase todos os estados deste país (FAO, 1998).

A teoria da amostragem por área teve início nos anos 60, amparada por fotografias aéreas e material cartográfico (FAO, 1998). A partir do lançamento do primeiro satélite da série Landsat, esses modelos foram aprimorados e passaram a usar, também, imagens de satélites como fonte de dados para pesquisa e para a previsão de safras (Chen, 1980).

Com a evolução tecnológica houve a implementação nos Estados Unidos, pelo *USDA* de um sistema automático de estratificação e amostragem de área, denominado *Computer Aided Stratification and Sampling (CASS)*, que foi utilizado durante muitos anos (Cotter e Tomczack, 1994; FAO, 1998). Atualmente, esse sistema foi substituído por um método que emprega os *softwares Arcview e Erdas* para a estratificação e amostragem das áreas (Pense, 2001).

Na opinião de Chen (1990), a introdução de imagens de satélites na abordagem metodológica de amostragem por área serviu também para estudos sobre as relações

entre os dados coletados por satélites e os parâmetros agronômicos da cultura. A autora cita ainda que, os projetos *Crop Identification Technology Assessment by Remote Sensing* (CITARS), *Large Area Crop Inventory Experiment* (LACIE) e *Agriculture and Resources Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing* (AGRISTARS) forneceram uma base muito sólida para este método de estimativa de áreas cultivadas.

No Brasil, também foram realizados muitos estudos sobre o uso de sensoriamento remoto (SR) na agricultura. A maioria destes estudos foi relacionada com o mapeamento de áreas de culturas. Dentre as culturas mais estudadas pode-se citar: cana-de-açúcar (Batista *et al.*, 1978; Mendonça, 1979; Mendonça *et al.*, 1986; Batista *et al.*, 1990), trigo (Mendonça *et al.*, 1981; Chen *et al.*, 1982; Epiphanyo, 1988; Formaggio, 1989; Batista *et al.*, 1990; Moreira, 1997), arroz (Moreira *et al.*, 1983; Assunção *et al.*, 1984; Moreira e Crossetti, 1988), feijão (Rudorff e Krug, 1986; Epiphanyo, 1988; Formaggio, 1989), milho (Epiphanyo, 1983; Moreira, 1990; Moreira *et al.*, 1998; Derenne *et al.*, 2001), soja (Moreira, 1990; Antunes *et al.*, 1993; Medeiros *et al.*, 1996; Moreira *et al.*, 1998; Derenne *et al.*, 2001), café (Dallemand, 1987; Batista *et al.*, 1990; Tardin *et al.*, 1992).

Quanto à produtividade agrícola, no Brasil a maioria dos estudos envolvendo dados de SR foi realizada por meio da obtenção de medidas radiométricas no campo. Dentre eles podem-se citar os trabalhos dos seguintes autores: Chen e Fonseca (1978); Celaschi (1983); Epiphanyo (1983); Rudorff (1985); Rudorff *et al.* (1989); Moreira (1997).

No contexto de previsão de safras agrícolas, embora sabendo do potencial das imagens de satélites, no Brasil ainda não existe um modelo sólido, fundamentado nas técnicas de SR e na estatística, que possa fornecer informações a respeito da produção agrícola de modo confiável, objetivo e que sirva de parâmetro para a tomada de decisões políticas no setor agropecuário (Pino, 2001).

Entretanto, o caminho mais promissor para o estabelecimento de um modelo de previsão de safras, ou pelo menos para estimar área com as principais culturas agrícolas é, sem dúvida, por meio do uso de imagens de satélite, com suporte do geoprocessamento. Pino (2001) comenta que, a introdução do SR como ferramenta na

agricultura, constituiu o ápice do desenvolvimento do levantamento de dados agropecuários. Na época, o autor relatou que já existia base científica para a utilização desta ferramenta e que o fato de ser pouco utilizada está relacionado com decisões políticas imediatistas.

Dentro da visão do uso das técnicas de SR em modelos estatísticos para estimativa de áreas agrícolas, foram realizados no Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE) basicamente três projetos, envolvendo amostragem probabilística para estimativa de áreas ocupadas com culturas agrícolas. O primeiro projeto foi realizado por Batista *et al.* (1977), no município de Jardinópolis, São Paulo, através do emprego de fotografias aéreas para estimar áreas cultivadas. O segundo projeto, foi desenvolvido por Moreira (1983), que utilizou fotografias aéreas para estimar áreas de trigo, através de expansão direta em uma área teste, no município de Cruz Alta, Rio Grande do Sul. Posteriormente, no ano de 1986, foi estabelecido um sistema robusto para a estimativa de áreas agrícolas, por estado. Esse projeto nasceu de uma cooperação entre o INPE e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e foi denominado de Sistema de Informações Agropecuárias (SIAG). O painel amostral do SIAG foi construído para estimar áreas ocupadas por culturas agrícolas nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Distrito Federal (FAO, 1998). Posteriormente, o projeto ficou restrito ao estado do Paraná e passou a ser chamado de Pesquisa Objetiva de Previsão de Safras (PREVS) (Collares *et al.*, 1993).

Na PREVS, os dados provindos do SR foram empregados até a fase de alocação dos segmentos. Todo processo de estratificação e delimitação das unidades primárias de amostragem (UPA) foi executado manualmente, sobre imagens em papel fotográfico, o que demandou uma grande equipe de pesquisadores e muito tempo para montar o painel de amostra. Nas fases seguintes, de delimitação dos segmentos e coleta de dados no campo, as imagens de satélites foram substituídas por ampliações fotográficas na escala 1:10.000 (Mueller *et al.*, 1988).

Os resultados da PREVS sobre estimativa de áreas agrícolas são expressos na escala estadual, o que representa um obstáculo quando se pensa que a agricultura no Brasil é

fortemente regionalizada. Devido a este fator, a regionalização da agricultura brasileira, fica praticamente impossível obter informações confiáveis sobre a agricultura num dado município ou região, apenas com os dados obtidos pela PREVS. Esta falta de dados dificulta a realização de estudos regionais para fins de políticas de desenvolvimento regional, políticas de crédito e custeio, alocação de indústrias, armazéns, desta forma, prejudica o desenvolvimento do agronegócio regional.

Outro obstáculo, com relação a PREVS, ocorre porque devido ao âmbito estadual, a coleta de dados no campo é muitas vezes prejudicada por ser realizada por pessoas que não conhecem a região onde irão trabalhar. Nesse contexto, este trabalho irá testar a hipótese de que é possível estimar a área cultivada com as culturas de café, milho e soja, por regiões e /ou por município.

1.1 Objetivos

Esta pesquisa teve como objetivo principal estimar a área cultivada com as culturas de café, milho e soja, por meio de imagens de satélites, técnicas de geoprocessamento e amostragem probabilísticas de área, tendo como base a região administrativa de Cornélio Procópio e o município de Cornélio Procópio, no norte do estado do Paraná.

Para atingir o objetivo principal foram desenvolvidas e/ou testadas metodologias computacionais e não-computacionais, as quais constituíram os seguintes objetivos específicos desta pesquisa:

- 1) Computacionais: construção do painel amostral
 - a) procedimento para estratificar a área de estudo, conforme percentual de uso de solo para a atividade agrícola;
 - b) procedimentos para alocar a amostra de área;
 - c) procedimentos para gerar os segmentos a serem visitados no campo;
 - d) avaliar a contribuição do Sistema de Informação Geográfica (SIG) nestes procedimentos;

2) Não-computacionais

- a) verificar a campo a possibilidade de utilizar imagem Landsat-7/ETM⁺ no lugar das fotografias aéreas, para a coleta de dados dos segmentos;
- b) avaliar a contribuição do Sistema de Posicionamento Global (*GPS*), como ferramenta auxiliar para identificar segmentos no campo e demarcar diferentes talhões de ocupação do solo dentro do segmento;

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Culturas Agrícolas

A balança comercial brasileira teve um superávit de 1,9 bilhão de dólares no ano de 2001. No mesmo período, a agropecuária brasileira teve um superávit de 11,323 bilhões de dólares. Esse número denota a importância da agropecuária para a economia de nosso país, pois foi responsável por cobrir o déficit de 9,423 bilhões de dólares, resultante da balança comercial de outros setores da economia (CNA, 2002).

O Paraná, segundo PARANÁ.SEAB/DERAL (2003a), é o principal produtor brasileiro de grãos com 22,6% do total da produção, apesar de sua extensão territorial corresponder a apenas 2,3% da área total do território nacional (Figura 2.1).

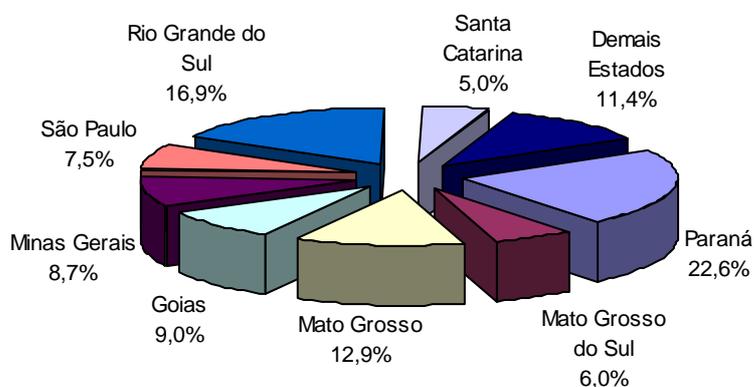


FIGURA 2.1 – Participação dos principais estados brasileiros na produção de grãos, em percentual, no ano de 2000.

FONTE: Adaptada de PARANÁ.SEAB/DERAL (2003a)

No ano de 2000, o agronegócio foi responsável por 65% das exportações do estado do Paraná. Neste contexto, o café, o milho, a soja e os derivados dessas culturas, contribuíram com 2,2%, 6,2% e 33,0%, respectivamente, do total das exportações paranaenses. Para evidenciar a importância dessas três culturas, o valor bruto da

produção agropecuária paranaense (o somatório da receita bruta gerada por todos os produtos da agropecuária) no ano de 2000 totalizou 11,8 bilhões de reais, o café contribuiu com 2,1%, o milho com 10,8% e a soja 17,3%, desse valor (PARANÁ.SEAB/DERAL, 2001).

O comparativo entre área e produção brasileira e paranaense, para o ano de 2002, das culturas de café, soja e milho, pode ser observado na Tabela 2.1. Nesta tabela pode-se observar que o Paraná produz 1,5% do café brasileiro, 30,6% do milho e 22,9% da soja brasileira e ocupa a 6º, a 1º e a 2º posição do ranking da produção brasileira, desses produtos, respectivamente (PARANÁ.SEAB/DERAL, 2003a).

TABELA 2.1 – Área cultivada e produção das culturas de café, milho e soja, do Brasil e do Paraná no ano de 2001.

Produtos	Brasil		Paraná		Produção PR/BR (%)	Posição Paraná
	Área (ha)	Produção (t)	Área (ha)	Produção (t)		
Café (beneficiado)	2.353.834	1.918.232	63.304	28.299	1,5	6º
Milho	12.354.858	41.439.166	2.820.597	12.689.549	30,6	1º
Soja	13.930.744	37.683.083	2.821.906	8.628.469	22,9	2º

FONTE: PARANÁ.SEAB/DERAL (2003a)

2.1.1 Café

O café é uma planta dicotiledônea, perene, com mais de 100 espécies descritas atualmente. Dentre essas espécies cultivadas, o *Coffea arabica* (café arábica) e o *Coffea canephora* (café robusta) são as duas comercializadas no mercado internacional, detendo 70% e 30% desse mercado, respectivamente (Rena *et al.*, 1986).

Para facilitar a classificação quanto ao sistema de cultivo, foi estabelecido que abaixo de 3500 covas por hectare, com espaçamento maior que 3 m entre linhas e de 1 m a 4 m entre covas é considerado como plantio tradicional. As lavouras com mais de 3500 covas são consideradas como lavoura de café adensado (IBGE, 1998). Manfio (2001) estimou que 45% dos cafezais do estado do Paraná têm sistema de cultivo adensado.

São poucas as atividades mecanizadas desempenhadas pelos cafeicultores paranaenses, principalmente quando o cultivo é adensado. Destacam-se como atividades mecanizadas, as operações de abertura de sulcos, a distribuição de adubação de base e de corretivo nas covas para a implantação da lavoura, e com a lavoura em estágio produtivo a aplicação de agrotóxicos e de adubos foliares (Manfio, 2001).

O cultivo do café no Paraná é responsável pela geração de 70.000 empregos diretos, pela manutenção de 139 indústrias de torrefação e moagem e por três indústrias de café solúvel, que são responsáveis pela exportação de 44% do café solúvel brasileiro (IAPAR, 2002).

No estado do Paraná há restrição quanto ao cultivo do café, devido principalmente a ocorrência de geadas. Na Figura 2.2 é mostrado um mapa de zoneamento agroclimático para a cultura do café no estado do Paraná. Na figura pode-se observar que as regiões aptas ao cultivo encontram-se ao norte do estado (IAPAR, 2003).

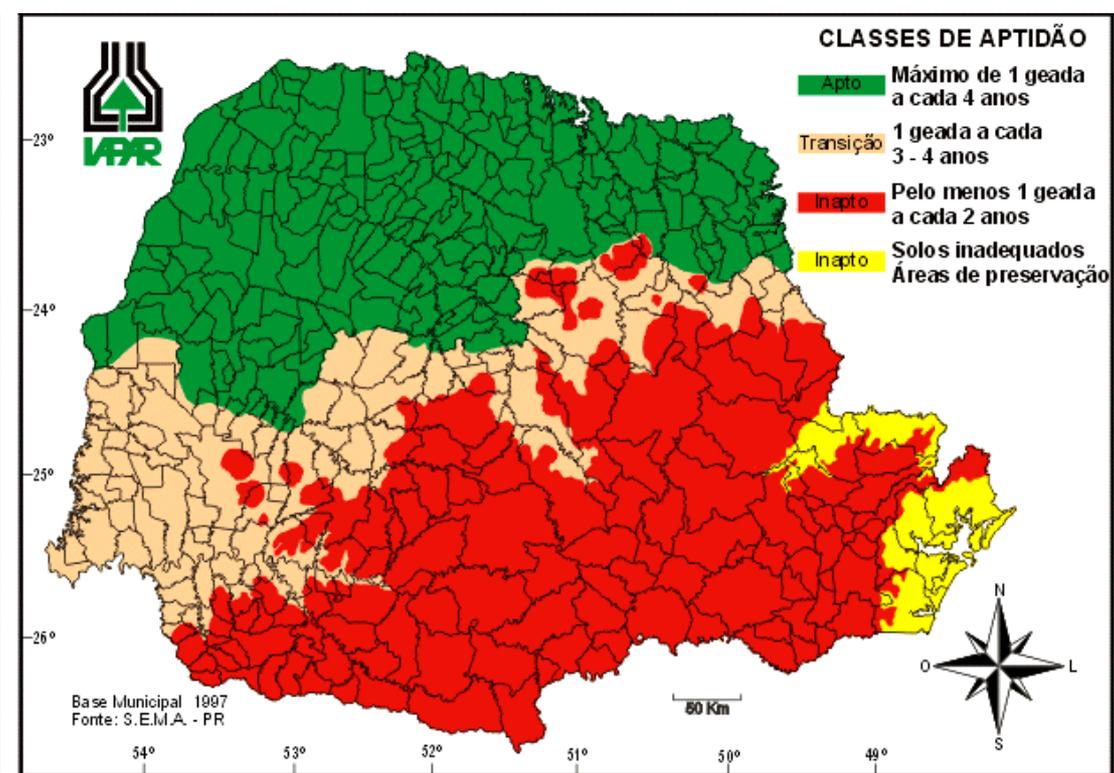


FIGURA 2.2 – Zoneamento agroclimático do café no Paraná
FONTE: IAPAR (2003).

A produção de café beneficiado, na safra 2001/2002, no Brasil foi estimada em 28,137 milhões de sacas de café. Desse total, o estado do Paraná é responsável por 1,9% (CONAB, 2002a).

2.1.2 Milho

Segundo Tollenaar e Dwyer (1999) o milho (*Zea mays* L.) foi inicialmente cultivado no México, entre 5.000 a 8.000 anos a.C.. Posteriormente seu cultivo expandiu-se para todas as Américas e com a chegada dos europeus, nos séculos XV e XVI, a cultura difundiu-se para todos os continentes (Fageria, 1989; Norman *et al.*, 1995; Tollenaar e Dwyer, 1999).

O milho é caracterizado como planta monocotiledônea, da família das gramíneas, cujo ciclo fenológico varia de 90 a 205 dias, dependendo do genótipo e do clima (Fageria, 1989; Norman *et al.*, 1995; Tollenaar e Dwyer, 1999). O espaçamento de cultivo varia de cultivar para cultivar, porém o mais usual é o plantio com espaçamento entre linhas de 0,8 m a 1,0 m e de 0,20 m a 0,30 m entre plantas, o que representa de 40.000 a 65.000 plantas por hectare. A planta pode atingir até 3,5 m de altura, parâmetro esse influenciado pela fertilidade do solo, genótipo e pelo clima (Norman *et al.*, 1995; Tollenaar e Dwyer, 1999).

A safra brasileira para o ano agrícola de 2001/2002 foi de 30,8 milhões de toneladas, o que coloca o Brasil como o terceiro maior produtor mundial. O Paraná participou com 23,8% dessa produção (CONAB, 2002b).

No norte do estado do Paraná, região na qual está inserido a área de estudo, o plantio do milho ocorre praticamente durante o ano todo. Devido a isto e para facilitar o acompanhamento conjuntural desta cultura, a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB) nomeou a cultura de acordo com a época de plantio: milho normal, plantado de agosto a dezembro e milho safrinha, plantado de janeiro a maio (PARANÁ.SEAB/DERAL, 2002a).

Não obstante, existem concentrações no plantio desta cultura, na safra normal. O período mais expressivo para o plantio ocorre de agosto a novembro a colheita ocorre entre os meses de janeiro a abril, sendo quase toda mecanizada. Na Figura 2.3 é apresentado o zoneamento agroclimático do Paraná para o cultivo do milho para safras normais (milho normal).

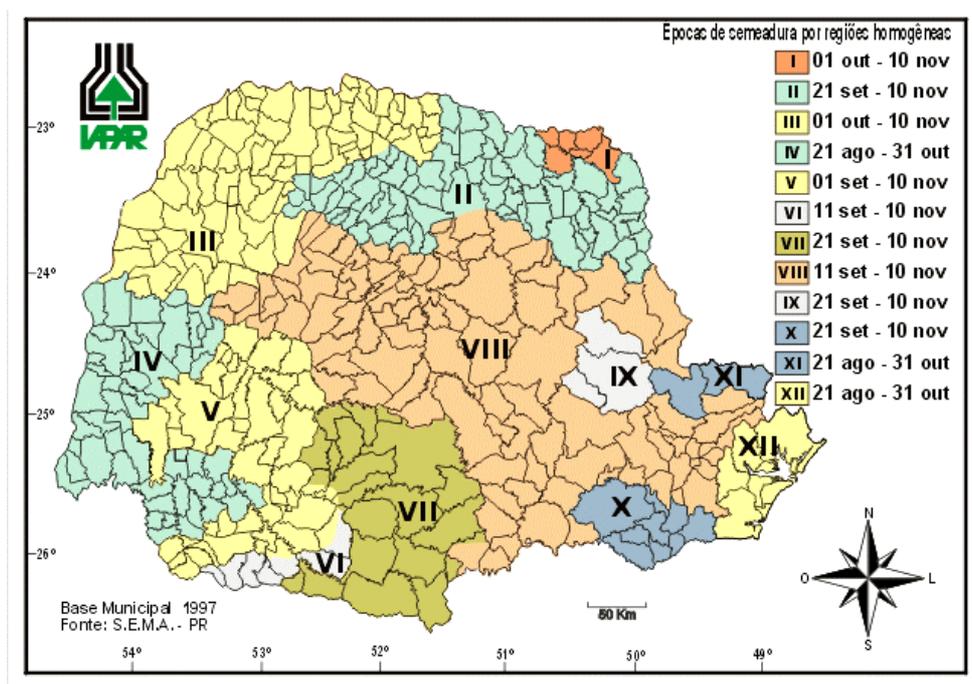


FIGURA 2.3 – Zoneamento agroclimático do milho, safra normal, no Paraná
 FONTE: IAPAR (2003)

2.1.3 Soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma planta leguminosa, dicotiledônea, originária da China, onde é cultivada há séculos. Atualmente, planta-se soja nos mais diversos países, desde 52° N até 50° S, porém sua produção concentra-se nos Estados Unidos, no Brasil, na China e na Argentina (Fageria, 1989; Norman *et al.*, 1995; Zhang e Smith, 1999). O Brasil é o segundo maior produtor mundial dessa cultura e, segundo as estatísticas oficiais, a produção brasileira para a safra 2001/2002, foi de 41,4 milhões de toneladas. O Paraná participou com 22,6% dessa produção (CONAB, 2002b; PARANÁ.SEAB/DERAL, 2002b).

A soja é utilizada principalmente para a fabricação de óleos, alimentos e rações, devido ao alto teor protéico. A soja possui um ciclo fenológico que varia de 90 a 150 dias, sua altura varia entre 0,45 m a 1,20 m dependendo do cultivar e das condições ambientais. O espaçamento de plantio varia entre 0,35 m a 0,50 m entre linhas, com 8 a 16 plantas por metro linear (Fageria, 1989; Norman *et al.*, 1995; Zhang e Smith, 1999; PARANÁ.SEAB/DERAL, 2002b).

2.2 Métodos de Obtenção da Área Cultivada

Estimativas confiáveis de safras são necessárias para qualquer integrante da cadeia agropecuária, quer seja produtor, consumidor, governo, ou outros, pois permitem acompanhar as tendências do mercado, reduzindo assim as especulações e seus impactos nos preços finais dos produtos agrícolas.

A produção agrícola é função de vários fatores relacionados ao meio ambiente, à planta, aos métodos de cultivos e aos interesses políticos. Os fatores mais importantes relacionados com o meio ambiente são: clima, tipo e fertilidade do solo, relevo entre outros. Dentre os fatores relacionados com a planta, destaca-se o potencial genético, que determina na planta características como: produtividade, resistência a pragas e doenças, resistência a fatores climáticos adversos e demais características. Os métodos de cultivo determinam, em última análise, o quanto se produz. Os interesses políticos determinam as culturas favorecidas, as taxas de juros a serem aplicadas, a quantidade de crédito e outros fatores sócio-econômicos.

Para quantificar áreas agrícolas podem-se adotar diferentes métodos que, de maneira geral, podem ser classificados em diretos e indiretos, dependendo da forma de coleta do dado. Nos métodos diretos, pode-se usar desde uma corda até aparelhos sofisticados, como teodolitos, *GPS*, e outros. Nos métodos indiretos, as áreas agrícolas são quantificadas sem a necessidade de realizar medidas diretamente na lavoura. Na forma indireta pode-se estimar a área por meio de questionários, entrevistas com agricultores, reuniões com técnicos envolvidos com o setor agrícola, levantamentos sobre venda de sementes e insumos, dentre outros. Assim, para estimar as áreas ocupadas com as culturas agrícolas, em geral, os métodos mais utilizados são os indiretos.

Independente da metodologia empregada, a previsão de safras agrícolas pode ser expressa resumidamente pela Equação 2.1:

$$\text{Produção} = \text{Área Plantada} \times \text{Produtividade} \quad (2.1)$$

Segundo FAO (1996), as estimativas de áreas agrícolas em geral são obtidas por dois meios: os censos agropecuários e os levantamentos por amostragem, que podem ainda ser divididos em subjetivos e probabilísticos, conforme é mostrado no fluxograma da Figura 2.4.

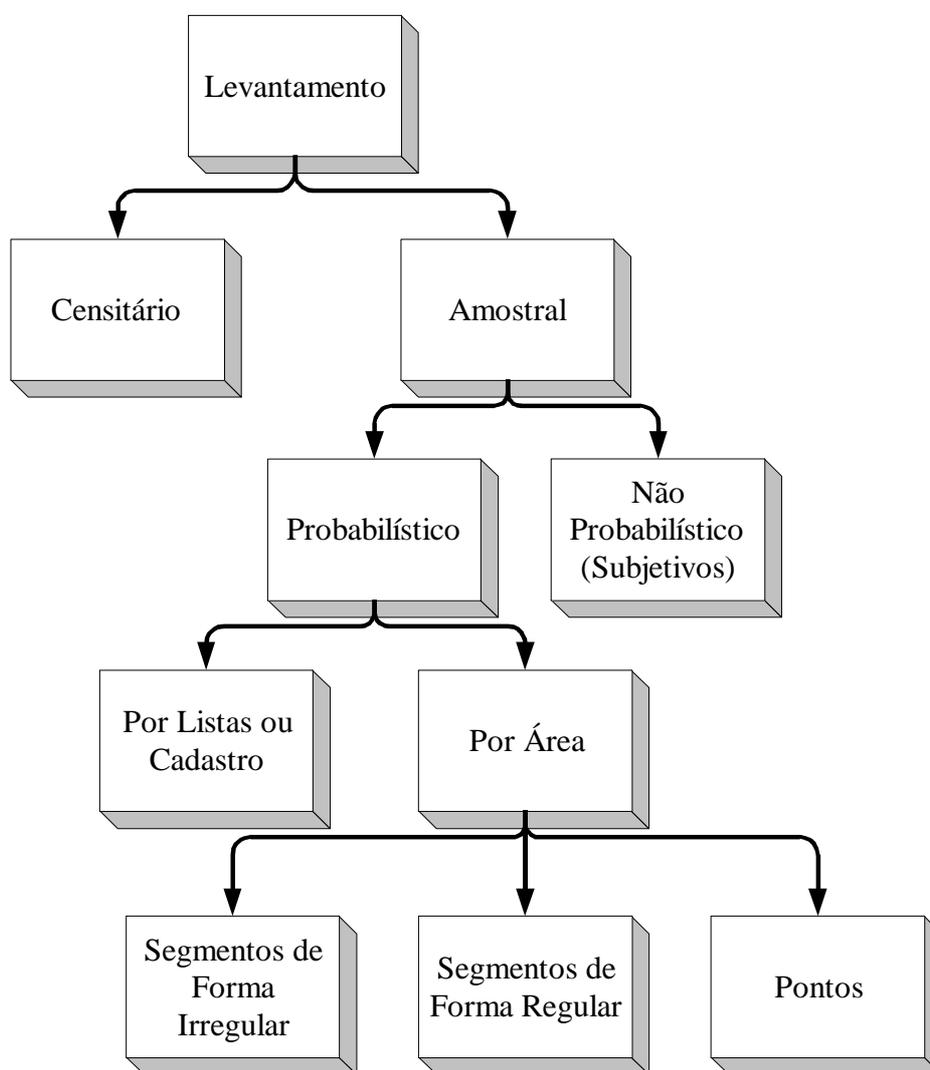


FIGURA 2.4 – Formas indiretas para obtenção da área cultivada.

2.2.1 Censos

Nos censos, a coleta de dados para obter informações sobre determinadas variáveis é realizada de modo a cobrir toda a população. Por exemplo, no caso dos censos agrícolas, os recenseadores coletam dados sobre as variáveis agronômicas (área plantada, colhida, variedade e muitos outros), de todas as propriedades dentro da região de interesse para o censo. Além disso, as formas de obter os dados são de caráter descritivo, ou seja, o entrevistado fornece os valores das variáveis agrícolas para o entrevistador, sem nenhum tipo de conferência no campo. Esse fato torna os resultados dos censos sujeitos a erros, como duplicação e/ou omissão de dados e, por consequência, imprecisão no processamento dos dados coletados (Cochran, 1977).

De modo geral, os censos agropecuários são realizados para atender a necessidade de conhecer a situação da agricultura na federação. Assim, a magnitude e o número de variáveis envolvidas geram um volume muito grande de dados para serem tratados e processados. Devido a esse grande volume de dados, os resultados são demorados e o custo da pesquisa é alto. Para exemplificar, o último censo agropecuário realizado no Brasil levou dois anos para ser publicado (Pino, 1999). Devido à demora na publicação dos resultados, esses não têm utilidade imediata pelos órgãos governamentais, a não ser para o acompanhamento da situação da agropecuária do país. No Brasil e em muitos países da Europa, os censos são realizados a cada 10 anos (Gallego, 1995; FAO, 1996).

2.2.2 Levantamentos por Amostragem

Os levantamentos por amostragem de áreas, ao contrário dos censos, são realizados em apenas uma parcela da população (amostras). Esse tipo de levantamento surgiu como forma de contornar os problemas dos censos: tempo, custo e precisão das informações. (Hansen *et al.*, 1953; Sukhatme e Sukhatme, 1970; Cochran, 1977; Gallego, 1995; FAO, 1996).

A parte da população na qual é feita a coleta de dados é denominada amostra, e apresenta as seguintes vantagens em relação ao censo (Cochran, 1977):

- a) menor custo - a obtenção dos dados é realizada em apenas uma parcela da população;
- b) maior rapidez - menor número de elementos a serem investigados, o que facilita a tabulação e sintetização dos dados;
- c) maior amplitude - devido à necessidade de menor número de agentes de coleta de dados, esses podem ser mais bem treinados para a coleta dos dados no campo, bem como na utilização de materiais mais especializados, podendo então obter quaisquer outras variáveis de interesse;
- d) maior exatidão - pode ser empregado pessoal de melhor qualidade e intensamente treinado, possibilitando melhor supervisão do trabalho de campo e do processamento dos dados.

Os métodos de levantamento por amostragem dividem-se em subjetivos e probabilísticos. Os subjetivos fornecem estimativas não associadas a erros enquanto que, nos probabilísticos há sempre um erro associado à estimativa (Gallego, 1995; FAO, 1996; Pino, 2001).

2.2.2.1 Métodos Subjetivos

Os levantamentos subjetivos são realizados com base nas opiniões dos agentes ligados à agropecuária. Dessa forma não permitem estimar a precisão dos resultados ou avaliações estatísticas. Esses agentes informam a área prevista/plantada/colhida com relação aos diversos indicadores agronômicos e econômicos como: crédito, venda de insumos e sementes, comportamento climático, entre outros (Gallego, 1995; FAO, 1996; Pino, 2001).

A utilização do método subjetivo para obter dados sobre a agropecuária é bastante comum, devido à facilidade de realizar a entrevista e de não existir a necessidade de delineamento estatístico. A precisão deste método depende do conhecimento e da habilidade do entrevistador para a coleta dos dados (FAO, 1996).

2.2.2.2 Métodos Probabilísticos

Os métodos probabilísticos diferem dos subjetivos porque os resultados das estimativas podem ser avaliados em função de um fator de erro. Isto significa que neste procedimento é possível saber o grau de precisão das estimativas, por meio do coeficiente de variação e do intervalo de confiança que são parâmetros calculados a partir da variância estimada.

Para realizar levantamentos probabilísticos é necessário definir o delineamento amostral, que consiste em esquematizar todos os procedimentos de amostragem, bem como a locação (posição) de cada segmento amostrado dentro do universo amostral. Para estabelecer o delineamento amostral é necessário ter o conhecimento do comportamento da variável, sua média e sua variância. É necessário também saber o procedimento para seleção das amostras e o estimador a ser utilizado. Em função disto é possível realizar a estimativa e mensurar sua precisão. Para a previsão de safras agrícolas são adotados basicamente três esquemas de amostragem: por listas ou cadastros, por área ou territorial e a combinação de ambas, por meio de painéis múltiplos (Gallego, 1995; FAO, 1996).

As amostragens derivadas de listas baseiam-se, normalmente, em censos, listas telefônicas, endereços postais, dentre outros, em que as propriedades ou os proprietários são, usualmente classificados em função do tamanho da propriedade e/ou da especialização, etc. (Gallego, 1995; FAO, 1996). Gallego (1995) comentou que, em alguns países da Europa, onde são realizados levantamentos amostrais baseados em listas, as entrevistas são feitas por telefone ou até mesmo por cartas. Um dos maiores limitantes deste tipo de amostra é a desatualização da lista, pois muitas propriedades agrícolas podem ter sido vendidas, divididas, incorporadas, mudado completamente de tamanho e/ou ter trocado sua especialização quanto à produção (Gallego, 1995; FAO, 1996).

A amostragem por áreas ou territorial consiste em dividir uma região em segmentos de formas regulares ou irregulares e, extrair um conjunto de amostras de segmentos para a coleta de dados. A probabilidade de selecionar um desses segmentos para compor a

amostra de área é proporcional à medida de sua área em relação à área total considerada (Gallego, 1995; FAO, 1996). Segundo Gallego (1995), FAO (1996) e Tsiligrídes (1998) são três os tipos de segmentos utilizados em pesquisas agrícolas:

- a) segmentos com bordas - tem como base limites físicos, tais como, rios, canais, feições da terra e outros, propiciando ao entrevistador a identificação visual dos limites dos segmentos;
- b) segmentos quadriláteros – apresentam formas quadradas ou retangulares, definidos por linhas retas, cujos vértices são identificados por coordenadas geográficas. Neste caso, são utilizados os procedimentos de grades amostrais;
- c) segmentos por pontos - onde a amostra é constituída por pontos sorteados na população.

Gallego (1995) concluiu que entre estes três tipos de segmentos, dada a inexistência de diferença estatística entre eles, a construção do painel amostral por segmento quadriculado apresentou menor custo. Entretanto, Tsiligrídes (1998) comentou que, para o entrevistador é mais fácil a identificação dos limites dos segmentos irregulares no campo. Ainda segundo o mesmo autor, as fontes de erros para estes procedimentos amostrais derivam-se da observação apenas da amostra e não do comportamento do universo amostral como um todo, dos erros cometidos pelo entrevistador e dos erros contidos na resposta do entrevistado. Cochran (1977) apontou ainda mais quatro principais fontes de erros:

- a) variação acidental da amostragem, pois se mede a amostra e não a população total;
- b) impossibilidade de se obter dados referentes a toda a amostra, ocasionado por descuido, por dificuldade de encontrar alguns proprietários cujas propriedades estão inseridas num dado segmento ou pela recusa dos mesmos, em responder aos questionamentos;

- c) erros de unidade de medida, pela falta de informação exata, por instrumentos de medidas viciados ou imprecisos;
- d) erros cometidos durante a compilação, codificação e tabulação dos resultados.

Note-se que o item b é fortemente baseado numa observação informativa, de caráter subjetivo.

2.3 Levantamentos de Área Cultivada por Amostragem de Área

Existem vários países em que se aplicam modelos estatísticos para estimar a área cultivada com as principais culturas, como exemplo tem-se: Brasil, Canadá, Honduras, Estados Unidos, Albânia, Argentina, Marrocos, Nicarágua, Paquistão, Colômbia, Costa Rica, República Dominicana, El Salvador, Guatemala, França, Itália e Espanha (FAO, 1998).

No Brasil, o modelo estatístico mais robusto para estimar a área de culturas agrícolas, é sem dúvida o projeto SIAG (FAO, 1998), com as seguintes características: desenho probabilístico; construção do painel de amostragem de áreas; seleção de amostra probabilística; aplicação de estimadores por expansão direta e; aplicação de estimadores de painéis múltiplos (Mueller *et al.*, 1988).

Na construção do painel de amostragem, Mueller *et al.* (1988) utilizaram imagens Landsat-5/TM e fotografias aéreas. Os estratos de uso do solo foram delimitados em transparências sobrepostas às imagens TM, na escala 1:250.000. Após este procedimento, os limites preliminares dos estratos foram digitalizados juntamente com os limites municipais, as estradas e a hidrografia assim como impressos em *overlays*, que ao sobrepor as imagens TM, permitiram a construção final dos estratos.

Usando o modelo estatístico de expansão direta, Mueller *et al.* (1988) obtiveram resultados correspondentes a diversas variáveis, dentre as quais a área cultivada. Para esta variável os coeficientes de variação (C.V.) encontrados foram de 5,2% até 48,6%. Após analisar os resultados, os autores observaram que a causa dessa variação no C.V. foi a metodologia de estratificação utilizada que não se mostrou muito adequada para

estimar a área de algumas culturas, devido às características de cultivo. Devido a isto, os autores observaram que há a necessidade de ajustar os estratos e criar estratos específicos para culturas regionalizadas, como foi o caso da batata-inglesa. Ressaltaram ainda que, devido ao alto nível tecnológico empregado para a pesquisa, foi necessário testar a eficiência de *hardware* e *software* criados para tal aplicação.

Em um estudo anterior, realizado no município de Irecê, na Bahia, Rudorff e Krug (1986), utilizaram fotografias aéreas e amostragem aleatória composta por quadrados de 2 km X 1 km sobre as mesmas, para estimar a área cultivada com feijão, milho e mamona. Amostraram 5% da área do município e para a obtenção da área cultivada com a cultura realizaram fotointerpretação. Aplicaram a expansão direta nos dados e os C.V. variaram de 6% a 26%.

Em outro estudo realizado no Brasil, no Distrito Federal, Villalobos *et al.* (1988) aplicaram a mesma metodologia descrita por Mueller *et al.* (1988), para dar continuação à construção do painel de amostra do SIAG que tinha como objetivo abranger toda a região agrícola do país. Neste estudo os C.V.'s obtidos variaram de 8,0% a 49,6%, resultados estes, similares aos obtidos por Mueller *et al.* (1988).

No ano de 1993, o projeto SIAG recebeu uma nova denominação e passou a se chamar Pesquisa de Previsão e Acompanhamento de Safras (PREVS). Nesta mesma época Collares *et al.* (1993) publicaram a metodologia desenvolvida e aplicada no SIAG. Segundo os autores muitos fatos tais como escala e data das fotografias aéreas, falta de mapas recentes, limitações quanto à cobertura com imagens de satélite e outros impediram a continuidade da construção do painel de amostras para outros Estados. Por exemplo, no estado de Minas Gerais, o levantamento aéreo existente era na escala 1:60.000 e do ano de 1967. Mesmo com estas dificuldades os autores informaram que o painel de amostras está pronto para os estados do Paraná, Santa Catarina, São Paulo e Distrito Federal.

Nesta mesma linha de pesquisa, Hill e Mégier (1988), utilizaram imagens Landsat-5/TM, mapas topográficos na escala 1:25.000 e modelo digital do terreno para fazer a estratificação de área e para estimar a área cultivada, em uma região ao sul da França,

que possui relevo acidentado. A área total desta região é de 560.000 ha, com grande diversidade climática, agro-econômica e morfológica. O sistema de amostragem adotado nesta pesquisa foi amostra aleatória estratificada, com uma taxa de amostragem de 1%.

Para delimitar os segmentos, Hill e Mégier (1988) utilizaram fotografias aéreas, com escala aproximada de 1:4.000 em áreas agrícolas e 1:30.000 em áreas não cultivadas. Nesta pesquisa o C.V. obtido ficou entre 7% e 36%. Os autores chegaram à conclusão que a expansão direta apresentou melhor desempenho do que a classificação da imagem e recomendaram utilizar dados multitemporais para a estratificação.

Allen (1990) discutiu o sistema de previsão de área cultivada, desenvolvido pelo *National Agricultural Statistics Service (NASS)*, para o período de 1980 a 1987. A metodologia adotada pelo *NASS*, para estimativa de área, teve como base a amostragem por área auxiliada por lista. Os modelos estatísticos empregados para estimar áreas foram a expansão direta e a regressão linear. O autor comentou ainda que, apesar do estimador de regressão ser mais preciso que a expansão direta, essa abordagem só pode ser utilizada quando as culturas atingirem os estádios mais avançados do desenvolvimento, já que é necessário obter uma classificação de todas as áreas das culturas na região de interesse. Isso, segundo o autor, ocasiona demora na obtenção dos resultados.

