



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-14826-TDI/1266

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE
MULTITEMPORAL DA DINÂMICA DE ÁREAS AGRÍCOLAS**

Natália de Almeida Crusco

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, aprovada em 19 de junho de 2006.

INPE
São José dos Campos
2007

Publicado por:

esta página é responsabilidade do SID

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Gabinete do Diretor – (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 – CEP 12.245-970

São José dos Campos – SP – Brasil

Tel.: (012) 3945-6911

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

**Solicita-se intercâmbio
We ask for exchange**

Publicação Externa – É permitida sua reprodução para interessados.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-14826-TDI/1266

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA ANÁLISE
MULTITEMPORAL DA DINÂMICA DE ÁREAS AGRÍCOLAS**

Natália de Almeida Crusco

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, aprovada em 19 de junho de 2006.

INPE
São José dos Campos
2007

528.711.7

Crusco, N. A.

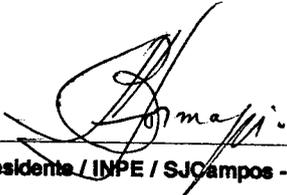
Sensoriamento remoto para análise multitemporal da dinâmica de áreas agrícolas / Natália de Almeida Crusco. – São José dos Campos: INPE, 2006.

105 p. ; (INPE-14826-TDI/1266)

1. Projeto Geosafra. 2. Sensoriamento remoto.
3. Análise multitemporal. 4. Estimativa de área agrícola.
5. Estatística agrícola. 6. Auditoria. I. Título.

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

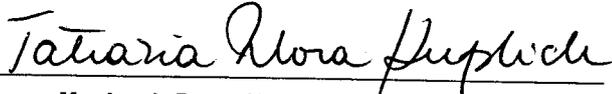
Dr. Antonio Roberto Formaggio


Presidente / INPE / SJCampos - SP

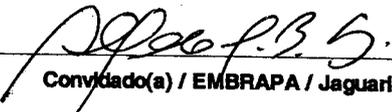
Dr. José Carlos Neves Epiphânio


Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dra. Tatiana Mora Kuplich


Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Alfredo José Barreto Luiz


Convidado(a) / EMBRAPA / Jaguariúna - SP

Dr. Alexandre Cândido Xavier


Convidado(a) / UFES / Alegre - ES

Aluno (a): **Natalia de Almeida Crusco**

São José dos Campos, 19 de junho de 2006

Se você abre uma porta, você pode ou não entrar em uma nova sala. Você pode não entrar e ficar observando a vida. Mas se você vence a dúvida, o temor, e entra, dá um grande passo: nesta sala vive-se! Mas, também, tem um preço... São inúmeras outras portas que você descobre .

O grande segredo é saber quando e qual porta deve ser aberta.

A vida não é rigorosa, ela propicia erros e acertos.

Os erros podem ser transformados em acertos quando com eles se aprende. Não existe a segurança do acerto eterno. A vida é generosa, a cada sala que se vive, descobre-se tantas outras portas. E a vida enriquece quem se arrisca a abrir novas portas.

Ela privilegia quem descobre seus segredos e generosamente oferece afortunadas portas. Mas a vida também pode ser dura e severa

Se você não ultrapassar a porta, terá sempre a mesma porta pela frente.

É a repetição perante a criação, é a monotonia monocromática perante a multiplicidade das cores, é a estagnação da vida... Para a vida, as portas não são obstáculos, mas diferentes passagens!

IÇAMI TIBA

AGRADECIMENTOS

À CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento - pelo auxílio financeiro de dois anos de bolsa de mestrado.

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

Aos professores do INPE pelo conhecimento compartilhado, principalmente aos Drs. Gilberto Câmara e Antonio Roberto Formaggio.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Carlos Neves Epiphânio, pela orientação e apoio em todo o desenvolvimento do trabalho. Principalmente pela amizade e pelos ensinamentos que levarei por toda a vida.

Ao pessoal da turma de 2005; sempre muito animados: Mírcea, Taíse, Thiago, Fábio, Rui, Wagner, Carol, Sheila, Javier, Marcos.

Aos meus amigos de turma, que tornaram as coisas mais fáceis e mais divertidas: Giovana, Edu Mineiro, Camilinha, Samuca, Marco Aurélio, Elienê, Dênis, Delano, Edu Arraut, Murilo, Avelino, Conrado, Silvana, Vanessa, Dani Máquina, Marcelo, Wilson Lins.

Ao pessoal do Geosafra: Dany, John, Bete e Ieda, por me ajudarem sempre que precisei.

Às amigas de condomínio Annette, Mari e Priscila pelas risadas que valeram muito a pena.

Às minhas queridas amigas, Camila e Michelle, que me ajudaram muito nessa jornada, seja nas longas conversas, seja sobre a vida, ou na divisão das tarefas domésticas. Pela amizade, pelo carinho e compreensão em todos os momentos.

À minha família, principalmente a meus avós, Fernando e Izilda, por se preocuparem sempre comigo.

A meus pais, por acreditarem em mim e por me apoiarem sempre.

Ao Otávio, querido, comigo sempre, e sempre me colocando pra cima. Pelo amor, pelas conversas e por me fazer acreditar mais em mim.

RESUMO

Estatísticas agrícolas são importantes em um país como o Brasil, onde a agricultura desempenha um papel fundamental na economia brasileira. As metodologias atualmente utilizadas são baseadas em dados subjetivos, e apresentam um caráter não-probabilístico. No intuito de aprimorar os resultados obtidos, o projeto Geosafras utiliza dados de sensoriamento remoto associado a dados de campo na geração de estimativa de áreas agrícolas para as principais culturas existentes no país. Porém, este método apresenta algumas limitações quanto à validação dos dados provenientes do campo. Neste sentido, este trabalho tem como hipótese central a existência de relação entre os dados coletados em campo no presente e informações de uso do solo em tempos passados. Assim, o principal objetivo é avaliar como a dinâmica de áreas agrícolas, pela abordagem multitemporal, pode auxiliar o processo de previsão, auditoria e validação de dados de campo. O estudo de imagens multitemporais possibilitou a avaliação da dinâmica de áreas agrícolas e do padrão de uso do solo na área de estudo. Foram utilizadas 24 imagens dos sensores TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7 no período de 2002 a 2005. As classes avaliadas neste trabalho - soja, cana-de-açúcar, pasto e mata - foram bem discriminadas visual e espectralmente. A análise da dinâmica temporal mostrou que cada classe possui padrões distintos, que estão associados também ao calendário agrícola da região. A metodologia empregada neste trabalho foi eficiente tanto na realização da previsão de uso do solo, como na indicação dos pontos a serem auditados no painel amostral do projeto Geosafras, apontando os erros que podem ser cometidos em campo e depurados pela utilização das imagens de satélite.

REMOTE SENSING FOR MULTITEMPORAL ANALYSIS OF CROP LAND USE DYNAMICS

ABSTRACT

Agricultural statistics are important in a country like Brazil, where agriculture plays an important role over the economy. The methodologies for crop area estimates are commonly based on subjective data, and they present a non-probabilistic profile. In order to increase the quality of the results, the Geosafras Project uses remote sensing data associated to field data for estimating the area of agricultural crops for the main crop types existing in the country. However, this method presents some limitations regarding the field data validation. This work tackled this aspect and has as central hypothesis the existence of relation between the field data collected in the present and information about the land-use in the past. Thus, the main objective is to evaluate how the agricultural crop land use dynamics, evaluated here by remote sensing multitemporal analysis, can assist the early estimation process, auditing and field data validation. The analysis of multitemporal images showed that it was possible the validation of the agricultural land dynamics and the land-use patterns in the study area. In order to accomplish the study, 24 TM/Landsat-5 and ETM+/Landsat-7 images in the time-frame from 2002 to 2005 were used. The crop land use classes evaluated in this work – soybean, sugarcane, grassland and forest – were well distinguished visually and spectrally. The analysis of the temporal dynamics showed that each class has a distinct pattern, which is also associated to the agricultural schedule/calendar of the region. The methodology used in this work was efficient for the land-use prediction, as well as for the indication of the plotted points to be audited in the sample panel of the Geosafras Project. Also, it was possible to identify the errors that can be committed during field sampling and corrected them by using multitemporal satellite images.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

INTRODUÇÃO	19
1.1 Definição do Problema	20
1.2 Motivação	21
1.3 Hipótese	22
1.4 Objetivos.....	22
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 Análise multitemporal em área agrícolas	25
2.2 Análise espectral.....	31
2.3 Dinâmica temporal de áreas agrícolas	33
ÁREA DE ESTUDO	35
3.1 Localização.....	35
3.2 Caracterização físico-climática.....	36
3.3 Uso atual do solo	37
MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1 Materiais	39
4.1.1 Dados de sensoriamento remoto	39
4.1.2 Dados de campo	40
4.1.3 Equipamento	41
4.1.4 Software.....	41
4.2 Métodos	42
4.2.1 Pré-processamento dos dados de sensoriamento remoto.....	44
4.2.1.1 Registro.....	44
4.2.1.2 Escolha da imagem-referência.....	44
4.2.1.3 Correção atmosférica.....	45
4.2.1.4 Uniformização das imagens	45
4.2.1.5 Transformação dos valores de ND para reflectância.....	46
4.2.2 Processamentos.....	46
4.2.2.1 Segmentação.....	46
4.2.2.2 Estatística por polígono	47
4.2.3 Análise multitemporal	48
4.2.4 Comparação entre as classes.....	48
4.2.5 Previsão	49
4.2.6 Trabalho de campo e Auditoria	50
RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 Processamentos.....	51
5.1.1 Registro.....	51
5.1.2 Correção atmosférica.....	51

5.1.3 Uniformização das imagens.....	53
5.1.4 Segmentação.....	54
5.2 Análise multitemporal anual.....	56
5.2.1 Análise dos pontos para 2004.....	59
5.2.2 Análise dos pontos para 2002.....	66
5.2.3 Análise dos pontos para 2003.....	69
5.2.4 Análise dos pontos para 2005.....	71
5.3 Avaliação entre os quatro anos.....	72
5.3.1 Análise estatística.....	76
5.3.2 Correlação entre as bandas.....	78
5.3.3 Mudanças no uso do solo.....	80
5.4 Previsão.....	86
5.5 Definição de auditoria.....	89
5.6 Trabalho de campo e auditoria.....	91
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
APÊNDICE A - VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO PARA TODAS AS IMAGENS DO BANCO DE DADOS.....	103

LISTA DE FIGURAS

3.1 - Localização da área de estudo no Estado do Paraná.	35
3.2 - Temperatura e precipitação calculada de janeiro de 2002 a novembro de 2005....	37
4.1 – Fluxograma com as etapas realizadas no trabalho.....	43
4.2 – Recorte da imagem referência. Composição RGB 453. Cena 223/77 ETM+/Landsat 7 do dia 28/12/2002.....	45
4.3 – Limite municipal de Tuneiras do Oeste com os segmentos obtidos com base nos pontos amostrais.	47
5.1 – Imagem ETM+/Landsat-7 223/77 na composição colorida RGB 453 do dia 28/12/02 antes e depois da correção atmosférica.	52
5.2 – Números digitais de um talhão de soja da imagem do dia 28/12/2002 sem correção (imagem 1G) e com a correção atmosférica.....	52
5.3 – Imagem ETM+/Landsat -7 na composição colorida RGB 453 do dia 26/01/02, com diferentes limiares de área e similaridade.....	55
5.4 – Imagem ETM+/Landsat -7 na composição colorida RGB 453 do dia 26/01/02: (a) antes da edição vetorial e (b) depois da edição vetorial.	55
5.5 Perfis espectro-temporais de pontos amostrais representativos da classe cana-de- açúcar (a,b,c) para o ano de 2004 e (c,d,e) para o ano de 2002.....	59
5.6 – Comportamento do NDVI ao longo das imagens disponíveis para o ano de 2004. (a) áreas com plantio de soja e cultura de inverno e (b) áreas com apenas o plantio de soja.....	60
5.7 – Dinâmica temporal do ponto 27. (a) imagem do dia 09/02/04, (b) imagem do dia 29/04/04, (c) imagem do dia 16/04/04, (d) imagem do dia 03/08/04, (e) imagem do dia 06/10/04, (f) imagem do dia 23/11/04, (g) imagem do dia 25/12/04 e (h) comportamento temporal do NDVI ao longo do ano.	61
5.8 – Comportamento espectral do ponto 27 para todas as imagens disponíveis em 2004.	61
5.9 – Comportamento espectro-temporal da classe mata para 2004. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.....	62
5.10 – Comportamento espectral da classe mata para todas as imagens disponíveis em 2004.	64
5.11 - Comportamento do NDVI ao longo do ano para as classes mata e pasto.....	65
5.12 – Comportamento do NDVI ao longo do ano no ponto amostral 16 (soja): (a) para as imagens de 2004 e (b) para as imagens de 2002.....	66
5.13 - Características do ponto 46 (soja). (a) Imagem de 16/04/02, composição RGB 453 e (b) comportamento espectral ao longo de 2002.....	67
5.14 - Comportamento espectro-temporal da classe mata para o ano de 2002. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.....	68
5.15 - Comportamento espectro-temporal da classe pasto para o ano de 2002. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.....	69
5.16 - Comportamento espectro-temporal da classe soja para o ano de 2003. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.....	70

5.17 - Comportamento espectro-temporal da classe mata para o ano de 2003. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.....	70
5.18 - Comportamento espectro-temporal da classe mata para o ano de 2005. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.....	71
5.19 – Dinâmica temporal do ponto 47 (cana-de-açúcar), composição colorida 4R5G3B. (a) imagem de 26/01/02, (b) imagem de 06/08/02, (c) imagem de 28/12/02, (d) imagem de 14/06/03, (e) imagem de 01/08/03, (f) imagem de 07/12/03, (g) imagem de 03/08/04, (h) imagem de 06/10/04, (i) imagem de 25/12/04, (j) imagem de 03/06/05, (k) imagem de 22/08/05 e (l) imagem de 10/11/05.....	73
5.20 – Comportamento do NDVI para o ponto 47 ao longo de quatro anos (2002 a 2005).....	74
5.21 – Dinâmica temporal do ponto 27, composição colorida R4G5B3. (a) imagem de 26/01/02, (b) imagem de 06/08/02, (c) imagem de 29/01/03, (d) imagem de 01/08/03, (e) imagem de 09/02/04, (f) imagem de 03/08/04, (g) imagem de 11/02/05 e (h) imagem de 22/08/05.....	74
5.22 - Comportamento do NDVI para o ponto 27 (classe soja) ao longo de quatro anos (2002 a 2005).....	75
5.23 – Maiores valores de NDVI e de reflectância e por banda em todos os anos avaliados.	76
5.24 – Indicação dos pares de bandas espectrais que possibilitam a separação das classes para o período 1.	80
5.25 – Gráficos de dispersão entre as bandas (a) 4 e 5 e (b) 4 e 7.....	80
5.26 – Imagens na composição RGB 453 representativas de pontos que não apresentaram concordância entre os dados de campo e a análise das imagens. (a) imagem de 11/02/05, (b) imagem de 23/11/04, (c) imagem de 29/01/03, (d) imagem de 25/12/04 e (e) imagem de 11/02/05.	83
5.27 – Pontos identificados erroneamente pelos técnicos, (a) ponto 18, imagem de 09/02/04 composição colorida 4R5G3B e (b) ponto 57, imagem de 16/04/05 composição colorida 4R5G3B.....	86
5.28 – Localização geográfica dos pontos que poderão ser auditados por classe.	90
5.29 - Talhão referente ao ponto 81.....	92