Na fase inicial de implantação do sistema de amostragem do *NASS*, toda a metodologia foi desenvolvida para ser aplicada nos estados americanos de Iowa e Kansas, com o objetivo de estimar a área de três culturas: soja, milho e trigo. Em 1990, a metodologia já era adotada em oito estados americanos: Arkansas, Colorado, Illinois, Indiana, Iowa, Kansas, Missouri e Oklahoma para estimar área de seis culturas: algodão, arroz, sorgo, soja, milho e trigo (Allen, 1990). O autor comentou ainda que a experiência adquirida em oito anos, isto é, de 1980 a 1987, foi muito valiosa porque os pesquisadores do *NASS* puderam adquirir grande conhecimento no uso de supercomputadores, na utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), na interpretação de imagens.

Na região de Navarra, Espanha, Gonzáles-Alonso *et al.* (1991) conduziram um experimento cujo objetivo foi comparar a área estimada por expansão direta e pela regressão. A coleta de dados em campo foi realizada em segmentos regulares (quadrados de 700 m de lado) e irregulares (polígonos cadastrais, utilizados para o censo). O esquema de amostragem adotado foi a amostra sistemática estratificada. Os autores concluíram que a precisão dos estimadores foi similar para os segmentos regulares e irregulares. No entanto, a eficiência relativa da regressão em relação à expansão direta variou de 1,66 a 13,05 nos segmentos regulares e de 1,44 a 26,29 nos segmentos irregulares. Assim, os autores concluíram que é mais indicado utilizar segmentos regulares para o estimador por regressão.

Gallego (1995), comentou que, em 1992, na república Tcheca, foi realizado um levantamento de área cultivada para diversas culturas. Nesse levantamento utilizaram-se dois procedimentos de amostragem, por ponto e por lista (produtores), e uma abordagem subjetiva, o levantamento oficial. O C.V. do levantamento por pontos variou de 5,1% (cevada) a 13,6% (batata). Na amostragem por lista, o C.V. variou de 3,7% (trigo) a 8,1% (beterraba). O autor observou que os resultados obtidos, por ambos os métodos de amostragem, não diferiam daquele obtido pelo método subjetivo em termos absolutos. Além disto, não houve diferença estatística entre os resultados obtidos pelo levantamento por listas e por pontos.

Gonzáles-Alonso e Cuevas (1993) utilizaram segmentos quadrados de 700 m de lado para avaliar o uso da combinação da matriz de confusão e do método de expansão por regressão, na tentativa de aumentar a eficiência relativa deste estimador com relação à expansão direta. Segundo os autores, com o uso da matriz de confusão houve um incremento no coeficiente de determinação e na eficiência relativa da regressão sem aumentarem os custos com a pesquisa.

Em outro estudo, Gonzáles-Alonso *et al.* (1997) compararam o estimador de expansão direta com o de regressão para estimar áreas agrícolas e concluíram que o estimador por regressão obteve uma eficiência relativa em torno de nove vezes maior que a expansão direta.

Na comunidade europeia desenvolveu-se o projeto *Monitoring Agriculture by Remote Sensing (MARS)* para estimativa de áreas agrícolas. A metodologia do *MARS* baseia-se em amostragem alinhada sistemática. Tsiligrídes (1998) realizou um trabalho em que empregou a metodologia desenvolvida pelo *MARS* com o intuito de estimar a safra da região de Hellas. O autor utilizou a amostragem alinhada sistemática, com limite de distância mínimo de 3,5 km. A taxa de amostragem variou de 0,3% (estrato de áreas montanhosas e florestas) a 2,5% (estrato com áreas de intenso cultivo). Como foram observadas algumas inconsistências nos resultados, o autor revisou a metodologia de estratificação. Para o autor, a qualidade final dos resultados depende da combinação de diferentes fontes de dados para auxiliar no processo de estratificação. Finalmente, o autor relatou as seguintes vantagens da metodologia adotada: informações regulares e resultados atualizados, melhor precisão com a introdução de dados históricos e adaptabilidade do método a qualquer outra região.

Com base na abordagem de amostragem por pontos, Luiz e Epiphânio (2001) propuseram um procedimento de amostragem baseado no *pixel*. A população a ser estimada é expressa por um conjunto de *pixels* que cobrem a área de estudo. O número de unidades da amostra foi obtido por meio do esquema de amostragem aleatória simples. Segundo os autores, esse esquema de amostragem é indicado para estimar áreas plantadas com culturas com mais de 1% da área total do município e que os talhões ocupados com esta cultura sejam superiores a 10 hectares.

Gómez e Gallego (2000) estabeleceram um projeto piloto no Zimbábue – África, para estimar áreas cultivadas. Neste projeto os autores utilizaram um sistema de amostragem sistemática por área, com segmentos quadrados. A estratificação da área foi realizada através de imagens do sensor HRV do satélite SPOT e mapas de vegetação da região. O menor C.V. obtido com a pesquisa foi de 11,7% e o maior de 46,3%; os autores concluíram que os C.V.'s foram relativamente altos.

No Irã, foi testado por Nematzadeh (2001), durante dois anos, um sistema de estimativa de área por município e por regiões, que utiliza dados do SR e SIG e o procedimento de amostragem aleatória estratificada com segmentos regulares. Segundo o autor, a

estimativa de área cultivada por este sistema apresenta as vantagens de ser ágil, rápido e de baixo custo. Naquele trabalho, o autor comenta ainda que o acesso ao *GPS* e o aumento da resolução espacial dos sensores orbitais, pode trazer um incremento na confiabilidade dos dados coletados e uma melhora na estimativa.

Na linha de pesquisa abrangendo a integração de dados de *GPS*, SIG e sistemas de amostragem, Arvanitis *et al.* (2000) desenvolveram um modelo conceitual para sistemas de previsão de safras. Segundo os autores, esse sistema evitaria a redundância, aumentaria a segurança e manteria a integridade dos dados. Além disso, melhoraria a performance dos sistemas existentes atualmente e poderia ser aplicado por usuários com diversos perfis, como por exemplo, usuários interessados no ambiente, na produção agropecuária, dentre outros.

Com o objetivo de desenvolver um SIG para sistema de amostragem por área, Pradhan (2001) realizou um estudo em Hamadan, Irã. A metodologia consistiu na integração de dados de SR e dados resultantes de um levantamento de campo para estimar a área ocupada por diversas culturas. Para selecionar os segmentos, o autor aplicou um sistema de amostragem aleatória estratificada, dividindo a área em quatro estratos. Os dados coletados na amostra de área foram utilizados no modelo de expansão direta, cujos C.V. apresentaram valores entre 16% e 95%. O autor comentou que a integração de dados de SR e de campo num SIG é muito complexa por causa da diferença da forma de aquisição, processamentos e formato dos dados.

Ao avaliar a possibilidade de substituir fotografias aéreas por imagens de satélite, Rezende (2000) comentou que a imagem Landsat-5/TM, restaurada para 15 m apresentou-se mais nítida para visualizar os limites dos segmentos, em relação às imagens com *pixel* de 30 m. Entretanto, não aconselhou substituir fotografias aéreas por imagens de satélite para o trabalho de campo, devido à resolução espacial da imagem. Porém, o autor recomendou o uso das fotografias aéreas em conjunto com as imagens de satélite de forma a minimizar os erros cometidos durante o levantamento dos dados no campo.

Na procura de reduzir os custos no momento da coleta de dados Luiz *et al.* (2002) utilizaram imagem Landsat-7/ETM⁺ como material de campo para coleta de dados. O procedimento de amostragem adotado foi o de amostra aleatória estratificada de *pixels*, em que a população foi representada por todos os *pixels* da imagem que continha a área de estudo. Segundo os autores, as imagens mostraram-se adequadas para o trabalho de campo e com isso houve uma redução dos custos, pois muitos pontos puderam ser classificados sem a visita a campo. Além disso, os autores comentaram que o programa SPRING e uso de *GPS* foram essenciais para a execução do trabalho.

2.4 Estimadores

Nas estimativas de áreas agrícolas, os dois principais modelos estatísticos utilizados são a expansão direta e expansão por regressão. O modelo de expansão direta utiliza, para estimar a área de determinada ocupação do solo, apenas dados coletados no campo, nos segmentos da amostra. O modelo estatístico baseado em regressão foi teoricamente desenvolvido para ser utilizado com imagens de satélites ou fotografias aéreas. Nessa abordagem utiliza-se, além dos dados coletados em campo, dados referentes às variáveis de interesse, por meio da classificação das imagens ou fotografias aéreas, com o objetivo de diminuir a variância da estimativa. (Krug e Yanasse, 1986; Mueller *et al.*, 1988; Gonzáles-Alonso *et al.*, 1991; Gallego, 1995; FAO, 1996).

Para o modelo de expansão direta pode-se utilizar os estimadores fechado, aberto ou ponderado, dependendo da forma como é realizada a coleta dos dados no segmento (Cochran, 1977; Krug e Yanasse, 1986; Mueller *et al.*, 1988; Gonzáles-Alonso *et al.*, 1991; Gallego, 1995; FAO, 1996).

Define-se como estimador fechado, quando são utilizados para os cálculos das estimativas, somente dados coletados referentes à área localizada dentro do segmento. A vantagem desse estimador é fornecer estimativas mais precisas e o fato de que alguns dados podem ser extraídos diretamente do campo, sem a necessidade de entrevista com os proprietários, o que reduz possíveis tendências nas informações (Gallego, 1995). A desvantagem desse estimador está relacionada com o fato de poder ser utilizado somente para obter informações associadas à área, não podendo levantar, por exemplo,

dados sócio-econômicos. Além disso, é pouco eficiente para estimar variáveis que ocupam pequenas áreas. Erros de resposta podem ser ocasionados devido à qualidade do material utilizado para identificar os segmentos no campo, tais como mapas e fotografias aéreas muito antigas (Krug e Yanasse, 1986; Mueller et al., 1988; Gallego, 1995; FAO, 1996).

O estimador aberto é caracterizado por utilizar a área total da propriedade onde a unidade da amostra foi alocada, para obter dados para os cálculos da estimativa. Nessa abordagem somente são consideradas como unidades de amostragem as propriedades cujas moradias ou administração, encontram-se dentro da área do segmento. A principal vantagem dessa abordagem é poder ser utilizado para o levantamento de todas as variáveis pertinentes à propriedade. Entretanto, é menos preciso do que o estimador fechado e pode conter dados subjetivos, os quais estão susceptíveis a diversos erros como declaração errônea de área pelo informante. Adicionalmente as áreas podem ser sub ou superestimadas em função de falha na interpretação do entrevistador, da localização da moradia ou da administração da propriedade e recusa do proprietário em informar a respeito do histórico de sua propriedade (Krug e Yanasse, 1986; Mueller *et al.*, 1988; Gallego, 1995; FAO, 1996). Note-se que, nessa abordagem o segmento perde a conotação de unidade da amostra, uma vez que os dados coletados referem-se à propriedade em que está inserido o segmento. Basicamente, seria um esquema de amostragem de área por propriedade, como tem sido utilizado em muitos casos.

Finalmente, a abordagem do estimador ponderado é uma combinação das duas anteriores. No estimador ponderado leva-se em consideração a área total da propriedade, ponderando-a pela área contida pelo segmento. A principal vantagem é poder ser utilizada para todas as variáveis pertinentes à propriedade agrícola, inclusive as variáveis sócio-econômicas. Como desvantagens tem-se: ponderação de uma área exata (contida pelo segmento) por uma área estimada (informada pelo produtor); ter um custo de obtenção do dado mais elevado que as outras duas; e trazer para si os erros que também podem ser cometidos pelo estimador aberto (Krug e Yanasse, 1986; Mueller et al., 1988; Gallego, 1995; FAO, 1996).

2.4.1 Conceitos Básicos Utilizados nas Equações da Expansão Direta e na Regressão

O segmento ou a amostra representa a área mínima a ser visitada no campo para a coleta dados sobre o uso e ocupação do solo. Ele pode ser por bordas, quadriláteros ou pontos (Krug e Yanasse, 1986; Gallego, 1995).

Também é parte integrante das funções de expansão direta e regressão a estratificação da área. A estratificação é o processo de particionamento da área em subáreas homogêneas quanto ao uso e ocupação do solo, denominados estratos. É desejável que neste procedimento ocorra uma redução da variância dentro do estrato e um aumento da mesma entre os estratos, pois quanto mais homogêneo for o estrato, menor será a variância e maior a representatividade da amostra coletada (Hansen *et al.*, 1953; Sukhatme e Sukhatme, 1970; Cochran, 1977; Krug e Yanasse, 1986; Gallego, 1995; FAO, 1996; Tsiligrirides, 1998).

Gallego (1995) e FAO (1996) recomendaram alguns critérios que devem ser adotados para a construção do painel de amostra:

- a) não ultrapassar os limites municipais e/ou regionais;
- b) estabelecer níveis de utilização do solo para agricultura;
- c) identificar estratos de uso para atividades não agrícolas, tais como corpos d'água, área militar, reservas de matas, áreas urbanas, etc..

Para Gallego (1995) a adequação do estrato com relação ao segmento pode ser realizada de três formas: por meio da coleta de informações apenas na parte do segmento que se encontra dentro do estrato, por meio da eliminação dos segmentos da borda do estrato ou por meio do ajuste do limite do estrato ao limite do segmento. Segundo o autor, essa última forma é a mais adequada computacionalmente apesar de introduzir um viés à pesquisa. Entretanto, são necessárias maiores pesquisas a este respeito.

Os intervalos de utilização do solo para agricultura para definir os estratos são funções que dependem dos objetivos da pesquisa (Gallego, 1995; FAO, 1998). No Brasil, mais especificamente no estado do Paraná, a estratificação da área estadual, segundo o uso e ocupação do solo, foi definida pelos pesquisadores do IBGE em 7 estratos (Mueller et al., 1988; FAO, 1998), conforme é descrito abaixo:

- a) Estrato A - agricultura intensiva. De 80% e mais de área cultivada;
- b) Estrato B - agricultura intensiva. Entre 50% e 79% de área cultivada;
- c) Estrato C - estrato referente à batata-inglesa;
- d) Estrato D - agricultura extensiva. Entre 15% e 49% de área cultivada, com predominância de pastagens;
- e) Estrato E - agricultura extensiva. Com menos de 15% de área cultivada;
- f) Estrato F - áreas não agrícolas (instalações militares, parques e reservas florestais, montanhas, etc.) e;
- g) Estrato G - agricultura extensiva. Entre 15% e 49% de área cultivada, sem a predominância de pastagens.

Com referência ao estrato “C”, observa-se que o critério adotado para a criação deste foi a característica da cultura: a batata-inglesa é susceptível a doenças, exigindo rotação de culturas. Desta forma, para melhorar a precisão da estimativa teve-se que alocar um maior número de amostras neste estrato.

Para a construção dos estratos no Paraná foram utilizadas cartas topográficas, imagens Landsat-5/TM, fotos aéreas, dados estatísticos do censo de 1985, do Levantamento Sistemático da Produção Agropecuária (LSPA), da pesquisa da Produção Agrícola Municipal (PAM), entre outros (Mueller et al., 1988). A estimativa da percentagem da área agrícola para cada estrato foi realizada de maneira subjetiva, com base apenas na interpretação visual das imagens de satélite e a opinião do fotointérprete (Mueller et al., 1988; FAO, 1998).

Outro procedimento integrante das funções de expansão direta e regressão é o substrato geográfico, usado para retirar dependência espacial de alguma variável (Krug e Yanasse, 1986). A Figura 2.5 mostra um exemplo de variáveis com dependência espacial, em um estrato que foi dividido em dois substratos, para melhorar a amostragem e a estimativa. Neste sentido, os autores recomendaram que, antes de realizar a amostragem, seja realizado o estudo do comportamento espacial das variáveis a serem pesquisadas.

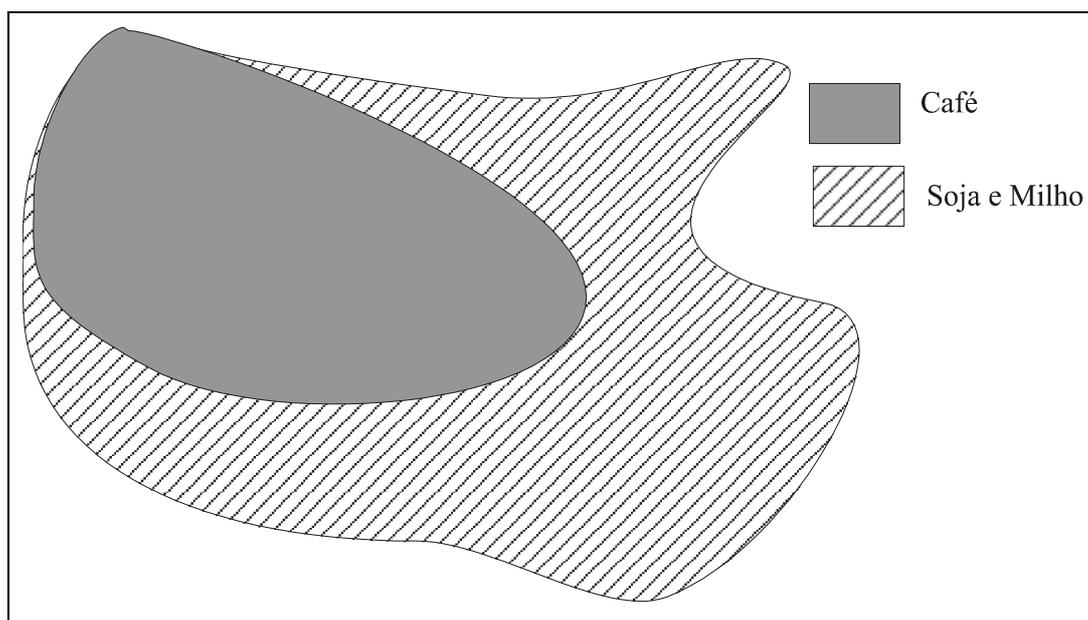


FIGURA 2.5 – Exemplo fictício da distribuição espacial de culturas dentro de um estrato.

Os distritos de análise são componentes importantes nos procedimentos de estimativa de área por amostragem. Eles são subdivisões da área de estudo provocadas por fatores externos a pesquisa. Sua existência fundamenta-se no tamanho da área a ser pesquisada e nas características das imagens de satélite. Dependendo do tamanho da área de estudo e das características das culturas poderá haver a necessidade de adquirir imagens de datas ou órbitas diferentes. Tal fato acarretará mudanças em diversos fatores, tais como: ângulo de iluminação, condições atmosféricas e ambientais (estádio fenológico da cultura, efeito da chuva, do vento), os quais podem gerar erros no momento da interpretação. Assim, se cada imagem for considerada um distrito de análise para realizar a interpretação, é possível minimizar os erros de classificação (Krug e Yanasse, 1986).

2.4.2 Equação da Expansão Direta

Conforme comentado anteriormente, a estimativa de área ocupada por uma determinada cultura por meio da expansão direta é obtida apenas com dados coletados nos segmentos da amostra. Por esse método estima-se um fator de expansão, que corresponde a um percentual da área ocupada pela cultura contida na amostra. Esse fator é, então, utilizado para estimar a área da cultura em todo o estrato. O somatório da área estimada com a cultura nos diferentes estratos fornece a área da cultura, na região de interesse. Na expansão direta a estimativa total (\hat{Z}) de uma cultura, representada pela letra "c" no i-ésimo estrato de uso do solo, é obtida pela equação 2.2, conforme Hansen *et al.* (1953), Cochran (1977), Krug e Yanasse (1986), Mueller *et al.* (1988), Allen (1990), Pradhan (2001) e Day (2002):

$$\hat{Z}_{c,i} = \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^{s_a} e_{aij} \sum_{k=1}^{n_{aij}} z_{c,aijk} \quad (2.2)$$

por em que:

$$Z_{c,aijk} = \begin{cases} \sum_{l=1}^{n_{aijk}} z_{c,aijkl} & \text{se } n_{aijk} > 0 \\ 0 & \text{se } n_{aijk} = 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Cuja variância estimada é:

$$v(\hat{Z}_{c,i}) = \sum_{a=1}^A \sum_{j=1}^{s_a} N_{aij} (N_{aij} - n_{aij}) \frac{s_{aij}^2}{n_{aij}} \quad (2.4)$$

por em que:

$$s_{c,aij}^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n_{aij}} (z_{c,aijk} - \bar{z}_{aij})^2}{(n_{aij} - 1)} \quad (2.5)$$

O total estimado para a cultura “c” na área de estudo é obtido por:

$$\hat{Z}_c = \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^{s_a} \sum_{j=1}^{s_{ai}} e_{aij} \sum_{k=1}^{n_{aij}} z_{c,aijk} \quad (2.6)$$

E a variância estimada para este total é dada por:

$$v(\hat{Z}_c) = \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^{s_a} \sum_{j=1}^{s_{ai}} \frac{N_{aij}(N_{aij} - n_{aij})}{n_{aij}} s_{c,aij}^2 \quad (2.7)$$

Sendo que s_{aij}^2 foi definido na equação 2.5;

a = índice para representar o distrito de análise; a = 1, ..., A;

i = índice para representar o estrato de uso do solo; i = 1, ..., s_a ;

c = índice para representar a cultura de interesse;

j = índice para representar o substrato geográfico; j = 1, ..., s_{ai} , indicando a posição geográfica do estrato;

k = índice para representar o segmento amostrado; k = 1, ..., n_{aij} ;

l = índice para representar os estabelecimentos respondentes; l = 1, ..., n_{aijk} ;

A = número de distritos de análise dentro da região de estudo;

s_a = número de estratos de uso do solo no a-ésimo distrito de análise;

s_{ai} = número de substratos geográficos no i-ésimo estrato de uso do solo, no a-ésimo distrito de análise;

n_{aij} = número de segmentos amostrados (ou réplicas) no j-ésimo substrato geográfico, no i-ésimo estrato de uso do solo e no a-ésimo distrito de análise;

n_{aijk} = número de segmentos respondentes no k-ésimo segmento, j-ésimo substrato geográfico, no i-ésimo estrato de uso do solo e no a-ésimo distrito de análise;

N_{aij} = número total de segmentos no j-ésimo substrato geográfico, no i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise;

$e_{aij} = (n_{aij}/N_{aij})^{-1}$ = fator de expansão ou inverso da probabilidade de que um segmento tem de estar na amostra retirada do j-ésimo substrato geográfico, no i-ésimo estrato de uso do solo e no a-ésimo distrito de análise;

$Z_{c,aijkl}$ = valor da característica desejada (cultura “c”), relatada pelo l-ésimo operador agrícola, no k-ésimo segmento, no j-ésimo substrato geográfico, no i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise;

\bar{Z}_{aijkl} = valor médio da característica desejada, relatada por segmento no j-ésimo substrato geográfico, no i-ésimo estrato de uso do solo e no a-ésimo distrito de análise.

2.4.3 Equação do Estimador por Regressão

Enquanto que na expansão direta a estimativa da área plantada com determinada cultura agrícola é obtida apenas com dados coletados no campo, no estimador por regressão é necessário ter dados de campo e dados obtidos com a classificação da imagem de toda a área de estudo, inclusive, dentro dos segmentos amostrados. Após realizar a classificação, ou seja, obter a distribuição espacial das culturas, utilizam-se os dados da amostra coletados no campo e da classificação, para análise da correlação entre os mesmos (Moreira, 1983; Krug e Yanasse, 1986; Mueller et al., 1988; Allen, 1990; Day, 2002).

Krug e Yanasse (1986) comentaram que para utilizar o estimador por regressão e/ou expansão direta é necessário ter os limites dos distritos de análise, dos estratos do uso do solo, dos substratos geográficos e dos segmentos amostrados. Além disso, Day (2002)

informou que o estimador por regressão só pode ser empregado se o estrato tiver no mínimo 10 segmentos sorteados para compor a amostra de área.

Embora o estimador de regressão seja mais preciso do que o de expansão direta, existem limitações ao seu emprego quando há ocorrência de nuvens na área de estudo, uma vez que é necessário obter dados de classificação de toda área de interesse. Se houver presença de nuvens dentro da área de estudo, é necessário subdividir a área em dois substratos distintos, ou seja, um com nuvens ou parcialmente coberto por nuvens e outro sem a cobertura de nuvens. No estrato onde há a presença de nuvens aplica-se o estimador por expansão direta. No restante, ou seja, onde não há a ocorrência de nuvens, pode-se adotar o estimador por regressão, que é definido por Cochran (1977), Krug e Yanasse (1986), Gonzáles-Alonso *et al.* (1997), FAO (1998) e Day (2002) como:

$$\hat{Y}_{c,aij} = N'_{c,aij} [\bar{y}_{c,aij} + b_{c,aij} (\bar{X}_{c,aij} - \bar{x}_{c,aij})], \quad (2.8)$$

por em que:

N'_{aij} = número total de segmentos no j-ésimo substrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise no pós-estrato livre de nuvens;

$\bar{X}_{c,aij}$ = número médio populacional de *pixels* classificados com a cultura “c”, por segmento desta cultura, no j-ésimo substrato geográfico, i-ésimo estrato do uso do solo e a-ésimo distrito de análise para o pós-estrato livre de nuvens e é obtido por:

$$\bar{X}_{c,aij} = \frac{X_{c,aij}}{Np'_{aij}}; \quad (2.9)$$

por em que:

$X_{c,aij}$ = número total de *pixels* classificados com a cultura “c”, no j-ésimo subestrato geográfico, i-ésimo estrato do uso do solo e a-ésimo distrito de análise para o pós-estrato livre de nuvens e;

Np'_{aij} = número total de *pixels* no j-ésimo subestrato geográfico, i-ésimo estrato do uso do solo e a-ésimo distrito de análise para o pós-estrato livre de nuvens.

e,

$\bar{x}_{c,aij}$ = número médio amostral de *pixels* por segmento da cultura “c” no j-ésimo subestrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise para o pós-estrato livre de nuvens, definido por;

$$\bar{x}_{c,aij} = \frac{\sum_{k=1}^{n'_{aij}} x_{c,aijk}}{n'_{aij}}; \quad (2.10)$$

$x_{c,aijk}$ = número total de *pixels* da cultura “c” no k-ésimo segmento amostrado, j-ésimo subestrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise para o pós-estrato livre de nuvens;

n'_{aij} = número de segmentos amostrados no j-ésimo subestrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise no pós-estrato livre de nuvens;

$\bar{y}_{c,aij}$ = área média da cultura “c” por segmento, utilizando os dados coletados em campo, no j-ésimo subestrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise para o pós-estrato livre de nuvens obtido através de:

$$\bar{y}_{c,aij} = \frac{\sum_{k=1}^{n'_{aij}} y_{c,aijk}}{n'_{aij}}; \quad (2.11)$$

por em que:

$y_{c,aijk}$ = área total da cultura “c” obtida em campo no k-ésimo segmento amostrado, j-ésimo substrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise para o pós-estrato livre de nuvens;

$b_{c,aij}$ = estimador de mínimos quadrados do coeficiente de regressão para a cultura “c” no j-ésimo substrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise, obtido por:

$$b_{c,aij} = \frac{\sum_{k=1}^{n'_{aij}} (y_{c,aijk} - \bar{y}_{c,aij})(x_{c,aijk} - \bar{x}_{c,aij})}{\sum_{k=1}^{n'_{aij}} (x_{c,aijk} - \bar{x}_{c,aij})^2} \quad (2.12)$$

O próximo passo é a combinação de todos os estimadores da cultura “c” para toda a região livre de nuvens. Isto é feito através de:

$$\hat{Y}_c(reg) = \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^{s'_a} \sum_{j=1}^{s'_{ai}} \hat{Y}_{c,aij}(reg) \quad (2.13)$$

por em que:

s'_{ai} = número de substratos geográficos livres de nuvens no i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise;

s'_a = número de estratos de uso do solo no a-ésimo distrito de análise, no pós-estrato

livre de nuvens;

A = número de distritos de análise na área em estudo.

A variância é dada por:

$$v(\hat{Y}_c^{reg}) = \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^{s_a} \sum_{j=1}^{s'_{ai}} \frac{N'_{aij}(N'_{aij} - n'_{aij})}{n'_{aij}} s_{c,aij}^2 (1 - r_{c,aij}^2) \quad (2.14)$$

por em que:

$$s_{c,aij}^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n'_{aij}} (y_{c,aijk} - \bar{y}_{c,aij})^2}{n'_{aij} - 2} \quad (2.15)$$

e

$r_{c,aij}^2$ = estimador do coeficiente de correlação entre os dados de campo e os dados classificados por satélite, para a cultura “c”, no j-ésimo subestrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise estimado por:

$$r_{c,aij}^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n'_{aij}} (y_{c,aijk} - \bar{y}_{c,aij})(x_{c,aijk} - \bar{x}_{c,aij})}{\sum_{k=1}^{n'_{aij}} (y_{c,aijk} - \bar{y}_{c,aij})^2 \sum_{k=1}^{n'_{aij}} (x_{c,aijk} - \bar{x}_{c,aij})^2} \quad (2.16)$$

O passo final é unir as estimativas obtidas pelo estimador por regressão, com aquelas obtidas pelo estimador de expansão direta. Assim, para o substratos livres de cobertura de nuvens, a estimativa da cultura “c” neste conjunto é dada por:

$$\hat{Y}_c(fec) = \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^{S'_a} \sum_{j=1}^{S''_{ai}} \frac{N'_{aij} n''_{aij}}{n''_{aij}} \sum_{k=1}^{n''_{aij}} y_{c,aijk} \quad (2.17)$$

por em que:

$y_{c,aijk}$ = área total da cultura “c” obtida em campo no k-ésimo segmento, j-ésimo substrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise no pós-estrato coberto com nuvens;

N''_{aij} = número total de segmentos no j-ésimo substrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise no pós-estrato coberto de nuvens;

n''_{aij} = número de segmentos amostrados no j-ésimo substrato geográfico, i-ésimo estrato de uso do solo, a-ésimo distrito de análise no pós-estrato com cobertura de nuvens;

s''_{ai} = número de substratos geográficos no pós-estrato coberto com nuvens.

Neste caso, o total estimado para a cultura “c” em toda a área de estudo será:

$$\hat{Y}_c(tot) = \hat{Y}_c(reg) + \hat{Y}_c(fec) \quad (2.18)$$

ou seja:

$$\hat{Y}_c(tot) = \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^{s'_a} \sum_{j=1}^{s''_{ai}} \hat{Y}_{c,aij}(reg) + \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^{s'_a} \sum_{j=1}^{s''_{ai}} \frac{N''_{aij} n''_{aij}}{n''_{aij}} \sum_{k=1}^{n''_{aij}} y_{c,aijk} \quad (2.19)$$

a variância $\hat{Y}_c(tot)$ estimada é dada por:

$$\hat{v}Y_c(tot) = \hat{v}(Y_c(reg)) + \hat{v}(Y_c(fec)) \quad (2.20)$$

sendo que $\hat{v}(Y_c(reg))$ é definida na equação 2.14 e $\hat{v}(Y_c(fec))$ é definida por:

$$\hat{v}(Y_c(fec)) = \sum_{a=1}^A \sum_{i=1}^{s_a} \sum_{j=1}^{s_{ai}} \frac{N_{aij}''(N_{aij}'' - n_{aij}'')}{n_{aij}''(n_{aij}'' - 1)} \sum_{k=1}^{n_{aij}''} (y_{c,aijk}' - \bar{y}_{c,aij}')^2 \quad (2.21)$$

A avaliação do estimador de regressão em relação ao estimador por expansão direta, também conhecida como eficiência relativa (ER) segundo Krug e Yanasse (1986) e Gonzáles-Alonso *et al.* (1991), é realizada pela seguinte fórmula:

$$ER = \frac{\hat{v}(Z_c)}{\hat{v}(Y_c(tot))}, \quad (2.22)$$

sendo que $\hat{v}(Z_c)$ é definida na equação 2.7 e $\hat{v}(Y_c(tot))$ é definida na equação 2.20.

Este fator, ER, indica quantas vezes deve-se aumentar a amostra para a expansão direta para que a mesma tenha a precisão igual a obtida pelo estimador de regressão.

2.5 Tratamento de Imagens Digitais

O tratamento de imagens digitais é o processo pelo qual o analista obtém informações temáticas dos alvos contidos na área imageada. Esse procedimento é basicamente dividido em três etapas: pré-processamento, classificação e pós-processamento. As técnicas mais comumente usadas são: georeferenciamento e registro de imagens, realce de imagens, filtragens e classificação (Richards, 1986; Schowengerdt, 1997; Lillessand e Kiefer, 1999; Mather, 1999; Moreira, 2001).

2.5.1 Georeferenciamento e Registro de Imagens

O procedimento de georeferenciamento consiste em associar cada *pixel* na imagem a uma coordenada baseada em um modelo de projeção terrestre, desta forma associando cada ponto da imagem a uma latitude e uma longitude. Este procedimento é realizado por meio de funções matemáticas que realizam esta correção nas imagens terrestres (Schowengerdt, 1997; Lillessand e Kiefer, 1999).

Já no procedimento de registro associa-se a posição de uma imagem a uma outra imagem ou mesmo a um arquivo vetorial, fazendo com que suas posições coincidam. Ao final do processo, não necessariamente, a imagem estará associada a um modelo de projeção terrestre (Lillessand e Kiefer, 1999; Mather, 1999).

2.5.2 Realce de Imagens

O realce de imagem é uma técnica utilizada para aumentar a definição dos elementos da imagem, por meio do aumento de contraste. Considerando como exemplo uma imagem em 8 bits ou 256 níveis de cinza (NC), o realce consiste em deslocar os valores de níveis de cinza mais altos (mais claros) para próximo de 255 e os valores mais baixos próximos de zero, conforme é ilustrado na Figura 2.6 (Schowengerdt, 1997; Lillessand e Kiefer, 1999; Mather, 1999; Moreira, 2001).

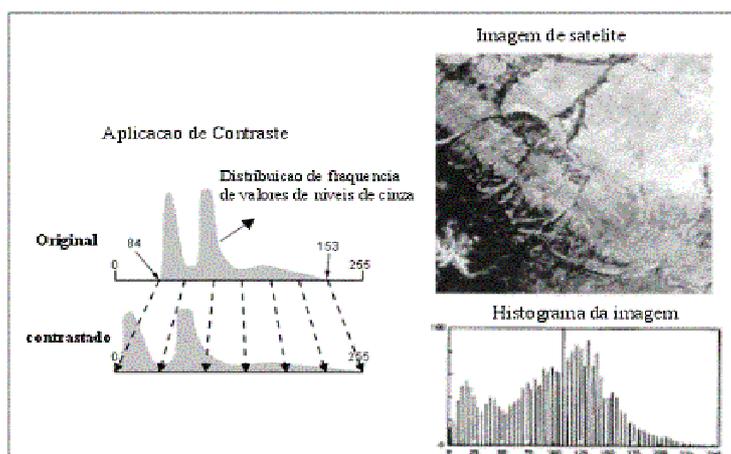


FIGURA 2.6 – Aumento de contraste para realçar a imagem.
FONTE: Adaptada por Moreira (2001, p. 220).

2.5.3 Restauração de Imagens

Normalmente as degradações ocasionadas pelos sensores (interferência eletrônica, redução da capacidade de captação do sinal pelo detector, falha intermitente na captação do sinal) têm efeito de um filtro passa-baixa, o qual reduz os níveis de detalhes dos alvos na cena. Para corrigir esse efeito, que é comum em imagens obtidas por sensores com um certo tempo de operação, aplica-se o procedimento de restauração de imagens. Assim, a restauração pode ser entendida como o procedimento aplicado nas imagens para eliminar essas degradações inerentes ao desgaste do sensor ao longo do tempo e gerar uma nova imagem da melhor forma possível. Além disso, a restauração pode ser também empregada para gerar uma nova imagem, com aumento da resolução espacial (Fonseca, 1988; Schowengerdt, 1997; Lillessand e Kiefer, 1999; Mather, 1999).

2.5.4 Transformação do Atributo Espectral ou das Cores

A transformação dos atributos espectrais ou das cores é um importante aspecto no processamento de imagens, pois as cores são utilizadas pelos interpretes para manipular as informações extraídas da imagem (Schowengerdt, 1997; Mather, 1999; Gonzáles e Woods, 2000). Uma forma de transformação dos atributos espectrais no espaço das cores é o *Intensity, Hue, Saturation (IHS)*, sendo alternativo ao espaço *Red, Green e Blue (RGB)* de representação de cores (Schetselaar, 1998; Mather, 1999; Gonzáles e Woods, 2000; Tu *et al.*, 2001).

As cores, quando definidas pelos atributos *IHS*, podem ser analisadas e manipuladas em cada atributo que as define, ao contrário do sistema *RGB*, em que são intrinsecamente ligadas (Schetselaar, 1998; Mather, 1999; Gonzáles e Woods, 2000; Tu *et al.*, 2001).

O espaço *IHS* pode ser graficamente representado por um cone onde cada cor é definida por coordenadas cilíndricas polares, ao invés de coordenadas cartesianas como o sistema *RGB*. O vértice do cone *IHS* representa o preto, o seu eixo coincide com o eixo acromático. A intensidade aumenta em sentido contrário ao vértice. Uma seção circular do cone mostra a variação do matiz ao redor do perímetro. A saturação aumenta do centro para as bordas do cone, passando de cinza para tons pastéis e destes para matizes

espectrais puras (Figura 2.7) (Schetselaar, 1998; Mather, 1999; Gonzáles e Woods, 2000; Tu *et al.*, 2001)

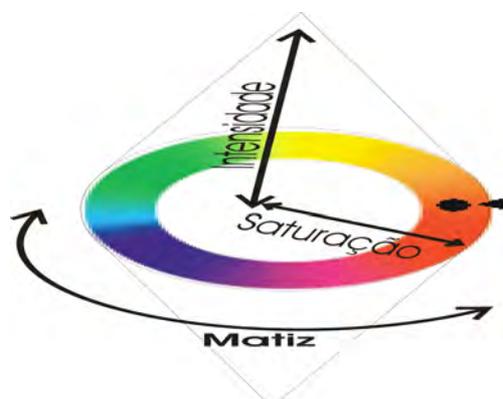


FIGURA 2.7– Representação do espaço *IHS*.

O eixo intensidade representa a medida da energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, responsáveis pela sensação de brilho incidente sobre o olho, dada pela distância de um ponto até a origem ou ápice do cone. O matiz representa a medida do comprimento de onda médio da luz que foi refletido ou emitido, o qual define a cor do objeto. Esta componente é dada pelo ângulo formado em relação a um determinado ponto. Definiu-se que 0° representa o vermelho, 120° o verde e 240° o azul. A saturação expressa o intervalo de comprimentos de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida pela distância radial do ponto até o eixo central do cone (Figura 2.7) (Schetselaar, 1998; Mather, 1999; Gonzáles e Woods, 2000; Tu *et al.*, 2001).

Segundo Schetselaar (1998), Mather (1999), Gonzáles e Woods (2000) e Tu *et al.* (2001), esse método também pode ser utilizado para a fusão de imagens com diferentes resoluções espaciais, para o qual são seguidos os seguintes passos:

- a) registrar as duas imagens;
- b) converter a imagem com menor resolução do espaço *RGB* para o espaço *IHS*;
- c) substituir a componente *I* pela imagem de maior resolução espacial;

- d) igualar a média e a variância da imagem a ser fundida com a da componente I ;
- e) retornar ao espaço RGB .