LISTA DE TABELAS

3.1 - Área plantada de lavouras temporárias encontradas no município em 2004.	37
3.2 – Calendário agrícola das principais culturas do município Tuneiras do Oeste.....	38
4.1 - Imagens pertencentes ao banco de dados referentes à cena 223/77 do Landsat. ...	40
4.2 - Ficha de campo utilizada pelos técnicos.	40
4.3 - Pesos atribuídos ao uso de solo em cada ano avaliado.	49
5.1 – Erro de registro das imagens do banco de dados.....	51
5.2 – Equações de regressão utilizadas na uniformização.....	53
5.2 – (continuação)	54
5.3 – Número de pontos pertencentes a cada classe de ocupação do solo, com base nos dados de campo de 2004 e 2005.....	56
5.4 – Dados que não apresentam conformidade entre os dois anos de levantamento de campo.	56
5.4 – (continuação)	57
5.5 - Coeficientes de variação (%) por classe, por banda espectral e NDVI para os segmentos nas imagens do ano de 2004.	63
5.6 - Valores de p nas comparações entre as classes para os três períodos do ano.	77
5.7 – Matriz de correlação para os dados de reflectância.....	79
5.8 – Pontos com classificação diferenciada entre os dados de campo e a análise das imagens presentes no banco de dados para os anos de 2004 e 2005.	81
5.9 – Número de pontos pertencentes às classes de ocupação do solo nos quatro anos estudados e estimativa de área agrícola.....	84
5.10 – Tabela final de classificação dos pontos amostrais nos quatro anos avaliados...	85
5.11 – Classes de probabilidade de ocupação de acordo com o histórico apresentado por cada ponto amostral.....	87
5.12 – Probabilidade de ocupação para os pontos amostrais em cada classe.....	88
A.1. Valores de reflectância para as imagens de 2002	102
A.2. Valores de reflectância para as imagens de 2003	103
A.3. Valores de reflectância para as imagens de 2004	104
A.4. Valores de reflectância para as imagens de 2005	105

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

No Brasil, a agricultura contribui com um terço do Produto Interno Bruto e é considerada como uma alavanca importante para o desenvolvimento do País (Gasques et al., 2004). Os produtos agrícolas, *in natura* ou processados, atingem 31% das exportações brasileiras (Ferreira, 2000). O saldo da balança comercial dos agronegócios no Brasil foi quatro vezes maior em 2004 quando comparado ao ano de 1997, atingindo o valor de 95,3 bilhões de reais (Souza et al., 2006).

Considerando a grande dimensão da agricultura no Brasil, faz-se importante o desenvolvimento de técnicas que auxiliem na previsão de safras. Os dados produzidos pelas estatísticas agrícolas têm fornecido “poder de decisão” para órgãos governamentais e organizações, assim como têm sido utilizados para a realização de estudos científicos em diferentes áreas (Pino, 1999). Existe um compromisso governamental que preconiza a modernização de tecnologia da informação e aperfeiçoamento do sistema de previsão de safras (Rodrigues, 2004). Pesquisas relacionadas às estimativas de área e de produtividade agrícola são imprescindíveis quando se deseja obter resultados confiáveis que possam ser divulgados nacional e internacionalmente.

O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) é responsável pela realização das estatísticas agrícolas no Brasil, incluindo nesse procedimento a estimativa de área agrícola. Os dados gerados pelo Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA), feito pelo IBGE, têm periodicidade mensal e estão baseados em entrevistas aplicadas a pessoas ligadas ao meio agrícola. Este método apresenta um caráter subjetivo.

1.1 Definição do Problema

Dada a importância do desenvolvimento de métodos objetivos na estimativa de áreas agrícolas no Brasil, o projeto Geosafra, de iniciativa da CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) e em parceria com diversas instituições, iniciado na safra 2003/2004, utiliza imagens de satélite como base para a definição de painéis amostrais. A partir dessas imagens são geradas imagens que, junto com o GPS (Global Positioning System), auxiliam no trabalho de campo na fase de identificação do uso do solo nos pontos amostrais selecionados.

O método de seleção dos pontos amostrais foi desenvolvido por Epiphanyo et al. (2002), por meio da Amostragem Aleatória Simples (AAS). Onde qualquer indivíduo n da população N , tem a mesma probabilidade de ser escolhido para fazer parte da amostra.

A coleta de dados é realizada em alguns municípios, estratificados de acordo com sua área cultivada no ano anterior, para posteriormente calcular a área da cultura em questão no ano vigente. Em cada município participante do painel amostral, 100 pontos amostrais são distribuídos aleatoriamente. Após a coleta de dados em campo, cada ponto é classificado e a área cultivada é calculada por expansão direta (Luiz e Epiphanyo, 2001).

O projeto Geosafra apresenta uma questão fundamental em seu desenvolvimento, que está relacionada à validação dos dados provenientes do campo. A estimativa de área calculada por expansão é totalmente baseada nesses dados, que podem apresentar alguns tipos de erro. Entre eles estão os erros de preenchimento por parte dos técnicos de campo, que podem não chegar ao ponto determinado pelo sistema de amostragem. Isso pode ocorrer quando, por exemplo, a localização do ponto amostral estiver no limite entre dois talhões, ou em locais de difícil acesso.

O erro total presente em uma estimativa é composto pelo viés, pela variabilidade amostral e pelos erros não-amostrais:

O viés representa a distorção sistemática entre o valor esperado pela estimativa e o valor observado, que pode aparecer no processo de estimação ou de seleção dos elementos da amostra.

A variabilidade amostral é a tendência de a estatística amostral variar de uma amostra para outra.

Os erros não-amostrais, que são o foco deste trabalho, estão associados ao processo de levantamento amostral e são provenientes de erros de preenchimento e erros de medição, ou seja, erros cometidos durante o levantamento de campo e manuseio dos dados.

Estes erros não dependem do esquema amostral e necessitam de informações que não estão relacionadas ao levantamento para serem calculados e controlados (Pino, 1999).

1.2 Motivação

Nas análises realizadas no primeiro ano de execução do projeto Geosafra, foram observados alguns problemas na coleta e na validação dos dados provenientes do campo.

Um destes problemas foi reportado para o Estado do Paraná, na estimativa de área para a cultura do trigo. Pelo método do IBGE, foram estimados que 1.150.355 hectares haviam sido destinados ao plantio do trigo, enquanto que a estimativa gerada pelo Geosafra mostrou que 1.253.235 hectares representavam o trigo em todo o Estado. Essa diferença de 100.000 hectares está intimamente relacionada ao método de coleta de dados.

No anseio da resolução de problemas de estimativa de área como o do exemplo acima citado, o presente trabalho procura avaliar, pela utilização de imagens de satélite, a realidade da extensão de áreas agrícolas e sua dinâmica temporal.

Imagens de satélite apresentam um potencial relevante na geração de dados de estimativa de área agrícola, já que estas são representações da realidade no momento de

sua aquisição. A utilização de imagens na validação dos dados de campo pode confirmar o uso do solo na área em questão e, assim, gerar as informações sobre área de ocupação das culturas.

1.3 Hipótese

O tipo de uso do solo em datas passadas é fundamental na redução do número de pontos duvidosos na identificação do uso atual (Gürtler, 2003). Para tanto, alguns autores mostram a constância de alguns anos no plantio das mesmas culturas em diversas áreas (Nieuwenhuis e Mïcher, 1998; Uchida, 2001). Este fato fundamenta a utilização de informações históricas sobre a área - neste caso, dados de sensoriamento remoto multitemporais - no avanço dos procedimentos de identificação de alvos agrícolas.

Assim, este trabalho tem como hipótese central a existência de uma relação entre os dados coletados em campo no presente e informações do uso do solo em tempos pregressos. A análise do histórico de áreas com atividades agrícolas, juntamente com técnicas de mapeamento de dados multitemporais, podem auxiliar na verificação da ocupação atual do solo e prever usos futuros de acordo com o histórico de ocupação da área.

1.4 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é avaliar a dinâmica de áreas agrícolas utilizando uma abordagem multitemporal que auxilie o processo de previsão, auditoria e validação de dados de campo.

Pretende-se alcançar este objetivo geral passando pelos passos intermediários constituídos pelos seguintes objetivos específicos:

- Definição do perfil espectro-temporal de alvos agrícolas e naturais;
- Geração e análise do histórico de ocupação do uso do solo;
- Análise de inconsistências nos dados de campo;

- Definição de regras de probabilidade de ocupação em anos-agrícolas futuros;
- Indicação de pontos sujeitos ao processo de auditoria.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Análise multitemporal em área agrícolas

A dinâmica de áreas agrícolas é exhaustivamente descrita por trabalhos que têm como principal objetivo avaliar os padrões de desenvolvimento das culturas. Pelas características dinâmicas dos parâmetros espaciais, espectrais e temporais das culturas, dados multitemporais são essenciais para a geração de informações corretas sobre as áreas agrícolas (Mandal e Ghosh, 2000).

O estudo da componente temporal associado às informações espaciais e espectrais pode revelar os padrões e a complexidade de processos sobre a dinâmica de uso do solo e monitoramento ambiental (Bruzzone et al., 2003). O sistema de informações espaço-temporais é definido como “o sistema que contém e maneja dados que dependem dos conceitos de espaço e/ou tempo de alguma forma” (Cheng, 2005).

A análise de imagens multitemporais auxilia o reconhecimento de padrões caracterizados por um comportamento temporal típico. O conceito envolvido nesta área é o “temporal knowledge”, que é definido como o conhecimento de transições possíveis ou prováveis entre diferentes classes ao longo do tempo, e é utilizado como uma ferramenta para prever situações futuras de objetos previamente identificados (Raedeke e Rikoon, 1997). Porém, na maioria das vezes esse conceito está associado à área computacional, onde são gerados modelos complexos de predição.

Análises multitemporais podem minimizar o problema de variabilidade temporal pela geração de informações quantitativas sobre o uso do solo, principalmente em áreas agrícolas. O uso de imagens que englobam várias estações dentro do mesmo ano e entre anos consecutivos já se mostrou importante na avaliação do padrão e rotação de culturas em áreas agrícolas (Manalavan et al., 1995; Martínez-Casasnovas et al., 2005). Porém cada autor utiliza técnicas diferentes para alcançar seus objetivos.

Grande parte dos trabalhos que envolvem dados multitemporais utiliza técnicas de classificação para gerar os dados de histórico do uso do solo. Um dos primeiros registros da importância de análises multitemporais foi reportado por Hixson et al. (1982). Neste trabalho, os autores utilizaram quatro imagens do sensor MSS/Landsat-2 e 3 e avaliaram quais seriam as melhores combinações de datas para a separação das classes soja e milho. Para a definição da data das imagens, o desenvolvimento da cultura foi dividido em quatro períodos: (1) pré-plantio a “oito folhas”, (2) “dez folhas” ao final do período vegetativo, (3) final do período vegetativo ao início da senescência, e (4) senescência à maturação. Foi observado que, nas classificações individuais, o período (3) foi responsável pela maior acurácia (82,9%). Nas análises multitemporais, a combinação dos períodos 1, 2 e 3 apresentou melhores resultados (93,2% de acurácia).

Uma das primeiras aplicações de assinaturas espectro-temporais surgiu da necessidade de monitoramento das culturas em programas como o LACIE (Large Área Crop Inventory Experiment) e AgRISTARS (Agriculture and Resource Inventory Surveys through Aerospace and Remote Sensing). Esses programas apresentavam limitações na identificação de culturas, pois suas assinaturas espectrais são muito instáveis no tempo. Tal metodologia de assinaturas espectro-temporais, aprimorada por Hall e Badhwar (1987), reconhece automaticamente as culturas utilizando os parâmetros: transformada de Kauth e Thomas, dados multitemporais e parâmetros derivados do modelo “greenness” de desenvolvimento de cada cultura.

A seguir serão apresentados alguns trabalhos que mostram a relevância de estudos multitemporais na identificação de culturas e na avaliação dos padrões de cultivo em área agrícolas.

Manalavan et al. (1995) utilizam um algoritmo de diferença de valores de reflectância baseado nas bandas do vermelho e infravermelho próximo entre duas imagens do satélite IRS (Indian Remote Sensing) para avaliar as mudanças no padrão das culturas em áreas irrigadas na Índia.

Panigrahy e Sharma (1997) definiram a melhor combinação de quatro imagens, em um total de sete imagens do satélite IRS, para avaliar a rotação de culturas presente na sua

área de estudo. Os autores afirmam que uma imagem no momento transição entre duas estações é mais importante do que uma imagem no período de pico de crescimento na estação para a definição de rotação de culturas.

Imagens multitemporais foram utilizadas por Panigrahy e Chakraborty (1998) para mapear as áreas de ocorrência da batata ao longo de quatro anos. Esta classificação foi agregada a dados físicos da área e geraram um mapa de potencial de crescimento da cultura.

Raupenstrauch e Selige (1998) usaram perfis espectro-temporais na separação de culturas para gerar modelos de balanço de nutriente e avaliação de risco de perda. Basicamente, três métodos foram utilizados para a separação entre as classes: comparação visual dos perfis espectro-temporais para todas as bandas, avaliação qualitativa da separabilidade das classes pela correlação entre as bandas e avaliação estatística da separabilidade pelo método de Distância de Jeffries-Matusita.

A importância de análises multitemporais na identificação de culturas e estimativa de áreas agrícolas também foi citada por Csornei et al. (1999), que destacaram a importância de tal metodologia no monitoramento de cultura e na geração de modelos de previsão da produção.

Martínez-Casasnovas et al. (2005) fizeram um trabalho com imagens dos sensores TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7 de uma série temporal de sete anos. Duas a três imagens foram adquiridas por ano. E cada ano passou por uma classificação supervisionada para caracterizar as culturas e os distintos usos durante o ano. O método de compilação de dados de todos os anos procura por relações espaço-temporais entre as culturas principais e as culturas secundárias entre os anos avaliados. O método para identificar as culturas principais é baseado na análise da frequência entre a série temporal, ou seja, o número de vezes que a cultura está presente em um mesmo local. Uma desvantagem deste método é que ele não possibilita uma análise da sequência temporal exata das culturas durante os anos, ou seja, a combinação fatorial dos tipos de culturas gera um número elevado de classes que tende a dificultar a classificação. Para evitar que cada combinação se tornasse uma classe, optou-se apenas pela utilização das

principais combinações entre os anos. Outra desvantagem é o erro cometido na classificação supervisionada de cada ano que, no mapa final, é bem maior. Segundo os autores, uma possibilidade das análises multitemporais de reconhecimento de padrões de culturas é a predição da distribuição e da área das culturas avaliadas. Isso é possível quando os dados contiverem informações sobre as relações entre as culturas e a área estudada e quando tiverem implícitas as probabilidades de mudança.

Sakamoto et al. (2005) utilizaram séries temporais de dados MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) para desenvolver um método de avaliação do estágio fenológico da cultura do arroz. Este método possibilitou a definição das datas de plantio, clímax e colheita da cultura utilizando a transformada de *wavelet*.

Pela descrição dos trabalhos acima, fica claro o potencial de dados multitemporais quando aplicados à área agrícola. Cada autor apresenta um objetivo distinto, que foi alcançado com o auxílio de dados que possibilitam uma avaliação do uso da terra e sua variabilidade ao longo do tempo. Nesta revisão, observou-se também a grande variabilidade de sensores e número de imagens utilizadas.

O número e a época de aquisição das imagens necessárias para uma avaliação de áreas agrícolas foram discutidos por Pax-Lenney e Woodcock (1997). Como mostram os trabalhos de Lo (1986) e Vincent e Pierre (2003), classificações baseadas em dados multitemporais apresentam maior acurácia quando comparadas às classificações com uma única data. Um número insuficiente de imagens em áreas onde é grande a variabilidade temporal pode mascarar os padrões de cultivo presentes.

No trabalho de Oetter et al. (2000) foi mostrado que análises “single date” permitiram apenas a separação de classes como floresta e áreas alagadas. O restante das classes - culturas agrícolas, pasto, áreas de regeneração - ficaram reduzidas a duas classes, dependendo basicamente da presença ou ausência da cobertura vegetativa naquela data. Por outro lado, análises multitemporais permitiram a separação de todas as classes presentes na área de estudo, já que levam em conta a trajetória dos pixels durante todo o período de desenvolvimento das culturas.

A metodologia desenvolvida neste trabalho não utiliza classificadores automáticos na avaliação das imagens multitemporais. Como mostra um estudo realizado por Williams et al. (1987), a classificação visual apresentou melhores resultados na identificação e separação das culturas quando comparada à classificação digital. Variações espectrais ao longo do desenvolvimento de uma cultura são tratadas pelos algoritmos como classes distintas, enquanto que as características de coloração e padrão espacial auxiliam a interpretação visual, diminuindo assim a confusão entre as classes, gerada principalmente pela resposta espectral.

O emprego de índices de vegetação nas metodologias que abordam dados multitemporais também é recorrente. Esses índices funcionam como indicadores de atividade fotossinteticamente ativa e abundância de vegetação “verde” (Jensen, 2000). Entre os vários índices existentes, o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), que é a razão entre a diferença da resposta espectral no infravermelho próximo e no vermelho, e sua soma, é mais o amplamente utilizado.

O padrão de desenvolvimento da vegetação expresso pelo NDVI pode auxiliar no processo de discriminação de alvos agrícolas, uma vez que este índice é um indicador efetivo da situação fitofisiológica de superfícies vegetadas e pode mostrar também o estágio de desenvolvimento de dosséis agrícolas (Uchida, 2001).

A utilização de perfis temporais de NDVI para a classificação de alvos agrícolas foi reportada em vários trabalhos (Pax-Lenney e Woodcock, 1997; Uchida, 2001; Bie, 2003; Nagatani et al., 2002).

Após a análise dos perfis de NDVI, gerados a partir de nove imagens SPOT, Vincent e Pierre (2003) avaliaram as imagens visualmente, o que possibilitou uma redução de 18 para quatro classes ao final do procedimento. Na comparação dos resultados de classificação entre o perfil do NDVI e as bandas espectrais do SPOT, as últimas apresentaram uma acurácia 38% menor do que a classificação a partir dos dados do índice de vegetação (acurácia de 85%).

Na definição de áreas produtivas e não-produtivas, foram utilizados três valores advindos do perfil temporal do NDVI: valor máximo, amplitude e uma combinação entre o máximo e a amplitude. A partir desses valores foram definidas as áreas que pertenciam às classes produtiva e não-produtiva. Pela relação entre a superestimativa da área e o número de imagens utilizadas na análise, observou-se que quanto mais imagens fizerem parte do processo, menores serão os erros cometidos na estimativa de área cultivada. Além disso, a estação representada pelas imagens também exerce influência sobre os resultados. Na maioria dos casos, um maior número de imagens do período de maior desenvolvimento das culturas gera melhores resultados. Porém, em alguns casos uma combinação de imagens de incluam tanto os períodos de maior desenvolvimento quanto os períodos de baixo desenvolvimento pode produzir resultados melhores do que análises realizadas somente com imagens do período de maior desenvolvimento (Pax-Lenney e Woodcock, 1997).

Discriminações de alvos vegetativos utilizando o perfil temporal do NDVI foram descritas por Uchida (2001). O autor mostra que existem três fatores principais que caracterizam este perfil: (i) amplitude de variação, (ii) duração do evento (intervalo entre plantio e colheita) e (iii) período que o valor do índice é máximo.

Para Thiruvengadachari e Sakthivadivel (1997) os perfis espectro-temporais gerados pelos valores de NDVI ao longo de oito anos são capazes de não somente monitorar os desenvolvimento fenológico e a variabilidade espacial do arroz, como também avaliar a condição de estresse da cultura.

A partir de perfis de NDVI gerados com imagens AVHRR foi possível o monitoramento dos seguintes estágios de desenvolvimento em um plantio de arroz na Tailândia: preparação do solo, desenvolvimento da cultura, maturação e colheita (Tomita et al., 2000).

Feitas as devidas menções ao valor de dados multitemporais em áreas agrícolas, o próximo tópico discorre sobre a dinâmica e o desenvolvimento de culturas agrícolas e suas implicações nas medidas espectrais.

2.2 Análise espectral

A interação de plantas e culturas com a radiação eletromagnética é descrita basicamente pelo estudo das propriedades da folha, já que toda a arquitetura da folha está adaptada para uma melhor captação dos raios solares, do ar e da água (Formaggio et al., 1989). Porém, algumas características do dossel devem ser levadas em conta em uma análise espectral feita por sensores orbitais, como a exposição do solo e as sombras presentes nas áreas estudadas (Ponzoni, 2001; Valeriano, 2003).

A princípio serão destacadas as características de reflexão, absorção e transmissão ao nível foliar, para posteriormente discutir a influência dessas características no dossel vegetal.

A reflectância e transmitância das folhas dependem basicamente da concentração de pigmentos, conteúdo de água e estrutura interna das células nas folhas. Cada componente pode ser avaliado numa faixa de comprimento de onda específica. Na região do visível, os pigmentos são os responsáveis pela absorção da radiação, e os principais pigmentos são as clorofilas *a* e *b* e os carotenóides. A estrutura interna das folhas, principalmente as cavidades de ar no mesófilo foliar, influenciam diretamente a reflectância na faixa do infravermelho próximo. E a região do infravermelho de ondas curtas está relacionada com o conteúdo de água no interior da folha.

Ripple (1986) comenta que as relações entre o teor de água na folha e a reflectância nas regiões do visível e do infravermelho próximo não são diretas. Geralmente, em plantas sob estresse hídrico, ocorre uma diminuição na concentração de clorofila, o que provoca um desarranjo nas estruturas internas da folha. Com isto, folhas sob estresse hídrico têm maior reflectância no vermelho (menor absorção) e no infravermelho próximo. O infravermelho de ondas curtas tem relação direta com a água presente nas folhas, por ser uma região de absorção pela água. Quando a planta é submetida a um déficit de água, ocorre no seu interior uma série de reações bioquímicas que visam contornar esta situação. Uma das primeiras conseqüências do déficit hídrico é o fechamento dos estômatos. Com o fechamento dos estômatos, a planta perde menos água, porém

diminui a taxa fotossintética, em razão da menor absorção do CO₂ do meio (Moreira, 2001).

O estágio de maturação é um dos fatores que determinam as respostas espectrais das folhas, assim como o tipo de folha e a média diária de exposição ao sol (Bunnik, 1978). Em folhas maduras os espaços intercelulares são reduzidos, assim como o ar presente no interior desses espaços, o que leva a uma diminuição na reflectância principalmente na região do infravermelho próximo (Ponzoni, 2001).

A senescência é acompanhada da degradação dos pigmentos, com a conseqüente diminuição da absorção no visível (Hinzman et al., 1986). Durante este período, a reflectância aumenta em todos os comprimentos de onda, principalmente no vermelho, devido à menor quantidade de clorofila (Bunnik, 1978). No período de senescência das culturas, suas características espectrais são alteradas devido à redução da fotossíntese e na biomassa, o que implica no decréscimo dos valores de NDVI (Nieuwenhuis e Múcher, 1998).

Na análise de reflectância do dossel, os indicadores de estresse baseiam-se principalmente na redução da área foliar total exposta (pode ser por mudança na orientação ou perda de folhas, etc.) ao sensor e, em menor grau, a respostas individuais das folhas (Valeriano, 2003).

Em um experimento com diferentes cultivares de trigo, Jackson e Pinter (1986) observaram que a arquitetura do dossel tem maior influência na resposta espectral da planta quando comparada às características de reflectância das folhas. Os autores mostram que espécies com inserção foliar erectófila apresentam menores valores de reflectância, pois “prendem” a radiação dentro do dossel – fenômeno da extinção da luz; e as espécies com arquitetura de dossel planófila refletem mais verticalmente. Quando um sensor está verticalmente posicionado em relação ao alvo, recebe cerca de 20 a 30% mais radiação de um dossel planófilo do que de um erectófilo, mesmo quando os dois dosséis apresentam os mesmos valores de fitomassa e índice de área foliar.

Na descrição do comportamento espectral de alguns alvos presentes neste trabalho, como é o caso do pasto e da mata, Affonso (2005) observou que a maior quantidade de material não-fotossinteticamente ativo, assim como a maior exposição do solo presentes na classe pasto, promovem altas respostas espectrais na faixa do visível para o sensor ETM+/Landsat-7.

A classe mata é caracterizada pela maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa, que apresenta maior reflectância na banda TM4 (infravermelho próximo). Porém, na análise das bandas do infravermelho de ondas curtas (bandas 5 e 7), o pasto apresentou maiores reflectâncias, o que possibilitou sua diferenciação de outros alvos. A principal característica que diferencia a classe pasto é a menor quantidade de vegetação e, conseqüentemente, a menor quantidade de água (Affonso, 2005).

Os índices de vegetação indicam a abundância e a atividade das propriedades de absorção das folhas, como pigmentos, água, nitrogênio, etc. (Myneni et al., 1995). Em termos espectrais, o aumento da biomassa verde causa um aumento da reflexão no infravermelho próximo e diminuição no vermelho. O valor do índice de vegetação - no caso o NDVI - está mais associado à absorção da radiação no vermelho (pigmentos da planta) do que com a reflectância no infravermelho próximo (Myneni et al., 1995). Como observou Affonso (2005), a alta relação deste índice com a banda TM3 (vermelho) mostra que quanto menor a cobertura do solo, menor o valor do índice de vegetação, mas quanto maior a cobertura do solo, mais rápido o índice tende a saturar.

2.3 Dinâmica temporal de áreas agrícolas

Alguns artigos mostram que o plantio das mesmas culturas, assim como o manejo do solo são relativamente constantes durante alguns anos para uma mesma área (Ortiz et al., 1997; Nieuwenhuis e Mícher, 1998; Uchida, 2001). Essa característica foi denominada *tradição de cultivo* por Ortiz et al. (1997), que observaram ser comum o cultivo de uma mesma espécie ao longo de alguns anos.

Um dado importante a ser analisado é o calendário agrícola, como mostra o trabalho de Williams et al. (1987). O calendário agrícola é definido como “uma tabela seqüencial de datas/períodos com as principais fases do processo de cultivo agrícola, incluindo a

preparação da terra, plantio, e colheita”. E pode ser freqüentemente generalizado para a caracterização de uma área específica (Bie, 2004).

O conhecimento sobre o estágio de desenvolvimento das culturas auxiliam a análise do padrão de culturas ao longo dos anos, e que permitem avaliar o arranjo espacial e temporal de culturas agrícolas. O padrão de cultivo mostra-se essencial na geração de resultados voltados à previsão de ocupação de áreas cultivadas (Oetter, 2000; Martínez-Casasnovas et al., 2005; Mandal e Ghosh, 2000), um dos principais focos deste trabalho.

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização

A área de estudo compreende o município Tuneiras do Oeste, localizada na região noroeste do Estado do Paraná limitado pelas coordenadas geográficas: 52°41' e 53°01' de longitude oeste e 23°41' e 24°01' de latitude sul (Figura 3.1). Possui uma área de 69.900ha, e tem uma população de 7.480 habitantes, segundo informações do IBGE (2006).

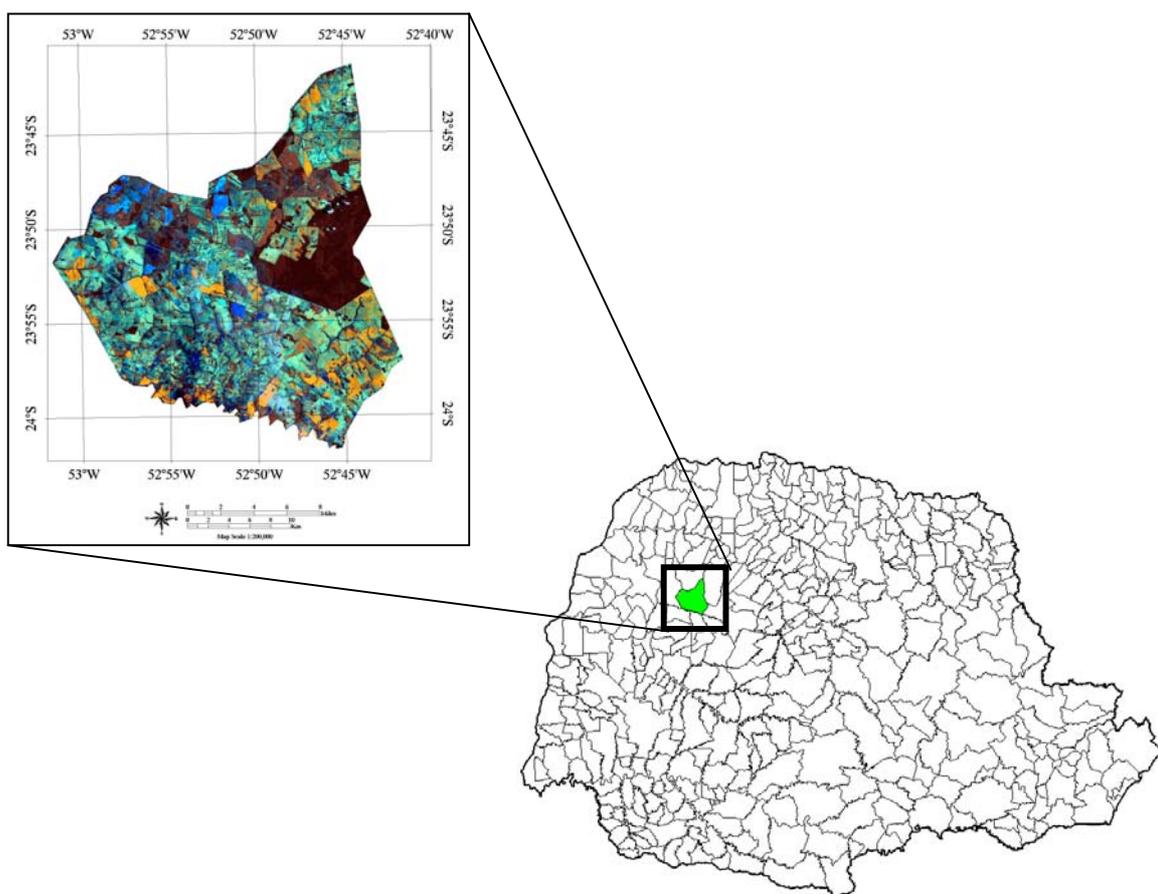


FIGURA 3.1 - Localização da área de estudo no Estado do Paraná.