Terminado este procedimento, a imagem terá mantido as suas características espectrais, mas a resolução espacial será modificada.

2.5.5 Segmentação de Imagens

A segmentação de uma imagem é o processo de particionamento do espaço de atributos espectrais em regiões homogêneas, ou seja, a localização de regiões na imagem que possuem *pixels* com características similares (forma, textura e parâmetros espectrais) (Schowengerdt, 1997; Gonzáles e Woods, 2000; Moreira, 2001). A partir da segmentação de uma imagem pode-se iniciar a definição de padrões ou de classes a serem discretizadas. Além disto, a segmentação tem como objetivo evitar a subjetividade do analista, como pode ocorrer nas classificações supervisionadas (Moreira, 2001).

Os algoritmos de segmentação baseiam-se em dois padrões: descontinuidade e similaridade (Gonzáles e Woods, 2000). A detecção de descontinuidade é o processo pelo qual um grupo de *pixels* semelhantes entre si é separado de outro grupo, pela análise de sua vizinhança, ou seja, por meio de variações abruptas de frequência dos NC. Nesse procedimento pode-se utilizar três abordagens, a saber: detecção de pontos, de linhas e de bordas. Para isso, utilizam-se filtros Laplacianos, operadores de gradiente ou ambos (Schowengerdt, 1997; Gonzáles e Woods, 2000).

Na segmentação realizada por similaridade o algoritmo opera de maneira diferente ao de detecção de descontinuidade, pois procura identificar regiões de baixas frequências e agrupa os *pixels* em função de suas características. O final da região é estabelecido quando é encontrada uma variação abrupta na frequência (Gonzáles e Woods, 2000).

Os algoritmos utilizados para dividir a imagem em regiões espectralmente homogêneas, implementados no SPRING, são dois: crescimento de regiões e detecção de bacias. Para

áreas agrícolas e com vegetação natural, o segmentador mais utilizado é o crescimento por regiões (Shimabukuro *et al.*, 1997; INPE, 2001; Moreira e Souza, 2001).

O segmentador por crescimento de regiões baseia-se em dois limiares, os quais são introduzidos pelo analista: o de similaridade e o de área. O limiar de similaridade é um parâmetro que indica a diferença máxima de NC que um dado *pixel* da imagem pode assumir em relação ao NC médio da classe em consideração. Em outras palavras, se a diferença do valor do NC do *pixel* for menor ou igual ao valor do limiar, o *pixel* é agrupado a essa região, caso contrário, o *pixel* é agrupado a outra região. Em síntese, pode-se dizer que a similaridade serve como regra de decisão para associar ou não um *pixels* da imagem a uma dada região. O limiar de área é utilizado para limitar o tamanho mínimo da área na imagem que deve ser individualizada (INPE, 2001).

2.5.6 Classificação de Imagens Digitais

A classificação digital, de acordo com Lillessand e Kiefer (1999), tem como objetivo categorizar, por meio de procedimentos computacionais, todos os *pixels* de uma determinada imagem, atribuindo a cada um deles um “rótulo” que os relaciona a um objeto do mundo real (Schowengerdt, 1997; Mather, 1999).

As técnicas computacionais tentam simular a capacidade do sistema visual humano em reconhecer padrões espectrais nos dados de SR. A grande vantagem em relação à interpretação visual reside no fato de que os computadores são capazes de processar rapidamente um grande volume de informações presentes na imagem, tarefa essa limitada no ser humano (Mascarenhas e Velasco, 1984).

Para aplicar a classificação digital, primeiramente, devem ser escolhidas as feições de interesse, seguido da determinação do método "Padrão de Comparação", ou seja, a classificação propriamente dita e, finalmente, a avaliação da exatidão do mapa gerado (Mather, 1999).

De acordo com Lillessand e Kiefer (1999), pode-se classificar a área de interesse por meio da comparação *pixel-a-pixel*, onde cada *pixel* é classificado individualmente, dada

sua característica; por *regiões*, ocorrendo por meio do reconhecimento de regiões uniformes que são classificadas de acordo com as suas características e levando em conta as relações espaciais.

Assim, tradicionalmente, a classificação de uma imagem segue os seguintes passos (Schowengerdt, 1997):

- a) extração das feições - transformar as imagens multiespectrais em uma imagem temática, onde características espectrais ou características espaciais idênticas são agrupadas;
- b) treinamento - extração de valores, associados ao *pixel*, utilizados na função de discriminação (este processo pode ser automático ou não);
- c) categorização - consiste em associar cada *pixel* da imagem a uma categoria temática.

Na opinião de Richards (1986), Schowengerdt (1997) e Mather (1999), o princípio do reconhecimento de feições consiste em estabelecer a relação entre o objeto e as características espectrais apresentadas nas imagens. Esses autores agruparam os métodos de classificação digital em função da presença ou não de uma fase de treinamento, no qual o analista interage com o computador. De acordo com esse ponto de vista, os métodos de classificação são agrupados em: classificação não-supervisionada e supervisionada.

O uso de classificadores não-supervisionados, no início, foi indicado para os casos em que o analista não possuía conhecimento *a priori* da área de estudo. Hoje, este método é utilizado para eliminar a subjetividade decorrente do processo de aquisição de amostras de área (Moreira, 2001).

Na classificação não-supervisionada os algoritmos baseiam-se na análise de agrupamentos (*clusters*) para identificar *pixels* com características espectrais similares e agrupá-los em uma mesma classe temática. Os limiares destes agrupamentos são estabelecidos pelo analista e servem como critério para o algoritmo (classificador)

definir quais concentrações de *pixels* devem ser tratadas como agrupamentos distintos (Richards, 1986). Entre os algoritmos que utilizam este método, pode-se citar: o K-médias, o ISODATA e o ISOSEG (Richards, 1986; Schowengerdt, 1997; Mather, 1999; Moreira, 2001).

Segundo Bins *et al.* (1993) o ISOSEG, inicialmente particiona a imagem em regiões com diferentes atributos estatísticos (média, matriz de covariância e área) e em seguida realiza a classificação de regiões, embasado na teoria de agrupamentos (*clustering*). Esse classificador utiliza a matriz de covariância e o vetor de média dos níveis de cinza para estimar o valor central de NC de cada classe (Bins *et al.*, 1993; INPE, 2001). Segundo ainda os autores são três as etapas adotadas para classificar uma imagem, por meio do ISOSEG: definição do limiar de similaridade, detecção das classes e competição entre classes.

- a) Definição do limiar: o usuário define o limiar de similaridade (aceitação). O limiar de similaridade é dado em percentagem. Por meio desse limiar é definida a distância de Mahalanobis entre o NC médio da classe e o *pixel* em questão. Assim, todas as regiões pertencentes a uma dada classe devem estar distantes da média da classe por uma distância inferior à distância de Mahalanobis. Quanto maior o limiar, maior esta distância e, conseqüentemente, menor será o número de classes detectadas pelo algoritmo.
- b) Detecção das classes: nesta fase, as regiões são ordenadas em ordem decrescente de área e inicia-se o procedimento para agrupá-las em classes. Serão tomados como parâmetros estatísticos de uma classe (média e matriz de covariância) da região com maior área. Em seguida, associa-se a esta classe todas as regiões cuja distância de Mahalanobis seja inferior à distância definida pelo limiar de aceitação. Não havendo mais regiões para serem agrupadas a essa classe, o procedimento é repetido para a região de maior área, não associada a nenhuma classe. O processo se repete até não restar mais nenhuma região sem pertencer a alguma classe.

- c) Competição entre classes: as regiões são reclassificadas, levando-se em consideração novos parâmetros estatísticos das classes, definidos na etapa anterior. O parâmetro estatístico média de cada classe é então recalculado. O processo repete-se até que a média das classes não se altere (convergência).

Adami *et al.* (2002), compararam resultados de classificação de diversos algoritmos, aplicados a diferentes produtos tais como imagens originais do Landsat-7/ETM⁺, imagens geradas pelo modelo linear de mistura e por principais componentes. Nesse estudo os autores concluíram que o ISOSEG, quando aplicado nas imagens originais, foi o que obteve o melhor índice Kappa (Smits *et al.*, 1999), quando comparado com a classificação visual.

2.5.7 Pós-Classificação

Por mais eficiente que seja o classificador utilizado para extrair informações dos dados de uma imagem de satélite, sempre irão ocorrer erros de classificação. Esses erros podem ocorrer por omissão ou por inclusão de áreas a uma classe temática, devido à similaridade de respostas espectrais de alvos diferentes. Para contornar esse problema, surgiram alguns algoritmos implementados nos sistemas de tratamento de imagens digitais que tentam minimizar tais erros.

Seguindo essa tendência, no ano de 1996 foi implementado no SPRING um algoritmo denominado edição matricial (Shimabukuro *et al.*, 1997). Por esse algoritmo o analista pode modificar os resultados da classificação, ou seja, mudar a classe de um *pixel* ou de um grupo de *pixels* classificados erroneamente para a classe correta. Dessa forma, o resultado final da classificação dependerá, entre outras coisas, dos conhecimentos do analista sobre o comportamento espectral de alvos e da região de interesse (Shimabukuro *et al.*, 1997).

2.6 Sistemas de Informações Geográficas e Banco de Dados Espaciais

O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) é utilizado para designar sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Devido às características

destes sistemas, eles podem ser aplicados as mais diversas áreas do conhecimento. Há pelo menos três formas de utilizar um SIG: como ferramenta para produção de mapas; como suporte para a análise espacial de fenômenos e como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial (Câmara, 1995).

Pela abrangência, os SIGs podem integrar em um banco de dados único, informações espaciais provenientes de diferentes áreas do conhecimento e oferecer mecanismos para combinar essas várias informações, por meio de algoritmos de manipulação e análise; e para consultar, recuperar, visualizar e permitir a impressão do conteúdo da base de dados geográficos (Thome, 1998). Os SIGs no mínimo devem suportar as entidades: linha, ponto e polígono. Além disto, devem estabelecer algumas noções de topologias, tais como: está contido, contém, toca, dentro, fora e noções de vizinhança (Rigaux *et al.*, 2000).

Para Rigaux *et al.* (2000) os SIGs devem ter as características de um sistema de banco de dados para evitar inconsistência e redundância dos dados; facilitar o acesso (manipulação e consulta) e a atualização; manter a integridade e a atomicidade; permitir o acesso concorrente e garantir a segurança dos dados.

2.7 Características do Sensor ETM⁺ do Satélite Landsat-7

O programa *Land Remote-sensing Satellite (Landsat)* foi desenvolvido pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* no início dos anos 1970 e inicialmente chamava-se *Earth Resource Technology Satellite (ERTS)* (NASA, 2003). Dentro do programa Landsat foram desenvolvidos e colocados em órbita sete satélites, e atualmente encontra-se em operação o Landsat-7 (sensor ETM⁺). Na Tabela 2.2 podem ser observadas as principais características do satélite e do sistema sensor ETM⁺ (ENGESAT, 2003; NASA, 2003).

TABELA 2.2 – Principais características do sensor ETM⁺, a bordo do satélite Landsat – 7.

Características	
Altitude	705 Km
Faixa imageada	185 Km
Revisita	16 dias
Nº de bandas	7+1
Banda 1	Faixa espectral: 0,45 – 0,52 µm; Resolução espacial: 30 m; Apresenta grande penetração em corpos d'água. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
Banda 2	Faixa espectral: 0,52 – 0,60 µm; Resolução espacial: 30 m; Apresenta sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos d'água.
Banda 3	Faixa espectral: 0,63 – 0,69 µm; Resolução espacial: 30 m; A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
Banda 4	Faixa espectral: 0,76 – 0,90 µm; Resolução espacial: 30 m; Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> e para mapear áreas ocupadas com vegetação que foi queimada. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
Banda 5	Faixa espectral: 1,55 – 1,75 µm; Resolução espacial: 30 m; Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
Banda 6	Faixa espectral: 10,4 – 12,5 µm; Resolução espacial: 120 m; Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
Banda 7	Faixa espectral: 2,08 – 2,35 µm; Resolução espacial: 30 m; Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável para a discriminação de produtos de alteração hidrotermal.
Banda 8 (Pan)	Faixa espectral: 0,5 – 0,9 µm; Resolução espacial: 15 m; boa separabilidade dos alvos agrícolas ou urbanos
Revolução	99°
Hora passagem	10±15 Hora equador

Fonte: Adaptada de ENGESAT (2003) e NASA, 2003;

2.8 Sistema de Posicionamento Global - GPS

O *GPS* foi concebido pelo Departamento de Defesa dos EUA no início dos anos 1960, e nesta época, recebeu o nome de "*projecto NAVSTAR*". Este sistema é constituído por 24 satélites, divididos em 6 diferentes órbitas circulares de 12 horas de duração, a cerca de 20.200 km de altitude. Estes satélites estão colocados em órbita de tal modo que em qualquer ponto da terra 6 deles estão sempre visíveis, possibilitando então a triangulação e formação das coordenadas de latitude e longitude, dados de altimetria e de horário local (Dana, 2003; Ferreira Jr., 2003).

Inicialmente, os militares norte-americanos preocupados com o uso indevido deste sistema de posicionamento por parte dos civis, embutiram um mecanismo de degradação do sinal que gerava um erro de posicionamento de até 100 m. Atualmente, dada a retirada dessa degradação do sinal, o sistema funciona com uma precisão que varia em torno de 1 m a 15 m (Dana, 2003; Ferreira Jr., 2003).

CAPÍTULO 3

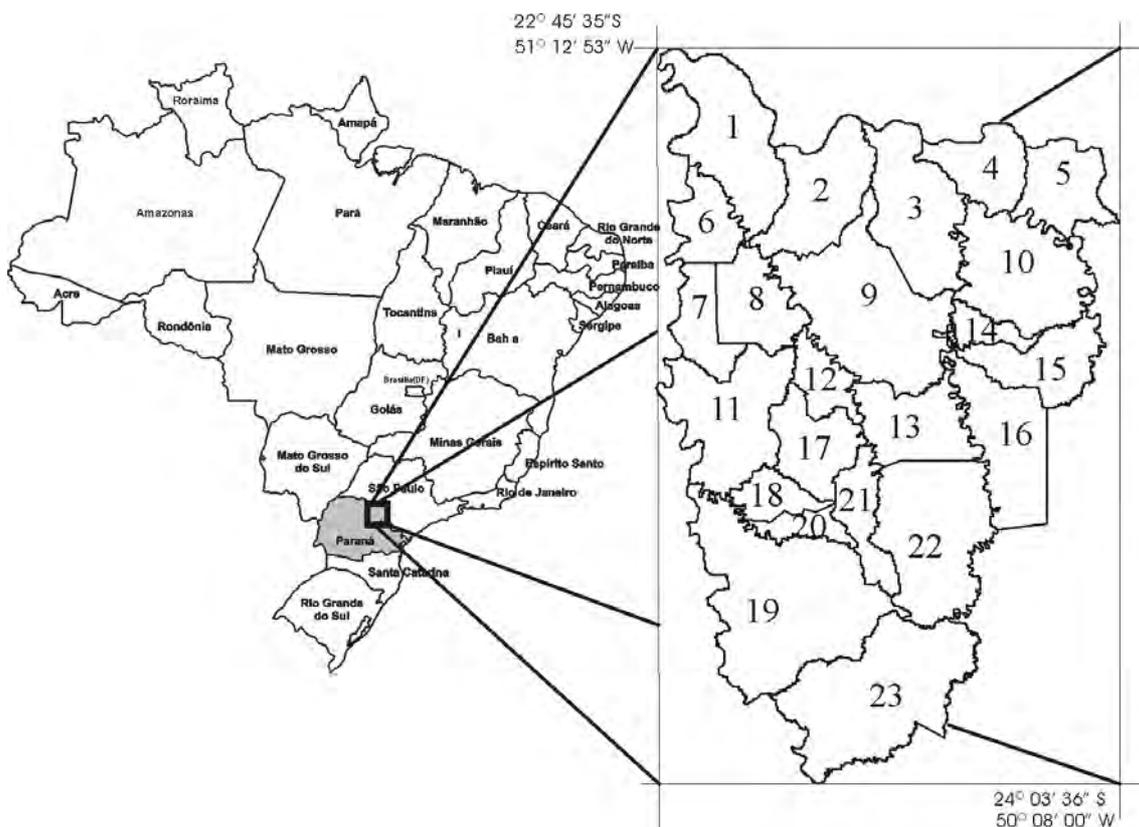
MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange uma área de 7.480,11 km², localizada ao norte do estado do Paraná, entre as coordenadas geográficas 22° 45' 35" S – 24° 03' 36" S e as longitudes 50° 08' 00" W – 51° 12' 53" W. Ao norte é delimitada pelo rio Paranapanema, a oeste e sul pelo rio Tibagi compreendendo ao todo vinte e três municípios pertencentes ao núcleo regional da SEAB conforme é mostrado na Figura 3.1. Esses municípios localizam-se no segundo e terceiro planalto paranaense (Ministério da Agricultura, 1981b).

A área é tipicamente agrícola. Entretanto, a configuração da ocupação do uso da terra tem mudado, principalmente na troca de cultivo de lavouras perenes (café) por lavouras temporárias, sendo a mais importante a soja (Cunha, 1993).

Quanto ao relevo observa-se que há grande diversidade. Em geral, pode-se afirmar que os municípios ao norte (Figura 3.1) possuem uma topografia mais plana, pouco suscetível à erosão e mecanizável em grande parte da área. Ao sul da área de estudo, o relevo é acidentado e a mecanização é empregada de forma restrita (Ministério da Agricultura, 1981b).



N °	Município	N °	Município
1	Sertaneja	13	Nova Fátima
2	Leópolis	14	Santa Amélia
3	Santa Mariana	15	Abatiá
4	Itambaracá	16	Ribeirão do Pinhal
5	Andirá	17	São Sebastião da Amoreira
6	Rancho Alegre	18	Santa Cecília do Pavão
7	Jataizinho	19	São Jerônimo da Serra
8	Uraí	20	Nova Santa Bárbara
9	Cornélio Procópio	21	Santo Antônio do Paraíso
10	Bandeirantes	22	Congonhinhas
11	Assai	23	Sapopema
12	Nova América da Colina		

FIGURA 3.1 – Localização da área de estudo.

O clima ao norte da área, de acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cfa, caracterizado por clima subtropical, com verões quentes e geadas pouco frequentes. As temperaturas médias são inferiores a 18 °C no inverno e acima de 22 °C no verão, época que concentra as maiores precipitações. Contudo, não há estação seca no inverno. Nesta região ocorrem precipitações entre de 1300 mm a 1500 mm por ano. Durante o mês de janeiro, o mais chuvoso, as precipitações situam-se em torno de 170 mm. Nos meses de

julho e agosto, menos chuvosos, ocorrem precipitações em torno de 40 mm (IAPAR, 1994 citado por Almeida *et al.*, 2000).

Outro tipo climático encontrado ao sul da área é o Cfb, temperado, úmido e super úmido, com precipitações no mês mais chuvoso (janeiro) em torno de 170 mm e nos meses menos chuvoso (junho/julho) em torno de 80 mm. A média anual de chuva fica em torno de 1700 mm. No mês mais frio as temperaturas médias são inferiores a 18 °C e no mês mais quente as temperaturas médias situam-se em torno de 22 °C (IAPAR, 1994 citado por Almeida *et al.*, 2000).

Os solos que compõem a área de estudo são principalmente Latossolos, Alissolos, Argissolos e Neossolos (Ministério da Agricultura, 1981a; Almeida *et al.*, 2000).

A região é composta por municípios pequenos, de economia tipicamente agrícola, com população variando entre 5.000 a 60.000 habitantes (Cunha, 1993). A média de área cultivada com culturas de verão é de 300.000 hectares por ano (Figura 3.2) (PARANÁ.SEAB/DERAL, 2003b).

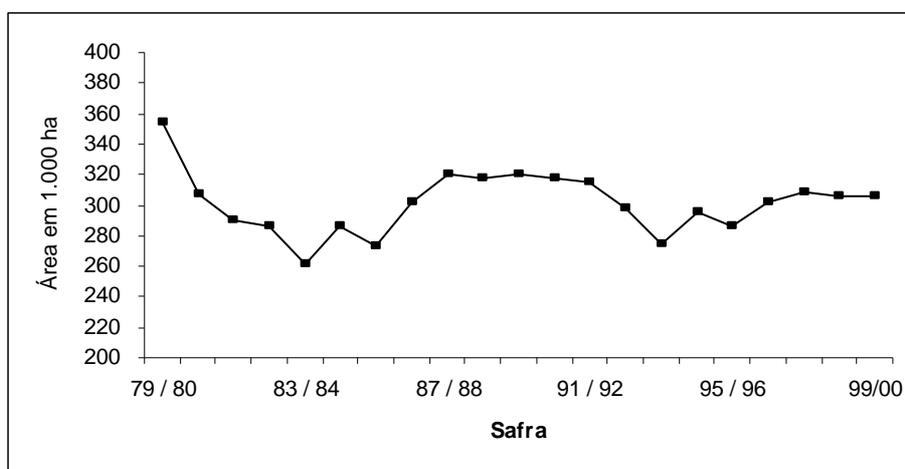


FIGURA 3.2 – Evolução da área plantada com culturas de verão (ha), na região de estudo de 1979 a 2000.

FONTE: adaptada de PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b)

Na região de Cornélio Procópio, área de estudo, houve no decorrer das últimas 21 safras de café uma variação muito grande na área de café em produção, que foi em grande parte associada à ocorrência de geadas e queda de preço do café beneficiado. Na década de 1980 houve uma queda de área de cultivo, motivada pela forte geadas de 1975 e

queda dos preços. No final da década de 1980, a ocorrência de outra geada associada a preços baixos, quase provocou a erradicação dos cafezais da região. Na Figura 3.3 pode-se observar a variação da área cultivada com café na região de Cornélio Procópio, no período de 1979/80 a 1999/00 (PARANÁ.SEAB/DERAL, 2003b).

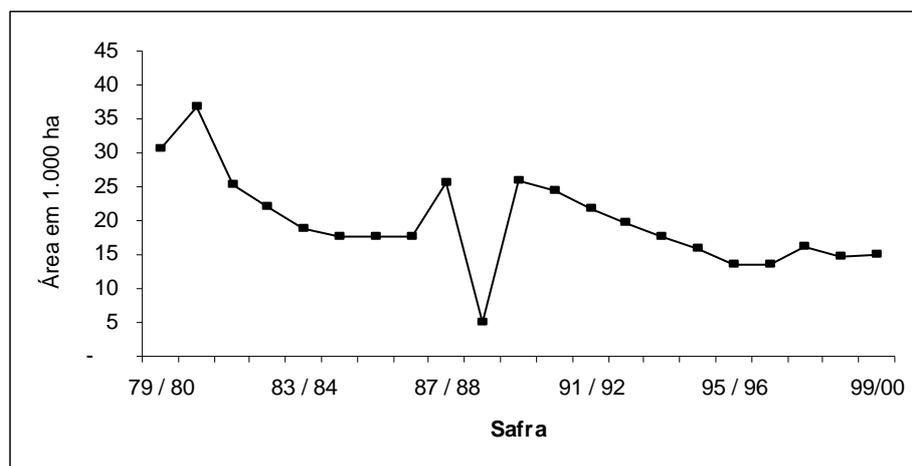


FIGURA 3.3 – Área em hectares, cultivada com cafezais em produção, na região de Cornélio Procópio.

FONTE: Adaptada de PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b).

Na Figura 3.4 pode-se observar que a maior parte da área de estudo é apta ao cultivo do café. Destaca-se, entretanto a região ao sul da área, considerada pelo IAPAR (2003) como inapta ao cultivo devido a ocorrência freqüente de geadas. Essa região inapta ao cultivo localiza-se nos municípios de Congonhinhas, São Jerônimo da Serra, Santo Antonio do Paraíso e Sapopema. No entorno dessa região inapta ao cultivo localiza-se uma área de transição, abrangendo os mesmos municípios.

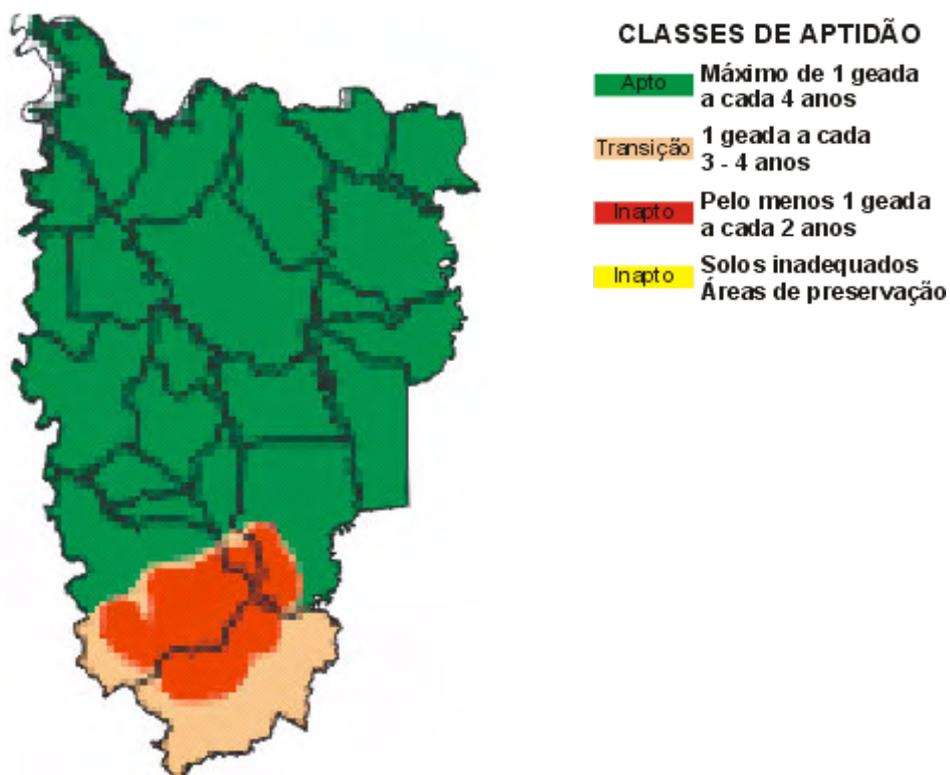


FIGURA 3.4 – Aptidão da região de Cornélio Procópio ao cultivo do café
 FONTE: Adaptada de IAPAR (2003)

Com relação a cultura do milho, segundo o PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b) há uma grande variação da área cultivada (safra normal) na região de Cornélio Procópio, conforme pode ser visto na Figura 3.5. A área média de cultivo, das últimas 21 safras, foi de 56.900 hectares por safra.

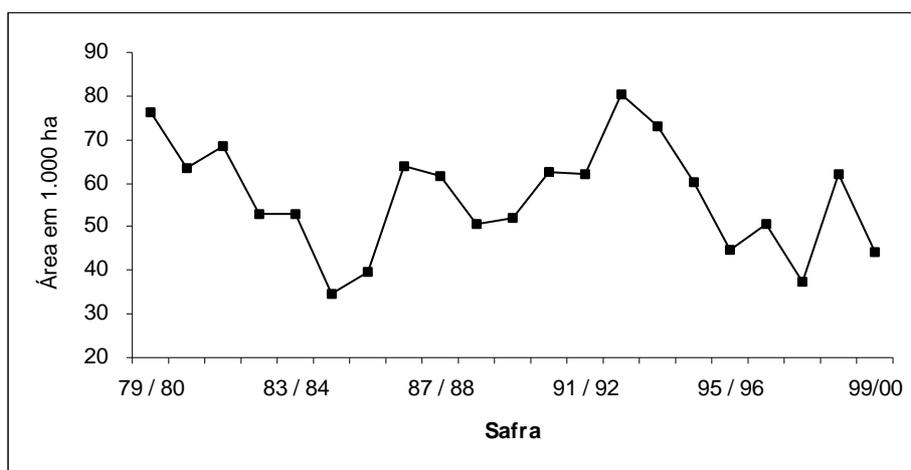


FIGURA 3.5 – Área em hectares, utilizada com a cultura de milho, safra de verão, na região de Cornélio Procópio.
 FONTE: adaptada de PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b).

Pode-se observar na Figura 3.6 que a época recomendada de cultivo do milho, para a região de Cornélio Procópio, abrange as regiões homogêneas I, II e VIII. Desta forma, o período recomendado de plantio do milho inicia-se em 11 de setembro e vai até 10 de novembro e a colheita ocorre de janeiro a abril, na região de Cornélio Procópio, para safras normais (PARANÁ.SEAB/DERAL, 2002a, IAPAR, 2003).

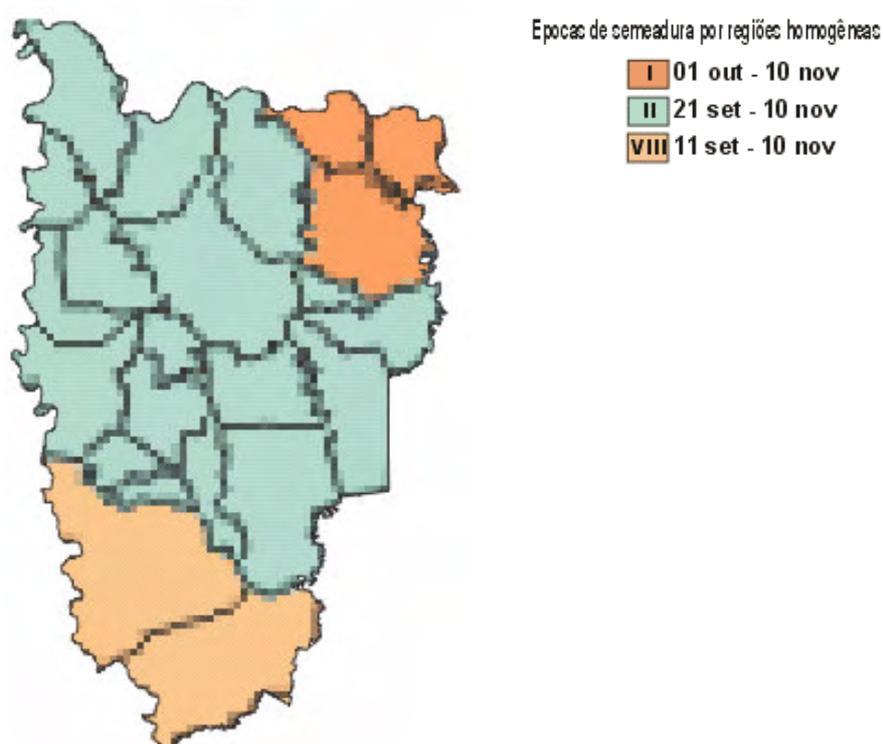


FIGURA 3.6 – Zoneamento agroclimático do milho safra normal para a região de Cornélio Procópio.

FONTE: Adaptada de IAPAR (2003)

Com relação a cultura da soja, ocorreu expansão das fronteiras agrícolas dessa cultura na região, nota-se na Figura 3.7 que houve um incremento positivo da área cultivada durante o período de 1979 a 2000. Segundo PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b) esse incremento se deu em decorrência da substituição de cultivo por outras culturas, principalmente do algodão. Ainda segundo este departamento, os maiores incentivadores ao plantio desta cultura são o preço desta *commodity* e a facilidade de cultivo. Na Figura 3.7, observa-se que a maior área plantada com soja no período entre

1979/1980 a 1999/2000 foi no ano safra de 1997/1998, totalizando 206.000 hectares (PARANÁ.SEAB/DERAL, 2003b).

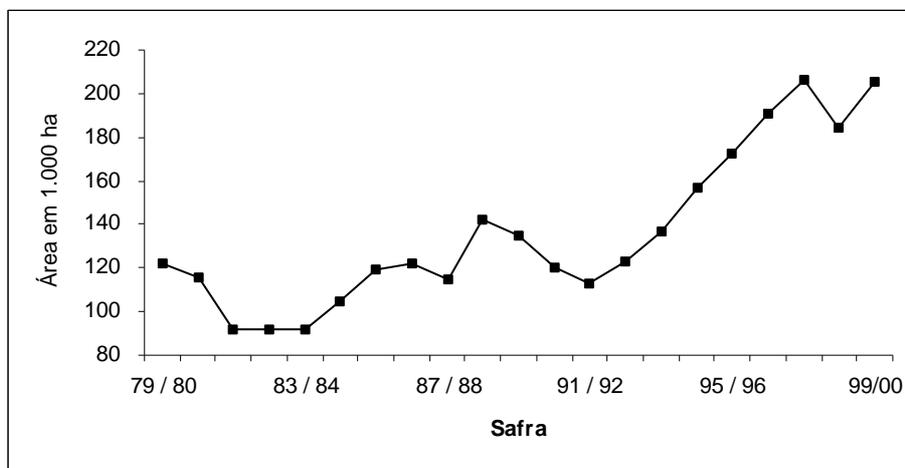


FIGURA 3.7 – Área em hectares, utilizada pela cultura da soja na região de Cornélio Procópio.

FONTE: Adaptada de PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b).

Na região norte do estado do Paraná, onde se localiza a área de estudo, o plantio ocorre de 15 de outubro a 30 de dezembro. A colheita inicia-se em meados de fevereiro indo até o final de março, conforme pode ser observado na Figura 3.8. O cultivo é todo mecanizado do plantio à colheita (PARANÁ.SEAB/DERAL, 2002b).

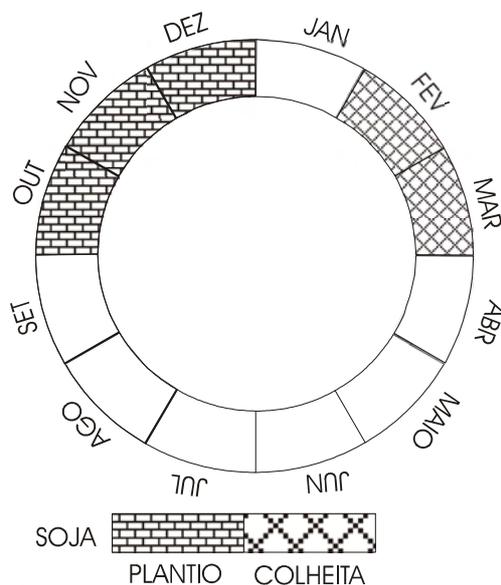


FIGURA 3.8 – Época de cultivo da soja na região de Cornélio Procópio.

Sabendo-se das épocas recomendadas de cultivo para as culturas a serem pesquisadas, estabeleceu-se que a melhor época para ir ao campo seria no mês de novembro e dezembro, pois a cultura do milho estaria em fase final de plantio restando apenas as áreas a serem utilizadas para a implantação da cultura da soja.

Os fatores que contribuíram para a escolha da área de estudo foram: a) disponibilidade de dados oficiais sobre a agricultura da região, oferecidos pela SEAB; b) predisposição da SEAB no apoio técnico e suporte logístico no levantamento dos dados de campo; c) conhecimento da área de estudo, o que facilitou a localização dos segmentos no campo; d) grande variação de características econômicas, topográficas e de cultivo na região.

3.2 Materiais

Para realizar essa pesquisa empregou-se imagens Landsat-7/ETM+ correspondentes às órbitas/ponto 221/72 e 222/72, obtidas nos anos de 2001, 2002 e 2003 (Tabela 3.1). Foram utilizadas também cartas topográficas da área de estudo conforme é mostrado na Tabela 3.2, microcomputador com processador athlon 1000ghz, 756 MB de memória RAM e 40 GB de espaço em disco rígido, com os *softwares*: SPRING (Câmara et al., 1996), CORELDRAW, ACCESS, EXCEL e WORD para tratamento das imagens, armazenamento dos dados, análise estatística e redação do trabalho.

TABELA 3.1 – Órbita/ponto e data das imagens Landsat – 7/ETM⁺ utilizadas na classificação e no trabalho de campo.

Órbita/Ponto	Data da Passagem do satélite
221/76	09/11/2001
221/76	01/04/2002
221/76	21/06/2002
222/76	02/12/2001
222/76	04/02/2002
222/76	08/03/2002
222/76	28/06/2002
222/76	03/11/2002
222/76	07/02/2003

TABELA 3.2 – Cartas utilizadas para a realização do trabalho.

CARTA	FOLHA	ESCALA	Fonte
Bandeirantes	SF-22-Z-C-II-1	1:50.000	IBGE (1976a)
Cambará	SF-22-Z-C-II-2	1:50.000	IBGE (1976b)
Congonhinhas	SF-22-Z-C-VI-2	1:50.000	IBGE (1976c)
Cornélio Procópio	SF-22-Z-C	1:250.000	IBGE (1976d)
Cornélio Procópio	SF-22-Z-C-I-2	1:50.000	IBGE (1976e)
Nova Fátima	SF-22-Z-C-I-4	1:50.000	IBGE (1976f)
Ribeirão do Pinhal	SF-22-Z-C-II-3	1:50.000	IBGE (1976g)

Para a orientação no campo e a localização dos segmentos foi utilizado um *GPS* de navegação XL12 e o *software* TRACKMAKER, que faz a interface entre o *GPS* e o microcomputador.

Durante a coleta de dados no campo foram utilizadas transparências sobrepostas aos módulos de imagens contendo os limites dos segmentos, para servir de *overlay* onde foram feitas delimitações dos talhões de uso do solo e anotações sobre o tipo de alvo em cada talhão. O deslocamento no campo para a coleta de dados nos segmentos foi realizado por meio de um veículo fornecido pela SEAB.

3.3 Método

A metodologia empregada para desenvolvimento desta pesquisa embasou-se no procedimento de amostragem aleatória estratificada, para estimar a área ocupada pelas culturas de café, milho e soja. Os estimadores utilizados foram o de expansão direta e o de regressão, com segmentos fechados (Cochran, 1977; Krug e Yanasse, 1986; Mueller et al., 1988; Gonzáles-Alonso *et al.*, 1991; Gallego, 1995; FAO, 1996; Gonzáles-Alonso *et al.*, 1997; Day, 2002). A metodologia de expansão direta foi empregada em duas escalas diferentes, uma para a região, composta por 23 municípios e outra para o município de Cornélio Procópio. A metodologia de regressão foi aplicada apenas na escala municipal, para a cultura do café. Para as culturas de milho e soja o modelo de regressão foi aplicado apenas numa parte do estrato B, livre de cobertura de nuvem. Assim, a estimativa de área dessas culturas no município foi realizada por meio da combinação do estimador de regressão (parte do estrato B) e da expansão direta (o

restante da área do município). A seguir serão discutidos os passos metodológicos que nortearam o desenvolvimento da pesquisa.

3.3.1 Criação do Banco de Dados Geográficos

O banco de dados geográfico foi criado no *software* SPRING, versão 3.6.03, com o gerenciador de banco de dados ACCESS (Câmara, 1995; Câmara *et al.*, 1996). Inicialmente, foram criados dois projetos independentes, um para realizar as estimativas na escala regional e outro para realizar as estimativas na escala municipal. Assim, dependendo da escala da estimativa, nomeou-se um como REGIAO e está compreendido entre as latitudes 24° 03' 07,43" S e 22° 47' 06,91" S e longitudes 51° 01' 10,82" W e 50° 09' 15,00" W. O outro foi denominado de MUNICIPIO e está compreendido entre as latitudes 23° 23' 00,75" S e 23° 00' 44,58" S e longitudes 50° 48' 52,50" W e 50° 27' 42,47" W. A projeção utilizada nestes dois projetos foi UTM/SAD69.

Neste banco de dados foram inseridas imagens de satélites, elementos cartográficos (drenagem, estradas, cidades, represas e lagos, áreas de reserva), informações cadastrais e estatísticas existentes a respeito da região e dados coletados no campo. No SPRING foram realizadas as etapas que envolveram tratamento de imagens e geoprocessamento, dentre as quais destacam-se: classificação das imagens de satélites, estratificação, segmentação, consultas, alocação dos segmentos e cálculo da área por segmento.

3.3.1.1 Georeferenciamento dos Dados

Uma vez criado o banco de dados o passo seguinte foi realizar o georeferenciamento das imagens, referentes ao projeto REGIÃO. Para isso, utilizou-se de pontos coletados por *GPS* de navegação, obtidos pelos técnicos do Departamento de Economia Rural (DERAL) da SEAB, em locais facilmente identificáveis nas imagens. O total de pontos coletados foi 13, porém optou-se por eliminar cinco pontos, pois suas localizações nas imagens eram dúbias. Dada a necessidade de melhorar a distribuição espacial dos pontos, sobre a imagem, optou-se por utilizar mais cinco pontos, coletados em cartas planoaltimétricas. Além desses pontos usados no georeferenciamento, foram utilizados

quatro pontos coletados em cartas para verificar a precisão do registro. Os pontos de controle adotados para o georeferenciamento podem ser observados na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 – Pontos coletados por *GPS*, para georeferenciamento dos dados.

Município	Latitude	Longitude	Descrição
São Jerônimo da Serra	S 23°42'42,7"	O 50°44'19,7"	Ponto no trevo, ao lado direito da entrada para Congonhinhas, no sentido São Jerônimo da Serra → Congonhinhas.
Nova Santa Bárbara	S 23°35'22,5"	O 50°45'55,7"	Ponto no trevo, ao lado esquerdo da entrada para Nova Santa Bárbara, no sentido Santa Cecília → São Jerônimo da Serra.
Santa Cecília do Pavão	S 23°31'08,5"	O 50°47'31,8"	Ponto no trevo, ao lado esquerdo da entrada para o patrimônio 700 alqueires, no sentido Santa Cecília → 700 alqueires.
São Sebastião da Amoreira	S 23°26'48,8"	O 50°47'31,8"	Ponto em frente ao posto da polícia rodoviária, na estrada de chão no sentido Assai → São Sebastião da Amoreira.
Nova América da Colina	S 23°20'12,5"	O 50°41'04,9"	Ponto no trevo, ao lado esquerdo da entrada para N. A. Colina, no sentido Nova América da Colina → Rodovia.
Trevo Água Quente	S 23°14'48,3"	O 50°43'35,9"	Ponto no trevo, ao lado direito, entre o trevo e o rio Congonhas, no sentido Nova América da Colina → Cornélio Procópio.
Ribeirão do Pinhal	S 23°22'05,5"	O 50°19'16,2"	Ponto no trevo, ao lado direito da entrada para Abatiá, no sentido Ribeirão do Pinhal → Abatiá.
Santa Amélia	S 23°16'45,7"	O 50°20'28,4"	Ponto no trevo, ao lado esquerdo da entrada para Santa Amélia, no sentido rodovia → Santa Amélia.
Bandeirantes	S 23°07'30,3"	O 50°21'31,6"	Ponto no trevo, ao lado direito da estrada, no sentido Bandeirantes → Abatia.

Continua...

TABELA 3.3 (Conclusão)

Santa Mariana	S 23°09'05,4"	O 50°31'28,6"	Ponto no trevo, ao lado direito da entrada para Santa. Mariana.
Cornélio Procópio	S 23°09'33,7"	O 50°36'29,1"	Ponto no trevo, ao lado direito da entrada para Água Limpa, entre o trevo e a estrada de ferro.
Jataizinho	S 23°15'27,9"	O 50°59'07,6"	Ponto na ponte do rio Tibagi, ao lado direito, no início da ponte, sentido Jataizinho → Ibiporã.
Nova Fátima	S 23°24'46,5"	O 50°27'27,6"	Ponto na ponte do rio Laranjinha, ao lado esquerdo da ponte, no início, sentido Nova Fátima → Ribeirão do Pinhal.

O georreferenciamento da imagem com os pontos coletados pelo *GPS* e na carta planoaltimétrica foi realizado para a cena 222/76 que cobre cerca de 90% da área de estudo. O erro quadrático médio (EQM) obtido para o georreferenciamento da cena foi de 0,86 *pixel* e o EQM obtido para os pontos de teste foi de 1,23 *pixel*. Cabe ressaltar que tanto os pontos usados no registro como os pontos para teste foram bem distribuídos na imagem, conforme recomendações descritas por Richards (1986), Schowengerdt (1997) e Lillesand e Kiefer (1999). Nas demais imagens dessa órbita/ponto obtidas em diferentes datas, o registro foi realizado pelo procedimento imagem-imagem, de tal forma que a diferença entre elas fosse menor que um *pixel*.

Para o georreferenciamento das cenas 221/76, utilizou-se o registro imagem-imagem uma vez que houve sobreposição dessa cena com a 222/76. É bom ressaltar que mesmo havendo sobreposição foi necessária a utilização das cenas 221/76 porque parte da área de estudo ficou fora da área dessa sobreposição. Optou-se por não realizar os mosaicos entre as duas órbitas/ponto para evitar inserir um fator de erro no momento da classificação devido às diferenças ocasionadas pelo ângulo de iluminação, características fisiológicas das plantas e os estádios vegetativos das culturas agrícolas.

Foi importado para este banco de dados, o arquivo vetorial correspondentes aos limites municipais (formato *shapefile*). Este arquivo foi fornecido pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Paraná (SEMA) na escala 1:50.000 (PARANÁ.SEMA, 2000).

O sistema de projeção utilizado pela SEMA é UTM/WGS84. Este sistema de projeção foi convertido automaticamente pelo SPRING para o sistema UTM/SAD69 no momento da importação dos dados vetoriais. Mesmo com esta conversão, observou-se que os limites municipais que seguiam rios tinham deslocamentos. A correção desse deslocamento foi realizada por meio do registro de dados vetoriais, usando como verdade terrestre as imagens Landsat-7/ETM⁺ georreferenciadas. Com esse registro conseguiu-se um bom ajuste, dada a escala do mapeamento. Além dos limites municipais a PARANÁ.SEMA (2000) também forneceu os limites dos parques, áreas de preservação permanentes e das terras indígenas. Sobre esses limites não foi feito nenhum ajuste, uma vez que não foi possível realizar a aferição dos mesmos.

3.3.2 Classificação e Mapeamento Temático Realizado para Fornecer Parâmetros para a Estratificação da Área de Estudo

A classificação e o mapeamento temático teve como objetivo obter os valores de áreas dos diferentes alvos de ocupação do solo, para definir os estratos de uso do solo e todos os procedimentos envolvidos nessa etapa podem ser visualizados no esquema contido no fluxograma da Figura 3.9.

Com base no conhecimento do uso e ocupação do solo, padrões espectrais, forma e localização e nos objetivos do projeto, definiu-se as seguintes classes de mapeamento: área agrícola, corpos d'água, mata, pastagem e área urbana.

Assim, para realizar a classificação primeiro procede-se a segmentação da imagem. No procedimento de segmentação foi necessário definir os parâmetros de similaridade e área. Para tal, realizou-se alguns testes numa área piloto com diferentes limiares a fim de escolher aqueles que particionavam a imagem de acordo com o interesse do trabalho. Visualmente, o melhor resultado de segmentação foi obtido com os limiares de 10 níveis de cinza para similaridade e 50 *pixels* para área. A segmentação foi realizada nos dados espectrais contidos nas bandas 3, 4 e 5 de 02/12/2001 das imagens Landsat-7/ETM⁺.

Para a classificação, optou-se por utilizar o classificador não-supervisionado ISOSEG (Bins *et al.*, 1993; INPE, 2001), pois segundo Adami *et al.* (2002), este classificador apresentou um maior coeficiente *kappa* com relação à classificação visual, quando comparado a outros classificadores. O limiar de aceitação definido para este classificador foi de 90%. Como resultado da classificação obteve-se 21 classes temáticas que, posteriormente, foram associadas às classes para mapeamento definidas anteriormente (Figura 3.9). As classes temáticas de mapeamento foram separadas em diferentes planos de informações (PI) para facilitar o mapeamento, conforme recomendou Crepani *et al.* (2001). Após separar as classes temáticas nos diferentes PI's, realizou-se a edição matricial (Shimabukuro *et al.*, 1997), para corrigir alguns erros de classificação decorrente de similaridade de respostas espectrais entre alvos diferentes.

A edição matricial foi feita no mapa temático sobreposto às imagens do Landsat que foram utilizadas para a classificação. Além dessas imagens, foram utilizadas as imagens ETM⁺ obtidas nas datas de 04/02/2002 e 08/03/2002, que serviram como suporte de decisão, para definir a que classe de uso do solo deveria ser associada uma dada classe temática que supostamente foi classificada erroneamente, e que na imagem de 02/12/2001 não pôde ser identificada corretamente pelo analista.

Para a cena adjacente, 221/76, foi realizada a interpretação visual devido ao pequeno tamanho de área a ser classificada. Essa interpretação foi realizada nas imagens obtidas nas datas de 09/11/2001 e 01/04/2002.

Terminado o mapeamento temático para o projeto **REGIAO**, foi realizado o mosaico do mesmo para o projeto **MUNICIPIO**.

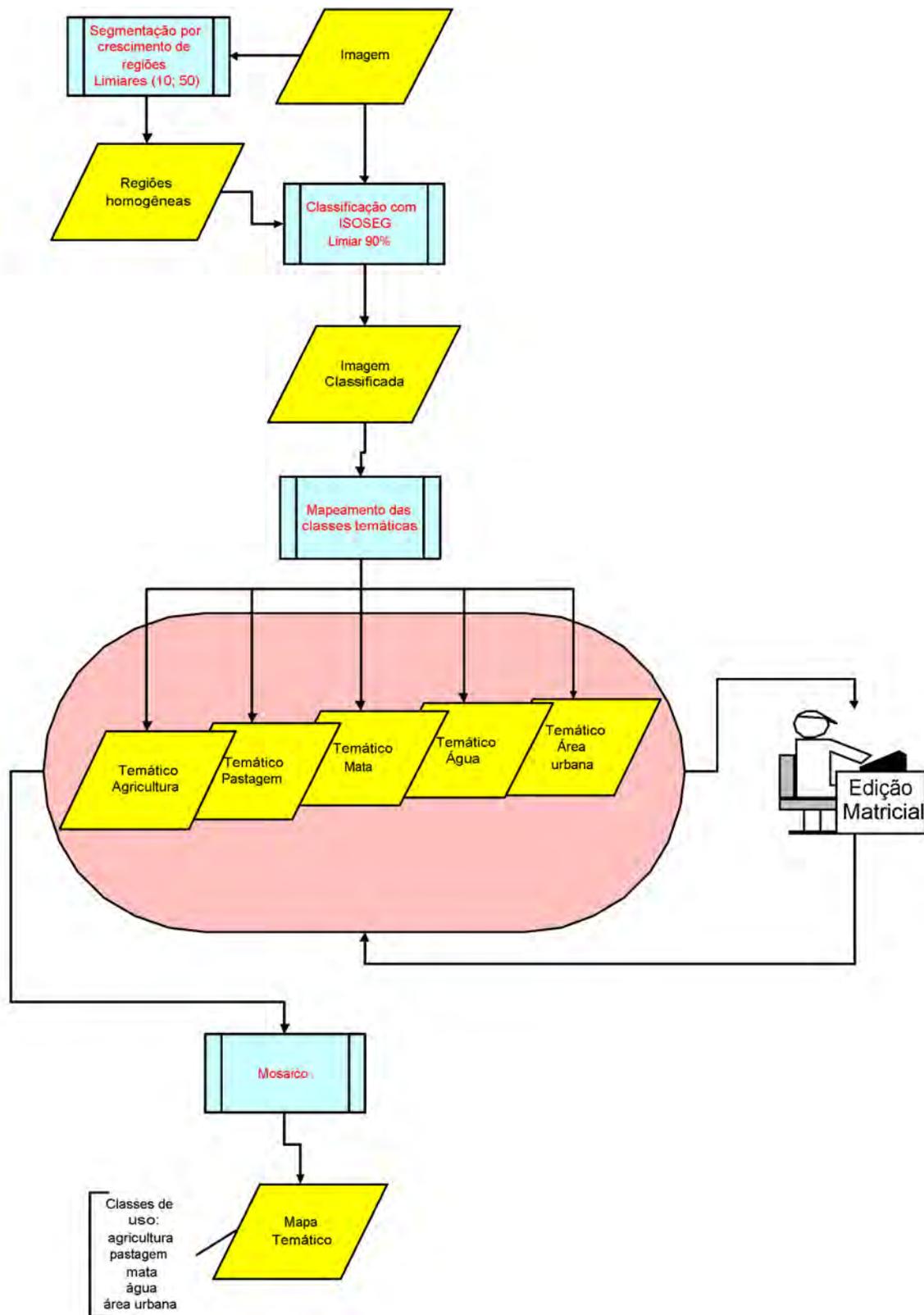


FIGURA 3.9– Fluxograma para mostrar as etapas de segmentação e classificação da área de estudo.

3.3.3 Estratificação da Área

A partir do mapa temático obtido na fase de classificação, pode-se realizar o particionamento da área em estratos homogêneos de uso do solo para agricultura, conforme recomendado por (Hansen *et al.*, 1953; Sukhatme e Sukhatme, 1970; Cochran, 1977; Krug e Yanasse, 1986; Mueller *et al.*, 1988; Gallego, 1995; FAO, 1996). Nesse caso, a estratificação foi realizada de forma diferente para as duas áreas de estudo, ou seja, região e município.

3.3.3.1 Estratificação da Região

O PI contendo o mapa temático com as classes de uso do solo foi transformado numa categoria numérica, através de um programa em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), implementado no SPRING (APÊNDICE A). Assim, para cada classe de uso do solo criou-se um PI numérico onde a classe de interesse assumiria o valor igual a cem (100) e as demais, o valor igual a zero (0). Posteriormente esses PI's numéricos foram transformados em imagens para aplicar o segmentador por crescimento de região. Dessa forma, gerou-se cinco imagens correspondente às classes temáticas agricultura, pastagem, mata, água e áreas urbanas. Sobre estas imagens aplicou-se o segmentador por crescimento por região com limiar de similaridade igual a 1 nc e de área igual a 32.000 *pixels*. Deste modo, foi possível identificar todas as áreas não homogêneas e gerar polígonos com área igual ou maior que 20 km², considerado a unidade mínima para a amostragem de área, ou seja, o painel de amostra foi estruturado para cinco anos, com uma substituição de 20% dos segmentos a cada ano. Logo, um estrato com área mínima de 20 km² garante a probabilidade desse estrato ter pelo menos um segmento para compor a amostra de área nos cinco anos (Krug e Yanasse, 1986).

Com o PI resultante desta segmentação foi realizado o mosaico para um PI temático com resolução de 1,0 km x 1,0 km. Em seguida, associou-se cada polígono a uma classe temática diferente, para individualizá-los. Com exceção dos polígonos pertencentes a áreas urbanas, parques, áreas indígenas, rios e represas, que foram agrupados a uma única classe temática, pois os mesmos segundo a definição de Mueller *et al.* (1988) e

FAO (1998) pertencem ao estrato F, estrato não amostrado. Dessa associação gerou-se 58 classes temáticas.

O passo seguinte consistiu em transformar os dados do formato vetorial para matricial com a resolução de 1,0 km x 1,0 km. Para garantir que as linhas do polígono coincidissem com os limites dos *pixels* fez-se a vetorização da matriz sem suavização de arcos. Desta forma, garantiu-se que um segmento da amostra ou parte desse, não pertencesse a dois estratos ao mesmo tempo, conforme recomenda Gallego (1995). Em seguida realizou-se uma edição matricial para corrigir *pixels* que apareceram indevidamente dentro de uma classe temática.

Após estabelecer os limites dos polígonos formadores dos estratos, estes foram exportados para o formato *shapefile* e importados novamente para o SPRING para uma categoria cadastral. Este procedimento associa cada polígono a um objeto, automaticamente e, ao mesmo tempo os polígonos não perdem a informação de qual classe pertenciam anteriormente. Todavia, para garantir a coerência e integridade dos dados foi realizado ajuste topológico nesses dados (Rigaux *et al.*, 2000).

Após esse procedimento calculou-se o percentual de área de cada classe dentro dos polígonos, através do operador de média zonal (APÊNDICE B) em um programa em LEGAL. O operador de média zonal percorre toda a área coberta pelo polígono cadastral e calcula a média. Desta forma, determina no PI numérico o percentual de área de uma dada classe dentro do polígono, realizando esse cálculo para todos os polígonos de mapa cadastral. A partir da informação do percentual das classes mapeadas, por polígonos, aplicou-se uma consulta a tabela do tipo “*identifica todos os polígonos com percentual de área agrícola maior ou igual a 80 % e que não pertençam à classe não amostral*”, para estabelecer os polígonos que pertenceriam aos diferentes estratos de uso do solo.

A área de estudo foi estratificada segundo a ocupação agrícola, obedecendo aos critérios adotados na PREVS para os estratos A (80% e mais de área cultivada), B (50% a 79% de área cultivada), o D (15% e 49% de área cultivada, com predominância de pastagens), o E (menos de 15% de área cultivada); o F (áreas não agrícolas) e G, (15%

e 49% de área cultivada, sem a predominância de pastagens), conforme estratificação realizada por Mueller *et al.* (1988). O estrato C não foi utilizado nesta pesquisa, pois batata inglesa não é uma variável de interesse.

Essa mesma metodologia foi adotada para estratificar a área do município de Cornélio Procópio, área selecionada para aplicar o modelo de estimativa de área em nível municipal. Todos os passos deste procedimentos podem ser observados no fluxograma da Figura 3.10.

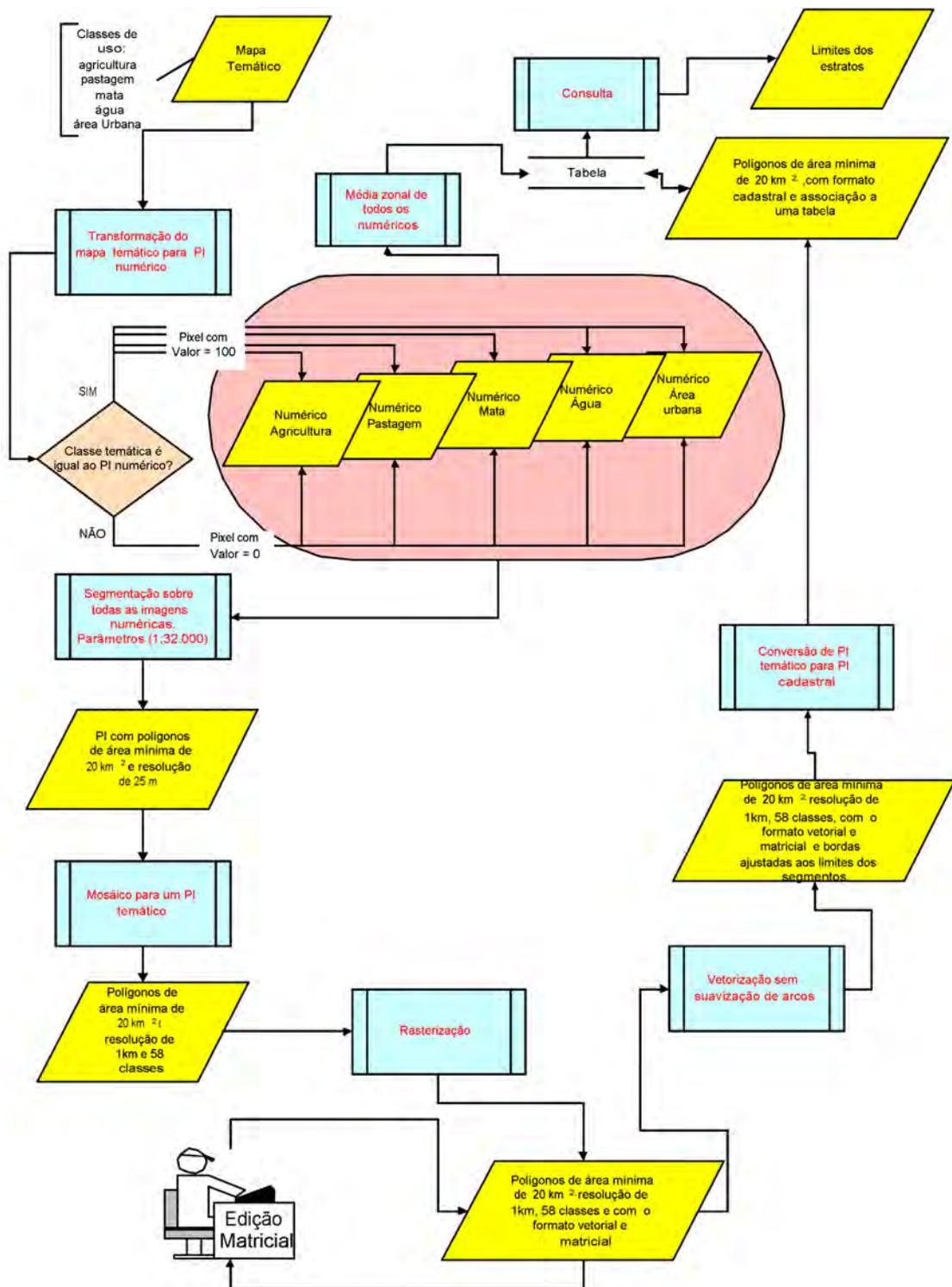


FIGURA 3.10 – Fluxograma demonstrando os procedimentos adotados para a criação dos estratos homogêneos de uso do solo.

3.3.4 Procedimento para Amostragem de Área

Uma vez realizada a estratificação da área, tanto para a região quanto para o município de Cornélio Procópio, a etapa seguinte foi a seleção dos segmentos para compor as subamostras para cada estrato e o somatório dessas subamostras resultou na amostra total para a área de estudo.

Foi estabelecido que o tamanho dos segmentos seria de 1,0 km x 1,0 km, portanto, gerou-se uma grade regular com essas dimensões por meio de um algoritmo em LEGAL (APÊNDICE C), na forma matricial, compatível com os limites dos estratos gerados na etapa anterior. Assim, garantiu-se que, se um segmento sorteado caísse nas bordas do estrato, ele estaria integralmente dentro do referido estrato, conforme recomendou Gallego (1995).

Os polígonos gerados a partir dessa grade foram vetorizados e exportados para o *shapefile* e, posteriormente, importados para o SPRING em uma categoria cadastral, pois esta é a maneira mais rápida para transformar um temático em um cadastral. Entretanto, após o procedimento é necessário criar topologia no arquivo, garantindo assim a integridade dos dados (Rigaux *et al.*, 2000).

O tamanho da amostra de área foi obtido em cada estrato de uso do solo, exceto no estrato constituído por áreas urbanas, corpos d'água, parques, etc, que não faz parte do esquema de amostragem (estrato F). Assim, para separar as unidades amostrais por estrato realizou-se, no PI cadastral, consulta espacial observando as condições topológicas descritas em Rigaux *et al.* (2000). Para separar as unidades amostrais, primeiro realizou-se uma consulta espacial com a operação topológica “*cobre*”. Por meio desse relacionamento espacial foi possível selecionar todos segmentos contidos dentro do estrato, que não tocavam na linha do polígono do estrato. Para selecionar os segmentos que tinham como limite a linha do estrato, adicionou-se à consulta anterior, a operação topológica “*toca*” pelo lado interno do polígono. Desta forma fez-se a seleção de todas as unidades amostrais contidas por cada estrato do painel de amostra. O resultado dessa seleção deu origem a novos PI's, um para cada estrato, o que permitiu

exportar os objetos ligados a essas unidades para um arquivo no formato ASCII, com todos os identificadores da unidade amostral (Figura 3.11).

No fluxograma da Figura 3.11 pode ser visto a seqüência metodológica empregada no procedimento de seleção das subamostras que compõem a amostra de área para ser visitada no campo.

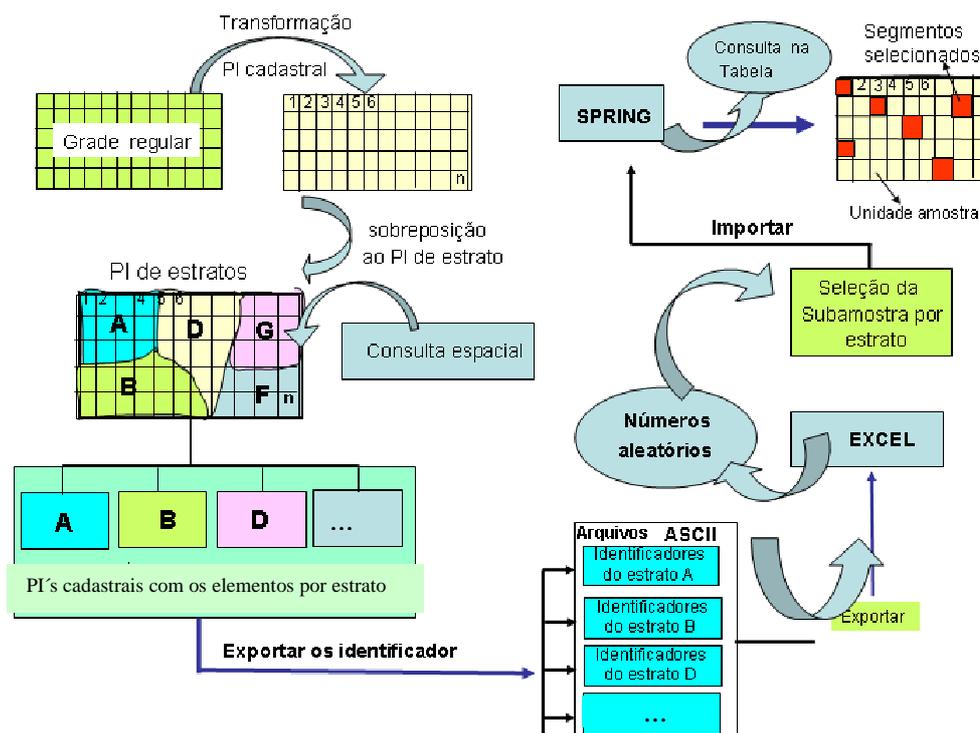


FIGURA 3.11 – Fluxograma para a criação e sorteio dos segmentos.

Para determinar o tamanho da amostra de área tanto na região quanto no município, a idéia inicial era usar a Equação 3.1, proposta por Hansen *et al.* (1953); Sukhatme e Sukhatme (1970) e Cochran (1977). Entretanto, optou-se por estabelecer uma amostra de área que correspondesse a um percentual próximo daquele usado na PREVS, para o Paraná e no Distrito Federal, ou seja, 0,5 e 5,0 %, respectivamente (FAO, 1998). Assim, estabeleceu-se um tamanho de amostra para a região de 80 segmentos e de 35 para o município, que correspondeu a 1,23% e 5,4 %, respectivamente. Desta forma, o esquema de amostragem ficou muito parecido com o da PREVS, visto que foi a idéia dessa pesquisa informatizar a metodologia existente e modificar apenas alguns critérios

adotados na PREVS, como forma, tamanho dos segmentos, suprimir a delimitação das UPA's (Unidades Primárias de Amostragem).

$$n = \frac{(z_{\alpha/2})^2 pq}{E^2} \quad (3.1)$$

sendo:

n = o número total de elementos a ser amostrado;

z = representa a distribuição normal padronizada;

$\alpha/2$ = o nível de significância;

p = o percentual de uso do solo utilizado para a agricultura;

q = o percentual da área utilizado para outros fins (1 -p);

E = o erro esperado para a estimativa.

Para determinar o tamanho das subamostras, em cada estrato, empregou-se a Equação 3.2.

$$n_h = \frac{N_h S_h / \sqrt{c_h}}{\sum^L (N_h S_h / \sqrt{c_h})} n \quad (3.2)$$

sendo:

n_h = o número de elementos a ser amostrado, no estrato;

N_{hi} = o número total de elementos do estrato;

N_h = o número total de elementos do estrato após a ponderação pela área agrícola;

c_h = o custo da amostragem no estrato;

L = o número de estratos

n = o número total de elementos a ser amostrado.

O número de unidades amostrais por estrato, para a região e para o município, pode ser observado na Tabela 3.4 e na Tabela 3.5.

TABELA 3.4 – Definição de N_h por estrato e percentual do uso do solo para agricultura, para a região.

Estrato	N_{hi} inicial	Percentual do uso para agricultura (p_h)	N_h	c_h
Estrato A	1.416,00	0,90	1302,72	1,1111111111
Estrato B	1.432,00	0,77	988,08	1,298701299
Estrato D	2.919,00	0,45	1430,31	2,2222222222
Estrato E	1.404,00	0,18	252,72	5,5555555556
Estrato F	365,00	0,00	0,00	0,0000000000
Estrato G	28,00	0,45	12,60	2,2222222222
Total	7.564,00			

TABELA 3.5 – Definição de N_h por estrato e percentual do uso do solo para agricultura, para o município de Cornélio Procópio.

Estrato	N_{hi} inicial	Percentual do uso para agricultura (p_h)	N_h	c_h
Estrato B	304,00	0,78	237,12	1,282051282
Estrato D	336,00	0,38	114,24	2,941176471
Estrato F	13,00	0,00	0,00	0,0000000000
Total	653,00			

O custo de amostragem é um parâmetro estimado em função do percentual de uso do solo utilizado pela variável de interesse, no caso área agrícola. Esse valor foi obtido pela Equação 3.3, cujos resultados para a região e município podem ser observados na Tabela 3.4 e na Tabela 3.5, respectivamente.

$$c_h = \frac{1}{p_h} \quad (3.3)$$

onde em que:

c_h = o custo da amostragem no estrato;

p_h = percentual de uso do solo do estrato para a agricultura.

O desvio padrão do estrato foi calculado com base no percentual médio de uso do solo para agricultura, através da Equação 3.4,

$$S_h = \sqrt{\frac{p_h q_h}{N_h}} \quad (3.4)$$

onde em que:

c_h = o custo da amostragem no estrato;

p_h = o percentual da área do estrato utilizado para agricultura (Tabela 3.4 e Tabela 3.5);

q_h = o percentual da área do estrato utilizado para outros fins ($1 - p_h$);

N_h = o número total de elementos do estrato.

Uma vez definido o número de segmentos a serem sorteados, por subamostra, o passo seguinte foi importar os arquivos gerados pelo SPRING no formato ASCII para o *software* EXCEL e numerar de um a N, de forma seqüencial, todas as unidades amostrais dentro de cada um dos estratos. Com essa numeração pôde-se gerar números aleatórios, por meio da função geradora de números aleatórios (ALEATORIOENTRE (NÚMERO INFERIOR, NÚMERO SUPERIOR)), do *software* Excel para proceder ao sorteio do número de segmento de cada subamostra.

A quantidade de números aleatórios a ser gerada foi definida pelo número de células da planilha com a função geradora de números aleatórios. Na aplicação desta função é necessário tomar o cuidado de copiar os números gerados após cada sorteio, pois a cada mudança que ocorra na planilha, o *software* gera novos números, substituindo os anteriores. Os segmentos sorteados foram identificados na planilha com o caractere “S” e os demais pela letra “N”. Após o sorteio e identificação dos segmentos, criou-se na

tabela do banco de dados do SPRING, que contém as informações dos segmentos, uma coluna para inserir os caracteres indicadores (*S* ou *N*) (APÊNDICE H). A inserção dos caracteres *S* e *N* nesta coluna foi realizada por meio da importação do arquivo em ASCII gerado pelo Excel. Realizada esta atualização do arquivo, procedeu-se a uma consulta que serviu para o SPRING selecionar todos os segmentos sorteados do mesmo estrato. A partir do resultado dessa consulta, criou-se novos PI's, um por estrato, contendo apenas os segmentos sorteados.

3.3.5 Impressão dos Segmentos e Coleta de Dados

Para coletar dados sobre o tipo de ocupação do solo dentro de cada segmento no campo, houve a necessidade de dispor de um material impresso, originado de imagens do Landsat-7/ETM⁺, contendo os limites dos segmentos, devidamente georreferenciados e numa escala adequada.

As imagens do Landsat deveriam ser, de preferência, as mais recentes possíveis para que a maioria das feições de uso da terra observadas nessas imagens estivessem presentes no campo, no momento de coleta de dados. Assim, utilizaram-se as imagens do dia 21/06/2002 e 28/06/2002 referentes às órbitas/ponto 221/76 e 222/76, respectivamente. Mesmo sendo de um período antes do ciclo das culturas de milho e soja, estas imagens foram muito úteis porque a maioria dos limites de ocupação do solo permaneceu na área sem alteração.

Para processar estas imagens, foi criado um projeto, sem projeção, no mesmo banco de dados. Neste projeto foram importadas, equalizadas e mosaicadas, as imagens referidas acima. Após o mosaico realizou-se o procedimento de restauração, transformando o *pixel* das bandas multiespectrais de 30m por 30m para 10m por 10m e os *pixels* da banda pancromática de 15m por 15m para 5m por 5m com o intuito de melhorar a definição do elemento no momento da impressão dos segmentos (Fonseca, 1988).

Devido à restauração, a banda pancromática apresentou grande variação nos níveis de cinza dos seus *pixels*. Desta forma, fez-se necessário passar um filtro de média 3X3 para

equalizar os mesmos (Schowengerdt, 1997; Lillesand e Kiefer, 1999; Mather, 1999; Gonzáles e Woods, 2000).

Depois da filtragem, realizou-se o procedimento de transformação *IHS*, conforme descrita por Schetselaar (1998), Mather (1999), Gonzáles e Woods (2000) e Tu *et al.* (2001). Neste procedimento foram usadas as bandas 3, 4, 5 e 7 nas seguintes combinações *RGB*: 4,5,3; 5,4,3 e 4,5,7. Para cada uma destas combinações foi realizada uma transformação *IHS*. Para cada transformação *IHS* igualou-se a média e a variância da banda pancromática com a banda *I*, para retornar ao *RGB* (Schetselaar, 1998; Mather, 1999; Gonzáles e Woods, 2000; Tu *et al.*, 2001). Com isto, obteve-se imagens com *pixel* de 5 metros, o que possibilitou a impressão dos segmentos com uma escala de 1:25.000.

Essas diferentes combinações de *RGB* foram propositais, uma vez que a área de estudo é bastante heterogênea em termos de relevo, tipo de solo e outras condições, o que acarretou variações no comportamento espectral dos alvos. Assim, para cada segmento foi utilizado como imagem de fundo, uma das três transformações *IHS*. A escolha de qual transformação seria utilizada como fundo, dependeu da nitidez observada para certos elementos da paisagem, tais como: estradas, drenagem, relevo e outros.

Essa seqüência metodológica pode ser visualizada na Figura 3.12.

Após o procedimento de restauração e *IHS*, as imagens resultantes foram registradas com as imagens utilizadas para a classificação.

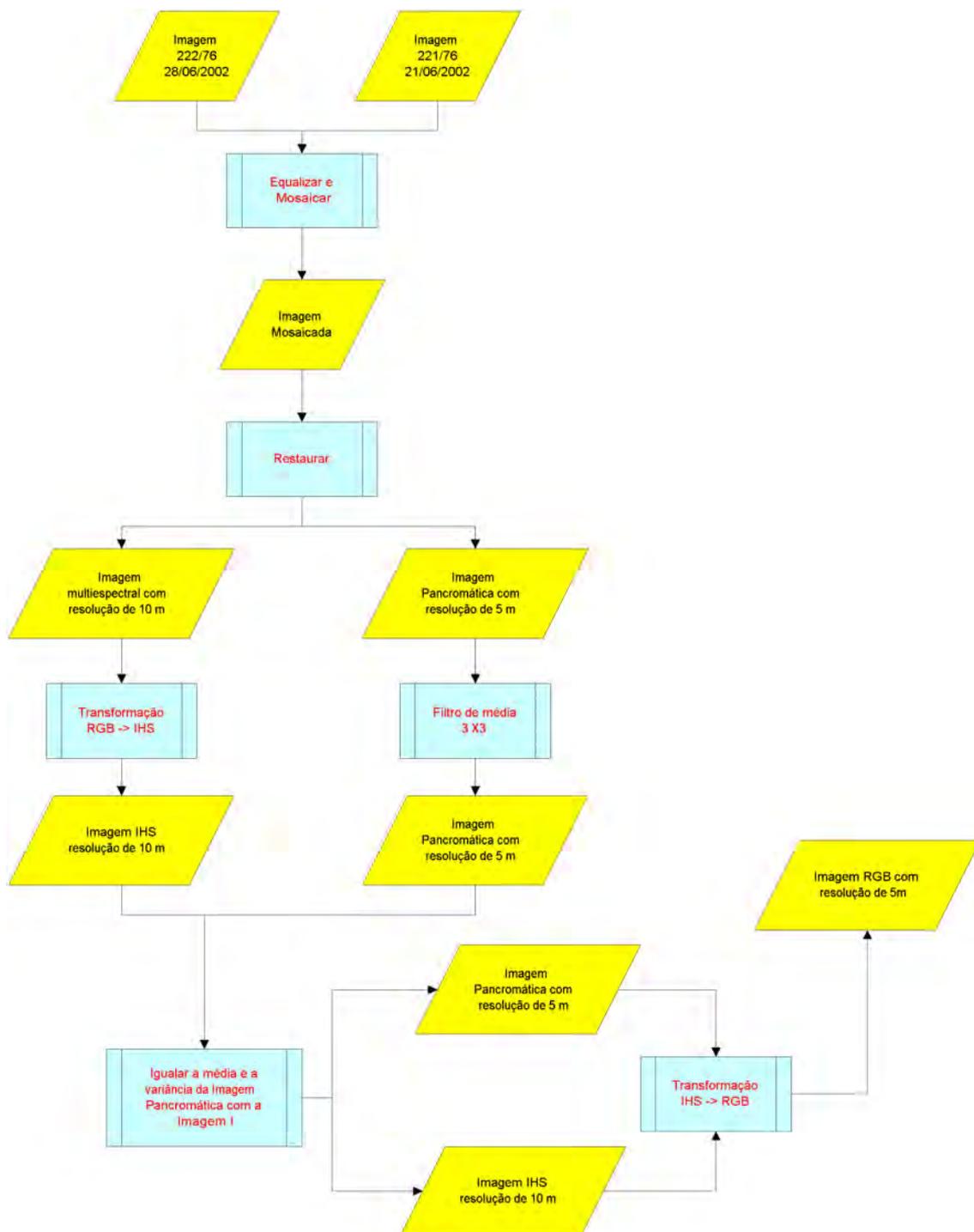


FIGURA 3.12 – Procedimento para restauração das imagens e *IHS*.

Após essa etapa, foram geradas as coordenadas de canto dos segmentos que serviu para identificá-los no campo pelo *GPS*. Para obter as coordenadas foi necessário exportar as

linhas dos segmentos sorteados para um arquivo em formato ASCII (APÊNDICES F e G).