Optou-se pelo município Tuneiras do Oeste por este fazer parte do o painel das safras de 2004, 2005 e 2006 para as culturas de soja, cana-de-açúcar e milho. Este município está localizado na cena 223/77 do Landsat.

3.2 Caracterização físico-climática

O município está localizado entre as bacias hidrográficas do Rio Ivaí e do Rio Piquiri, afluentes do Rio Paraná (SEMA, 2006), e tem altitude média de 600 metros. O município faz parte do Terceiro Planalto (Escarpa arenito basáltica), no Planalto de Campo Mourão, com extensas chapadas e platôs suavemente ondulados, com divisores de água arredondados (SEAB, 1987).

Na área estão presentes basaltos do Grupo São Bento, cobertos por arenitos e siltitos do Grupo Bauru, conhecido como Arenito Caiuá (SEAB, 1987). Os Argissolos Vermelhos eutróficos são os solos predominantes no município, mas também existem áreas onde ocorre Latossolo Vermelho distrófico e Nitossolo Vermelho eutroférico (SEMA, 2006).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cfa, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, sem estação seca definida. A precipitação média anual é de 1600 mm e a temperatura média varia entre 18°C e 22°C (IAPAR, 2006).

A Figura 3.2 mostra as médias mensais de temperatura e precipitação nos quatro anos avaliados nesse trabalho (2002 a 2005) para o município de Tuneiras do Oeste (INMET, 2005). As temperaturas médias mais altas ficam em torno de 23°C e as mais baixas em torno de 16°C. A maior precipitação é observada em janeiro (245,7 mm) e a menor em agosto (45,4 mm).

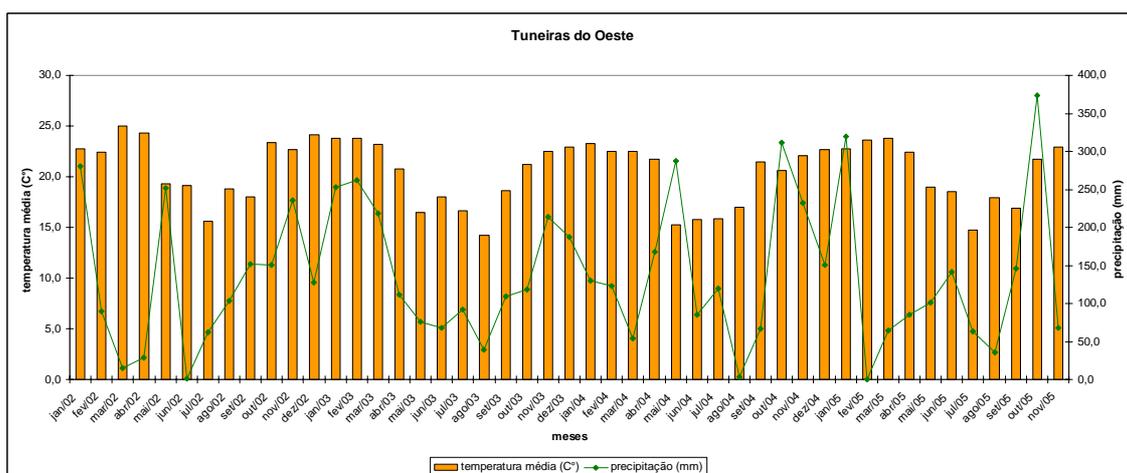


FIGURA 3.2 - Temperatura e precipitação calculada de janeiro de 2002 a novembro de 2005.

3.3 Uso atual do solo

Para o ano de 2004, no município de Tuneiras do Oeste, as lavouras temporárias (anuais e semi-perenes) são responsáveis pela maior área cultivada (99,13%). As lavouras permanentes têm baixa contribuição, perfazendo um total de 255 hectares. Destes, 248 ha são para o cultivo do café, quatro hectares para o palmito e três hectares para a uva. Na Tabela 3.1 é apresentada a área plantada das culturas temporárias do município.

TABELA 3.1 - Área plantada de lavouras temporárias encontradas no município em 2004.

Lavoura temporária	Área plantada	
	ha	%
Algodão herbáceo	300	1,05
Amendoim	10	0,04
Arroz	80	0,28
Aveia	360	1,26
Cana-de-açúcar	7.481	26,23
Feijão	170	0,60
Mandioca	1.500	5,26
Melancia	25	0,09
Milho	2.100	7,36
Soja	15.000	52,58
Trigo	1.500	5,26
Total	28.526	100

Fonte: SIDRA (IBGE, 2006a).

Segundo os dados de 2004, a cultura da soja é responsável por mais de 50% do total da área plantada com culturas temporárias em todo o município, seguida pela cana-de-açúcar, que possui 7.481 ha de área plantada (IBGE, 2006a).

O total de área plantada corresponde a 41% da área total do município. Nesta porcentagem não está incluída a porção de terras destinadas ao pasto, que compreendem mais 36% da área. Ou seja, cerca de 77% da área de estudo é dedicada ao uso agrícola e às pastagens cultivadas ou naturais.

As áreas de floresta também estão bem representadas no município, sendo responsáveis por aproximadamente 20% da área total (14.000 ha). Destes, 8.500 ha fazem parte de um grande fragmento florestal, numa área de contato entre a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Ombrófila Mista. Neste fragmento está ocorrendo o processo de criação de uma nova Unidade de Conservação, a “Reserva Biológica das Perobas” (MMA, 2005).

A duração do ciclo e as datas de plantio e colheita das culturas encontradas na área de estudos são informações auxiliares de grande valia na identificação do uso do solo e na definição das datas de aquisição das imagens de satélite (Ippoliti-Ramilo, 1999; Gürtler, 2003). A Tabela 3.2 apresenta os meses indicados pelo IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná) para o plantio das principais culturas presentes em Tuneiras do Oeste.

TABELA 3.2 – Calendário agrícola das principais culturas do município Tuneiras do Oeste.

CULTURA	Fase	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Milho	Plantio										1	10	
	Colheita												
Soja	Plantio										15	30	
	Colheita												
Algodão	Plantio										01	30	
	Colheita												
Trigo intermediário	Plantio					11-31	01-31						
	Colheita												
Feijão das águas	Plantio							21	31				
	Colheita												
Feijão de outono/inverno	Plantio		11	31									
	Colheita												
Cana de ano e meio	Plantio												
	Colheita												
Cana de ano	Plantio												
	Colheita												

Os números indicam os dias de plantio

Fonte: IAPAR (2005)

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Dados de sensoriamento remoto

O projeto Geosafra, no qual este trabalho está inserido, possui em seu acervo, os bancos de dados referentes a todos os Estados avaliados pelo projeto. Assim, foi utilizado o banco de dados do Estado do Paraná, criado no software SPRING (INPE, 2005), contendo os limites dos municípios do Estado, a distribuição dos pontos amostrais no município em questão e imagens Landsat-5 e 7 e CBERS-2.

A este banco foram adicionadas as imagens utilizadas neste estudo. Após a seleção do município foi verificada a disponibilidade de imagens para a cena 223/77 do Landsat de acordo com a metodologia proposta. Foram utilizadas imagens dos sensores TM e ETM+ entre os anos de 2002 e 2005. Cada ano foi dividido em três períodos: dezembro-março, abril-junho, agosto-novembro. Estes períodos foram estabelecidos de acordo com o calendário agrícola da região, em que cada período representa uma fase fenológica distinta das culturas estudadas. Para cada período, foi adquirida pelo menos uma imagem. Para a cena 223/77 do Landsat foram encontradas 24 imagens, sendo sete imagens obtidas pelo sensor ETM+/Landsat-7 e 17 pelo sensor TM/Landsat-5, como mostra a Tabela 4.1. A disponibilidade de imagens com menor cobertura de nuvens e com boa qualidade visual foi verificada na coleção de imagens do INPE.

TABELA 4.1 - Imagens pertencentes ao banco de dados referentes à cena 223/77 do Landsat.

	2002		2003		2004		2005	
	Data	Sensor/Satélite	Data	Sensor/Satélite	Data	Sensor/Satélite	Data	Sensor/Satélite
Janeiro	26/01	ETM+/Landsat 7	29/01	ETM+/Landsat 7				
Fevereiro					09/02	TM/Landsat 5	11/02	TM/Landsat 5
Março	15/03	ETM+/Landsat 7						
Abril	16/04	ETM+/Landsat 7	03/04	ETM+/Landsat 7	29/04	TM/Landsat 5	16/04	TM/Landsat 5
Maio								
Junho			14/06	TM/Landsat 5	16/06	TM/Landsat 5	03/06	TM/Landsat 5
Julho								
Agosto	06/08	ETM+/Landsat 7	01/08	TM/Landsat 5	03/08	TM/Landsat 5	22/08	TM/Landsat 5
Setembro							07/09	TM/Landsat 5
Outubro					06/10	TM/Landsat 5		
Novembro			05/11	TM/Landsat 5	23/11	TM/Landsat 5	10/11	TM/Landsat 5
Dezembro	28/12	ETM+/Landsat 7	07/12	TM/Landsat 5	25/12	TM/Landsat 5		

Para todas as imagens adquiridas foram utilizadas as seis bandas espectrais (1 a 5 e 7) dos sensores TM e ETM+, compreendendo desde a região do azul até a região do infravermelho de ondas curtas do espectro eletromagnético.

4.1.2 Dados de campo

Os dados de campo foram coletados pelos técnicos responsáveis por fazerem o levantamento agrícola do município. Estes dados estão disponíveis na forma de tabelas, onde cada linha representa um ponto amostral, com suas respectivas coordenadas geográficas. O município tem um painel amostral composto por 100 pontos com localizações aleatórias dentro dos seus limites. A Tabela 4.2 mostra parte da ficha de campo utilizada pelos técnicos.

TABELA 4.2 - Ficha de campo utilizada pelos técnicos.

Município: Tuneiras do Oeste
 Projeção : UTM/SAD69
 Unidade: Graus decimais
 Escala: 1:60.000
 Nome completo dos técnicos:

Data de referência para a anotação da ocupação: / /

Data do trabalho de campo: / / a / /

PONTO	PRANCHA	LONGITUDE	LATITUDE	OCUPAÇÃO NA DATA DE REFERÊNCIA	OCUPAÇÃO NA DATA DO TRABALHO DE CAMPO	OBSERVAÇÕES
1	B2	-52,8898	-23,8568			
2	A3	-52,9636	-23,8702			
3	A2	-52,9351	-23,8562			
4	C1	-52,7727	-23,7412			
5	C1	-52,7834	-23,7280			
6	B3	-52,8897	-23,8958			
7	C3	-52,7358	-23,9098			
8	B3	-52,8311	-23,9147			

Em cada ponto o técnico responsável pelo município deve preencher os campos: ocupação na data de referência e ocupação na data de campo. É necessário ressaltar que para as análises realizadas neste trabalho foi utilizada somente a informação de ocupação na data de referência, que representa a cultura principal do ponto em questão.

Os primeiros dados do projeto foram referentes ao ano de 2004. Para a análise realizada, foram utilizados dados de campo referentes aos anos de 2004 e 2005. A princípio, os pontos foram agrupados de acordo com as classes descritas pelos técnicos de campo. Por exemplo, um ponto indicado pelo técnico como soja em 2004 e em 2005 foi adicionado à classe Soja. Da mesma forma, foram criadas as classes: cana-de-açúcar, mata, pasto e não-conformes. Os pontos não-conformes representam todos os pontos que não apresentam lógica na sua descrição, como por exemplo, o ponto 43, que foi indicado em 2004 como sendo soja e em 2005 como estrada.

4.1.3 Equipamento

Para o trabalho de campo foi utilizado um equipamento GPS (Global Positioning System), marca Garmin modelo GPS 12 XL^(*), na localização dos pontos amostrais e como suporte do software utilizado no campo.

4.1.4 Software

Para o registro das imagens foi utilizado o software ENVI, versão 4.0. Os processamentos e análises foram realizados no SPRING, versão 4.1, tendo como gerenciador de banco de dados o Microsoft Access 2003. Os valores de reflectância e NDVI referentes às imagens foram manipulados no programa Microsoft Excel 2003. As estatísticas comparativas foram feitas no software Statistica 6.0. Para auxiliar o trabalho de campo podem ser utilizados softwares que facilitem o deslocamento na área de estudo.

^(*) A nomeação de nomes, marcas e modelos de equipamentos ou softwares visam unicamente à clareza do texto, e não significa nenhum endosso por parte da autora, do orientador ou do INPE.

4.2 Métodos

O desenvolvimento do trabalho foi realizado conforme mostra a Figura 4.1, cuja descrição é feita nos tópicos subsequentes.

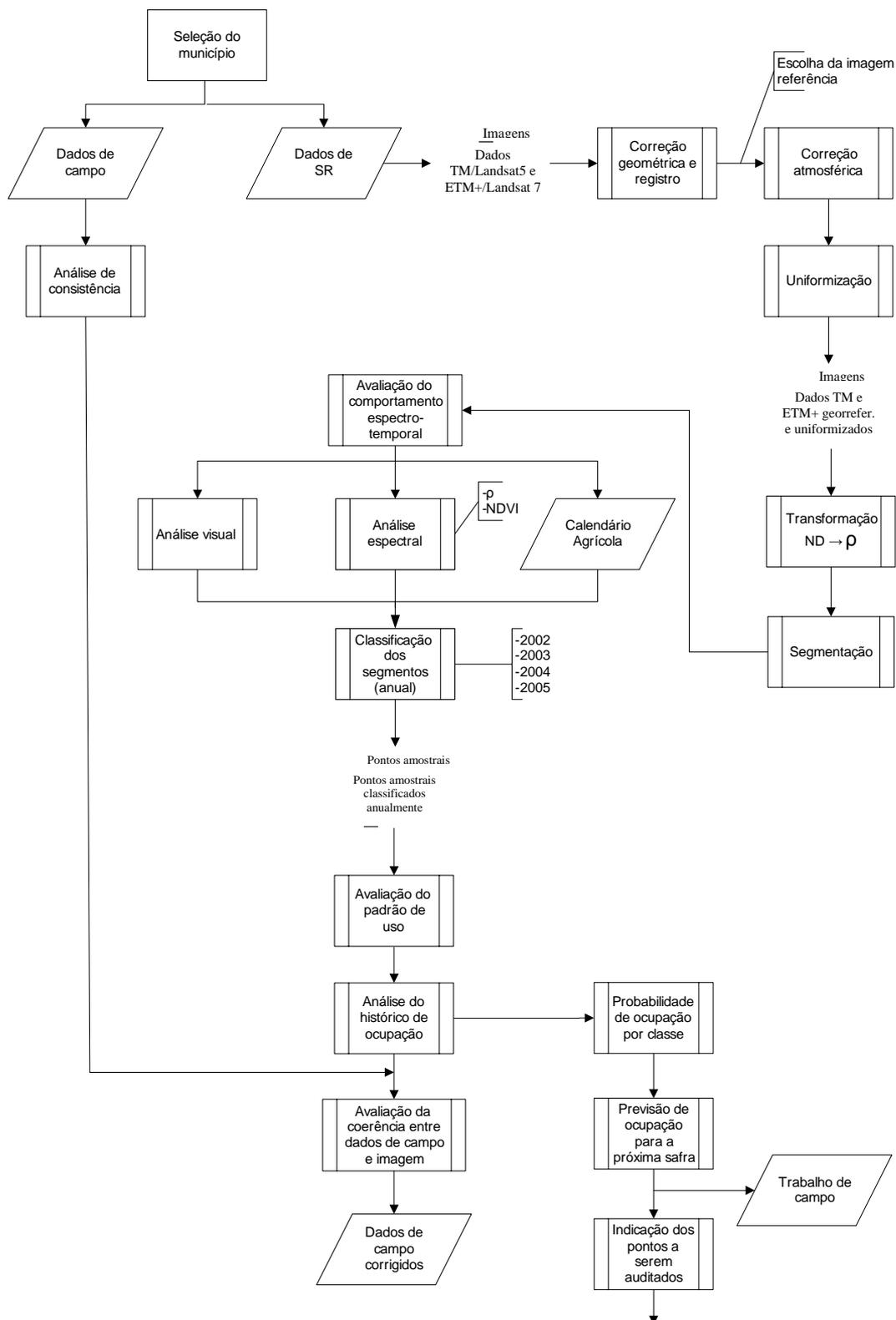


FIGURA 4.1 – Fluxograma com as etapas realizadas no trabalho.

4.2.1 Pré-processamento dos dados de sensoriamento remoto

Esta primeira etapa de processamento envolveu os processos de registro, correção atmosférica e uniformização do conjunto de imagens, assim como o recorte das imagens com vistas à redução do volume de dados e tempo de processamento.

4.2.1.1 Registro

A partir do banco de dados pré-existente referente ao Estado do Paraná, a primeira imagem, obtida no dia 26/01/2002, foi registrada em tela com oito pontos de controle, tendo como base uma imagem Landsat ortorretificada (NASA, 2004). Todas as outras imagens adquiridas foram registradas no software ENVI 4.0, com a transformação RST (*rotation, scaling e translation*) e o algoritmo de interpolação denominado vizinho mais próximo. Após o registro, as imagens foram importadas em formato GeoTIFF para o banco de dados presente no SPRING.

4.2.1.2 Escolha da imagem-referência

Neste estudo, optou-se pela utilização de apenas uma imagem-referência em todo o conjunto de dados. Ao contrário de estudos anteriores, que dividiram as imagens em época seca e chuvosa (Gürtler, 2003; Sanches, 2004), a permanência das imagens em um único grupo está baseada no fato de que a análise multitemporal não discriminará as imagens de acordo com sua data de aquisição. Assim, apenas uma referência, em que todo o conjunto de dados será uniformizado com a mesma base torna-se mais interessante para a análise e comparação dos dados multitemporais.

A imagem-referência selecionada para os dados da cena 223/77 do Landsat foi a imagem obtida em 28/12/2002 (Figura 4.2), pois era a que apresentava menor incidência de nuvens entre aquelas adquiridas até então.

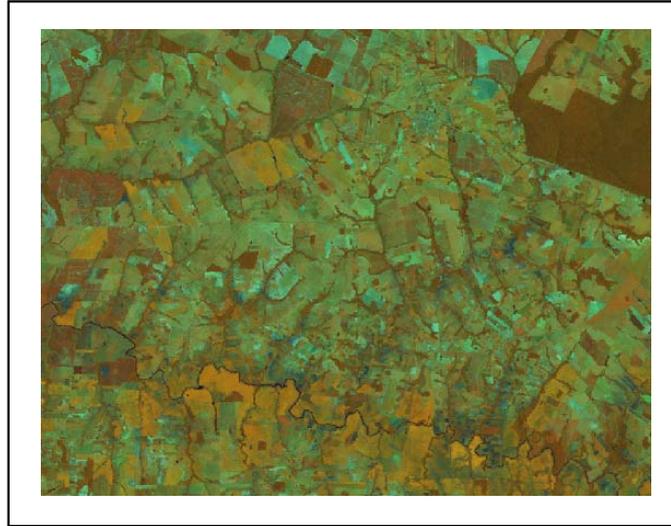


FIGURA 4.2 – Recorte da imagem referência. Composição RGB 453. Cena 223/77 ETM+/Landsat 7 do dia 28/12/2002.

4.2.1.3 Correção atmosférica

Para minimizar os efeitos atmosféricos nas imagens, foi utilizada a técnica desenvolvida por Chavez (1988) de Subtração do Pixel Escuro (SPE). De acordo com Silva et al. (2003), a aplicação da correção atmosférica apenas na imagem-referência é suficiente em análises multitemporais, desde que as outras imagens passem pelo processo de uniformização radiométrica.

A correção atmosférica na imagem-referência, tendo como base a técnica SPE foi realizada no SPRING por meio do programa de linguagem LEGAL (Linguagem para Geoprocessamento Algébrico).

4.2.1.4 Uniformização das imagens

Após a correção da imagem-referência, as outras imagens do banco de dados foram uniformizadas pelo processo de regressão linear proposto por Gürtler et al. (2003a). Neste processo foram selecionados alvos que não variaram temporalmente nas imagens disponíveis. Destes, cinco alvos eram claros e seis eram escuros. A partir destes alvos foram obtidas as estatísticas por polígonos, que geraram os valores de níveis digitais (ND) máximos e mínimos de cada alvo por banda espectral. Para os alvos claros foram

utilizados os valores máximos, e para os alvos escuros foram utilizados os valores mínimos de nível digital de cada polígono.

Desta maneira, realizou-se a regressão linear, em que a variável independente representa os valores de nível digital da imagem-referência, e a variável dependente representa os valores de nível digital da imagem a ser uniformizada. Para cada banda de todas as imagens obteve-se uma equação que foi utilizada por um programa LEGAL para a efetivação da uniformização.

4.2.1.5 Transformação dos valores de ND para reflectância

Feito o procedimento de uniformização, as imagens foram transformadas de nível digital (ND) para valores de reflectância. Esta transformação se faz necessária quando se estuda o comportamento espectral de alvos por uma análise multitemporal. O processo de transformação foi realizado por um programa em LEGAL, que gera um PI (Plano de Informação) imagem com valores de reflectância escalonados entre 0 e 255 e um PI numérico com os valores de reflectância variando de 0 a 1.

4.2.2 Processamentos

4.2.2.1 Segmentação

O projeto Geosafra apresenta um caráter amostral, em que cada ponto amostral é representado na imagem por um pixel. Neste trabalho, optou-se como unidade básica de estudo o polígono que envolve o ponto amostral, que, na maioria das vezes, é representado por um talhão ou um fragmento florestal. A escolha de estudar segmentos está baseada no fato de que o erro obtido no registro teria menos impacto sobre segmentos, do que sobre pixels isolados.

A imagem de 26/01/2002 foi selecionada como referência para a realização da segmentação, pois apresentou, entre as imagens disponíveis, melhor distinção entre os alvos englobados pelos pontos amostrais e também por ser uma época do ano em que as culturas de verão estão mais evidentes.

Foram realizados alguns testes alterando-se os limiares de área e similaridade exigidos no algoritmo de segmentação de crescimento por regiões. Segundo Oliveira et al. (2003), que desenvolveram um índice de avaliação de segmentação (IAVAS) para uma área agrícola, os limiares ótimos são 16 níveis de cinza para a similaridade e 45 pixels para área. Porém, na área de estudo deste trabalho observou-se que os talhões são menores do que os estudados pelos autores. Assim, os limiares sugeridos geraram polígonos grandes, que acabaram por englobar, muitas vezes, mais de um talhão.

Resultados preliminares gerados por Espíndola et al. (2005) mostram que valores de limiares entre 8 e 10 para similaridade e 20 e 25 para área podem ser bons indicadores de uma segmentação ideal. No caso deste trabalho, a melhor segmentação foi gerada para similaridade 8 e área 22, como mostra a Figura 4.3.

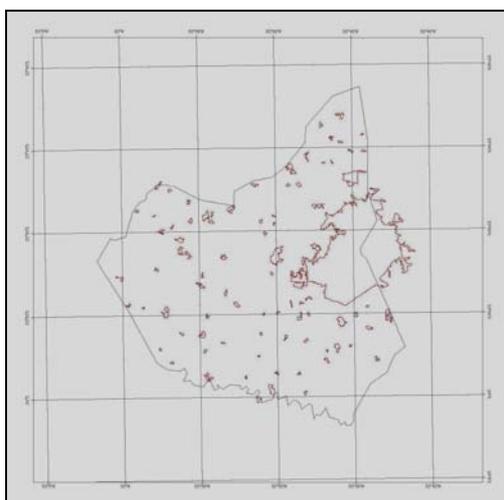


FIGURA 4.3 – Limite municipal de Tuneiras do Oeste com os segmentos obtidos com base nos pontos amostrais.

4.2.2.2 Estatística por polígono

Feita a segmentação, foi utilizada a ferramenta “estatística por polígonos”, disponível no software SPRING, para a geração dos valores correspondentes a cada segmento a ser analisado. Este procedimento foi realizado para todas as imagens, por banda, e também para o NDVI. Este índice foi gerado a partir de programação em linguagem LEGAL tendo como base o valor de reflectância das bandas do vermelho e infravermelho próximo ($[IVP-V]/[IVP+V]$). A ferramenta “estatística por polígono” gera um arquivo

com os valores máximos, mínimos, média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, moda e mediana de cada segmento associado ao ponto amostral - no caso, 100 segmentos.

As tabelas geradas com os dados de cada polígono foram exportadas do SPRING em formato ASCII Delimitado e importadas para o software EXCEL. Para a análise temporal de cada segmento foi utilizado somente o valor médio de cada polígono, para cada banda e para o NDVI.

4.2.3 Análise multitemporal

Para todos os anos, foi analisado o comportamento das bandas e do índice de vegetação NDVI em todas as imagens, assim como sua resposta visual, pela interpretação das imagens em composições coloridas para os 100 pontos amostrais. Foram gerados gráficos representativos do comportamento espectral dos segmentos ao longo do ano, tendo como base os valores de média de reflectância de cada polígono.

Após a análise de cada segmento, estes foram divididos em classes, correspondentes à sua ocupação predominante no ano (soja, cana-de-açúcar, pasto, mata e milho). Para cada classe foi gerado um gráfico referente à média de reflectância dos segmentos daquela classe. Esse processo foi realizado repetidamente para os quatro anos avaliados (2002, 2003, 2004 e 2005).

Após a classificação visual dos pontos pelas imagens adquiridas, foi possível realizar uma comparação dos dados de campo com os dados das imagens para os anos de 2004 e 2005, assim como avaliar a dinâmica temporal dos pontos ao longo dos quatro anos. Para cada ponto amostral que apresentava desacordo entre os dados de campo e os dados das imagens, foi verificado o motivo pelo qual a classificação havia sido prejudicada.

4.2.4 Comparação entre as classes

A comparação entre as classes foi realizada pelo teste estatístico não-paramétrico pareado de Wilcoxon, que não assume a normalidade dos dados e faz um ranking das

amostras para calcular a diferença entre as classes. Optou-se pela utilização deste teste pois as amostras são pequenas, não possibilitando a avaliação de normalidade dos dados. Para esta análise, os dados foram divididos em três períodos: dezembro-março, abril-julho, agosto-novembro, e as comparações entre as classes foram realizadas somente dentro do mesmo período. Após avaliar as diferenças significativas, foram geradas as diferenças médias para verificar, entre as diferenças, quais e em que período as diferenças eram maiores.

4.2.5 Previsão

Após a definição da classe de cada ponto amostral em todos os anos estudados (2002 a 2005), foi realizada uma previsão para o ano em curso (2006), com base neste histórico de ocupação. Para a realização da previsão de ocupação dos pontos amostrais, foram atribuídos diferentes valores aos anos avaliados. A Tabela 4.3 mostra os valores referentes a cada ano:

TABELA 4.3 - Pesos atribuídos ao uso de solo em cada ano avaliado.

Ano	2002	2003	2004	2005
Peso	0,1	0,2	0,3	0,4

Maiores valores foram atribuídos aos anos mais recentes, pois assume-se que a influência na ocupação dos pontos esteja mais fortemente relacionada à ocupação no momento mais atual t_1 do que no momento anterior t_2 , em que t é o ano avaliado. Porém, todos os anos possuem alguma influência.

O cálculo da probabilidade de ocupação do ponto foi realizado por classe, ou seja, cada ponto possui uma probabilidade de ocupação para cada classe. Se o ponto não foi ocupado pela classe em questão no ano determinado, receberá o valor 0. Se foi ocupado em 2002 recebe 0,1, em 2003 recebe 0,2, em 2004 recebe 0,3 e em 2005 recebe 0,4.

Ao final da atribuição dos valores por ponto para cada classe, somam-se os valores por classe. Assim, obtém-se uma probabilidade de ocupação para cada ponto, em que a classe que obtiver o valor mais alto será definida como a previsão de ocupação para o próximo ano. No caso em que o ponto for ocupado pela mesma classe em todos os anos,

o somatório dos valores será 1, ou seja, a chance de que este ponto pertença a esta mesma classe no próximo ano é muito alta.

4.2.6 Trabalho de campo e Auditoria

Calculada a probabilidade de ocupação para cada classe em cada ponto amostral, esperava-se que os dados de campo referentes ao ano de 2006 estivessem disponíveis para a validação da previsão realizada. Porém, o trabalho de campo ainda não havia sido realizado pelos técnicos no município de Tuneiras do Oeste.

A princípio foi cogitada a possibilidade de simular os dados de campo, de forma aleatória. Porém, concluiu-se que a realização do trabalho de campo geraria resultados mais confiáveis para a definição dos pontos passíveis de auditoria, e mesmo de validação dos dados gerados na previsão de ocupação.

Dadas as circunstâncias, optou-se pela realização do trabalho de campo, com fins de validação dos dados, entre os dias 05 e 12 de março de 2006. Para esse trabalho foi utilizado um equipamento de GPS acoplado a um programa de posicionamento que utiliza imagens de satélite como base para a visualização dos trajetos.

Com a localização dos pontos amostrais em mãos, foi possível a visitação de 81 pontos presentes no painel amostral, com vistas ao levantamento do uso do solo. O período de realização do trabalho foi propício aos propósitos do trabalho, pois todas as classes de uso avaliadas neste trabalho estavam efetivamente representadas no campo: soja, cana-de-açúcar, pasto, mata e milho.

Feito o trabalho de campo, foi possível a verificação de quais pontos seriam passíveis de serem auditados. Essa auditoria está baseada essencialmente no histórico de ocupação da área.

Pelo confronto dos dados de previsão de ocupação com os dados coletados em campo, foi possível definir quais pontos não apresentaram coerência no uso do solo entre as duas fontes de informação e, conseqüentemente, quais seriam indicados para o processo de auditoria.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Processamentos

5.1.1 Registro

Para as 24 imagens presentes no banco de dados, os erros de registro variaram de 0,19 pixel para a imagem de 23/11/2004 a 0,47 pixel na imagem de 26/01/2002. A Tabela 5.1 mostra os erros médios quadráticos e sua correspondência em metros para todas as imagens do banco de dados.