Em seguida, o arquivo foi editado para transformá-lo num arquivo de pontos, de maneira que os valores dos pontos coincidissem com o início e final de cada vértice do segmento. Os pontos contidos nesse arquivo foram numerados de maneira sequencial e posteriormente, importados para o SPRING numa categoria cadastral, onde foram criados os elementos pontos e objetos associados aos mesmos.

Na tabela foram criadas duas novas colunas, X e Y, nas quais foram armazenados os valores das coordenadas, em metro, de cada ponto sorteado. Com essa informação armazenada no banco de dados, gerou-se o texto, referente às coordenadas planas para torná-las visível nos cantos de cada segmento. É importante ressaltar que o texto gerado inicialmente foi referente à coordenada X, sem nenhum deslocamento e com tamanho 6 milímetros. Para gerar o texto referente à coordenada Y, tomou-se o cuidado de colocar o mesmo tamanho e, no menu de geração de texto, acionar a opção de adicionar ao PI, dar um deslocamento de 2 milímetros à direita e 2 milímetros ao topo, para evitar a sobreposição das informações.

Uma vez identificadas as coordenadas de vértices de cada segmento, essa informação foi sobreposta à imagem colorida do Landsat-7/ETM⁺, das datas de 21/06/2002 e 28/06/2002 resultantes da restauração e transformação por *IHS*. Utilizou-se do módulo SCARTA do SPRING para confeccionar os módulos para o trabalho de campo, na escala 1:25.000, em que foram inseridos também dados do identificador (Geoid), município, X1, X2, Y1 e Y2 (valores das coordenadas em metro), escala e orientação.

Após a geração de cada um dos arquivos, correspondentes aos segmentos sorteados para a **REGIÃO** e para o **MUNICÍPIO**, realizou-se a exportação dos mesmos para o formato *PostScript*, que é o formato de impressão. Este procedimento foi realizado no módulo IPLOT do SPRING. Os arquivos no formato *PostScrip* foram exportados para o *software CorelDraw* o que permitiu enquadrar numa página A0, 16 segmentos para a impressão, que foram, posteriormente, individualizados, para o manuseio no campo. Desta forma, as fotografias aéreas utilizadas na PREVS foram substituídas por um

produto gerado a partir das imagens de satélites, obtidas em datas próximas ao trabalho de campo.

Sobre cada segmento foi colocado um *overlay*, transparência para retro projetor, o que permitiu desenhar os limites das áreas agrícolas dentro do segmento e de outros alvos de ocupação do solo, observados no campo.

Para ter uma visão geral da área de estudo referente à região foi plotada uma imagem na escala 1:90.000 com a localização e identificador de todos segmentos e limites dos municípios. Para a área referente ao município a escala da imagem foi de 1:50.000. Concomitantemente à impressão dos segmentos, realizou-se a impressão dos questionários que acompanhariam cada segmento. O modelo final desse questionário pode ser observado no APÊNDICE D.

O trabalho de campo para coleta de dados nos segmentos da amostra teve início no dia 29/10/2002 e terminou em 10/12/2002. Para localizar o segmento no campo e delimitar feições no terreno diferentes daquelas observadas na imagem, utilizou-se o *GPS XL12*, contendo na memória todos os centróides dos segmentos. Para realizar a transferência dos centróides dos segmentos para o aparelho foi necessária a exportação das linhas e dos identificadores de cada segmento, do *SPRING* para um arquivo em ASCII e importado para o programa *TRACKMAKER* (APÊNDICE E), que faz a comunicação entre o computador e o *GPS*.

Após definir qual local da região seria visitado num dado dia de campo, utilizava-se a função *NEAREST POINTS* do *GPS*, para obter informações de distância e o rumo do segmento mais próximo, evitando assim deslocamentos desnecessários. Vale ressaltar que antes de decidir qual segmento seria visitado é importante observar no mapa gerado com todos os segmentos, para localizar o melhor caminho para chegar até o segmento mais próximo. Definido o segmento mais próximo, acionava-se a função *GO TO*, que também indica o rumo, distância, ângulos e exibe na tela do *GPS* uma seta apontando para o local do segmento selecionado.

Uma vez identificado o local do segmento, o procedimento seguinte consistiu de um caminhamento para localizar os limites e, ao mesmo tempo, verificar feições no terreno perceptíveis na imagem, para facilitar o processo de delimitação da área desse alvo sobre o *overlay*. Em caso de divergência, os limites dos alvos foram traçados por meio de registro das coordenadas de pontos coletados com o *GPS*, ao longo do perímetro de cada alvo, ou seja, por meio de caminhamento. Esses pontos, ao findar o trabalho do dia, eram descarregados no computador, através do programa TRACKMAKER, depois exportados para o formato ASCII, sendo posteriormente importados para o SPRING (APÊNDICE F). Para cada alvos de ocupação do solo dentro do segmento, fez-se uma descrição detalhada no questionário de campo (APÊNDICE D).

Os polígonos delimitados no segmento, referentes aos diferentes alvos, foram identificados por números arábicos e transcritos para o questionário, onde foram feitas anotações sobre o tipo de alvo, ponto inicial, ponto final e outras informações. Convém ressaltar que, após o término da coleta de dados do segmento, o ponto contendo o centróide do mesmo foi eliminado do arquivo no *GPS*.

Um procedimento adotado nessa pesquisa e que foi de extrema importância, refere-se ao armazenamento diário dos dados coletados nos segmentos, após o retorno do campo. Isso permitiu fazer a avaliação da qualidade dos dados quase em tempo real. Esse procedimento consistiu em digitalizar os limites de cada feição delimitada no *overlay* e importar os pontos obtidos pelo *GPS* para o banco de dados do SPRING.

3.3.6 Classificação de Imagens Landsat-7/ETM⁺ Obtidas Durante o Ciclo das Culturas de Café, Milho e Soja para Fornecer Parâmetros de Entrada para a Estimativa de Área por meio da Regressão

Para testar o estimador por regressão optou-se em utilizar como área de estudo apenas o município. Mesmo assim, a estimativa de área das culturas de soja e milho só foi possível de ser realizada em parte do estrato B, devido à presença de nuvens no restante do município. Esse fato não foi prejudicial para testar o modelo, uma vez que Day (2002) comenta que para utilizar o modelo de regressão é necessário que a amostra de

área tenha um número mínimo de 10 segmentos. Esse critério foi satisfeito no caso do estrato B.

No caso do café, por ser uma cultura perene pôde-se aplicar o modelo para todo o município uma vez que foi utilizada uma imagem livre de cobertura de nuvens, obtida em novembro.

Para obter os dados de áreas das culturas dentro dos segmentos e para toda a área considerada, isto é, o estrato B e o município, foi necessário realizar uma classificação das imagens do Landsat, obtidas em datas em que as culturas encontravam-se no campo. Com esse intuito, utilizou-se a imagem de 03/11/2002 para obter a área cultivada com café e outra de 07/02/2003, para obter a área cultivada com milho e soja. Foi realizada a classificação não-supervisionada seguida de uma edição matricial, em que foi aplicada a metodologia descrita por Crepani *et al.* (2001).

A cultura do café, que na região apresentou muita confusão de resposta espectral com outros alvos de ocupação do solo, foi mapeada basicamente pelo procedimento de edição matricial, após ser realizado uma classificação não-supervisionada para gerar um mapa temático no qual foi feita a edição. Nesse mapeamento houve muita necessidade de trabalho de campo, talvez pela pouca expressividade dessa cultura em relação a outros alvos. A edição matricial foi realizada utilizando como imagem de fundo a combinação das bandas 4 (*R*), 5 (*G*) e 3 (*B*) da imagem de 03/11/2002.

Com relação à classificação temática para obter os dados referentes às culturas de soja e milho, primeiramente criou-se uma máscara que visava abranger a área coberta com nuvens. Após este procedimento, observou-se que o número de segmentos pertencentes ao estrato D era menor que o recomendado por Day (2002). Desta forma, a máscara abrangeu todo o estrato D e parte do estrato B. Então, classificou-se apenas parte do estrato B, denominado B', com as culturas de soja e milho.

3.3.7 Procedimentos Utilizados para Inserir, Extrair e Expandir os Dados

3.3.7.1 Expansão Direta

O procedimento utilizado para inserir os dados coletados no campo, referentes aos segmentos no banco de dados, foi realizado basicamente de duas formas. A primeira consistiu na digitalização dos limites das variáveis identificáveis no segmento e a associação de cada polígono à sua classe. A segunda refere-se à importação dos limites dos polígonos das variáveis não identificáveis na imagem utilizada para a coleta de dados no campo, obtidos por meio de caminhamento. Esses limites foram armazenados na memória do *GPS* e, através do *software* TRACKMAKER, os pontos coletados foram exportados para um arquivo em formato ASCII (APÊNDICE E) e importados para o *software* SPRING. Cabe ressaltar que para cada estrato foi criado um PI.

A extração dos dados a serem empregados na expansão direta foi realizada através de tabulação cruzada, procedimento implementado no *software* SPRING. Para realizar a tabulação cruzada foi necessário exportar todos os segmentos sorteados por estrato, do PI cadastral para um PI temático. No PI temático, associou-se cada segmento a uma classe diferente, para individualizá-los. É necessário que os dois PI's, o que contém as informações de campo e o que contém as informações de qual segmento se refere, estejam com dados matriciais e com a mesma resolução espacial.

Este procedimento, tendo como PI ativo o que contém os segmentos sorteados e o PI de intersecção o dos dados coletados no campo, resulta em uma tabela contendo o número de *pixels*, a área em km^2 e em ha por segmento, de cada uma das variáveis pesquisadas, que foi arquivada em formato ASCII.

Após realizar este procedimento para todos os estratos, importaram-se os resultados para o *software* Excel, onde foram utilizados os dados de área em km^2 por variável e por estrato e neles foram aplicadas as equações descritas por Hansen *et al.* (1953), Cochran (1977), Krug e Yanasse (1986), Mueller *et al.* (1988), Allen (1990) e Gonzáles-Alonso *et al.* (1997) para o cálculo do estimador por expansão direta. Estas equações estão descritas na seção 2.4.2.

Os procedimentos adotados para extrair os dados podem ser observados no fluxograma da Figura 3.13.

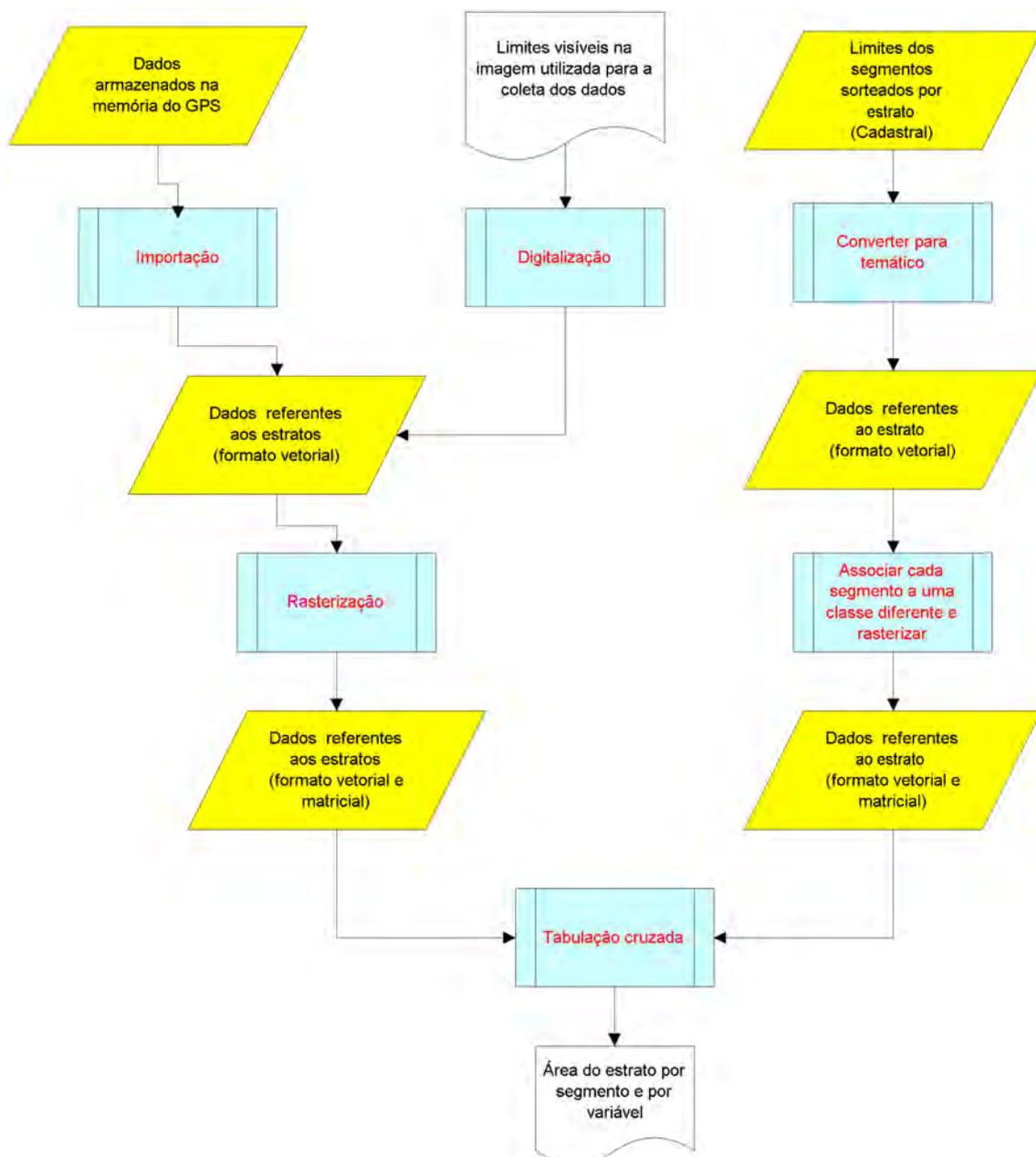


FIGURA 3.13 – Procedimento para obter os resultados referentes a expansão direta.

3.3.7.2 Regressão

Para a estimativa de área de café por meio do estimador por regressão foi necessário, além dos procedimentos descritos no tópico acima, realizar uma classificação temática da área de estudo de maneira a obter a área cultivada com café. Novamente, através da

tabulação cruzada, obtiveram-se os dados referentes ao número de *pixels* classificados com café, por segmento e por estrato, no município, além disto, obteve-se também o número total de *pixels* classificados com café no segmento. Estes dados foram importados para o *software* Excel para o cálculo do estimador por regressão, descrito na seção 2.4.3 (Hansen *et al.*, 1953; Cochran, 1977; Krug e Yanasse, 1986; Gonzáles-Alonso *et al.*, 1997; FAO, 1998; Day, 2002).

Os procedimentos para o cálculo da expansão com o estimador por regressão, para as variáveis milho e soja seguiram os mesmos preceitos acima descritos, com exceção da necessidade de uma nova re-estratificação, dado que parte do estrato B e parte do estrato D estava coberto por nuvem. Desta forma, surgiram dois novos estratos, estrato B com nuvem e estrato B sem nuvem, nomeados de B e B', respectivamente (Hansen *et al.*, 1953; Cochran, 1977; Krug e Yanasse, 1986; Gonzáles-Alonso *et al.*, 1997; FAO, 1998; Day, 2002). Com relação ao estrato D, devido ao mesmo não possuir o número de segmentos livres de nuvens suficientes para o cálculo da regressão, o mesmo foi considerado como sendo totalmente coberto por nuvem.

3.3.8 Caracterização das Variáveis Usadas na Pesquisa

Embora seja o objetivo da pesquisa estimar a área das culturas do café, milho e soja, durante o trabalho de campo também foram coletadas dados de áreas de outros alvos de ocupação do solo. A descrição dessas variáveis é dada a seguir:

- a) Café – área da amostra, em km^2 , que no momento da coleta de dados estava ocupada pela cultura do café ou preparada para o seu cultivo;
- b) Milho – área da amostra, em km^2 , que no momento da coleta de dados achava-se ocupada pela cultura do milho ou em preparo para seu cultivo;
- c) Soja – área da amostra, em km^2 , que no momento da coleta de dados encontrava-se ocupada pela cultura da soja ou em preparo para seu cultivo;

- d) Pastagem – área da amostra, em km^2 , que no momento da coleta de dados tinha como ocupação pastagens nativas ou implantadas, campos ou qualquer outra vegetação utilizada para alimentação de gado bovino;
- e) Mata – área da amostra, em km^2 , que no momento da coleta de dados ocupada por matas, florestas, reservas florestais podendo ser nativas ou implantadas;
- f) Outros usos agrícolas – área da amostra, em km^2 , que no momento da coleta de dados achava-se ocupada por outras culturas agrícolas que não eram café, milho ou soja, ou em preparo para a implantação destas outras culturas;
- g) Não agropecuário – área da amostra, em km^2 , que no momento da coleta de dados estava ocupada com outros fins, não vinculados à agropecuária;

3.3.9 Estimativa de Custos para a Realização da Pesquisa

Foi realizado o custo variável da pesquisa, o que significa que não se levaram em considerações os fatores depreciação e remuneração de capital.

Para a obtenção dos valores gastos, relativos a quilometragem, tomou-se nota do tempo gasto para a realização de cada tarefa bem como da quilometragem e do combustível gasto para realização do trabalho de campo. Assim, o valor gasto por quilômetro rodado foi resultado da soma do combustível gasto acrescido de 30% do valor. Essa compensação foi realizada a fim de dar margem para manutenção do veículo, tais como troca de óleo e pneus.

Os materiais de escritório: papel, canetas e transparências tiveram seu valor estimado em R\$ 300,00. Esse valor inclui também o custo de plotagem do material de campo.

Os materiais permanentes: *GPS* e Microcomputador tiveram o seu valor original divididos por quatro, pois se espera que os mesmos sejam úteis a mais quatro pesquisas.

Contabilizou-se a quantidade de imagens necessárias para a execução do trabalho a um custo de R\$ 1.100,00 por cada imagem.

O item coleta de dados no campo correspondeu ao tempo total gasto para realizar esta tarefa. Foi composto pelo somatório dos dias que foram efetivamente trabalhados e os dias em que ocorreram chuvas, em que não foi possível sair a campo para coleta dos dados. Para o cálculo adotou-se o seguinte critério: Para os dias que não foram realizadas saídas a campo, computou-se oito horas. Nos dias em que foi possível sair a campo, anotou-se a hora de saída e de retorno. Nessa situação, se o tempo de permanência no campo fosse maior do que oito horas, prevalecia o tempo gasto no campo. Caso contrário, o tempo mínimo era de oito horas, o que corresponde a um dia de trabalho. Durante o período, foram gastos 17 dias para realizar a coleta de dados no campo. Estabeleceu-se como remuneração um salário médio de R\$ 1.200,00 por mês, incluindo diárias.

Para os itens classificação, estratificação e amostragem, impressão, digitalização e expansão dos dados estabeleceu-se um salário base de R\$ 1.700,00 por mês.

Com estes valores, realizou-se uma estimativa de custo para expandir essa pesquisa para todo o estado do Paraná. Para tanto, é necessário fazer algumas modificações, tais como o número de imagens, de computadores e GPS necessários. Considerando que essa pesquisa foi realizada em um núcleo regional (4% da área estadual) e que no estado há 20 núcleos regionais, o custo total para implantar o modelo, para o estado seria acrescido pelo custo de 16 cenas do Landsat, de 20 computadores e 20 GPS (um computador e um GPS para cada núcleo). Os demais valores tiveram um aumento proporcional à área.

Estimou-se também, um custo para os próximos três anos após a implantação da pesquisa. No custo estimado ano a ano, para realizar a pesquisa no estado, não foram computadas certas atividades relacionadas com a criação do painel de amostra, tais como: os custos de classificação das imagens, estratificação, alocação de amostras e impressão do material de campo, uma vez que essas atividades já foram realizadas no primeiro ano da pesquisa.

Também ocorreu redução na necessidade de imagens, pois só foi estimado o número de imagens necessárias para a estimativa por regressão. Os demais valores permaneceram inalterados.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estratificação da Área de Estudo

Para estratificar a área de estudo segundo a ocupação agrícola fez-se uma classificação não-supervisionada, por meio do classificador ISOSEG, cujos resultados são mostrados na Tabela 4.1 e Tabela 4.2 e na Figura 4.1 e Figura 4.2.

TABELA 4.1 – Resultado do mapeamento temático para a região.

Tema	Área (km ²)	%
Corpos d'água	263,20	3,51
Mata	1.110,37	14,83
Pastagem	2.928,72	39,12
Solo exposto	2.958,93	39,52
Agricultura	175,09	2,34
Área urbana	50,07	0,68
Área total	7.486,38	100,00

TABELA 4.2 – Resultado do mapeamento temático para o município.

Tema	Área (km ²)	%
Corpos d'água	10,47	1,60
Mata	95,82	14,71
Pastagem	245,38	37,65
Solo exposto	270,93	41,57
Agricultura	18,49	2,83
Área urbana	10,67	1,64
Área total	651,76	100,00

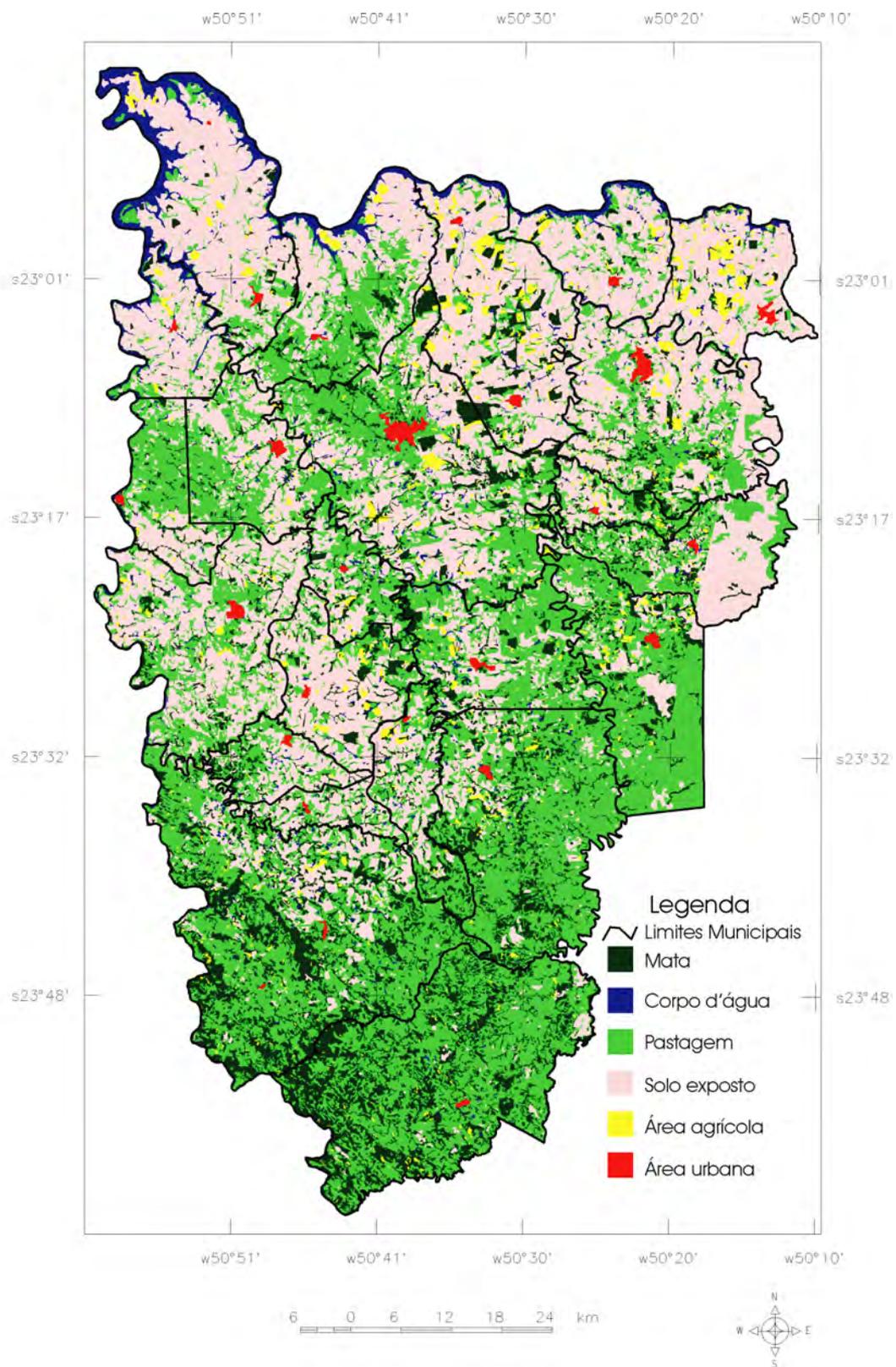


FIGURA 4.1 – Resultado da classificação para a região.

Nota-se na Figura 4.2 que as regiões noroeste e sudeste do município são predominantemente dedicadas a pecuária. Pode-se observar também que existem poucas áreas ocupadas com matas e a ocupação com fim agrícola se distribui no restante da área.

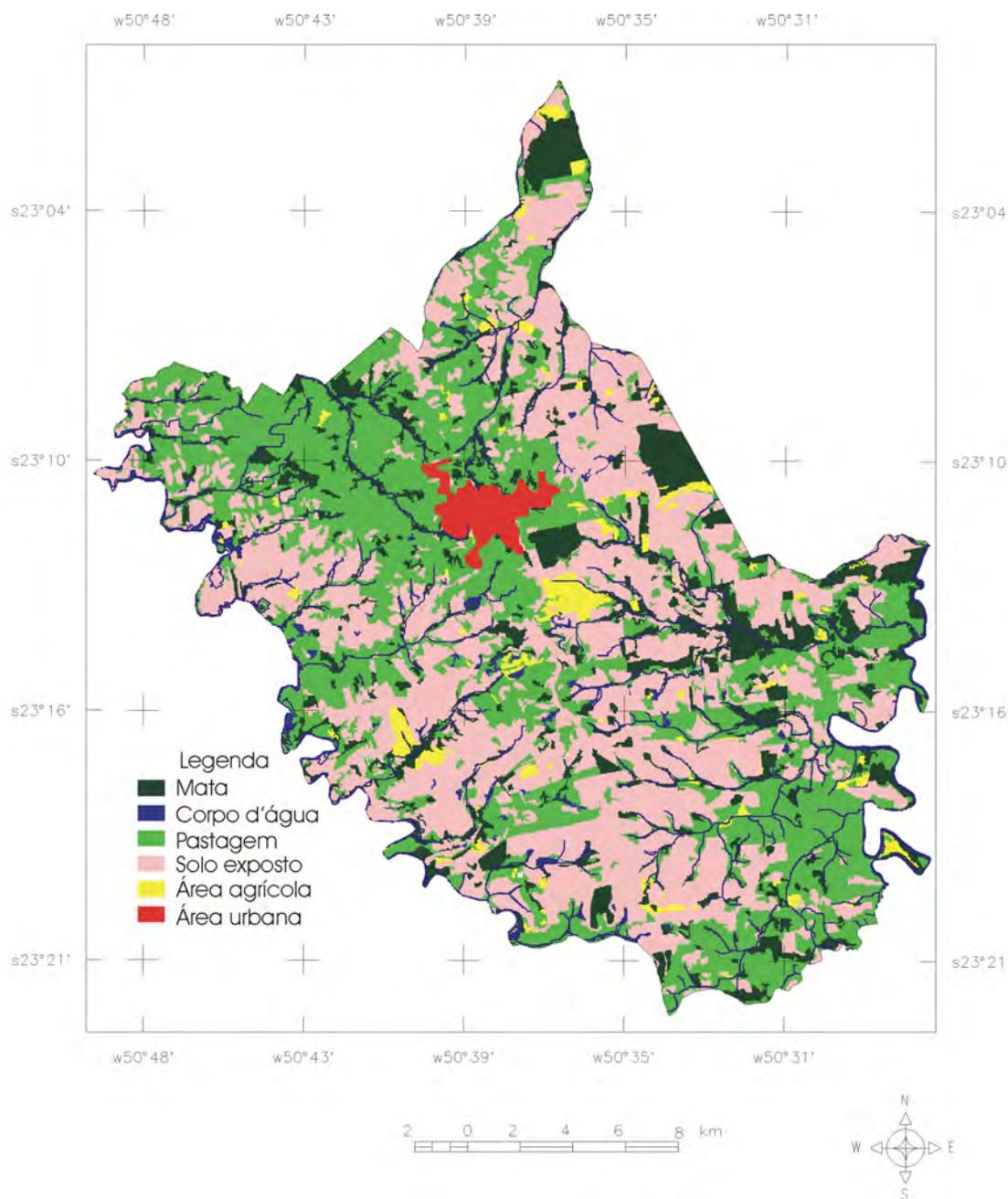


FIGURA 4.2 – Resultado da classificação para o município.

Observa-se nos resultados da Tabela 4.1 e Tabela 4.2 que a classe solo exposto foi a de maior expressão, tanto para a região quanto para o município, com 39,5% e 41,6%, respectivamente. Esse resultado pode ser explicado uma vez que a imagem utilizada para a estratificação foi obtida na época de preparo do solo para plantio. Outra classe de grande expressão na área de estudo foi à pastagem.

Somando as áreas das classes agricultura e solo exposto (solo preparado para plantio), contidos na Tabela 4.1, resulta-se num total de 3.134,0 km². Esse resultado difere em 2,4%, quando comparado com a área agrícola estimada por PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b) para o mesmo ano agrícola (3.211,29 km²). No caso do município (Tabela 4.2), as diferenças observadas nos resultados da classificação (289,41 km²) com as informações do PARANÁ.SEAB/DERAL (336,39 km²) foi de 16,4%. Essa diferença pode ser atribuída ao método de extração de informações. A coleta de dados feita pelos técnicos do DERAL, apesar de ser do tipo censo, é uma abordagem subjetiva e sujeita a erros. Por outro lado, os resultados da classificação embora sejam mais objetivos, podem proporcionar algum tipo de erro associado aos limites dos talhões no ato de edição matricial. Além do que, observa-se que com a redução da escala, de municipal para regional, a diferença tende a diminuir.

Nota-se também nos resultados da Tabela 4.1 e Tabela 4.2 que o percentual de área ocupada com a classe mata foi em torno de 15%, tanto para a REGIÃO como no MUNICÍPIO, demonstrando a alta antropização desta área.

É interessante ressaltar que ao classificar a área de estudo, observou-se uma relação entre o uso do solo e a localização. Por exemplo, na Figura 4.1 pode-se observar que ao norte da região há um alto índice de utilização do solo para a agricultura, enquanto que ao sul e sudeste da região há um alto índice de utilização do solo para a pecuária, o que está de acordo com o mapeamento das limitações dos usos dos solos do estado do Paraná por suscetibilidade a erosão (Ministério da Agricultura, 1981).

A aplicação da metodologia para estratificar a região de estudo, por meio do algoritmo de segmentação por crescimento de regiões, resultou na detecção de diversas regiões homogêneas. Entretanto, ao copiar o PI de polígonos para uma resolução de 1 km x 1

km, conforme Figura 4.3 e Figura 4.4, observou-se que as linhas das regiões homogêneas, delimitadas pelo segmentador, não coincidiram com os limites da grade gerada com 1 km de resolução que corresponde ao tamanho da unidade amostral.

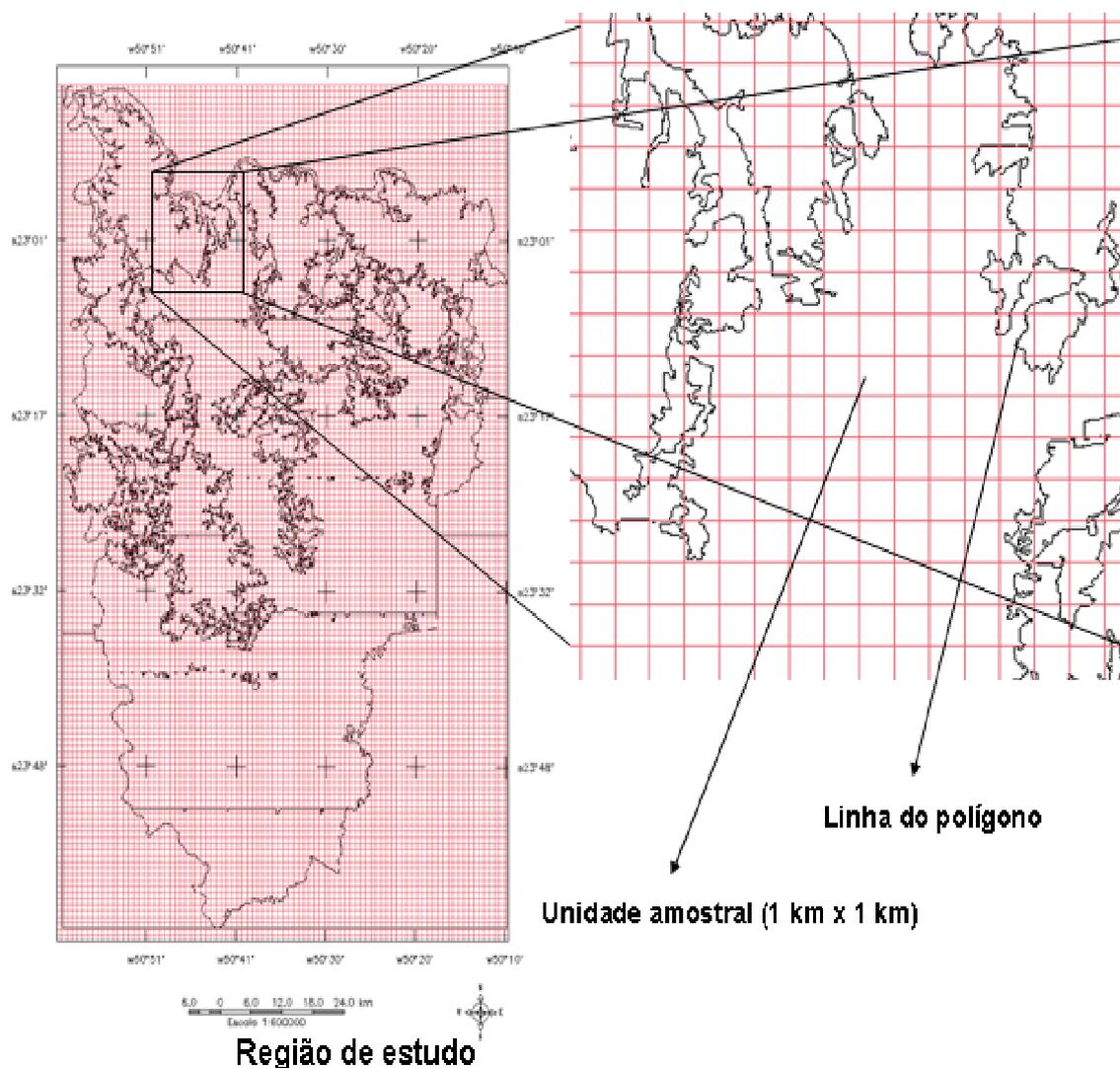
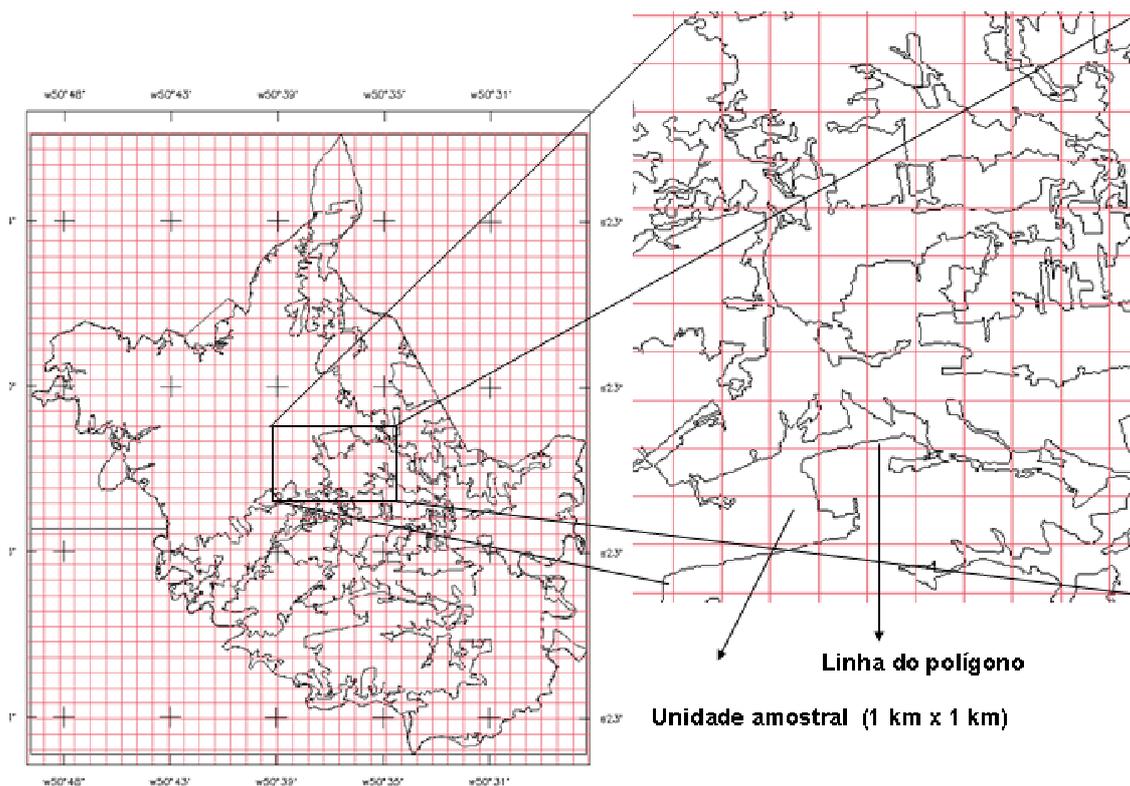


FIGURA 4.3 – Resultado da segmentação para a definição dos estratos de uso do solo na Região.



Município de Cornelio Procópio

FIGURA 4.4 – Resultado da segmentação para a definição dos estratos de uso do solo no Município.

Para contornar este problema, seguiu-se as recomendações de Gallego (1995) e Pradhan (2001) de ajustar os limites do polígono ao limite da unidade amostral. O ajuste da borda dos estratos aos limites dos segmentos foi realizado conforme descrito no tópico 3.3.3. Após esse ajuste obteve-se os limites dos polígonos ajustados aos limites das amostras, conforme são mostrados na Figura 4.5 e Figura 4.6.