TABELA 5.1 – Erro de registro das imagens do banco de dados.

Data da imagem	Erro médio quadrático	Erro (m)	Data da imagem	Erro médio quadrático	Erro (m)	Data da imagem	Erro médio quadrático	Erro (m)
26/01/02	0,4699	14,09	01/08/03	0,3014	9,04	23/11/04	0,1928	5,78
15/03/02	0,3077	9,23	05/11/03	0,2963	8,88	25/12/04	0,3108	9,32
16/04/02	0,2184	6,55	07/12/03	0,3109	9,32	11/02/05	0,2986	8,95
06/08/02	0,3672	11,01	09/02/04	0,3637	10,91	16/04/05	0,1962	5,88
28/12/02	0,2812	8,43	29/04/04	0,3743	11,29	03/06/05	0,3053	9,15
29/01/03	0,3250	9,75	16/06/04	0,3987	11,96	22/08/05	0,2654	7,96
03/04/03	0,2847	8,54	03/08/04	0,3782	11,34	07/09/05	0,3015	9,04
14/06/03	0,3226	9,67	06/10/04	0,2969	8,90	10/11/05	0,3030	9,09
							Erro médio (m) – 9,33	

Em média, os erros foram de aproximadamente nove metros, o que representa menos de 1/3 do pixel, que é a menor unidade de análise na imagem. Sabendo que as unidades básicas de estudo neste trabalho foram os segmentos, supõe-se que esses erros não apresentem influência na média gerada por variável para cada segmento, pois cada polígono representando o alvo possui, no mínimo, 25 pixels.

5.1.2 Correção atmosférica

A Figura 5.1 mostra que é pouco perceptível o resultado da correção atmosférica na imagem de referência. A técnica utilizada para minimizar os efeitos atmosféricos visa compensar somente o efeito do espalhamento atmosférico, que é mais evidente nas bandas do visível. Assim, na composição colorida utilizada (RGB – 453), os efeitos da correção não ficam muito explícitos.

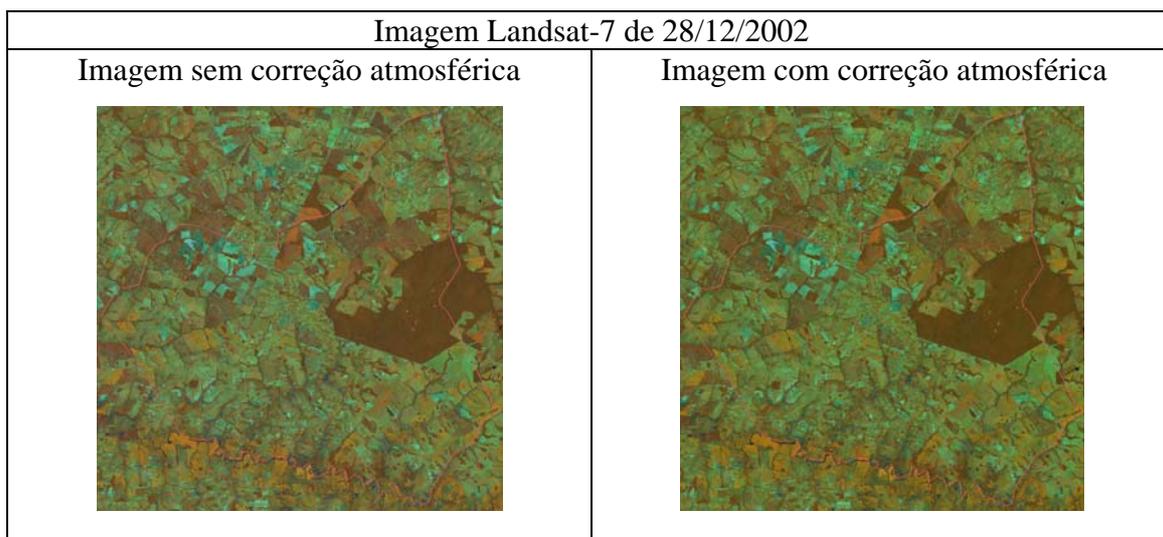


FIGURA 5.1 – Imagem ETM+/Landsat-7 223/77 na composição colorida RGB 453 do dia 28/12/02 antes e depois da correção atmosférica.

A imagem mostra parte do município estudado. Nota-se que após a correção a imagem ficou um pouco mais escura quando comparada à imagem sem correção atmosférica. Porém, pela análise da Figura 5.2, é clara a maior influência da correção nas bandas do visível. Na região do azul, banda 1, o pixel com valor de número digital 72 original, passa ao número digital 40 após a correção. As bandas menos afetadas são as 5 e 7, que representam a região do infravermelho de ondas curtas no espectro eletromagnético. Nessa região espectral os valores de ND passam de 76 para 75 na banda 5, e de 35 para 33 na banda 7.

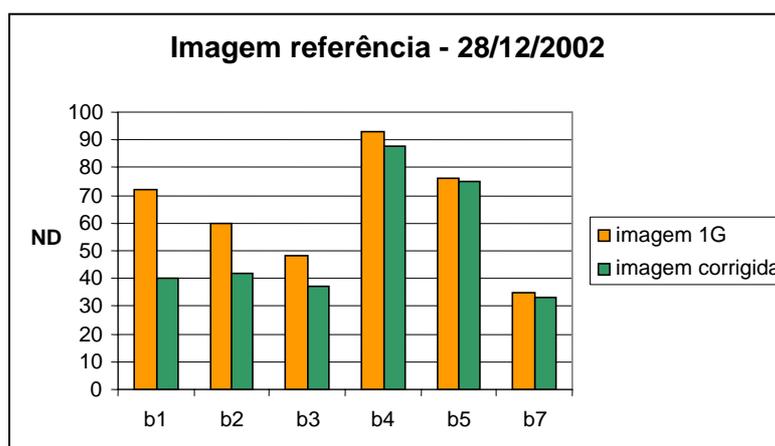


FIGURA 5.2 – Números digitais de um talhão de soja da imagem do dia 28/12/2002 sem correção (imagem 1G) e com a correção atmosférica.

5.1.3 Uniformização das imagens

A uniformização das imagens possibilita que comparações inter-imagens possam ser feitas em análises multitemporais. Após a correção atmosférica da imagem de referência, foram realizadas as regressões lineares (equação 5.1) para a uniformização das outras imagens presentes no banco de dados.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (5.1)$$

Onde,

Y – valor de ND depois da uniformização, no pixel i da imagem

X – valor de ND antes da uniformização, no pixel i da imagem

β_0 e β_1 – coeficientes de regressão (parâmetros)

ε – erro aleatório, no pixel i da imagem

A Tabela 5.2 mostra as equações geradas em cada imagem, para todas as bandas. Os valores de β_0 e β_1 obtidos em cada imagem foram utilizados na uniformização das imagens. Na equação de regressão, o x representa os números digitais antes da uniformização e o y o número digital após a uniformização.

TABELA 5.2 – Equações de regressão utilizadas na uniformização.

Data	Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Banda5	Banda7
26/01/2002	Y=1,077x-30,103 R ² = 0,934	Y=1,110x-18,156 R ² = 0,915	Y=1,046x-7,233 R ² = 0,956	Y=1,123x-3,799 R ² = 0,954	Y=1,027x -2,430 R ² = 0,983	Y=1,094x -1,698 R ² = 0,977
15/03/2002	Y=1,001x-12,471 R ² = 0,913	Y=1,080x-6,327 R ² = 0,928	Y=1,008x+2,620 R ² = 0,930	Y=1,173x+3,200 R ² = 0,918	Y=1,104x+4,172 R ² = 0,928	Y=1,154x+5,170 R ² = 0,903
16/04/2002	Y=1,26x-22,863 R ² = 0,867	Y=1,438x-18,911 R ² = 0,903	Y=1,008x+2,620 R ² = 0,930	Y=0,993x-3,025 R ² = 0,925	Y=1,173x+9,026 R ² = 0,895	Y=1,173x+9,847 R ² = 0,880
06/08/2002	Y=1,690x-44,336 R ² = 0,858	Y=1,786x-23,846 R ² = 0,823	Y=1,490x-1,836 R ² = 0,844	Y=1,713x-1,896 R ² = 0,873	Y=1,177x+21,001 R ² = 0,821	Y=1,193x+18,59 R ² = 0,825
29/01/2003	Y=1,139x-36,47 R ² = 0,964	Y=1,204x-23,268 R ² = 0,944	Y=1,137x-9,607 R ² = 0,949	Y=1,007x+20,133 R ² = 0,633	Y=1,137x-3,078 R ² = 0,963	Y=1,149x-3,183 R ² = 0,954
03/04/2003	Y=1,173x-24,805 R ² = 0,871	Y=1,317x-17,24 R ² = 0,878	Y=1,147x+0,052 R ² = 0,857	Y=1,506x-14,753 R ² = 0,919	Y=1,170x+2,190 R ² = 0,874	Y=1,140x+4,791 R ² = 0,851
14/06/2003	Y=1,108x+19,356 R ² = 0,701	Y=1,972x+39,119 R ² = 0,618	Y=1,511x+53,698 R ² = 0,597	Y=1,118x+26,265 R ² = 0,628	Y=1,113x+36,787 R ² = 0,691	Y=1,740x+26,435 R ² = 0,761
01/08/2003	Y=1,292x-3,005 R ² = 0,800	Y=2,254x+20,075 R ² = 0,726	Y=1,803x+31,6 R ² = 0,731	Y=1,247x+18,717 R ² = 0,789	Y=1,094x+31,245 R ² = 0,775	Y=1,298x+34,164 R ² = 0,727
05/11/2003	Y=1,055x-25,245 R ² = 0,947	Y=1,908x-12,432 R ² = 0,951	Y=1,463x+7,544 R ² = 0,906	Y=0,944x+8,339 R ² = 0,960	Y=1,153x+2,518 R ² = 0,967	Y=1,218x+22,212 R ² = 0,797
07/12/2003	Y=0,970x-4,068 R ² = 0,665	Y=1,631x+18,156 R ² = 0,640	Y=1,463x+20,144 R ² = 0,744	Y=0,905x+9,125 R ² = 0,872	Y=1,024x+3,759 R ² = 0,980	Y=1,138x+12,986 R ² = 0,938
09/02/2004	Y=1,041x-12,987 R ² = 0,862	Y=2,413x-29,24 R ² = 0,884	Y=1,944x-11,66 R ² = 0,880	Y=1,082x-4,740 R ² = 0,957	Y=1,481x-12,99 R ² = 0,739	Y=2,451x-10,585 R ² = 0,800
29/04/2004	Y=1,053x+9,131 R ² = 0,857	Y=2,009x+26,45 R ² = 0,868	Y=1,698x+23,337 R ² = 0,816	Y=1,120x+27,472 R ² = 0,702	Y=1,177x+23,917 R ² = 0,804	Y=1,470x+37,465 R ² = 0,733
16/06/2004	Y=0,988x+34,74 R ² = 0,807	Y=2,491x+25,722 R ² = 0,779	Y=2,022x+34,866 R ² = 0,750	Y=1,161x+23,92 R ² = 0,709	Y=1,357x+31,708 R ² = 0,737	Y=1,317x+34,599 R ² = 0,834

(continua)

TABELA 5.2 – (conclusão)

03/08/2004	Y=1,343x-12,437 R ² = 0,851	Y=2,340x+20,736 R ² = 0,825	Y=1,918x+20,948 R ² = 0,794	Y=1,280x+14,169 R ² = 0,832	Y=1,026x+35,756 R ² = 0,738	Y=3,210x-6,236 R ² = 0,844
06/10/2004	Y=1,049x-16,649 R ² = 0,922	Y=2,075x+10,376 R ² = 0,941	Y=1,627x+5,724 R ² = 0,921	Y=1,012x+9,865 R ² = 0,941	Y=1,187x+8,764 R ² = 0,918	Y=1,434x+19,021 R ² = 0,805
23/11/2004	Y=1,018x-32,032 R ² = 0,991	Y=1,818x-17,715 R ² = 0,970	Y=1,460x+0,076 R ² = 0,977	Y=0,917x+5,937 R ² = 0,975	Y=1,026x+0528 R ² = 0,996	Y=1,164x+8,822 R ² = 0,903
25/12/2004	Y=1,081x-20,645 R ² = 0,592	Y=1,934x-0,644 R ² = 0,592	Y=1,644x+8,768 R ² = 0,683	Y=1,025x-7,836 R ² = 0,804	Y=1,203x-14,748 R ² = 0,912	Y=1,198x+14,629 R ² = 0,818
11/02/2005	Y=1,139x-20,794 R ² = 0,807	Y=2,100x -8,076 R ² = 0,834	Y=1,682x+8,493 R ² = 0,841	Y=1,038x+9,658 R ² = 0,878	Y=1,132x+6,272 R ² = 0,948	Y=1,316x+17,103 R ² = 0,848
16/04/2005	Y=1,143x-10,716 R ² = 0,914	Y=2,311x-5,203 R ² = 0,919	Y=1,891x+7,969 R ² = 0,903	Y=1,267x+6,491 R ² = 0,931	Y=1,190x+17,829 R ² = 0,845	Y=1,655x+16,436 R ² = 0,824
03/06/2005	Y=1,501x-13,702 R ² = 0,872	Y=2,927x-4,213 R ² = 0,847	Y=2,364x+13,843 R ² = 0,837	Y=1,609x+4,886 R ² = 0,890	Y=1,495x+17,533 R ² = 0,825	Y=2,14x+13,265 R ² = 0,830
22/08/2005	Y=1,424x-27,645 R ² = 0,929	Y=2,662x-14,254 R ² = 0,940	Y=2,082x+3,105 R ² = 0,910	Y=1,354x+6,209 R ² = 0,924	Y=1,141x+23,121 R ² = 0,824	Y=1,570x+17,996 R ² = 0,835
07/09/2005	Y=1,747x-47,969 R ² = 0,696	Y=2,732x-15,589 R ² = 0,533	Y=2,227x-3,256 R ² = 0,596	Y=1,312x+2,688 R ² = 0,648	Y=1,202x+5,581 R ² = 0,772	Y=1,722x+0,948 R ² = 0,811
10/11/2005	Y=0,918x-7,747 R ² = 0,942	Y=1,604x-2,132 R ² = 0,911	Y=1,305x+10,277 R ² = 0,888	Y=0,873x+8,404 R ² = 0,924	Y=1,112x+0,271 R ² = 0,980	Y=1,501x+5,467 R ² = 0,929

Os valores do coeficiente de determinação variaram de 0,5339 para a banda 2 da imagem de 07/09/05 a 0,9961 para a banda 5 da imagem de 23/11/04. Na maioria das vezes os valores do coeficiente de determinação (R^2) foram altos e satisfizeram os propósitos da uniformização das imagens. A partir da realização deste procedimento, todas as imagens do banco de dados tornam-se equivalentes e são passíveis de análises comparativas entre os valores de reflectância dos alvos estudados.