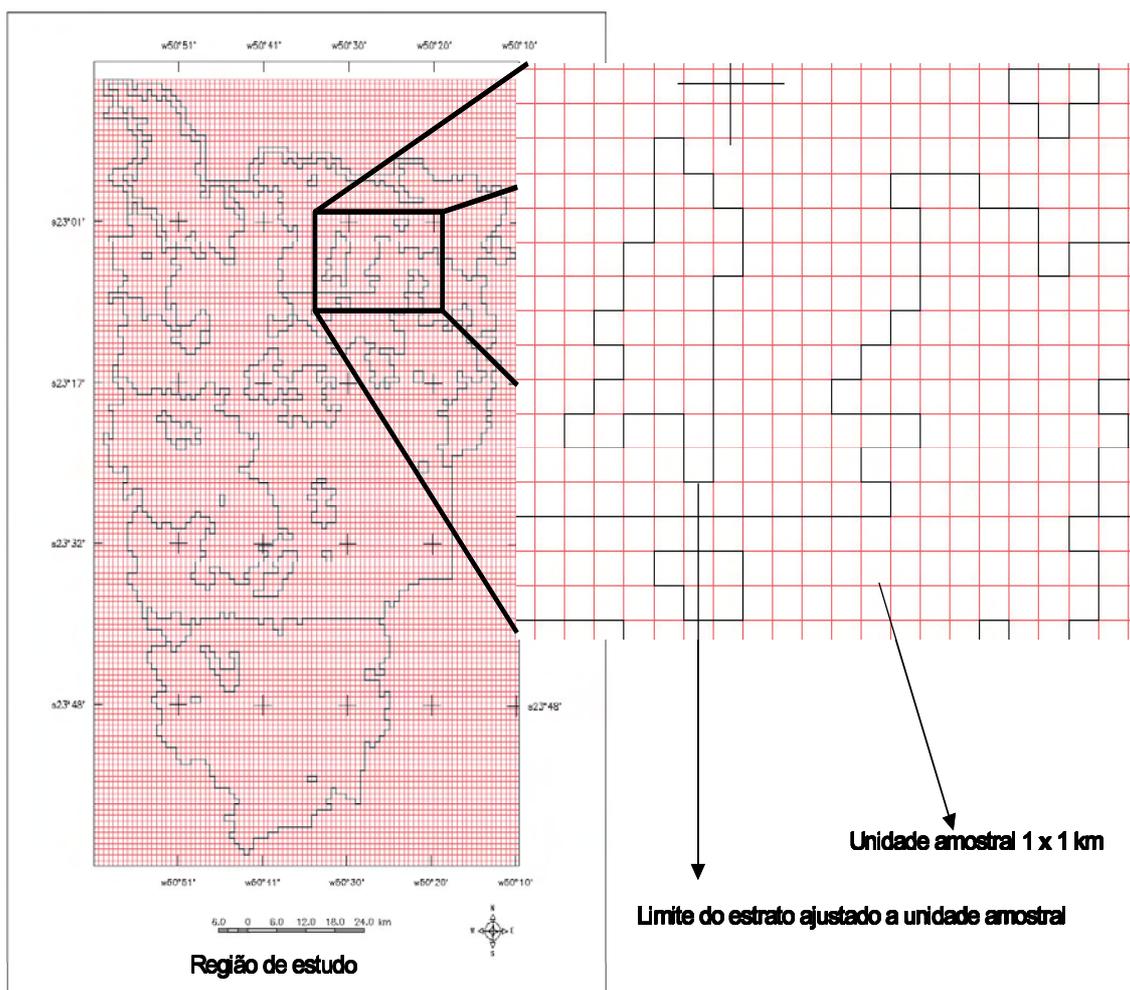


FIGURA 4.5 – Resultado do ajuste dos polígonos obtidos pela segmentação aos limites das unidades amostrais para a região em estudo.

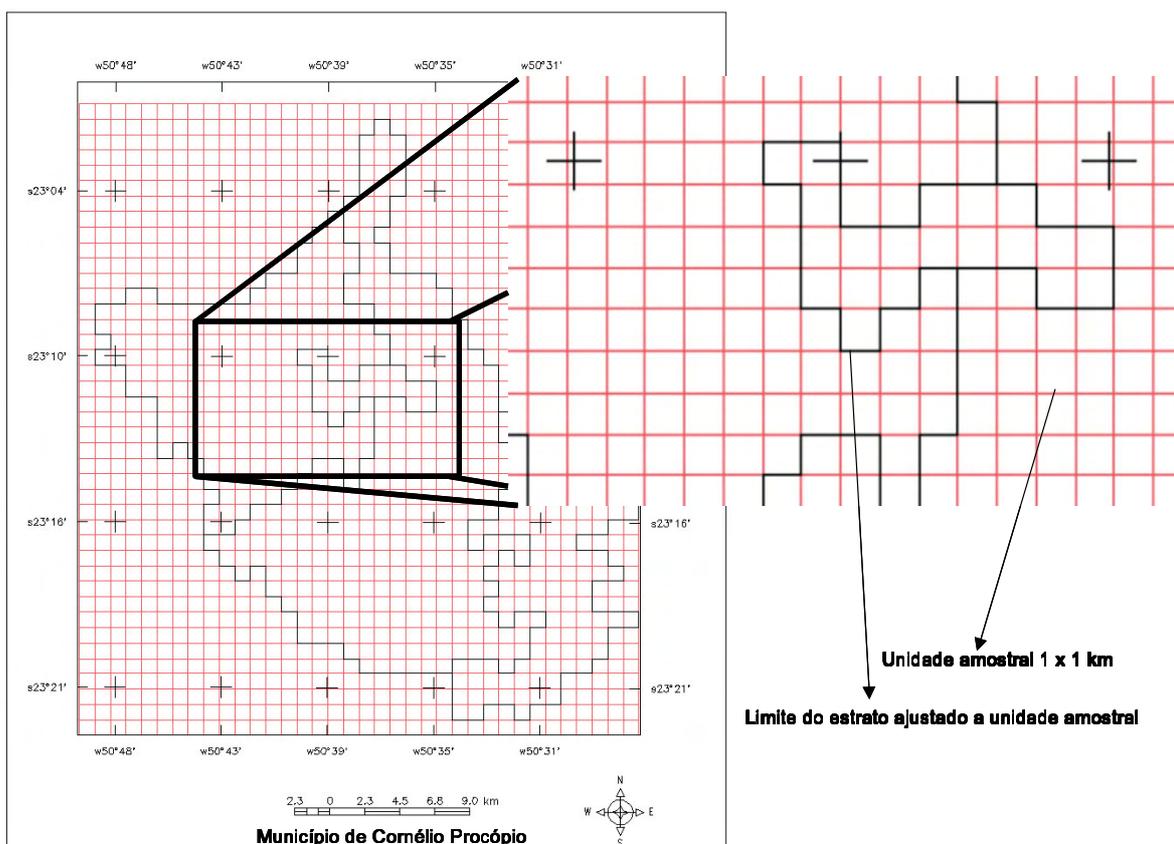


FIGURA 4.6 – Resultado do ajuste dos polígonos obtidos pela segmentação aos limites das unidades amostrais para o município em estudo.

A partir deste resultado obteve-se os estratos, levando-se em conta o percentual de uso do solo para a agricultura. O resultado da estratificação para a região pode ser observado na Figura 4.7, verificando-se que foi possível a região possui todos os estratos estabelecidos pela PREVS (Mueller *et al.*, 1988; FAO, 1998). Para o município, o resultado da estratificação pode ser observado na Figura 4.8.

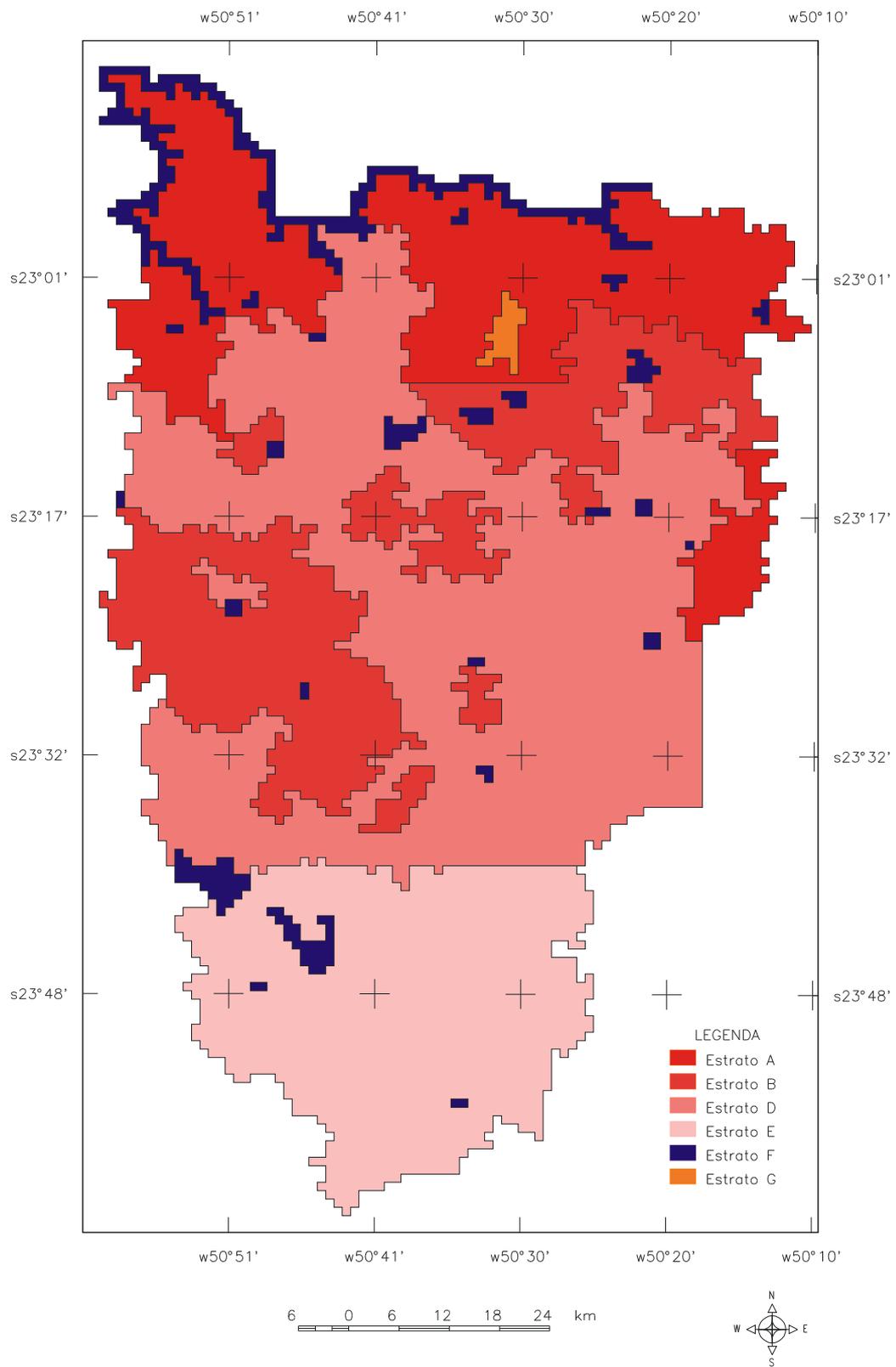


FIGURA 4.7 – Resultado final da estratificação dos usos do solo, para a região.

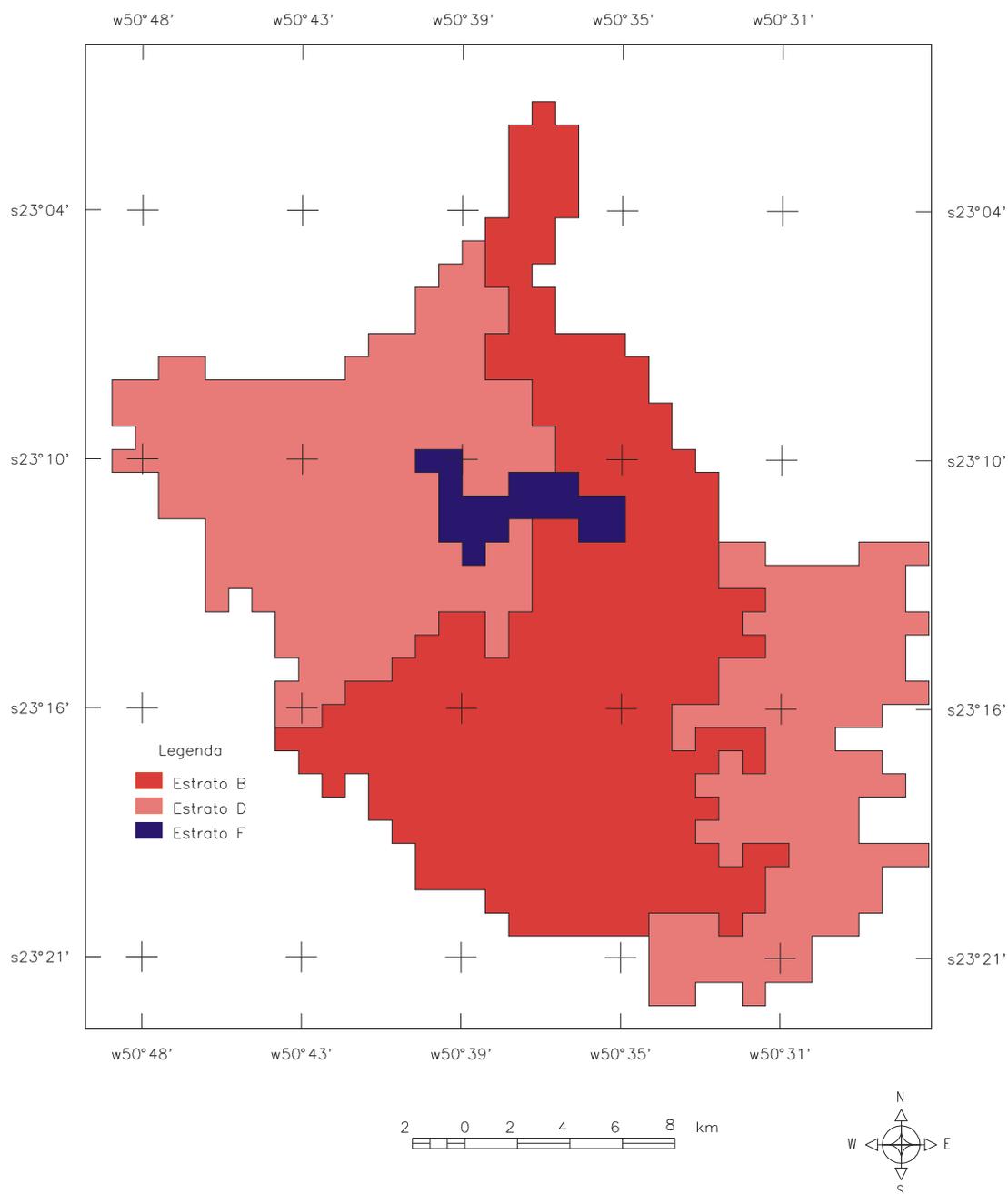


FIGURA 4.8 – Resultado final da estratificação dos usos do solo para o município.

Na Figura 4.7 pode-se observar que a maior parte da área de estudo (Região) pertence ao estrato D (Mueller *et al.*, 1988; FAO, 1998).

Pode-se verificar também, que para o caso do município, foram encontrados apenas 3 níveis de utilização do solo, os quais foram classificados para o estrato B, D e F (Figura 4.8), conforme estabelecido por Mueller *et al.* (1988) e FAO (1998).

O ajuste dos limites dos estratos aos limites das unidades amostrais, tanto para a região quanto para o município não ocasionou grandes diferenças de áreas, conforme pode ser observado na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 – Diferença encontradas entre a área dos pi's vetoriais anterior e posterior ao ajuste.

Limite	Antes do ajuste (km ²) (a)	Posterior ao ajuste (km ²) (b)	Diferença em % ((a-b)/a)
Região	7.480,11	7.470,00	0,13
Município	649,65	653,00	-0,52

Todavia, observa-se que o ajuste dos limites dos estratos com os limites das unidades amostrais para o município, apresentou uma diferença relativa maior do que para a região. Nesse caso, o incremento de área foi negativo, ou seja, enquanto o ajuste para a região resultou numa redução da área de ordem de 0,13%, para o município ocorreu um incremento na área da ordem de 0,52% (Tabela 4.3).

Os resultados obtidos para esta fase de estratificação permitiram afirmar que a metodologia adotada diminuiu a subjetividade empregada na PREVS durante a estratificação da área, pois os percentuais de uso do solo foram obtidos por meios computacionais de forma automatizada. Além disso, foi possível eliminar o critério de ajustar os estratos em limites identificáveis no campo, conforme recomendados por Krug e Yanasse (1986), Mueller *et al.* (1988), FAO (1996) e Tsiligirides (1998).

Além disso, esta forma de estratificação reduziu a subjetividade utilizada para a construção dos estratos da PREVS, conforme descrito por Mueller *et al.* (1988). Os percentuais dos usos do solo para cada estrato são obtidos por meio computacional, diferente do método até então aplicado, que se baseava na opinião do analista. Desta maneira, a definição dos limites finais dos estratos não toma por base limites facilmente identificáveis a campo, mas tem por base a intensidade do uso do solo.

Dessa forma é possível estratificar o município, o que contradiz Tsiligirides (1998) e Luiz *et al.* (2002), pois segundo estes autores a menor divisão ou estrato deve ter o tamanho de um município e, que a estratificação desta unidade não seria válida devida à

falta de informações. Entretanto, para o município em estudo a classificação da imagem forneceu parâmetros para a estratificação.

4.2 Alocação de Amostras

A alocação das amostras foi feita por meio da amostragem aleatória estratificada. O número de segmentos amostrados para a região e para o município estão contidos na Tabela 4.4 e Tabela 4.5, respectivamente. Pode-se verificar que o percentual de unidades amostradas variou de um estrato para outro, o que dependeu da percentagem de uso do solo com agricultura.

TABELA 4.4 – Número total de segmentos, segmentos sorteados e percentual da área sorteado, para a região.

Estrato	Número total de segmentos (a)	Número de segmentos sorteados (b)	Percentual (%) da área sorteado (b/a)
Estrato A	1416	25	1,77
Estrato B	1432	28	1,95
Estrato D	2919	31	1,06
Estrato E	1404	03	0,21
Estrato G	28	02	7,21
Total	7199	89	1,23

TABELA 4.5 – Número total de segmentos, segmentos sorteados e percentual da área sorteado, para o município.

Estrato	Número total de segmentos (a)	Número de segmentos sorteados (b)	Percentual (%) da área sorteado (b/a)
Estrato B	304	25	8,22
Estrato D	336	10	2,97
Total	640	35	5,47

Observa-se na Tabela 4.4 que foi sorteado 1,23% da área total da região, sendo este resultado compatível com o percentual de área sorteado por Hill e Mégier (1988), em uma região ao sul da França.

Pode-se notar na Tabela 4.5 que o percentual de área utilizado para a escala municipal foi de 5,47%. O percentual da área teve um aumento em função do aumento da escala de amostragem.

A distribuição espacial destas amostras por estrato para a REGIÃO e MUNICÍPIO pode ser observada na Figura 4.9 e Figura 4.10, respectivamente.

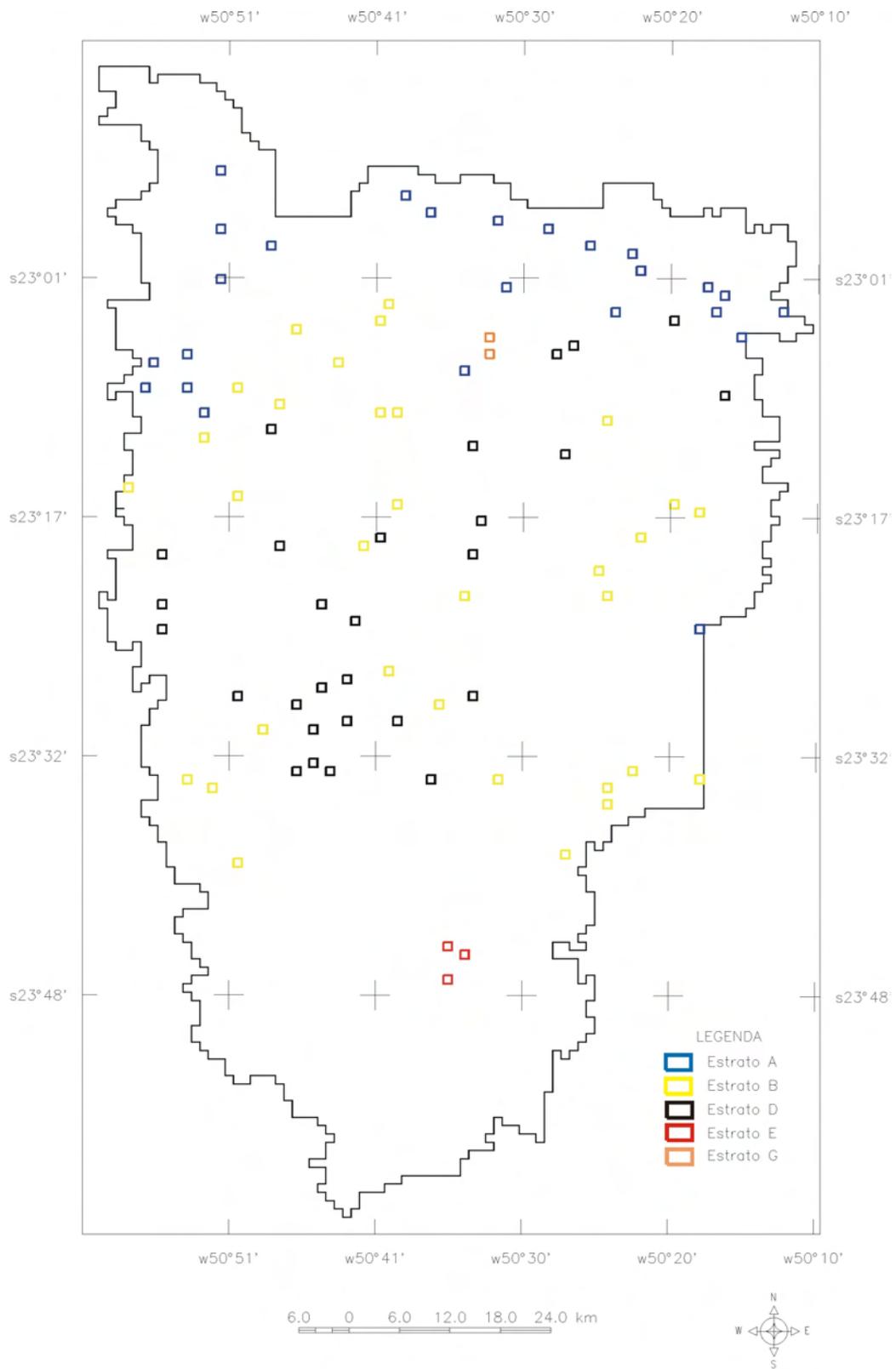


FIGURA 4.9 – Localização das amostras, por estrato, para a região.

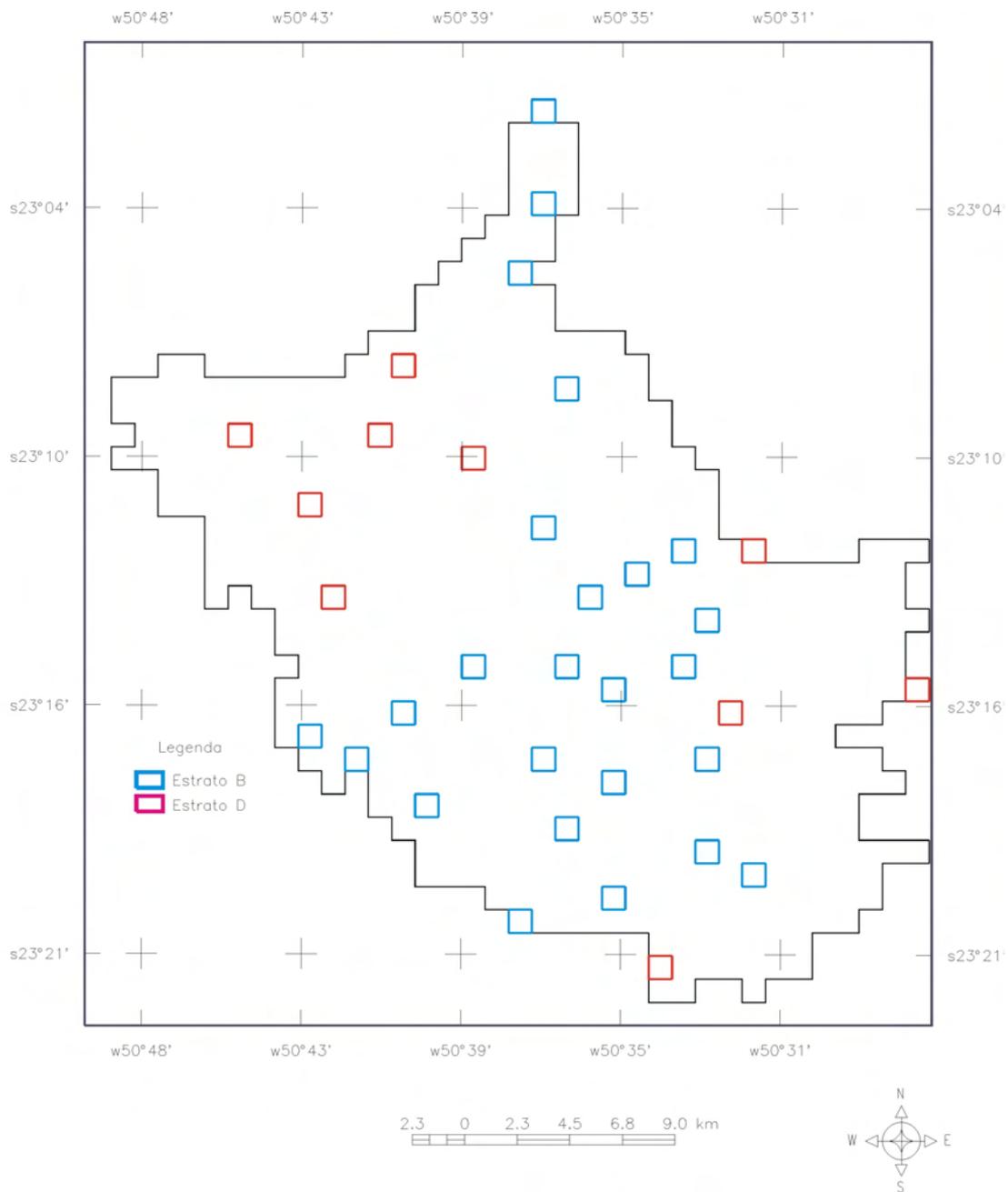


FIGURA 4.10 – Localização das amostras, por estrato, para o município.

Observa-se na Figura 4.9, que houve uma concentração de unidades amostradas (segmentos) na parte norte da região. Essa distribuição já era esperada uma vez que nessa região há maior intensidade de cultivo, conseqüentemente, maior número de segmentos amostrados. Ao contrário, no município, dada as características de ocupação do solo, não houve concentração de unidades amostradas (Figura 4.10).

Pode-se observar também na Figura 4.9 e Figura 4.10 a localização de alguns segmentos junto a borda dos limites da região e do município em estudo. Cabe ressaltar que a ocorrência dos mesmos nestes locais foi aleatória e que antes do sorteio foi realizado o ajuste das bordas, seguindo as recomendações de Gallego (1995). Portanto, ajustou-se as bordas dos estratos aos limites dos segmentos, conforme descrito na metodologia, no tópico 3.3.4 e representados pela Figura 4.7 e Figura 4.8.

4.3 Resultados da Utilização das Imagens Obtidas pelo Satélite Landsat-7/ETM⁺ para Coleta dos Dados a Campo

Os procedimentos de restauração (Fonseca, 1988) e *IHS* (Schowengerdt, 1997; Schetselaar, 1998; Lillessand e Kiefer, 1999; Mather, 1999; Gonzáles e Woods, 2000; Moreira, 2001; Tu *et al.*, 2001) permitiram a impressão dos segmentos a uma escala de 1:25.000. Esta escala mostrou-se adequada por ser um trabalho para localização em campo e não para mapeamento. Nessa escala de trabalho, pode-se realçar as características importantes da imagem o que facilitou a delimitação dos talhões no campo. Na Figura 4.11 é mostrada uma área da imagem contendo os limites de um segmento, no qual pode ser observado as localizações dos talhões de uso do solo. Além disso, pode-se notar que nos cantos do segmento estão plotadas as coordenadas de localização do mesmo.

Os segmentos foram utilizados para a coleta de dados no campo. Sobre os mesmos foram delimitados os talhões contendo as informações de área e de culturas que estavam presentes no momento da coleta das informações.

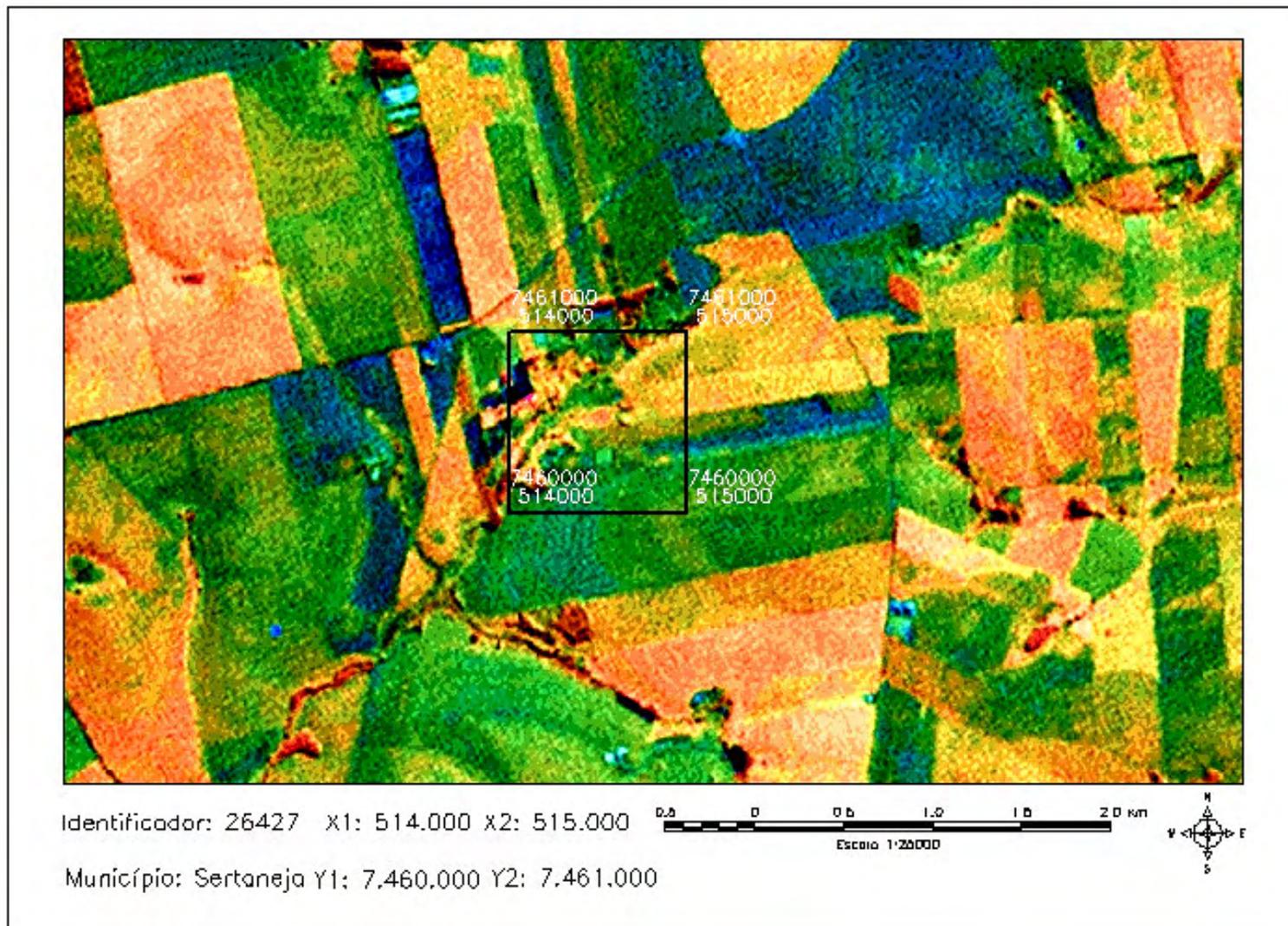


FIGURA 4.11 – Exemplo de um segmento, utilizando imagem com os processamentos de restauração e *IHS*.

Ao comparar visualmente um segmento plotado na imagem de satélite com o mesmo contido sobre uma fotografia aérea de arquivo em escala 1:10.000, utilizadas na PREVS, observou-se que certas feições no terreno podem ser melhor visualizadas nas fotografias, devido à alta resolução espacial das mesmas. Em outras palavras, nas fotografias aéreas pode-se observar com mais detalhe algumas características não perceptíveis nas imagens de satélite, o que concorda com FAO (1996).

As fotografias aéreas de arquivo utilizadas pela PREVS foram obtidas no ano de 1985. No entanto, muitas mudanças de ocupação do solo ocorreram no período de 1985 até 2002. Conseqüentemente, as imagens de satélites foram mais eficientes uma vez que muitas feições observadas nas imagens também foram observadas no campo, no ato da coleta de dados. Além disso, outra vantagem da utilização de imagens Landsat-7/ETM⁺, é a repetitividade da obtenção de dados, a cada 16 dias, se não levarmos em conta a cobertura de nuvens.

Por outro lado, poder-se-ia pensar que o fato das fotografias aéreas serem defasadas não seria limitação para seu uso, uma vez que a delimitação dos diferentes talhões de uso do solo no segmento poderia ser realizada por meio de caminhamento, usando o *GPS*. Entretanto, esse procedimento embora seja uma realidade, aumentaria o tempo de coleta de dados. Além do que, para o uso efetivo dessas fotografias, há necessidade de que as mesmas sejam ortorretificadas e georreferenciadas para se obter as coordenadas de canto dos segmentos, procedimento este bastante demorado.

Com relação à utilização das imagens Landsat-7/ETM⁺ para coleta de dados no campo, deve-se levar em conta, as seguintes conotações: custo para obtenção dos dados e evolução tecnológica. Nestes fatores há indicativos de que as imagens obtidas por satélite possam ser utilizadas como substituto das fotografias aéreas, principalmente se levar em conta o incremento do número de satélites com alta resolução espacial (Quickbird, Ikonos, Spot) que, no futuro próximo, poderá tornar esses dados mais acessíveis e a menor custo.

Contudo, deve-se considerar que se as culturas envolvidas na pesquisa ocupam pequenas áreas, exigirá um esforço maior para a coleta de informações, pois o entrevistador deverá percorrer todo o perímetro dos talhões, realizando a demarcação dos pontos com o *GPS*.

4.4 Dados Coletados em Campo para o Projeto REGIÃO

4.4.1 Estrato A

A Tabela 4.6 contém os dados de área coletados nos segmentos da subamostra do estrato A. Uma análise comparativa da frequência de ocorrência das culturas de milho, café e soja nos segmentos visitados em campo mostra que a soja é muito mais expressiva em relação às outras duas culturas. Foi observado o plantio de soja em todos os segmentos da amostra, exceto no 25. Já o milho e o café, em termos percentuais, estavam presentes em apenas 16% dos segmentos amostrados, ou seja, 4 segmentos com milho e 4 com café.

TABELA 4.6 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato A, das variáveis pesquisadas, em km².

Segmentos	Estrato A					
	Variável (área em km ²)					
	Café	Milho	Soja	Pastagem	Mata	Outros Usos
1	-	-	0,81	0,19	-	-
2	-	-	0,41	0,59	-	-
3	-	-	0,70	-	-	0,30
4	-	-	0,85	0,13	-	0,02
5	-	-	0,95	0,06	-	-
6	-	-	1,00	-	-	-
7	-	0,17	0,54	-	-	0,29
8	-	-	0,74	0,23	0,04	-
9	-	-	1,00	-	-	-
10	-	-	0,97	0,03	-	-
11	0,02	-	0,37	0,29	-	0,32
12	-	-	0,62	-	-	0,38
13	-	-	0,41	0,30	-	0,30
14	-	-	0,96	0,04	-	-
15	-	-	0,36	0,33	-	0,31
16	0,04	-	0,76	0,13	-	0,07
17	0,26	-	0,44	0,08	-	0,22
18	-	-	0,35	-	0,19	0,46
19	-	-	0,42	0,25	0,33	-
20	-	0,20	0,40	0,03	-	0,38
21	-	-	0,50	0,30	-	0,20
22	-	-	0,76	0,24	-	-
23	-	0,12	0,68	-	0,20	-
24	-	0,14	0,86	-	-	-
25	0,12	-	-	0,88	-	-
Média	0,02	0,03	0,63	0,16	0,03	0,13
Variância	0,003	0,003	0,069	0,044	0,007	0,026

Pode-se observar na Tabela 4.6 as médias e as variâncias por variável. Estes dados serão utilizados para o cálculo dos estimadores.

É interessante observar que os segmentos 2 e 25 (Tabela 4.6), deveriam apresentar maior proporção de área cultivada, porém a pastagem foi mais expressiva. Em uma análise de localização desses dois segmentos, observou-se que ambos encontravam-se próximos do limites dos estratos A e D. Isso mostra que, a estratificação, mesmo tendo

sido feita com imagens muito próxima ao período da pesquisa de campo, apresentou certa mudança de uso do solo na área, o que denota a importância de se usar imagens mais próximas possível à fase de estratificação. Por outro lado, esse fato ressalta a necessidade de um sistema de vigilância no painel de amostra para ajustes periódicos, mesmo sendo ele construído para um período de cinco anos. Entretanto, haja visto que os dados foram obtidos por uma amostragem, este efeito é esperado. Mas a isto, junta-se o fato do painel estar na forma digital, isto é, dentro de um banco de dados georreferenciado, o que torna fácil introduzir uma nova imagem e realizar o ajuste necessário. Desta forma o processo é mais ágil do que no caso analógico, como foi realizado na PREVS.

4.4.2 Estrato B

Com relação ao estrato B, os dados coletados em campo podem ser observados na Tabela 4.7. Nota-se que a frequência de segmentos com a presença de áreas ocupadas com soja também é bastante superior ao milho e café. A soja só não foi encontrada no segmento 20. Apesar da pouca expressividade das culturas de milho e café, ao comparar os dados dessa tabela com aqueles contidos na Tabela 4.6, percebe-se que a ocorrência de segmentos com essas culturas foi maior. Neste estrato, nove dos 28 segmentos apresentaram as variáveis milho e soja.

TABELA 4.7 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato B, das variáveis pesquisadas, em km².

Segmentos	Estrato B						
	Variável (área em km ²)						
	Café	Milho	Soja	Pastagem	Mata	Outros usos	Não agropecuário
1	-	-	0,79	0,21	-	-	-
2	0,02	0,02	0,89	-	-	0,07	-
3	0,01	-	0,86	0,05	0,07	-	-
4	-	0,38	0,50	0,12	-	-	0,01
5	-	0,14	0,80	-	0,06	-	-
6	-	-	0,88	-	0,12	-	-
7	0,01	0,05	0,83	-	0,06	-	0,05
8	0,13	-	0,21	0,30	0,07	0,22	0,08
9	-	-	0,92	-	-	0,08	-
10	-	-	0,93	-	-	0,07	-
11	-	-	0,59	0,13	0,01	0,28	-
12	-	-	0,83	0,15	0,03	-	-
13	-	-	0,39	0,13	-	0,48	-
14	0,18	-	0,73	0,10	-	-	-
15	-	-	0,68	0,14	0,08	-	0,11
16	-	0,13	0,30	0,40	0,17	-	-
17	0,01	-	0,92	-	-	0,07	-
18	0,03	0,15	0,78	-	0,04	-	-
19	-	-	0,42	0,50	0,09	-	-
20	-	0,83	-	0,17	-	-	-
21	-	-	1,00	-	-	-	-
22	-	-	0,79	0,16	0,05	-	-
23	0,02	0,04	0,92	-	0,02	-	-
24	-	-	0,58	0,43	-	-	-
25	-	-	0,89	-	0,01	-	0,10
26	-	0,04	0,85	-	0,05	0,04	0,02
27	-	-	0,84	-	-	0,10	0,06
28	0,04	-	0,73	0,16	0,07	-	-
Média	0,02	0,06	0,71	0,11	0,04	0,05	0,02
Variância	0,002	0,029	0,062	0,020	0,002	0,012	0,001

Durante o trabalho de campo, observou-se que o fato da soja ter superado a área cultivada com milho e café, tanto no estrato A quanto no B, está relacionado com o

aumento de preço do produto recebido pelos produtores. Tal fato provocou um estímulo na substituição de áreas ocupadas com pastagens e milho para soja.

4.4.3 Estrato D

Os dados de área, em km², coletados na subamostra do estrato D, estão contidos na Tabela 4.8.

TABELA 4.8 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato D, das variáveis pesquisadas, em km².

Segmentos	Estrato D						
	Variável (área em km ²)						
	Café	Milho	Soja	Pastagem	Mata	Outros Usos	Não agropecuário
1	-	-	-	0,63	-	0,37	-
2	-	0,05	0,67	0,18	0,11	-	-
3	-	-	-	1,00	-	-	-
4	-	-	-	1,00	-	-	-
5	0,02	-	-	0,75	-	0,16	0,06
6	-	-	-	1,00	-	-	-
7	0,03	0,01	-	0,90	-	-	0,07
8	-	-	-	1,00	-	-	-
9	-	-	-	1,00	-	-	-
10	0,12	0,17	-	0,64	0,07	-	-
11	-	-	0,21	-	0,80	-	-
12	-	-	0,60	0,37	-	-	0,04
13	0,15	-	0,14	0,23	0,39	0,10	-
14	0,24	-	-	0,70	0,05	-	-
15	0,11	0,26	-	0,63	-	-	-
16	0,05	0,16	-	0,79	-	-	-
17	0,13	-	0,35	0,51	-	-	-
18	-	0,02	-	0,88	-	0,10	-
19	-	0,15	0,72	0,06	0,07	-	-
20	-	-	0,32	0,66	-	-	0,03
21	-	0,05	-	0,95	-	-	-
22	-	-	0,25	0,64	-	-	0,11
23	-	-	-	1,00	-	-	-
24	0,09	-	-	0,55	-	-	0,36
25	-	0,06	0,30	0,65	-	-	-
26	0,15	-	0,33	0,28	-	0,25	-
27	-	-	0,59	0,41	-	-	-
28	-	0,05	-	0,93	-	0,03	-
29	-	0,11	0,20	0,69	-	-	-
30	-	-	0,55	0,45	-	-	-
31	-	-	-	0,12	0,88	-	-
Média	0,04	0,04	0,17	0,63	0,08	0,03	0,02
Variância	0,004	0,004	0,056	0,095	0,047	0,007	0,005

Ao analisar os dados da Tabela 4.8, observa-se que a ocorrência da soja nos segmentos amostrados, em relação ao milho e o café, foi muito semelhante. A pastagem ocorreu em todos os segmentos, exceto no 11.

De modo geral, os dados coletados em campo mostram que a metodologia adotada para definir o estrato foi adequada, pois ao analisar as médias amostrais para todos as variáveis nota-se que a ocupação agrícola (café, soja e milho) foi de 25% e a pastagem 63%, o que está de acordo com o estabelecido em Mueller *et al.* (1988) e FAO (1998).

4.4.4 Estrato E

Os resultados da coleta de dados para os três segmentos pertencentes ao estrato E podem ser observados na Tabela 4.9. No estrato E, não foi observada ocorrência de áreas agrícolas nos segmentos amostrados.

TABELA 4.9 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato E, das variáveis pesquisadas, em km².

Segmentos	Estrato E	
	Variável (área em km ²)	
	Pastagem	Mata
1	0,85	0,15
2	0,66	0,34
3	0,73	0,27
Média	0,75	0,25
Variância	0,009	0,009

4.4.5 Estrato G

Para o estrato G a subamostra foi composta por apenas dois segmentos, conforme foi definido no item 3.3.4. Os resultados da coleta de dados no campo são mostrados na Tabela 4.10. Nesse estrato, não foram detectadas áreas de milho e soja nos segmentos da amostra.

TABELA 4.10 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato G, das variáveis pesquisadas, em km²

Segmentos	Estrato G			
	Variável (área em km ²)			
	Café	Pastagem	Mata	Outros Usos
1	0,64	0,00	0,36	0,00
2	0,00	0,22	0,29	0,49
Média	0,32	0,11	0,32	0,25
Variância	0,203	0,025	0,003	0,121

4.5 Resultados das Estimativas de Área da REGIÃO, por meio da Expansão Direta

A Tabela 4.11 contém os resultados obtidos da estimativa de área, obtidos por meio da expansão direta para a região.

TABELA 4.11 – Área estimada, variância e coeficiente de variação para as variáveis da pesquisa.

Variáveis	Área estimada (km ²)	Variância (km ⁴)	C.V. (%)
Café	159,39	1.528,89	24,53
Milho	229,06	3.561,24	26,05
Soja	2.402,61	25.093,51	6,59
Pastagem	3.285,84	36.711,15	5,83
Mata	678,44	19.320,23	20,49
Outros usos agrícolas	358,42	4.932,59	19,59
Não agropecuário	85,24	1.357,95	43,23
Total	7.199,00		

Ao observar os resultados contidos na Tabela 4.11, nota-se que a área estimada com a cultura da soja foi de 2.402,61 km² o que corresponde a 33% da área total estimada (7.119,00 km²). O milho e o café foram pouco expressivos quando comparados à cultura da soja, sendo que a área estimada para essas culturas foi de 159,39 km² e 229,06 km², respectivamente. Observando a coluna de coeficiente de variação, nota-se que os dois valores mais baixos obtidos foram de 6,59 % para a soja e de 5,83 % para a pastagem. Os coeficientes de variação das estimativas de áreas de café e milho foram relativamente altos com valores de 24,53% e 26,05%, respectivamente. De acordo com os dados coletados em campo, conforme mostrados nas tabelas 4.6 a 4.10, pode-se dizer que esse resultado, C.V., é perfeitamente aceitável, uma vez que foi observada uma

baixa frequência de segmentos amostrados, contendo áreas de café e milho. Essa baixa frequência elevou a variância da estimativa e, conseqüentemente, o coeficiente de variação.

Verificou-se que, para a cultura da soja e para a pastagem, a precisão na estimativa de área foi maior, o que é justificável pela maior ocorrência de área dessas duas variáveis nos segmentos da amostra.

Por outro lado, os C.V. resultantes das estimativas de áreas variaram de 5,83% a 43,23%, que de certa forma está relacionado com o tipo e a ocorrência da variável na área de estudo. Esse resultado concorda com aqueles relatados por Mueller *et al.* (1988), Villalobos *et al.* (1988), Hill e Mégier (1988), Gallego (1995), Gonzáles-Alonso *et al.* (1991), Tsiligirides (1998), Gonzáles-Alonso *et al.* (1997), Gómez e Gallego (2000), Nematzadeh (2001) e Pradhan (2001).

Ao comparar os resultados de estimativa de área obtidos nessa pesquisa por meio da expansão direta, com a estimativa subjetiva gerada pelo PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b), conforme é mostrado na Tabela 4.12, observa-se que a maior diferença encontrada foi para a cultura do milho, cuja área estimada pelo DERAL foi 78,6% maior do que a obtida nessa pesquisa. A estimativa da área de café pela expansão direta foi de 14,2% superior e a soja subestimada em 5,9% em relação aos dados do DERAL.

TABELA 4.12 – Comparativo entre a área estimada pela amostragem e a estimativa subjetiva realizada pelo deral, para a região.

Cultura	Área estimada (km ²) pela amostragem (a)	Área estimada (km ²) pelo DERAL (b)	Diferença (%) (a-b)/a
Café	159,39	136,66	14,2 %
Milho	229,06	409,00	-78,6%
Soja	2.402,61	2.544,00	-5,9%
Total	2.791,06	3.089,66	-10,7%

a) Dados da amostra;

b) Fonte: DERAL (2003);

Com relação ao milho, segundo o IAPAR (2003), a melhor época de implantação da lavoura na região de estudo é no período de 21/09 a 10/11. Nesse período ocorreu um veranico (PARANÁ.SEAB/DERAL, 2003b), fazendo com que os agricultores que

tinham a intenção de plantar milho e ainda não o tinham feito, optar por plantar soja. Desta forma, justifica-se a diferença entre a área estimada de milho pelo DERAL e a esta pesquisa. Com relação as culturas de café e soja, a diferença está dentro do C.V., consideradas portanto como estatisticamente iguais.

Através de um estudo comparativo de áreas obtidas pela classificação da imagem Landsat-7/ETM⁺ utilizada para a estratificação com os resultados obtidos pela expansão direta (Tabela 4.13), notou-se que, para áreas agrícolas (somatório das áreas de café, milho, soja e outros usos agrícolas), a diferença relativa foi de 0,5%. Assim, pode-se dizer que, para áreas agrícolas, o emprego do modelo de expansão direta foi coerente, mesmo obtendo coeficientes de variação relativamente altos para as culturas de café e milho.

TABELA 4.13 – Comparativo entre os resultados obtidos pela classificação temática da imagem, utilizada para a estratificação e os resultados da amostragem, para a região.

Tema	Área (km ²) estimada pelo mapeamento (a)	Área (km ²) estimada pela amostragem (b)	Diferença (%) (a-b)/a
Não agrícola	313,27	85,24 (c)	72,8%
Mata	1.110,38	678,44 (c)	38,9%
Pastagem	2.928,72	3.285,84	-12,2%
Agricultura	3.134,02	3.149,48	-0,5%
Área total	7.486,39	7.199,00(d)	-1,0%

c) – Parte desta área encontra-se no estrato F, cuja área de 365 km², não foi computada na amostra.

d) – Somou-se à área do estrato F a área total estimada pela amostragem em (b).

Todavia, ao analisar as diferenças relativas para as classes mata e pastagem observa-se que o resultado da classificação foi superestimado em 38,9% para a mata e subestimada em 12,2% para pastagem, em relação às estimativas obtidas pelo modelo. Apesar dessa diferença, esses resultados devem ser vistos com certa cautela, uma vez que no esquema de amostragem, parte da área da classe mata, considerada de preservação permanente (parques, áreas indígenas), foi alocada no estrato F, o qual não foi incluído no esquema de amostragem de área. A diferença observada na classe pastagem também pode ser justificada, pois pode ter ocorrido a inclusão de pasto sujo como área de mata.

4.6 Dados Coletados em Campo para o Projeto MUNICIPIO

Como mencionado no item 3.3.3, a estratificação da área foi realizada dentro do contexto de região correspondente a 23 municípios. O município de Cornélio Procópio foi isolado dos demais, para servir como uma segunda área de estudo, para o teste dos modelos probabilísticos de amostragem de área. Nesse município, os estratos de uso do solo obtidos no esquema de amostragem de área foram B, D e F (não amostrado).

4.6.1 Estrato B

Na Tabela 4.14 estão contidos os dados de áreas, obtidos na subamostra do estrato B, durante o trabalho de campo.

TABELA 4.14 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato B, das variáveis pesquisadas, em km².

Segmentos	Estrato B						
	Variável (área em km ²)						
	Café	Milho	Soja	Pastagem	Mata	Outros Usos	Não agropecuário
1	-	-	0,87	-	0,14	-	-
2	-	-	0,97	-	0,03	-	-
3	-	0,14	0,53	0,32	-	-	-
4	0,12	0,04	0,84	-	-	-	-
5	-	-	-	0,36	0,64	-	-
6	0,02	0,04	0,92	-	0,02	-	-
7	0,08	0,12	0,77	-	0,04	-	-
8	-	-	0,16	-	0,04	0,80	-
9	-	-	0,06	0,33	0,61	-	-
10	0,19	-	0,41	0,02	0,38	-	-
11	-	-	0,86	0,14	-	-	-
12	-	-	0,42	0,58	-	-	-
13	-	0,17	0,64	0,16	0,03	-	-
14	-	0,09	0,79	0,12	-	-	-
15	0,02	0,29	0,66	-	-	0,04	-
16	-	0,40	0,47	0,13	-	-	-
17	-	-	1,00	-	-	-	-
18	0,13	-	0,36	0,49	0,02	-	-
19	-	-	0,89	0,11	-	-	-
20	-	-	0,57	0,15	0,22	0,06	-
21	-	0,92	0,07	-	-	-	0,01
22	-	-	0,46	0,54	-	-	-
23	-	-	0,42	0,50	0,09	-	-
24	0,03	0,08	0,81	-	0,09	-	-
25	-	-	0,44	0,40	0,16	-	-
Média	0,02	0,09	0,58	0,17	0,10	0,04	0,00
Variância	0,003	0,040	0,089	0,041	0,033	0,026	0,000

Ao analisar os dados coletados em campo (Tabela 4.14) observa-se, mais uma vez, que a frequência de ocorrência de áreas plantadas com soja foi mais expressiva do que para o milho e o café, tal como foi observado nos dados coletados para a região. Nota-se que todos os segmentos exceto o de número 5, apresentaram área ocupada com soja.

Ao observar a média total do uso do solo para a agricultura (73%) e considerando que a amostragem de área foi aleatória estratificada, esse resultado expressa a percentagem de área agrícola do estrato e, conseqüentemente, está coerente com a definição desse estrato no projeto PREVS citado em Mueller *et al.* (1988) e FAO (1998).

4.6.2 Estrato D

Na Tabela 4.15 encontram-se os resultados de área coletados na subamostra do estrato D. O percentual médio da área agrícola foi de 32%. Pode-se dizer que esse estrato está coerente com o estabelecido na PREVS (Mueller *et al.*, 1988; FAO, 1998).

TABELA 4.15 – Resultado da tabulação cruzada, para o estrato D, das variáveis pesquisadas, em km².

Segmentos	Estrato D						
	Variável (área em km ²)						
	Café	Milho	Soja	Pastagem	Mata	Outros Usos	Não agropecuário
1	-	0,06	0,57	0,37	-	-	-
2	-	-	0,20	0,80	-	-	-
3	-	0,11	0,07	0,82	-	-	-
4	-	-	-	1,00	-	-	-
5	0,02	0,09	0,12	0,69	0,08	-	-
6	0,10	-	0,61	0,30	-	-	-
7	0,04	0,26	0,44	-	0,01	-	0,24
8	-	-	0,16	0,70	-	-	0,14
9	-	-	-	0,65	0,35	-	-
10	0,15	-	0,14	0,23	0,39	0,10	-
Média	0,03	0,05	0,23	0,56	0,08	0,01	0,04
Variância	0,003	0,007	0,051	0,099	0,024	0,001	0,007

Na Tabela 4.15 pode ser observado que a freqüência de ocorrência das culturas de café, milho e soja é parecida com a ocorrida na Tabela 4.14, entretanto a área média ocupada por estas culturas neste estrato é menor. Outra variável que se comportou conforme era esperado para este estrato foi a pastagem. Na Tabela 4.15 pode-se verificar que esta variável apareceu em 90% das amostras.

4.7 Resultados da Estimativa de Área por meio da Expansão Direta para o Município de Cornélio Procópio.

Os resultados da estimativa de área, por meio da expansão direta, para as variáveis pesquisadas no município podem ser visualizados na Tabela 4.16.

TABELA 4.16 – Área estimada, variância e coeficiente de variação para as variáveis da pesquisa.

Variáveis	Área estimada (km ²)	Variância (km ⁴)	C.V. (%)
Café	17,54	37,57	34,95
Milho	45,12	215,47	32,54
Soja	252,42	860,31	11,62
Pastagem	239,41	1.223,89	14,61
Mata	58,16	374,64	33,27
Outros usos agrícolas	14,27	97,85	69,31
Não agropecuário	13,08	78,73	67,80
Total	640,00		

De acordo com os resultados da Tabela 4.16 e aqueles obtidos para a região (Tabela 4.11), nota-se que, para o município, as estimativas de áreas por meio da expansão direta foram menos precisas, tendo em vista os maiores valores observados para os C.V., quando comparados aos obtidos para a região.

Observou-se também que a área de soja (252,42 km²), tal como na região, foi muito maior do que a área plantada com café e milho que foi de 17,54 km² e 45,12 km², respectivamente. O C.V. obtido para a estimativa de área de soja foi de 11,62%, contra 6,59% na estimativa da região. Esse mesmo raciocínio pode ser aplicado para o caso do café e do milho, embora numa magnitude menor. Esse resultado, do C.V., mostra que, para o nível municipal, a definição dos estratos de uso do solo deve ser feita com maior rigor, ou seja, definir intervalos menores de uso do solo, para garantir uma amostragem mais representativa e, conseqüentemente, maior eficiência na aplicação do modelo.

Por outro lado, ao analisar os C.V. obtidos de vários trabalhos, dentre eles Mueller *et al.* (1988), Villalobos *et al.* (1988), Hill e Mégier (1988), Gallego (1995), Gonzáles-Alonso *et al.* (1991), Tsiligirides (1998), Gonzáles-Alonso *et al.* (1997), Gómez e Gallego (2000) e Nematzadeh (2001), observou-se que os C.V. contidos na Tabela 4.16 foram

maiores. Entretanto, deve-se salientar que as escalas de amostragem para os trabalhos realizados por aqueles autores foram regionais e estaduais, enquanto que, nesse caso, a escala de amostragem foi municipal.

Comparando-se com o trabalho de Rudorff e Krug (1986), observa-se que os C.V. obtidos com esta estimativa foram maiores dos que os encontrados por estes autores, apesar de os mesmos utilizarem a estimativa por município. Entretanto, ressalta-se que o município pesquisado abrange 16% da área do município pesquisado por Rudorff e Krug (1986). Devido a isto, o número de segmentos utilizados por Rudorff e Krug (1986) foi de 97, cerca de 3 vezes maior que o utilizado para a estimativa municipal.

A Tabela 4.17 contém dados comparativos entre a área estimada pela expansão direta e os dados obtidos pelo levantamento realizado pelo PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b), para o município de Cornélio Procópio.

TABELA 4.17 – Comparativo entre a área estimada pela amostragem, para a região e a estimativa subjetiva realizada pelo DERAL.

Cultura	Área estimada (km ²) pela amostragem (a)	Área estimada (km ²) pelo DERAL (b)	Diferença (%) (a-b)/a
Café	17,54	17,50	0,2%
Milho	45,12	40,00	11,3%
Soja	252,42	255,00	-1,0%
Total	315,08	312,50	0,8%

Observou-se que mesmo havendo maior variação dos C.V. para a soja, milho e café, em relação aos resultados obtidos para a região, a diferença de estimativa de área, apresentada na Tabela 4.17, para o café e a soja foi pequena, demonstrando que a estimativa do modelo foi muito próxima aos valores obtidos pelo PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b). Para a cultura do milho a estimativa de área por meio da expansão direta foi maior em 11,3%. Esse resultado pode ser explicado, em parte, pelo alto C.V. da estimativa de área dessa cultura. O café também apresentou um C.V. alto e, no entanto, a diferença de área foi de apenas 0,2%. Isso está correlacionado com a perenecidade da cultura que proporciona mais tempo de coleta de dados e, conseqüentemente, maior grau de confiabilidade.

Dado que o município de Cornélio Procópio é a sede do Núcleo Regional da SEAB acredita-se que os resultados da pesquisa subjetiva para este município encontrem-se muito próximos da realidade. Entretanto, pela maneira como são coletados os dados, não é possível saber a precisão dessas estimativas.

Na Tabela 4.18 comparam-se os dados obtidos pela classificação temática, utilizada para a o cálculo da regressão para a cultura do café, e os dados obtidos pela expansão direta, através da amostragem a campo. Estes dados foram utilizados devido à menor diferença de tempo entre os dados coletados em campo e a data da imagem utilizada para realizar a classificação temática.

TABELA 4.18 – Comparativo entre os resultados obtidos pela classificação temática da imagem utilizada para a regressão e os resultados da amostragem, para o município.

Tema	Área (km ²) estimada pelo mapeamento (a)	Área (km ²) estimada pela amostragem (b)	Diferença (%) (a-b)/a
Não agrícola	21,14	13,08 (c)	38,1
Mata	95,82	58,16 (c)	39,3
Pastagem	245,38	239,41	2,4
Agricultura	289,41	329,35	-13,8
Área total	652,36	640,00 (d)	

c – Parte desta área encontra-se no estrato F, cuja área de 13 km², não foi computada na amostra.

d – Acrescentou-se à área do estrato F a área total estimada pela amostragem em (b).

Pode-se observar na Tabela 4.18 que as diferenças comparativas entre áreas obtidas pelas duas abordagens foram relativamente pequenas para a pastagem e a agricultura. No caso de áreas não agrícolas e mata, essa diferença foi de 38,1% e 39,3%, respectivamente. Essa maior diferença pode ser explicada pelo fato de parte da área dessas variáveis faz parte do estrato F, o qual não entrou no esquema de amostragem.

4.8 Resultados da Estimativa de Área por meio da Regressão

Conforme descrito em material e método, a regressão linear foi aplicada no município de Cornélio Procópio para estimar a área da cultura do café. Por motivo de incidência de nuvens, a estimativa de área da soja e do milho foi restrita apenas a uma parte do estrato B.

4.8.1 Resultados da Classificação Temática de Imagem Landsat-7/ETM⁺ para a Cultura do Café

A área classificada com café foi obtida de um mapa temático resultante da classificação da imagem Landsat-7/ETM⁺ da passagem de 03/11/2002, cujos resultados são mostrados na Tabela 4.19.

TABELA 4.19 – Resultado do mapeamento temático para o município, utilizado para a expansão por regressão, para a cultura do café.

Tema	Área (km ²)	%
Corpos d' água	7,30	1,1
Café	18,74	2,9
Mata	91,51	14,0
Pastagem	220,12	33,8
Agricultura	304,03	46,6
Área urbana	10,40	1,6
Total	652,10	100,0

Os resultados contidos na Tabela 4.19 mostram que o café é pouco expressivo no município, com uma área total de 18,74 km², o que representa 2,9% da área do município. A classe de maior expressividade foi a agricultura (46,6%) não levando em conta o café.

Durante a fase de classificação observou-se uma grande variação de tonalidade nas lavouras de café, o que dificultou a classificação e, conseqüentemente, o processo de edição matricial. Ao associar o sistema de cultivo com essas variações tonais, pôde-se observar que cafezais adensados apresentaram uma tonalidade magenta bem avermelhada na composição *RGB* (4, 5 e 3). Para cafezais plantados no sistema convencional em idade produtiva e bom vigor vegetativo, a tonalidade apresentada foi um marrom-escuro. O café plantado no sistema convencional, em idade produtiva, com baixo vigor vegetativo, recepado ou lavouras recém implantadas, apresentou uma tonalidade azul, muito semelhante à resposta espectral do solo da região. Esta dificuldade de mapeamento também foi descrita nos trabalhos de Dallemand (1987), Batista *et al.* (1990) e Tardin *et al.* (1992).

Notou-se que a forma de cultivo do café influencia na resposta espectral da cultura, pois lavouras adensadas respondiam com maior intensidade na banda 4 (infravermelho próximo).

Na Figura 4.12 pode ser visto o mapa temático com a distribuição espacial dos diferentes usos de ocupação do solo no município de Cornélio Procópio. Observa-se ainda que as áreas mapeadas como café apresentam grande variabilidade espacial e de tamanho, não havendo concentração dessa cultura no município.

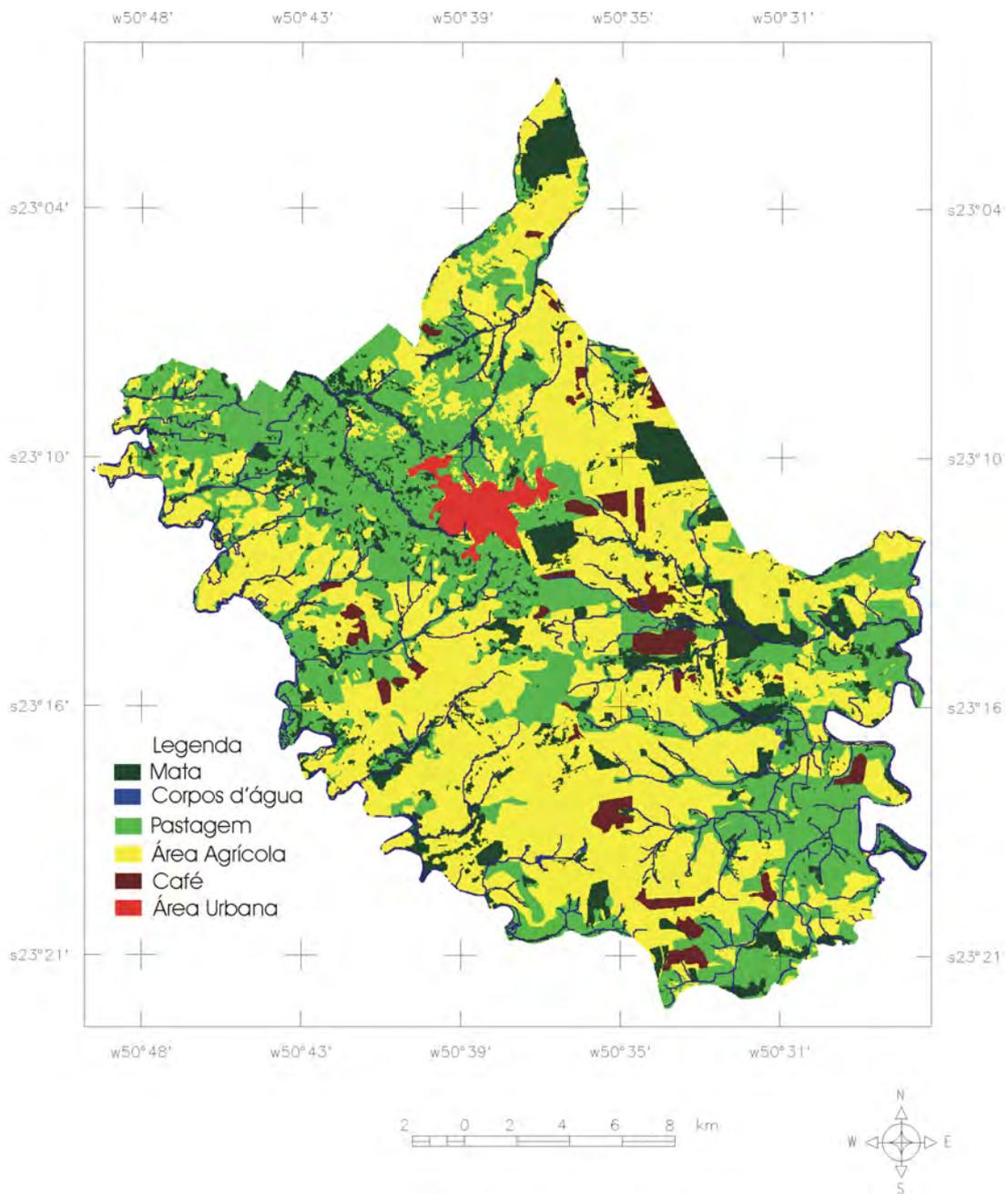


FIGURA 4.12 – Resultado do mapeamento temático no município, utilizado para o cálculo da regressão para estimar a área da cultura do café.

4.8.2 Resultados da Estimativa da Área de Café por meio da Regressão Linear para o Município de Cornélio Procópio.

Para estimar a área de café no município de Cornélio Procópio, por meio da regressão linear, empregaram-se os dados das Tabela 4.20 e Tabela 4.21. A Tabela 4.20 apresenta os dados da área classificada com café em km^2 e o número de *pixels* classificados como

café em cada segmento amostrado. Na última linha da tabela pode-se observar o total de *pixels* classificados como café no município.

TABELA 4.20 – Área e número de *pixels* classificados como café, no estrato B, do município.

Segmento	Área de café, por segmento (km ²)	Número de <i>pixels</i> classificados no segmento como café
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	0,12	164
5	-	-
6	0,02	22
7	0,08	84
8	-	-
9	-	-
10	0,19	244
11	-	-
12	-	-
13	-	-
14	-	-
15	0,02	20
16	-	-
17	-	-
18	0,13	140
19	-	-
20	-	-
21	-	-
22	-	-
23	-	-
24	0,03	101
25	-	-
Média	0,02	31
Variância	0,003	4172,833333
Número total de <i>pixels</i> no estrato		12.995,00

A Tabela 4.21 apresenta os dados de área classificada com café e o número de *pixels* em cada segmento, para o estrato D.

Tabela 4.21 – Área e número de *pixels* classificados como café, no estrato D, do município.

Segmento	Área de café, por segmento, em (km ²)	Número de <i>pixels</i> classificados no segmento como café
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	0.02	25
6	0.10	124
7	0.04	47
8	-	-
9	-	-
10	0.15	157
Média	0.03	35.3
Variância	0.003	3377.566
Número total de <i>pixels</i> no estrato		7.831,00

A partir dos dados descritos na Tabela 4.20, Tabela 4.21, e junto com os dados obtidos no campo (Tabela 4.14 e Tabela 4.15) aplicaram-se as equações de regressão. Os resultados referentes a estas estimativas podem ser observados na Tabela 4.22. Para uma análise comparativa foram inseridos nessa tabela os resultados de café obtido pelo método de expansão direta (Tabela 4.16) e pelo método subjetivo empregado pelo DERAL.

Tabela 4.22 – Área e variância estimada para a cultura do café pelos modelos de regressão, expansão direta e subjetivo, no município

Modelo	Área (km ²)	Variância (km ⁴)	C.V.
Regressão	16,79	4,70	12,91
Expansão direta	17,54	37,57	34,95
Subjetivo (DERAL)*	17,50	-	-

* FONTE: PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b)

A análise dos resultados contidos na Tabela 4.22 mostra que a área total estimada para a cultura do café no município pela regressão foi de 16,79 (km²), enquanto que pela expansão direta foi de 17,54 (km²) e pelo PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b) foi de 17,50 (km²). Sem levar em consideração o C.V., os resultados permitem dizer que a expansão direta aproximou mais dos resultados fornecidos pelo DERAL do que a regressão. Entretanto, nota-se que a variância estimada pela regressão foi de 4,70 km⁴ e

pela expansão direta foi de 37,57 km⁴, o que representa uma redução da variância em 7,99 vezes. Este resultado concorda com os trabalhos de Gonzáles-Alonso *et al.* (1991), Gonzáles-Alonso e Cuevas (1993) e Gonzáles-Alonso *et al.* (1997), no tocante ao aumento da eficiência relativa da regressão, quando comparada com a expansão direta.

É importante salientar que, embora a eficiência relativa da regressão tenha sido de 7,99 vezes a expansão direta, os resultados obtidos por esses dois modelos de estimativa de área não diferiram estatisticamente entre si a 95% de probabilidade.

4.8.3 Resultados da Classificação Temática de Imagem Landsat-7/ETM⁺ para o Estrato B' Sem Cobertura de Nuvens

Devido à alta incidência de nuvens durante o período de desenvolvimento das culturas de verão (milho e soja), a única imagem disponível para o município parcialmente livre de nuvem foi obtida na passagem de 07/02/2003. Desta forma, o modelo de regressão foi testado apenas em parte do estrato B, denominado B'. O resultado desta classificação pode ser observado na Tabela 4.23 e na Figura 4.13.

Tabela 4.23 – Resultado do mapeamento temático para o município, estrato B' (sem nuvem), utilizado para a expansão por regressão, para as culturas de milho e soja.

Tema	Área (km ²)	% (a)
Corpos d' água	2,05	1,3
Café	3,55	2,3
Mata	20,31	13,1
Pastagem	26,92	17,3
Agricultura	20,21	13,0
Milho	11,42	7,4
Soja	70,75	45,6
Nuvem	496,76	-
Área urbana	-	-
Total	651,97	100,0

(a) Para o cálculo do percentual da área ocupada com as variáveis, desconsiderou-se a área ocupada com nuvem.

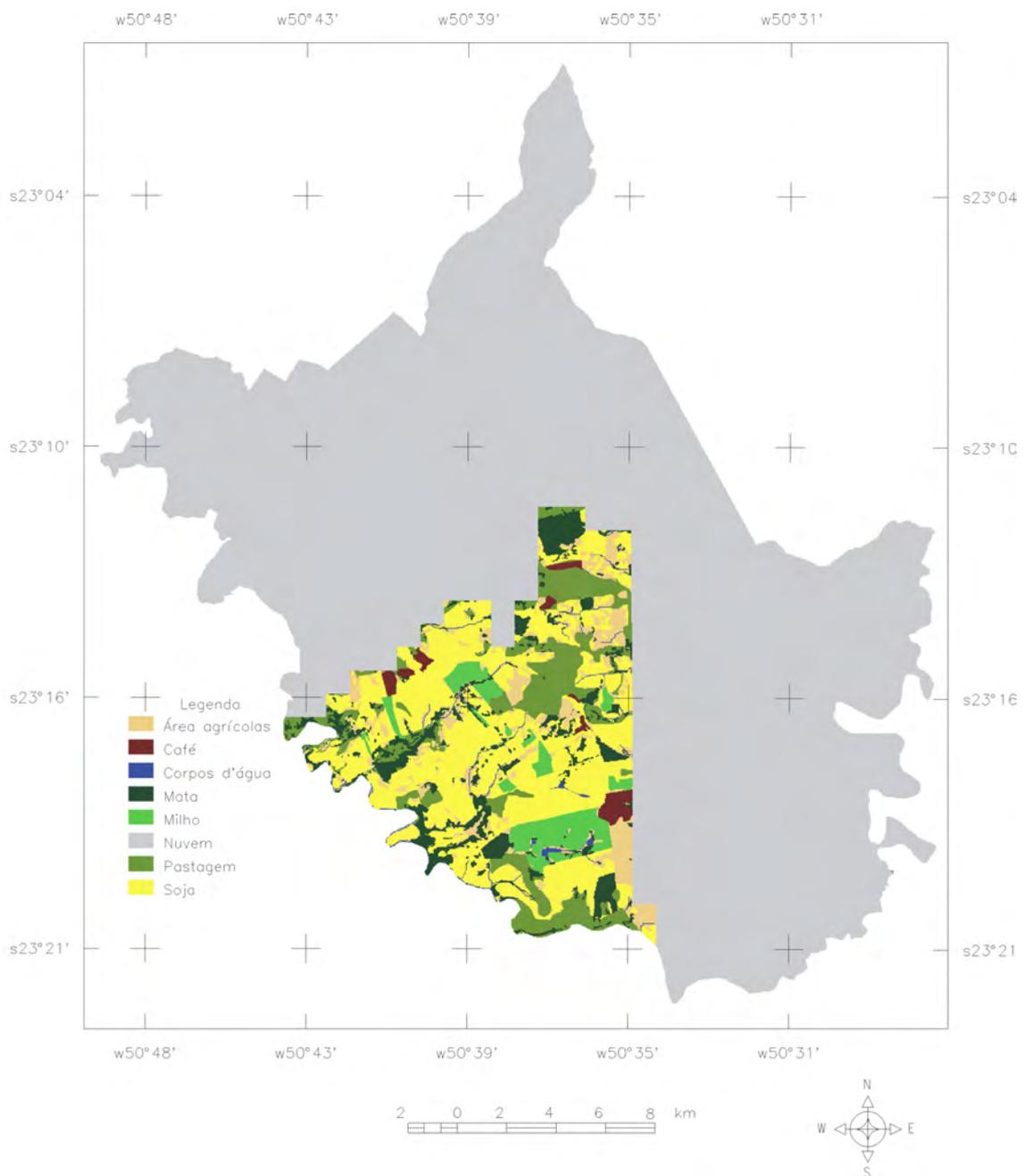


FIGURA 4.13 – Resultado do mapeamento temático no município utilizado para a o cálculo da regressão para estimar a área da cultura do milho e da soja.

4.8.4 Resultados da Estimativa de Área das Culturas de Milho e Soja, por meio da Regressão Linear, no Município de Cornélio Procópio.

Para estimar a área de milho e soja pelo o modelo de regressão linear empregaram-se os dados contidos na Tabela 4.24 e na Tabela 4.25, referentes à classificação temática e os resultados da pesquisa de campo, contidas na Tabela 4.14 e Tabela 4.15.

Tabela 4.24 – Área e número de *pixels* classificados com milho e soja no estrato B' (sem nuvem) do município.

Segmento	Área de milho, por segmento (km ²)	Número de <i>pixels</i> classificados no segmento com milho	Área de soja, por segmento (km ²)	Número de <i>pixels</i> classificados no segmento com soja
5	-	-	-	-
8	-	-	0,16	100
11	-	-	0,88	723
12	-	-	0,41	145
13	0,18	267	0,66	687
14	-	-	0,43	363
15	0,09	86	0,79	967
16	0,07	76	0,79	804
17	-	-	0,42	347
18	0,30	423	0,65	657
19	0,40	443	0,47	528
21	0,91	997	0,06	67
24	-	-	0,58	525
25	-	-	0,46	153
Média	0,13	163,71	0,48	433,28
Variância	0,0661	82954,989	0,072816383	95773,142
Número total de <i>pixels</i> no estrato		12.696,00		76.618,00

Para a estimativa da área de milho e soja no restante do município, ou seja, parte do estrato B e o estrato D onde ocorreu incidência de nuvem, usou-se a expansão direta cujos dados coletados nos segmentos são apresentados na Tabela 4.25.

Tabela 4.25 – Área ocupada com milho e soja, no estrato B (com nuvem), do município.

Segmento	Área de milho por segmento (km ²)	Área de soja por segmento (km ²)
1	-	0,89
2	-	0,98
3	0,14	0,52
4	0,04	0,85
6	0,03	0,93
7	0,12	0,75
9	-	0,06
10	-	0,41
20	-	0,98
22	-	0,89
23	-	0,37
Média	0,03	0,69
Variância	0,003	0,093

Os resultados da estimativa de área de soja e milho, obtidos pela combinação dos dois modelos (expansão direta e regressão) estão na Tabela 4.26.

Tabela 4.26 – Estimativas da área e variância das culturas de milho e soja, obtidas pela regressão, expansão direta e método subjetivo, para o município de Cornélio Procópio.

Estimadores	Cultura do milho		
	Área (km ²)	Variância (km ⁴)	C.V. (%)
Regressão	32,68	94,62	29,76
Expansão Direta	45,12	215,47	32,54
Subjetivo (DERAL)*	40,00	-	-
	Cultura da soja		
Regressão	271,44	784,03	10,31
Expansão Direta	252,42	860,31	11,62
Subjetivo (DERAL)*	255,00	-	-

* Fonte: PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b)

Na Tabela 4.26 pode ser observado que há grande variabilidade entre os dados estimados pelos diversos modelos para a cultura do milho. A área total da cultura do milho estimada pela regressão foi de 32,68 km², pela expansão direta foi de 45,12 km² e pela estimativa subjetiva do PARANÁ.SEAB/DERAL (2003b) foi de 40,00 km². Verificou-se que somente a área, sem levar em consideração a variância da estimativa, o modelo de expansão direta aproximou mais dos resultados da pesquisa subjetiva. Entretanto, em razão da grande variabilidade de ocorrência de áreas plantadas com

milho nos segmentos da amostra, estatisticamente os resultados obtidos pela expansão direta e pela regressão não diferiram entre si, a 95% de confiança.