5.1.4 Segmentação

Como descrito no item 4.2.2.1, alguns testes foram realizados no que diz respeito aos limiares exigidos pelo algoritmo de segmentação por crescimento de regiões disponível no software SPRING, versão 4.1. A segmentação ótima obtida para este trabalho foi de oito níveis digitais para limiar de similaridade e 22 pixels para limiar de área. Após a segmentação, foram selecionados apenas os polígonos que envolviam os pontos amostrais para a realização da análise multitemporal. A Figura 5.3 mostra a diferença na geração dos polígonos quando se alteram os limiares da segmentação. O polígono assinalado com a cruz verde indica o ponto amostral 83. A segmentação com valores de limiares menores gera polígonos com menor número de pixels e, conseqüentemente, separa melhor os talhões, que são a principal unidade de estudo deste trabalho.

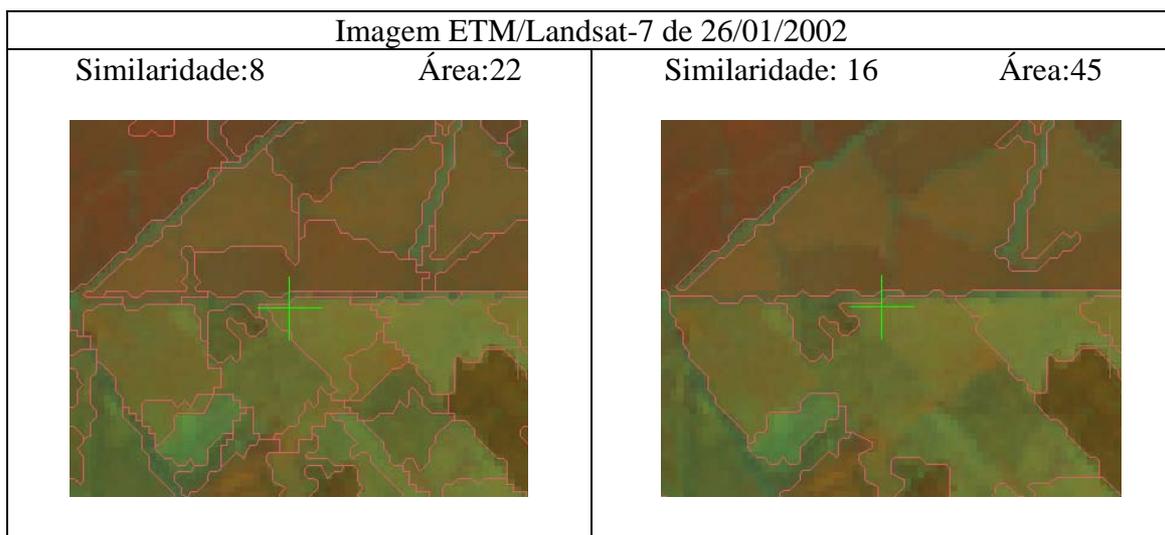


FIGURA 5.3 – Imagem ETM+/Landsat -7 na composição colorida RGB 453 do dia 26/01/02, com diferentes limiares de área e similaridade.

Contudo, mesmo na segmentação mais adequada, foram necessários alguns ajustes de edição vetorial nos polígonos gerados, como mostra a Figura 5.4. A maioria dos polígonos ajustados estão localizados em limites entre talhões ou em pequenas áreas, nas quais o algoritmo agrupou alvos distintos. A etapa de edição vetorial dos polígonos gerados pela segmentação é fundamental, pois os valores de média dos polígonos utilizados na análise multitemporal devem refletir o comportamento de apenas um alvo, não sendo desejável que haja mistura de diferentes alvos dentro de um mesmo polígono.

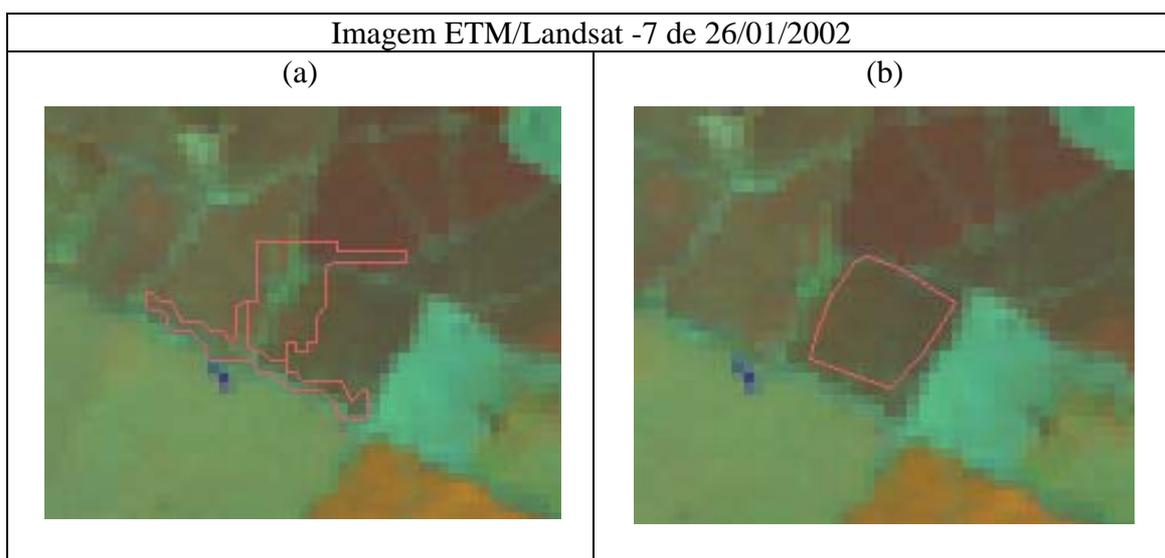


FIGURA 5.4 – Imagem ETM+/Landsat -7 na composição colorida RGB 453 do dia 26/01/02: (a) antes da edição vetorial e (b) depois da edição vetorial.

5.2 Análise multitemporal anual

Em princípio, os pontos foram agrupados nos usos definidos pelos técnicos que realizaram o trabalho de campo, como descrito na metodologia. Nesses agrupamentos, os pontos se distribuíram como mostra a Tabela 5.3.

TABELA 5.3 – Número de pontos pertencentes a cada classe de ocupação do solo, com base nos dados de campo de 2004 e 2005.

Classe de ocupação do solo	Número de pontos
Mata	16
Pasto	27
Soja	17
Cana-de-açúcar	15
Outros (mandioca e algodão)	2
Não-conformes	23

Os problemas de conformidade nos dados foram observados primeiramente entre aqueles provenientes do campo, referentes aos anos de 2004 e 2005. Esses dados são coletados por técnicos, que devem localizar os 100 pontos amostrais no município e registrar o uso do solo em cada um deles. Uma das causas mais evidentes para a não-conformidade do uso do solo entre os dois anos (2004 e 2005) diz respeito à exatidão da localização de cada ponto. Em alguns casos se faz necessária uma grande aproximação do ponto para que não haja nenhum tipo de confusão entre dois tipos de uso distintos, principalmente em áreas com o uso retalhado e onde o ponto amostral esteja no limite entre dois usos. Observou-se se havia coerência entre as informações levantadas pelos técnicos nos dois anos avaliados (2004 e 2005). A constatação de não-conformidade mostra a importância de análises multitemporais no procedimento de projetos de previsão de safra, que podem aumentar sua acurácia com o auxílio de informações sobre o histórico das áreas agrícolas. Para esse conjunto de dados, foram encontrados 23 pontos que apresentavam algum tipo de problema (Tabela 5.4).

TABELA 5.4 – Dados que não apresentam conformidade entre os dois anos de levantamento de campo.

Ponto	Dados de campo	
	2004	2005
2	Pasto	Mata
3	Cana-de-açúcar	Capoeira
14	Soja	Capoeira

(continua)

TABELA 5.4 – (conclusão)

17	Pasto	Mata
18	Mandioca	Mata
19	Pasto	Algodão
20	Soja	Pasto
41	Mandioca	Mata
43	Soja	Estrada
50	Pasto	Soja
57	Mandioca	Cana-de-açúcar
58	Mata de galeria	Soja
61	Algodão	Mandioca
69	Soja	Milho
73	Pasto	Capoeira
82	Mata de galeria	Capoeira
84	Soja	Mata
86	Mata de galeria	Pasto
88	Pasto	Capoeira
89	Mata	Pasto
96	Pasto	Soja
94	Soja	Pasto
98	Pasto	Mandioca

Dos casos mostrados acima, alguns apresentam inconsistências concebíveis, quando se trata da dinâmica de áreas agrícolas, como é o caso do ponto 50, em que em uma área de pasto passou-se a cultivar soja no ano seguinte. No entanto, grande parte dos pontos não-conformes apontam para situações não-convencionais e com baixa possibilidade de ocorrência durante o período de um ano. O ponto 84 foi identificado como soja em 2004, e no ano de 2005 foi classificado como mata; porém, é impossível que uma mata se desenvolva neste intervalo de tempo.

O próximo passo foi a análise dos pontos baseada na série histórica de imagens disponíveis. A partir da informação presente nos planos de informação de reflectância para cada banda, em todas as imagens foram geradas as estatísticas para os polígonos pertencentes ao painel amostral. Utilizou-se a média dos valores de reflectância de cada polígono para a análise dos alvos. A análise espectral e visual de cada ponto ou polígono foi auxiliada também pelas informações constantes do calendário agrícola do município, bem como por informações fornecidas por técnicos agrícolas da área de estudo. Levando em consideração as análises descritas acima, os segmentos previamente agrupados foram remanejados para classes definitivas definidas com base na interpretação visual, espectral e no calendário agrícola.

A média de valores de reflectância para cada classe foi representada graficamente. Porém, alguns polígonos englobavam mais de um ponto. Nesses segmentos, para fins de cálculo da média, foi computado o valor de somente um dos pontos. Um exemplo é um grande fragmento florestal na porção leste do município, que é representado por apenas um polígono, mas apresenta sete pontos amostrais no seu interior. Assim, seis dos pontos pertencentes a este mesmo polígono não fizeram parte da média dos pontos representativos da classe mata. Optou-se pela exclusão desses pontos adicionais para que a média final não fosse “contaminada” pela inclusão de dados repetitivos.

A atribuição de classes ao uso do solo foi feita com base no uso predominante ou mais importante durante o ano. Ou seja, a *classe soja* é representada pelos pontos que apresentam soja em janeiro e, em alguns casos, em dezembro, mas ao longo do ano tem outros usos. Para o caso da cana-de-açúcar, foram observadas diversas épocas de plantio e colheita. No entanto, o fator predominante na identificação desta classe é a duração de seu vigor vegetativo, a resposta espectral e o formato dos talhões. As classes mata e pasto foram definidos como aqueles que apresentam padrões relativamente estáveis de cobertura do solo durante todo o ano.

Pela grande variabilidade do comportamento da cana-de-açúcar dentro de um mesmo ano, optou-se por analisar esta classe com os dados de todos os anos agrupados, ou seja, os pontos de cana-de-açúcar serão avaliados no intervalo de quatro anos. Porém, algumas considerações sobre esta classe serão feitas ao longo das análises anuais. A Figura 5.5 mostra as diferenças observadas nos perfis espectro-temporais em alguns pontos representativos da classe cana-de-açúcar para os anos de 2002 e 2004.

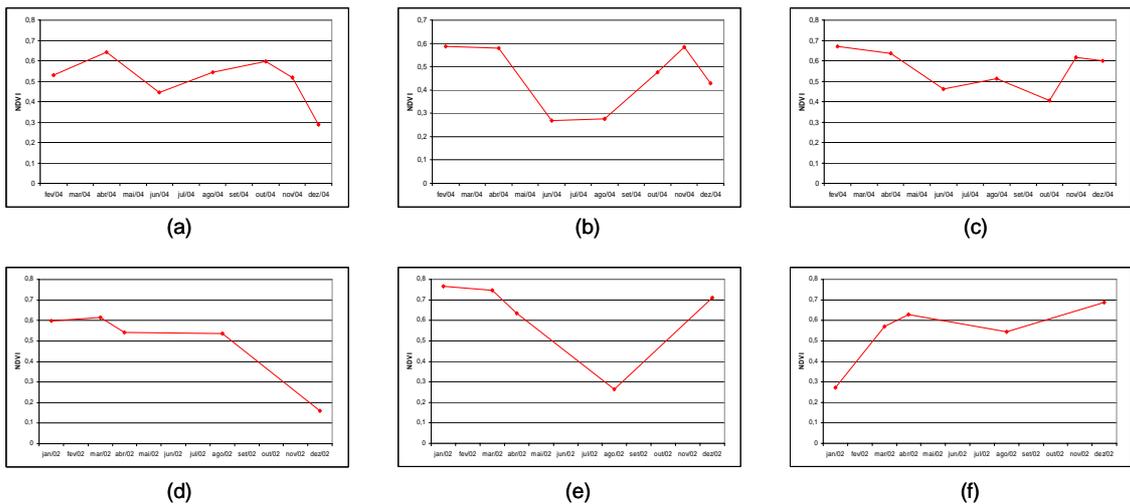


FIGURA 5.5 - Perfis espectro-temporais de pontos amostrais representativos da classe cana-de-açúcar (a,b,c) para o ano de 2004 e (c,d,e) para o ano de 2002.

As análises anuais foram realizadas primeiramente para o ano de 2004, seguido por 2002, 2003 e 2005. Assim, as considerações sobre cada ano serão feitas na seqüência de análise citada acima.

5.2.1 Análise dos pontos para 2004

Para o ano de 2004 observaram-se alguns padrões bem característicos nas imagens ao longo do ano. Considerando as imagens disponíveis, para os talhões de soja foi possível distinguir dois tipos de uso do solo no decorrer do ano. O primeiro deles é a evidência da presença da soja no início do ano (imagem de fevereiro), a colheita já ocorrida em abril e o reaparecimento da resposta espectral de nova safra no final do ano, quando a soja foi plantada novamente. Outro padrão evidente para os talhões de soja foi que em meados de agosto outra cultura podia ser plantada para o melhor aproveitamento da terra. Neste caso, pela análise do calendário agrícola, é possível que a cultura fosse o trigo ou aveia preta, plantada logo após a colheita da soja, em abril. A identificação da soja é facilitada, por ela ser uma espécie com resposta espectral bem distinta dos outros usos, principalmente na fase de maior desenvolvimento da cultura. Na composição RGB 453 TM/Landsat-5, as áreas com presença de soja ficam nítidas, pois apresentam uma coloração bem amarelada, quase alaranjada. As culturas que passam a ocupar os talhões de soja, no meio do ano, têm uma coloração mais avermelhada.

A Figura 5.6 mostra o comportamento do NDVI (eixo Y) no decorrer dos meses de 2004 (eixo X). Nos gráficos gerados com as médias de todos os pontos classificados como soja, fica evidente a predominância da prática de cultivo de culturas de inverno quando comparados às áreas que só plantaram soja e mantiveram os talhões em pousio. Dos 22 pontos identificados como soja, nove não adotaram o plantio de culturas de inverno e 13 apresentaram respostas espectrais que indicavam o plantio de outras culturas. Com a separação dos dois grupos citados, observa-se a diferença do comportamento anual do NDVI. A Figura 5.6 (a) apresenta valores de NDVI mais elevados na imagem de agosto, quando a cultura de inverno está mais vigorosa, além da época de maior vigor da soja (fevereiro e dezembro). Nas áreas que cultivam somente a soja (Figura 5.6 (b)), não são observados valores elevados de NDVI no meio do ano, devido à ausência da cultura de inverno; valores elevados de NDVI ocorrem somente no início e final do ano, quando a soja está no período de maior desenvolvimento.