Com relação à cultura de soja, pode-se observar na Tabela 4.26 que quando comparados os dados pontuais, a expansão direta teve maior aproximação com a estimativa subjetiva (PARANÁ.SEAB/DERAL, 2003b). A área estimada pela regressão para a cultura da soja foi de 271,44 km², não diferindo estatisticamente da expansão direta a 95% de confiança.

Observa-se também que houve uma redução percentual do C.V. obtido pela regressão. A eficiência relativa da regressão quando comparada com a expansão direta, para a estimativa da área de milho foi de 2,27. Este número é bem inferior ao encontrado para a cultura do café (7,99), mas pode ser justificado pela ocorrência de nuvens em grande parte da área de estudo. Esse resultado é menor que os obtidos por Gonzáles-Alonso *et al.* (1991), Gonzáles-Alonso e Cuevas (1993) e Gonzáles-Alonso *et al.* (1997).

No caso da cultura da soja, observa-se que a precisão das estimativas de área por meio dos dois modelos foi muito parecida. No caso, o C.V. obtido pela regressão foi de 10,31 e para a expansão direta foi de 11,62. Entretanto, nota-se que o resultado que mais se aproximou da estimativa subjetiva foi o da expansão direta.

A eficiência relativa do estimador de regressão para a cultura da soja, quando comparado à expansão direta, foi de 1,09 vezes. Este resultado foi menor do que aqueles obtidos para o café (7,99) e para o milho (2,27). Esta eficiência relativa (1,09) está abaixo da eficiência relativa descrita nos trabalhos de Gonzáles-Alonso *et al.* (1991), Gonzáles-Alonso e Cuevas (1993) e Gonzáles-Alonso *et al.* (1997).

4.9 Custo da Pesquisa

A Tabela 4.27 mostra o custo variável da pesquisa que totalizou R\$21.288,91. Deste total, os itens que mais contribuíram foram as Imagens Landsat-7/ETM⁺ e a mão-de-obra, com 46,5% e 40,4%, respectivamente. Entretanto, verifica-se que as cenas do Landsat-7/ETM⁺ cobrem uma área superior a área de estudo. Desta forma, há

possibilidade do uso para regiões adjacentes. O custo da mão-de-obra utilizada para classificar, estratificar e amostrar (Tabela 4.28) sofreria pequenos incrementos. Assim, não haveria grandes incrementos no custo total para estimar a área de culturas agrícolas nessas áreas adjacentes.

TABELA 4.27 – Custo para operacionalização da pesquisa.

Item	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Imagens Landsat-7/ETM ⁺	9 cenas	1.100,00	9.900,00
Material*	1 Unidade	300,00	300,00
GPS	1 Unidade	2.763,00	690,75
Microcomputador	1 Unidade	4.000,00	1.000,00
Km rodados	3659 km	0,22	804,98
Mão-de-obra **	1092 homens/hora	7,87	8.593,18
Total			21.288,91

* inclui custo de plotagem do material de campo, canetas, papel.

** detalhes podem ser observados na Tabela 4.28

Na Tabela 4.28 pode-se observar como foi composto o custo da mão-de-obra. Observa-se que para a realização desta pesquisa foram gastas um total de 1.092 homens/hora. O tempo gasto com os procedimentos de criação do banco de dados, georeferenciamento e classificação estão embutidos no item referente à classificação de imagens.

TABELA 4.28 – Decomposição do custo variável da mão-de-obra.

Mão-de-obra	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Classificação da imagem	168 homens/hora	9,66	1.622,73
Procedimentos de estratificação e amostragem	105 homens/hora	9,66	1.014,20
Procedimentos para preparar e imprimir material de campo	96 homens/hora	9,66	927,27
Coleta de dados no campo ^{1,2}	688 homens/hora	6,82	4.690,91
Digitalização	30 homens/hora	9,66	289,77
Extração e expansão dos dados	5 homens/hora	9,66	48,30
Total	1092 homens/hora	7,87	8.593,18

¹ Início da coleta de dados: 28/out

¹ Término da coleta de dados: 10/dez

¹ Dias úteis: 17

² Inclui salários e diárias

Dado que a região de estudo compreende uma área em torno de 5% do estado do Paraná e levando-se em consideração que a cenas utilizadas para a realizar este trabalho cobrem área superior à área da pesquisa, pode-se estimar um custo para a realização desta

pesquisa em todo o estado. Na Tabela 4.29 pode-se observar o total estimado para a realização deste trabalho no estado do Paraná. Esse valor foi estimado em R\$ 162.724,45. Pode-se observar que para a estimativa de custos, para todo o estado o valor de maior peso é a mão-de-obra, ficando orçada em R\$ 71.609,85, entretanto, os órgãos estaduais já têm este custo em sua folha de pagamentos. Como comentado anteriormente, verifica-se o decréscimo do custo com aquisição de imagens, justificando-se pela abrangência das mesmas.

TABELA 4.29 – Estimativa de custo para realização da pesquisa em todo o estado do Paraná.

Item	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Imagens Landsat-7/ETM ⁺	32 cenas	1.100,00	35.200,00
Material	20 Unidade	300,00	6.000,00
GPS	20 Unidade	2.763,00	13.815,00
Microcomputador	20 Unidade	4.000,00	20.000,00
Km rodados	73180 km	0,22	16.099,60
Mão-de-obra	9100 homens/hora	7,87	71.609,85
Total			162.724,45

Observa-se na Tabela 4.29 que a mão-de-obra corresponde a 44% do valor total, as imagens de satélite correspondem a 22% do total e, se somados GPS e microcomputadores correspondem a 21% deste total.

A Tabela 4.30 traz uma estimativa de custo para a realização da pesquisa, em todo o estado do Paraná, nos próximos três anos, ano a ano. Pode-se observar que após a implantação da pesquisa há uma redução no custo total da mesma, em virtude da redução da mão-de-obra. Observa-se também que ocorre redução na necessidade de imagens, dado que a estratificação e impressão dos segmentos já foi realizada.

TABELA 4.30 – Estimativa de custo, ano a ano, para a realização da pesquisa em todo o estado do Paraná, para os 3 anos após a implantação da mesma.

Item	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Imagens Landsat-7/ETM ⁺	16 cenas	1.100,00	17.600,00
Material	20 Unidade	300,00	6.000,00
GPS	20 Unidade	2.763,00	13.815,00
Microcomputador	20 Unidade	4.000,00	20.000,00
Km rodados	73180 km	0,22	16.099,60
Mão-de-obra *	6025 homens/hora	6,96	41.908,14
Total			115.422,74

O total estimado para a realização da pesquisa, após a sua implantação é de R\$ 115.422,74, resultando uma redução de 30% do custo total do primeiro ano da mesma. Novamente a mão-de-obra é o item de maior peso, correspondendo a 36% do total do custo, entretanto, se somados os itens *GPS* e microcomputador, os mesmos correspondem a 30% do custo. Cabe-se lembrar que estes dois últimos itens podem ser utilizados para a execução de outras atividades inerentes a empresa.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista os objetivos propostos e os resultados encontrados, apresentam-se as seguintes conclusões para a região de estudo:

- A estratificação da área quanto ao uso agrícola, por meio de dados de SR e do geoprocessamento, reduziu a subjetividade no estabelecimento do percentual utilizado para a agricultura em cada estrato, em relação a metodologia da PREVS;
- O sorteio e a alocação das amostras ao serem realizados por meio do geoprocessamento tornou-se o método mais rápido e mais prático, quando comparado aos procedimentos manuais;
- O uso de segmentos plotados sobre imagens Landsat-7/ETM⁺, para a coleta de dados no campo, foi muito útil porque a maioria das feições fisiográficas perceptíveis nas imagens estava presente no campo. Essa característica superou as fotografias aéreas antigas, uma vez que muitas das feições existentes nas fotos já haviam sido modificadas pela ação antrópica;
- O auxílio do *GPS* de navegação é fundamental para a realização do trabalho de campo;
- Foi possível obter estimativas da área cultivadas com as três culturas amostrando apenas 1% e 5% da área total para a região e para o município respectivamente;
- Mesmo obtendo boas estimativas de área, constatou-se que para estimar a área das culturas do milho e do café, utilizando o mesmo painel de amostragem, é

necessário ajustar os estratos de uso do solo para essas duas culturas, para diminuir o C.V. da estimativa;

- Os resultados da expansão direta, apesar de ter apresentado um maior C.V., foram obtidos de modo mais rápido e não depende da disponibilidade de imagens obtidas no período de desenvolvimento da cultura;
- Para as culturas anuais, como o milho e a soja, a necessidade de obter imagens de satélite durante o período de crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas, para serem usadas no estimador de regressão, pode inviabilizar o procedimento de estimativa de área. Entretanto, se há disponibilidade de imagens para toda a área de estudo ou parcialmente é interessante aplicar o modelo de regressão uma vez que o mesmo é mais eficiente do que a expansão direta;
- A redução na variância ocasionada pelo estimador por regressão só é viável se a maior parte da área puder ser classificada;

Recomenda-se o uso do *software* SPRING para a realização dos procedimentos descritos nesta pesquisa, pois o mesmo abrange as funções relativas a matriz e a vetores, além de trabalhar com banco de dados. Desta forma desempenha função completa para o geoprocessamento e tratamento de imagens digitais.

Recomendam-se maiores estudos relacionando a forma de cultivo e a resposta espectral da cultura de café, pois se verificou que lavouras adensadas respondem com maior intensidade no infravermelho próximo.

Recomenda-se o uso da expansão direta, pois a mesma independe da necessidade de imagens para a sua realização e além disto, os seus resultados são mais rápidos, permitindo a obtenção dos mesmos até 3 dias após o término do trabalho de campo.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adami, M.; Pinheiro, E. S.; Moreira, M. A.; Fonseca, L. M. G. Aplicações de diferentes algoritmos para a classificação de imagens ETM+/Landsat-7 no mapeamento agrícola. In: Simposio Latinoamericano de Percepcion Remota Y Sistemas de Information Espacial, 10; Reunion Plenaria de SELPER, 21. Cochabamba, 2002 **Anais**. Cochabamba: SELPER, 2002. v. , p. 8.
- Allen, J. D. A look at the Remote Sensing Applications Program of the National Agricultural Statistics Service. **Journal of Official Statistics**, v. 6, n. 4, p. 393-409, 1990.
- Almeida, B. L.; Alemão, A. B. C.; Padre, A. D.; Grandi, B.; Scucuglia, C. L.; Ronque, E. R. V.; Raslan, M. A.; Bertapelli, M.; Alves, M. C.; Luz, O. O.; Souza, R. E.; Faria, R. M.; Katto, S. **Cenários do norte pioneiro do Paraná**. Curitiba: EMATER-PR, 2000. 174 p.
- Antunes, M. A. H.; Batista, G. T.; Assad, E. D.; Moreira, M. A. Utilizacao de medidas espectrais para o monitoramento da cultivacao de soja (*Glycine max (L.) Merrill*) ao longo do ciclo de crescimento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 1993. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993. v. 4, p. 42-51.
- Arvanitis, L. G.; Ramachandran, B.; Brackett, D. P.; Rasol, H. A.; Du, X. Multiresource inventories incorporating GIS, *GPS* and database management systems: a conceptual model. **Computers and Eletronics in Agriculture**, n. 28, p. 89-100, 2000.
- Assunção, G. V.; Moreira, M. A.; Novaes, R. A. Irrigated rice area estimation using remote sensing techniques: project's proposal and preliminary results. In: International Congress of Photogrammetry and Remote Sensing, 15., Rio de Janeiro, 1984. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1984. v. 25, p. 465-472.
- Batista, G. T.; Mendonça, F. J.; Lee, D. C. L.; Chen, S. C.; Tardin, A. T.; Novaes, R. A.; Toscano, L. P. **Estudo da viabilidade do uso amostral de fotografias aéreas (infravermelho colorido) para estimativa de áreas cultivadas em Jardinópolis-SP**. São José dos Campos: INPE, 1977. 18 p. (INPE-1006-NTE/077).
- Batista, G. T.; Mendonça, F. J.; Lee, D. C. L.; Tardin, A. T.; Chen, S. C.; Novaes, R. A. **Uso de dados orbitais para identificação e avaliação de áreas de cana-de-açúcar**. São José dos Campos: INPE, 1978. 26 p. (INPE-1228-NTE/116).
- Batista, G. T.; Tardin, A. T.; Chen, S. C.; Dallemand, J. F. Avaliação de produtos HRV/SPOT e TM/LANDSAT na discriminação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 379-386, 1990.

Bins, L. S., Erthal, G. J., Fonseca, L. M. G. Um método de classificação não-supervisionada por regiões. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO GRÁFICA E PROCESSAMENTO DE IMAGENS, 6, Recife, 1993,. **Anais**. Recife: SBC/UFPE, 1995. v.2, p. 65-68.

Câmara, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. São José dos Campos. 281p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - INPE, 1995.

Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. C. P. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. **Computers and Graphics**, v. 15, n. 6, p. 13-22, 1996.

Celaschi, W. Um modelo para estimação do rendimento do milho aplicado ao Estado de São Paulo. São José dos Campos. 178 p. (INPE-2658-TDL/118). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983.

Chen, S. C. **Precisão de classificação do mapa de distribuição de culturas, obtido a partir de imagens Landsat**. São José dos Campos: INPE, 1980. 7 p. (INPE-1889-RPE/232)

_____. Contribuição de dados de satélite no sistema de previsão de safras. In: Seminário Internacional sobre Estimativa da Biomassa Terrestre e da Produção Agrícola Via Satélite, São Paulo, 1990. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1990 p. 47-50.

Chen, S. C.; Fonseca, L. B. Modelo de produtividade do milho para a DIRA de Ribeirão Preto. In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1., São José dos Campos, 1978. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1978, v.1, p. 99-105.

Chen, S. C.; Lima, A. M.; Moreira, M. A. Estudo comparativo da classificação automática de trigo obtida por vários classificadores. In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2., Brasília, 1982. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1982. v. 3, p. 951-956.

Cochran, W. G. **Técnicas de Amostragem** 2 ed. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1977. 555p.

Collares, J. E. R.; Lauria, C. A.; Carrilho, M. M. Pesquisa de Previsão e Acompanhamento de Safras baseada em Painéis de Amostras de Áreas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., **Anais**. Curitiba: INPE, 1993. v. 4, p. 450-3.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **Cafés do Brasil**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: Jan.2002a.

_____. **Previsão de Safras** . Disponível em:<<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: Jan.2002b.

Confederação Nacional da Agricultura (CNA). **Notícias**. Disponível em: <<http://www.cna.org.br/JornaisN/noticia2.htm>>. Acesso em:Jan. 2002.

Cotter, J. J. Tomczack, C. M. An Image Analysis System to Develop Area Sampling Frames for Agricultural Surveys. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, n. 3, p. 229-306, Mar. 1994.

Crepani, E. Duarte, V.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento no mapeamento regional da cobertura e uso atual da terra.** São José dos Campos: INPE, 2001. 36p. (INPE-8478-NTC/346)

Cunha, M. S. Dinâmica da modernização agropecuária do norte paranaense, 1970-85. Londrina. 121 p. (UEL C972D) Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) - Fundação Universidade Estadual de Londrina, 1993.

Dallemand, J. F. **Identificação de culturas de inverno por interpretação visual de dados SPOT e Landsat/TM no Noroeste do Paraná.** São José dos Campos. 131 p. (INPE-4334-TDL/290). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987.

Dana, P. H. **The Global Positioning System** Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/GPS/GPS_f.html>. Acesso em: Fev. 2003.

Day, C. **A compilation of PEDITOR estimaton formulas.** Washington: National Agricultural Statistics Service, 2002. 19 p. (RDD-02-03)

Derenne, M.; Setzer, A. W.; França, H. O "Cinturão" de Soja e Milho em Mato Grosso nos mosaicos IVDN/AVHRR.[CD-ROM] In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., Foz do Iguaçu. 2001. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 2001. Seção Poster, p. 41-49.

ENGESAT **Ficha técnica resumida do Landsat** Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/satélites>>. Acesso em: Fev. 2003.

Epiphanyo, J. C. N. **Sensoriamento remoto termal para avaliação de produtividade e deficiência hídrica de milho (Zea mays L.) na região dos Cerrados.** São José dos Campos. 123 p. (INPE-2704-TDL/129). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983.

_____. **Dados TM Landsat-5 no estudo das culturas de trigo e feijão.** Piracicaba, 160 p. (INPE-4746-RPE/580) Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1988.

Fageria, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas.** Brasília: EMBRAPA., 1989. 425 p.

Ferreira Jr., **O GPS TRACKMACKER** Disponível em: <<http://www.GPStm.com/port/>>. Acesso em: Fev. 2003.

Fonseca, L. M. G., **Restauração de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR.** São José dos Campos. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1988.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Multiple frame agricultural surveys: current survey based on area and list sampling methods.** Roma, 1996. v. 1.

_____. **Multiple frame agricultural surveys: agricultural survey programmes based on area frame or dual frame (area and list) sample designs.** Roma, 1998. v. 2.

Formaggio, A. R. **Características agronômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e de feijão**. Piracicaba, 181 p. (INPE-5061-RPE/621) Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – USP/ESALQ - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1989.

Gallego, F. J. **Sampling frames of square segments** Luxembourg: Joint Research Centre, 1995. 72p.

Gómez, S. N.; Gallego, J. Crop area estimation pilot project: Zimbabwe. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 28., Cape Town, 2000, **Anais**. Cape Town: ICRSE, 2000. v. , p. 4.

González-Alonso, F.; Cuevas, J. M. Remote sensing and agricultural statistics: crop area estimation through regression estimators and confusion matrices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 6, p. 1215-19, 1993.

González-Alonso, F.; Cuevas, J. M.; Arbiol, R.; Baulies, X. Remote sensing and agricultural statistics: crop area estimation in north-eastern Spain through diachronic Landsat TM and ground sample data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 2, p. 467-70, 1997.

González-Alonso, F.; Soria, S. L.; Gozalo, J. M. C. Comparing two methodologies for crop area estimation in Spain using Landsat TM images and ground-gathered data. **Remote Sensing of Environment**, v.35, n.1, p 29-35, Jan. 1991.

Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2000. 509 p.

Hansen, M. H.; Hurwitz, W. N.; Madow, W.G. **Sample Survey Methods and Theory - Theory**. New York: John Wiley & Sons, 1953. 332 p. v. 2.

Hill, J. Mégier, J. Regional land cover and agricultural area statistics and mapping in The Département Ardèche, France, by user Thematic Mapper data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, n. 10-11, p. 1573-95, 1988.

Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Café do Paraná. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/iapar/café/cadprod.html>>. Jan. 2002.

_____. Zoneamento Agrícola Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/iapar/zonpr/>>. Fev. 2003.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Bandeirantes (PR)**: Mapa topográfico. SF-22-Z-C-II-1. Rio de Janeiro, 1976a.(Mapa topográfico. Escala 1:50.000).

_____. **Cambará (PR)**: Mapa topográfico. SF-22-Z-C-II-2. Rio de Janeiro, 1976b.(Mapa topográfico. Escala 1:50.000).

_____. **Congonhinhas (PR)**: Mapa topográfico. SF-22-Z-C-IV-2. Rio de Janeiro, 1976c.(Mapa topográfico. Escala 1:50.000).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cornélio Procopio (PR)**: Mapa topográfico. SF-22-Z-C. Rio de Janeiro, 1976d.(Mapa topográfico. Escala 1:250.000).

_____. **Cornélio Procópio (PR):** Mapa topográfico. SF-22-Z-C-I-2. Rio de Janeiro, 1976e. (Mapa topográfico. Escala 1:50.000).

_____. **Nova Fátima (PR):** Mapa topográfico. SF-22-Z-C-I-4. Rio de Janeiro, 1976f. (Mapa topográfico. Escala 1:50.000).

_____. **Ribeirão do Pinhal (PR):** Mapa topográfico. SF-22-Z-C-II-3. Rio de Janeiro, 1976g. (Mapa topográfico. Escala 1:50.000).

_____. **Pesquisa de Previsão de Safras Cafeeiras: Manual do entrevistador.** Rio de Janeiro, 1998.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Sistema de Processamento de Informações Georeferencias – SPRING 3.5.1 – Tutoriais.** São José dos Campos, SP. 2001.

_____. **Imagem de satélite Landsat-7/ETM+ - ORB 221 PTO 76.** [CD ROM]. Data Pass. 01-04-2002. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2002. (Imagem. Escala 1:50000).

_____. **Imagem de satélite Landsat-7/ETM+ - ORB 221 PTO 76.** [CD ROM]. Data Pass. 09-11-2001. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2001. (Imagem. Escala 1:50000).

_____. **Imagem de satélite Landsat-7/ETM+ - ORB 222 PTO 76.** [CD ROM]. Data Pass. 04-02-2002. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2002. (Imagem. Escala 1:50000).

_____. **Imagem de satélite Landsat-7/ETM+ - ORB 221 PTO 76.** [CD ROM]. Data Pass. 21-06-2002. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2002. (Imagem. Escala 1:50000).

_____. **Imagem de satélite Landsat-7/ETM+ - ORB 222 PTO 76.** [CD ROM]. Data Pass. 02-12-2001. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2001. (Imagem. Escala 1:50000).

_____. **Imagem de satélite Landsat-7/ETM+ - ORB 222 PTO 76.** [CD ROM]. Data Pass. 08-03-2002. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2002. (Imagem. Escala 1:50000).

_____. **Imagem de satélite Landsat-7/ETM+ - ORB 222 PTO 76.** [CD ROM]. Data Pass. 28-06-2002. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2002. (Imagem. Escala 1:50000).

_____. **Imagem de satélite Landsat-7/ETM+ - ORB 222 PTO 76.** [CD ROM]. Data Pass. 03-11-2002. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2001. (Imagem. Escala 1:50000).

_____. **Imagem de satélite Landsat-7/ETM+ - ORB 222 PTO 76.** [CD ROM]. Data Pass. 07-02-2003. Cachoeira Paulista: Divisão de Geração de Imagens (DGI), 2003. (Imagem. Escala 1:50000).

Krug, T.; Yanasse, C. C. F. **Estimativa de safras agrícolas utilizando dados coletados por satélites de sensoriamento remoto e dados terrestres, através de**

amostras de substratos geográficos. São José dos Campos: INPE, 1986. 51 p. (INPE-4102-RPE/534).

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. **Remote sensing and image interpretation.** 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 724 p.

Luiz, A. J. B.; Epiphanyo, J. C. N. Amostragem por pontos em imagens de sensoriamento remoto para estimativa de área plantada por município. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, Foz do Iguaçu: **Anais.** São José dos Campos: INPE, 2001. v. , p. 8.

Luiz, A. J. B.; Oliveira, J. C.; Epiphanyo, J. C. N.; Formaggio, A. R. Auxílio das imagens de satélite aos levantamentos por amostragem em agricultura. **Agricultura em São Paulo**, v. 49, n. 1, p. 41-54, 2002.

Manfio, D. manfio@pr.gov.br **Café** Adami, M. adami@ltid.inpe.br. 30 nov. 2001.

Mascarenhas, N. D. A.; Velasco, F. R. D. **Processamento de Imagens** São José dos Campos: INPE, 1984. 315p. (INPE-3325-PRE/624)

Mather, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: An introduction.** 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.

Medeiros, A. M. P.; Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E. Imagens Landsat na estimativa de áreas de cana-de-açúcar, milho e soja. [CD-ROM] In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p. 124-8.

Mendonça, F. J. **Uso de dados do Landsat para avaliação de áreas ocupadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo** São José dos Campos. 82 p. (INPE-1713-TDL/023). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1979.

Mendonça, F. J.; Cottrell, D. A.; Tardin, A. T.; Lee, D. C. L.; Shimabukuro, Y. E.; Moreira, M. A.; Lima, A. M.; Maia, F. C. S. **Cultura do trigo: identificação e avaliação de áreas através de dados do Landsat** São José dos Campos: INPE, 1981. 9 p. (INPE-2204-RPE/397).

Mendonça, F. J.; Rosental, D. A.; Faria, K.; Covre, M.; Santos, R.; Rodrigues, R. L. V. **Mapeamento de cana-de-açúcar - Área III.** São José dos Campos: INPE, 1986. (INPE -4068-RPE/1526).

Ministério da Agricultura. **Levantamento e reconhecimento dos solos do estado do Paraná.** Brasília, 1981a. (Mapa Temático. Escala 1:600.000).

_____. **Paraná (PR):** mapa das limitações dos usos dos solos do Estado do Paraná por suscetibilidade à erosão. Brasília, 1981b. (Mapa Temático. Escala 1:600.000).

Moreira, M. A. **Sistema de amostragem para estimar a área da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) através de dados do LANDSAT.** São José dos Campos. 86 p. (INPE-2941-TDL/150). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1983.

_____. Uso da expansão direta para estimar áreas de soja e milho através de dados multiespectrais e temporais do Landsat/TM. In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1990. v. 3, p. 781-790.

_____. **Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral em parâmetros agronômicos**. Piracicaba. 142p. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, 1997.

_____. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

Moreira, M. A.; Assunção, G. V.; Novaes, R. A.; Mendonça, F. J.; Bauer, C. A.; Ritter, I. T.; Barros, J. A. I.; Perez, J. E.; Thedy, J. L. O.; Psitscher, M. A.; Vomero, T. F.

Identificação e avaliação da área ocupada com arroz irrigado através da interpretação visual da dados do MSS do Landsat. São José dos Campos: INPE, 1983. 34 p. (INPE-2991-NTE/212).

Moreira, M. A.; Aulicino, L. C. M.; Shimabukuro, Y. E.; Duarte, V.; Rudorff, B. F. T.; Yi, J. L. R.; Souza, I. M. Modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do Estado de Minas Gerais.[CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., Santos, 1998. **Anais**, São Paulo: Fabrica da Imagem Multimidia, 1998. Seção Poster.

Moreira, M. A.; Crossetti, M. L. Arroz irrigado - identificação e mapeamento através de dados espectrais e temporais do TM- Landsat. In: Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto, 4., Gramado, 1986. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1988. v. 1, p. 65.

Moreira, M. A.; Souza, I. M. Análise de resultados de segmentação por crescimento de regiões em diferentes técnicas de processamento digital de dados do Landsat/TM para mapeamento de áreas cafeeiras. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. Foz do Iguaçu - 2001. **Anais**, São Paulo: Fabrica da Imagem Multimidia, 2001. Seção Pôster.

Moreira, M. A.; Villalobos, A. G.; Assunção, G. V.; Duarte, V.; Silva, G.; Biff, A. J. S. Utilização de dados Landsat/TM para estimar área de soja [*Glycine max (L) Merrill*], através da expansão direta. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 1988. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1988. v. 2 p. 123 – 127.

Mueller, C. C.; Silva, G.; Villalobos, A. G. Pesquisa Agropecuária do Paraná - Safra 1986/87 (Programa de Aperfeiçoamento das Estatísticas Agropecuárias). **R. Bras. Estat**, v. 49, n. 191, p. 55-84, 1988.

NASA LANDSAT 7 Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>>. Fev. 2003.

Nematzadeh, M. Estimation of area with area frame sampling in Hamadan province of Iran. In: IGARSS'01. Sydney, 2001. **Proceedings**. IEEE, 2001. v. 7, p. 2970-2.

Norman, M. J. T.; Pearson, C. J.; Searle, P. G. E. **The ecology of tropical food crops**. 2 ed. Melbourne: Cambridge University Press, 1995. 430 p.

Paraná. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento – Departamento de Economia Rural (SEAB/DERAL). Valor Bruto da Produção Agropecuária. Disponível em:<<http://www.pr.gov.br/seab>> . Nov. 2001.

_____. **Milho**. Disponível em:<<http://www.pr.gov.br/seab/servicos.html>> . Jan. 2002a.

_____. **Soja**. Disponível em:<<http://www.pr.gov.br/seab/servicos.html>> . Jan. 2002b.

_____. **Aspectos da Agropecuária Paranaense**. Disponível em:<<http://www.pr.gov.br/seab/servicos.html>> . Fev. 2003a.

_____. **Dados da Região de Cornélio Procópio**. (ccpseab@pr.gov.br, Fev. 2003b). Comunicação Pessoal.

Paraná. Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA). **Mapa Político-Administrativo do Paraná**. Curitiba,2000. (Escala 1:50000).

Pense, R. Roberta_Pense@nass.usda.gov. **CASS system**. Adami, M. adami@ltid.inpe.br. 5 nov. 2001.

Pino, F. A. Estatísticas agrícolas para o século XXI. **Agricultura em São Paulo**. v.46, n.2, p.71-105. 1999.

_____. **Tendências em informações Agropecuárias**. Foz do Iguaçu, 2001. Palestra realizada no X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (X SBSR) em 25 de abril de 2001.

Pradhan, S., Crop area estimation using GIS, remote sensing and area frame sampling.. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 3, n. 1, p. 86-92, 2001.

Prado, H. Solos do Brasil: **Gênese, Morfologia, Classificação e Levantamento**. Piracicaba: H. do Prado, 2001. 220 p.

Rena, A. B.; Malavolta, E.; Rocha, M.; Yamada, T. **CULTURA DO CAFÉ: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. 447 p.

Rezende, A. C. P., **Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicadas ao Sistema Brasileiro de Previsão de Safras**. São José dos Campos. 98p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - INPE, 2000.

Richads, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281 p.

Rigaux, P.; Scholl, M.; Voisard, A. **Spatial databases with application to GIS**. San Francisco: Academic Press, 2000. 408 p.

Rudorff, B. F. T. **Dados Landsat na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar**. São José dos Campos. 114 p. (INPE-3744-TDL/202). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1985.

Rudorff, B. F. T.; Batista, G. T.; Godoy Jr., M.; Steffen, C. A.; Sa, L. R. O., Antonio F. P.; Freitas, E. S.; Bertolucci, C. L.; Zimback, C. R.; Pissiliate Jr., E.; Azenha, A. C.;

- Pissiliate, S. **Relatorio da campanha de medidas radiometricas do trigo na regio de Assis - safra 1988**. São José dos Campos: INPE, 1989. 27 p. (INPE-4949-RPE/598).
- Rudorff, B. F. T.; Krug, T. Sensoriamento remoto na estimativa da área plantada com feijão, milho e mamona no município de Irece-BA. In: Simposio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, 6., Gramado. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1986. v. 1, p. 380-4.
- Schetselaar, E. M. Fusion by the *IHS* transform: should we use cylindrical or spherical coordinates?. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 4, p. 759-65, 1998.
- Schowengerdt, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods For Image Processing** Academic Press. New York, 1997. 2^a ed. 522 p.
- Shimabukuro, Y. E.; Mello, E. M. K.; Moreira, J. C.; Duarte, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE, 1997. 14 p. (INPE-6147-PUD/029).
- Sukhatme, P. V.; Sukhatme, B. V. **Sampling Theory of Surveys with Applications**. 2 ed. Ames : Iowa State University Press, 1970. 452 p.
- Smits, P. C.; Dellepiane, S. G.; Schowengerdt, R. A. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost based approach. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.8, p.1461-86, 1999.
- Tardin, A. T.; Assunção, G. V.; Soares, J. V. Análise preliminar de imagens TM visando a discriminação de café, citrus e cana-de-açúcar na região de Furnas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 9, p. 1355-61, 1992.
- Thome, R.; **Interoperabilidade em geoprocessamento: conversão entre modelos conceituais de sistemas de informacao geográfica e comparação com o padrão OPEN GIS**. São José dos Campos. 196p. (INPE-7266-TDI/708).Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - INPE, 1998.
- Tollenaar, M.; Dwyer, L. M. Physiology of Maize. In: Smith, D. L.; Hamel, C. ed. **Crop Yield: Physiology and Processes**. Berlin: Springer, 1999. p. 169-204.
- Tsiligirides, T. A. Remote sensing as a tool for agricultural statistics: a case study of area frame sampling methodology in Hellas. **Computers and Electronics in Agriculture**, n. 20, p. 45-77, 1998.
- Tu, T.; Su, S.; Shyu, H.; Huang, P. S. Efficient intensity-hue-saturation-based image fusion with saturation compensation. **Optical Engineering**, v. 40, n. 5, p. 720-8, May 2001.
- Villalobos, A. G.; Moreira, M. A.; Silva, G.; Biffi, A. J. S.; Desenvolvimento do sistema de informacoes agropecuarias. Caracteristicas e resultados do modelo no Distrito Federal. In: Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5. Natal, **Anais**. Natal: Instituto de Pesquisas Espaciais Sociedad de Especialistas Latinoamericanos em Percepcion Remota, 1988. v. , p. 16.

Zhang, F.; Smith, D. L, Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] Physiology and Symbiotic Dinitrogen Fixation. In: Smith, D. L.; Hamel, C. ed. **Crop Yield: Physiology and Processes**. Berlin: Springer, 1999. p. 375-400.

APÊNDICE A

PROGRAMA EM LEGAL PARA TRANSFORMAR UM PLANO DE INFORMAÇÃO TEMÁTICO EM NUMÉRICO

```
{  
  
Tematico classes ("Classificacoes");  
  
Numerico num ("Numerico");  
  
TABELA POND (PONDERACAO);  
  
Solos = Retrieve (Nome = "Rec_Classificacao");  
  
num = Novo (Nome="Ponde_agr", ResX=25, ResY=25, Escala=50000, Min=0,  
Max=100);  
  
pond = Novo (CategoriaIni = "Classificacoes",  
  
"água" : 0,  
  
"mata" :0,  
  
"pastagem" :0,  
  
"solo" :100,  
  
"agricultura" :100,  
  
"área_urbana" :0);  
  
num = Pondere (Solos, pond) ;  
  
}
```


APÊNDICE B

PROGRAMA EM LEGAL PARA CALCULAR A MÉDIA PONDERADA DO USO DO SOLO POR ESTRATO

```
{  
  
//Programa para atualizar o atributo MEDIA ponderada por estrato,  
  
//através do operador MEDIA ZONAL  
  
Objeto estrato ("Estrato");  
  
Cadastral mapacadastral ("seg_cadastral");  
  
Numerico num ("Numerico");  
  
mapacadastral = Recupere (Nome = "Estr_reg");  
  
num      = Recupere (Nome = " Ponde_agr");  
  
Estrato."AGRIC" = Atualize (num, estrato OnMap mapacadastral, MedZ);  
  
}
```


APÊNDICE C

PROGRAMA EM LEGAL PARA A GERAÇÃO DE GRADE RETANGULAR (AMOSTRAS)

```
{  
  
Tematico tem ("Xadrez");  
  
tem = Novo(Nome = "Xadrez_REGIAO", ResX=1000, ResY=1000, Escala = 50000);  
  
tem = Atribua {  
  
    "al" : (tem [-1,0]!="al") && (tem [0,-1]!="al"),  
  
    "ma" : Outros  
  
};  
  
}
```


APÊNDICE E

FORMATO DO ARQUIVO ASCII PARA A IMPORTAÇÃO NO *SOFTWARE TRACKMAKER*

Version,212

WGS 1984 (*GPS*),217, 6378137, 298.2572236, 0, 0, 0

USER GRID,0,0,0,0,0

w,dms,P-1,-23 12' 25.79217",-45 51' 42.39989",09-oct-02 13:51,01/09/2002,16:51:00,0,0,48,0

w,dms,P-2,-23 12' 43.50118",-45 51' 27.27867",09-oct-02 14:11,01/09/2002,17:11:00,0,0,48,0

w,dms,P-3,-23 12' 34.88807",-45 51' 36.35526",09-oct-02 14:34,01/09/2002,17:34:00,0,0,48,0

w,dms,P-4,-23 12' 40.31472",-45 51' 38.74994",09-oct-02 14:19,01/09/2002,17:19:00,0,0,48,0

w,dms,P-5,-23 12' 35.56399",-45 51' 28.57257",09-oct-02 14:04,01/09/2002,17:04:00,0,0,48,0

ONDE:

W: Waypoint

dms: grau , minuto segundo e fração de segundo

P-1: número do ponto

09-oct-02: dia/mes/ano da aquisição do dado 13:15: hora da aquisição

01/09/2002:DATA

APÊNDICE F

FORMATO DO ARQUIVO DE LINHAS, EM ASCII, PARA A IMPORTAÇÃO NO *SOFTWARE* SPRING EM COORDENADAS GEOGRÁFICAS

LINES

INFO

//Arcos sem Topologia

//Arquivo ASCII gerado pelo Sistema SPRING

//Projeto: regioa - Plano de informação: Fazenda2

//Categoria: Fazenda - Modelo: THEMATICMODEL

DATUM SAD69, 6378160.000000, 0.003353, 0.000000, 0.000000, 0.000000

PROJECTION UTM/SAD69, 1, 0.000000, -0.890118, 0.000000, 0.000000

BOX o 51 1 10.82, s 24 3 7.43, o 50 9 15.00, s 22 47 6.91

UNITS Geográficas

SCALE 50000.000000

INFO_END

o 23 2 10.44 s 50 50 12.66

o 23 2 9.27 s 50 50 11.21

o 23 2 9.51 s 50 50 8.84

o 23 2 9.00 s 50 50 7.43

o 23 2 4.49 s 50 50 12.89

o 23 1 58.00 s 50 50 7.62

o 23 2 1.06 s 50 50 0.58

o 23 2 3.20 s 50 49 57.76

o 23 2 7.33 s 50 49 55.45

o 23 2 9.83 s 50 49 47.36

o 23 2 10.44 s 50 50 12.66

END

END

APÊNDICE G

FORMATO DO ARQUIVO DE PONTOS, EM ASCII, PARA A IMPORTAÇÃO NO *SOFTWARE* SPRING EM COORDENADAS PLANAS

POINT2D

INFO

//Ponto 2D e Identificadores se Ponto Classificado

//Arquivo ASCII gerado pelo Sistema SPRING

//Projeto: regioa - Plano de informação: Campo_1

//Categoria: Campo - Modelo: CADASTRALMODEL

DATUM SAD69, 6378160.000000, 0.003353, 0.000000, 0.000000, 0.000000

PROJECTION UTM/SAD69, 1, 0.000000, -0.890118, 0.000000, 0.000000

BOX 498000.000000, 7340000.000000, 586000.000000, 7480000.000000

UNITS Metros

SCALE 50000.000000

SEPARATOR ;

//Formato coordx ; coordy ; label ; name ; category_obj

INFO_END

544371.124;7434377.519

544373.124;7434311.594

544747.427;7435014.806

544832.106;7434877.367

544852.804;7434823.263

544893.92;7434986.453

539286.367;7441345.954

539439.786;7441625.853

539361.766;7441614.182

539737.767;7441946.344

END

APÊNDICE H

MACRO PARA O EXCEL, EM VBA, QUE IDENTIFICA SE O ELEMENTO FOI SORTEADO OU NÃO

```
Sub sorteado()  
Sheets("Estr_B_Municipio_LAB").Activate  
Range("c2:c337").Select  
Selection.Name = "n"  
Range("c2").Select  
While ActiveCell <> ""  
    Range("F1") = ActiveCell.Offset(0, 1)  
    If Range("G1") <> "n" Then  
        Cells(1 + Range("g1"), 5) = "s"  
    End If  
    ActiveCell.Offset(1, 0).Activate  
Wend  
lin = ActiveCell.Row  
Range("E2").Select  
While ActiveCell.Row <> lin  
    If ActiveCell = "" Then  
        ActiveCell = "n"  
    End If  
    ActiveCell.Offset(1, 0).Activate  
Wend  
End Sub
```