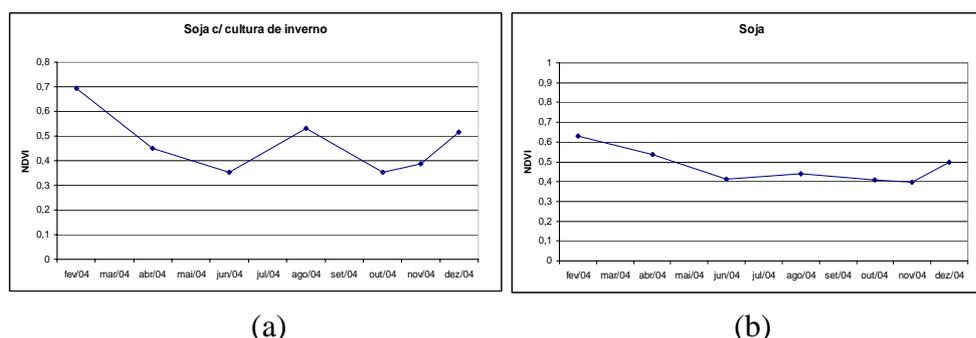


FIGURA 5.6 – Comportamento do NDVI ao longo das imagens disponíveis para o ano de 2004. (a) áreas com plantio de soja e cultura de inverno e (b) áreas com apenas o plantio de soja.

Um exemplo característico do grupo soja com cultura de inverno é o ponto 27 (Figura 5.7). Nesta área, os maiores valores de NDVI são observados nos meses de fevereiro e dezembro, 0,81 e 0,61, respectivamente. Devido ao cultivo de uma cultura de inverno, o valor do índice de vegetação (NDVI) também é alto no mês de agosto (0,49). Ou seja, pela análise das imagens nota-se que após a colheita da soja entre final de fevereiro e início de março, as imagens de abril e junho apresentam características de palha (Figura 5.7 (b)), mas em agosto a presença de outra cultura fica mais evidente (Figura 5.7 (d)).

Nos meses de outubro e novembro o padrão volta a ser de palha (Figura 5.7 (e) e (f)) e, no final de dezembro, volta a apresentar resposta espectral de soja (Figura 5.7 (g)).

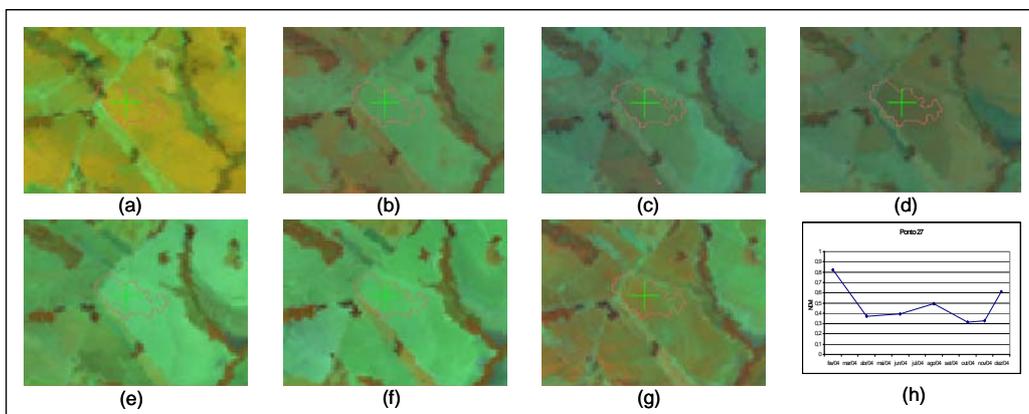


FIGURA 5.7 – Dinâmica temporal do ponto 27. (a) imagem do dia 09/02/04, (b) imagem do dia 29/04/04, (c) imagem do dia 16/04/04, (d) imagem do dia 03/08/04, (e) imagem do dia 06/10/04, (f) imagem do dia 23/11/04, (g) imagem do dia 25/12/04 e (h) comportamento temporal do NDVI ao longo do ano.

Pela análise do comportamento espectral do ponto 27 (Figura 5.8), é possível observar que as curvas referentes aos meses de fevereiro, dezembro e agosto apresentam picos de refletância na banda 4, como era de se esperar para uma área com predomínio de vegetação. Para os outros meses, a curva espectral é mais semelhante à curva padrão de solo.

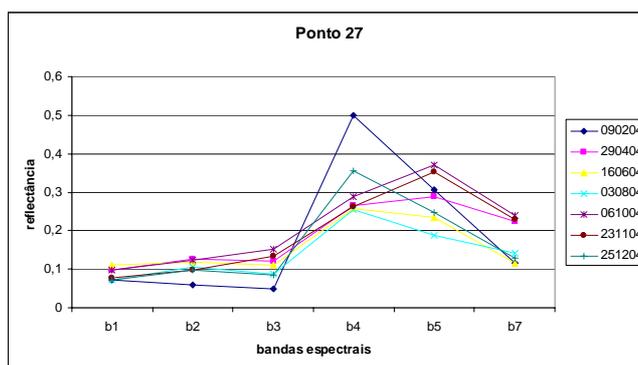


FIGURA 5.8 – Comportamento espectral do ponto 27 para todas as imagens disponíveis em 2004.

Segundo informações de técnicos agrícolas do município, 90% da área plantada com soja fazem uso do plantio direto, e as culturas de inverno mais utilizadas são a aveia preta e o milho safrinha, que respondem por 83,3% do total de culturas de inverno plantadas em Tuneiras do Oeste. Porém, de acordo com o objetivo do trabalho, não há

intenção de identificar qual a cultura de inverno plantada na área anteriormente cultivada com soja, pois a cultura de inverno é apenas um evento que ocorre na área de um ponto de soja, que é a preocupação principal da análise. Ou seja, a cultura de inverno faz parte da dinâmica das áreas plantadas com soja, mas não é objeto de identificação.

Para a análise dos pontos localizados nos fragmentos florestais ou em matas ciliares, a interpretação visual foi fundamental, pois o padrão de textura e coloração desses polígonos é bem diferenciado. Além do que, os pontos de mata permanecem com comportamento espectral praticamente constante durante todo o ano, exceto no caso de desmatamento ou queimada, por exemplo, o que não ocorreu na área.

Na análise espectral dos segmentos de mata (Figura 5.9) houve algumas variações relacionadas aos períodos menos úmidos e mais úmidos. No comportamento do NDVI, que é um índice sensível ao vigor vegetativo, observou-se uma queda nos valores de fevereiro a junho, mais acentuada no intervalo entre os meses de abril e junho, quando começa o período menos úmido. A partir de agosto os valores começam a aumentar, permanecendo constantes nos últimos meses do ano. Os valores de NDVI variam na faixa de 0,45 a 0,67, nos meses de junho e novembro, respectivamente. Para as bandas do visível, as variações de reflectância são de 0,05 a 0,1.

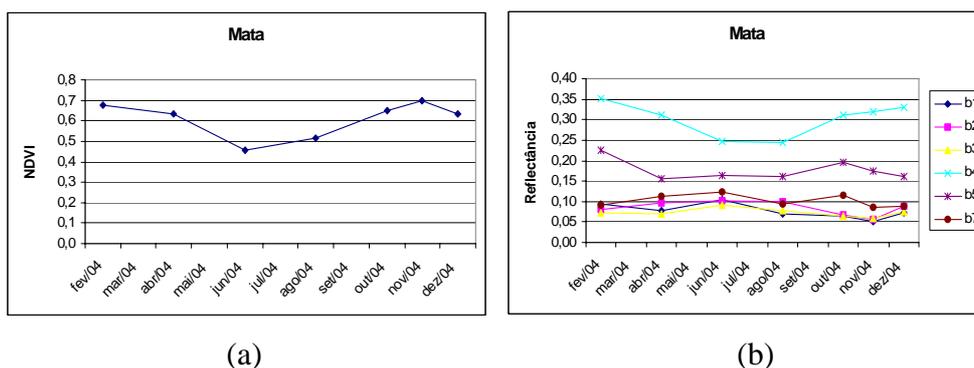


FIGURA 5.9 – Comportamento espectro-temporal da classe mata para 2004. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.

Pela análise do coeficiente de variação (Tabela 5.5) associado a cada imagem, observam-se maiores variações na imagem de fevereiro, exceto na banda 5 e 7. Este fato

está associado à incidência de nuvens em alguns dos segmentos analisados. Os coeficientes são maiores nas bandas da faixa do visível, onde o espalhamento causado por interferências atmosféricas também é maior. A amplitude de variação da reflectância dos pontos de mata na banda 4 foi de apenas 0,1 (entre 0,25 e 0,35), com os valores mais baixos para os meses de junho e agosto, na época menos úmida, e os maiores valores nas imagens de início e final de ano, que representam o período de chuva.

TABELA 5.5 - Coeficientes de variação (%) por classe, por banda espectral e NDVI para os segmentos nas imagens do ano de 2004.

	09/02/04	29/04/04	16/06/04	03/08/04	06/10/04	23/11/04	25/12/04
MATA							
b1	35,93	3,18	2,24	6,84	8,39	9,97	8,58
b2	52,80	5,50	6,01	7,47	13,79	15,75	10,17
b3	55,07	7,73	7,52	14,78	21,16	20,81	15,29
b4	9,16	8,44	7,84	8,64	7,67	4,93	7,00
b5	11,43	11,08	12,32	12,77	16,81	14,42	15,57
b7	28,80	8,65	21,86	40,48	22,54	22,33	17,62
ndvi	19,39	3,61	7,29	10,22	10,24	8,13	7,77
PASTO							
b1	21,14	4,33	2,18	5,05	5,98	11,69	10,38
b2	24,49	5,50	5,00	5,95	9,51	13,61	10,59
b3	26,58	12,56	6,90	8,46	13,13	21,78	15,79
b4	10,49	10,07	8,54	10,55	12,41	14,42	12,60
b5	9,74	11,32	8,31	9,09	13,39	15,54	16,36
b7	18,03	15,98	14,25	18,88	15,69	26,09	21,49
ndvi	14,89	11,21	11,25	10,86	15,39	19,37	16,83
SOJA							
b1	40,91	7,30	3,91	5,16	8,76	13,43	10,18
b2	51,42	8,12	7,75	6,10	12,71	15,74	10,46
b3	54,39	17,01	14,21	11,85	17,52	21,67	25,50
b4	14,42	9,18	11,08	14,72	10,08	16,28	18,57
b5	14,30	15,51	16,44	11,35	11,81	21,52	19,41
b7	44,20	19,54	25,04	29,58	13,88	26,57	28,87
ndvi	28,31	18,11	21,06	16,71	20,48	30,36	29,61
CANA							
b1	20,02	3,60	3,46	8,54	6,26	10,14	7,69
b2	24,32	4,84	6,26	9,32	10,01	10,54	8,54
b3	31,49	16,76	17,61	22,59	18,06	24,94	21,47
b4	6,86	14,69	12,51	15,37	11,40	15,50	16,95
b5	9,86	14,08	18,51	17,91	18,28	17,56	17,99
b7	30,35	25,86	23,07	61,04	29,31	34,00	27,65
ndvi	19,00	16,81	29,27	26,55	16,36	27,54	36,08

As curvas de comportamento temporal do NDVI são bem semelhantes entre os pontos da classe mata. Os coeficientes de variação para o NDVI são maiores quando comparados aos valores obtidos para as bandas do visível, exceto na imagem de fevereiro, onde os maiores coeficientes foram observados para as bandas do visível, conforme Tabela 5.5. A banda 4 apresenta maiores variações de reflectância entre os meses do ano, evidenciando melhor os períodos menos úmidos e mais úmidos, quando comparada com as bandas do visível e as bandas 5 e 7, que apresentam um padrão razoavelmente constante durante todo o ano.

Pela análise do comportamento espectral da mata ao longo dos meses (Figura 5.10), nota-se pouca variação na forma da curva, o que caracteriza a presença de mata. Os valores de reflectância da banda 4 apresentam as maiores variações entre os meses, que podem estar relacionadas à variação da disponibilidade de água e espaços intercelulares no mesófilo foliar. A estrutura da floresta é a principal responsável pelos menores valores de reflectância na estação seca (imagens de junho e agosto). Nesta época, sempre há perda de folhas, o que pode aumentar os espaços na estrutura florestal e assim diminuir a reflectância da mata nessa época.

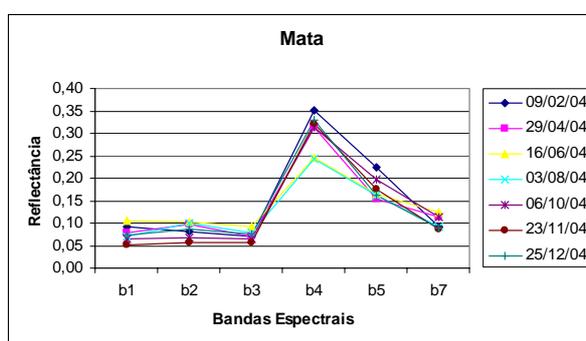


FIGURA 5.10 – Comportamento espectral da classe mata para todas as imagens disponíveis em 2004.

Os polígonos representativos da cana-de-açúcar também apresentaram características facilitadoras em sua identificação. Por ser uma espécie da família *Gramineae*, a cana-de-açúcar apresenta folhas erectófilas, com resposta espectral distinta de espécies com disposição foliar planófila, como é o caso da soja (Jackson e Pinter, 1986). A coloração de um talhão de cana na composição RGB 453 é avermelhada e sua textura é bem homogênea, assim como a maioria das culturas agrícolas. Outro aspecto muito relevante na identificação de um talhão de cana é sua fenologia, bem diferenciada de culturas de verão, podendo ter duração de um ano a um ano e meio por ciclo. O tipo de cultivo também pode caracterizar a cultura, pois é possível uma boa percepção visual de carregadores e talhões no caso da cana-de-açúcar.

A classe Pasto foi a responsável pela maioria dos pontos do painel amostral (40 pontos), e também pela maior variabilidade de comportamento espectral e visual, diferentemente do que afirmam Seyler et al. (2002), para quem os pastos apresentam o mesmo aspecto durante todo o ano. Segundo Embrapa (2004), os pastos devem ser manejados para

atingir máximo rendimento pecuário, resultando assim, em mudanças na cobertura do solo durante todo o ano. Na maioria das vezes os pastos são heterogêneos e sem padrão geométrico definido, mas em alguns períodos do ano (geralmente nos meses de abril e novembro) apresentam vigor vegetativo mais evidente.

Mesmo com sua variabilidade característica, foi possível identificar um padrão específico de comportamento do pasto durante o ano. Em se tratando de NDVI, seu comportamento temporal é bem semelhante ao observado para os polígonos de mata (Figura 5.11), porém o pasto apresenta valores mais baixos em magnitude (de 0,37 a 0,58), enquanto que para a mata os valores variaram de 0,45 a 0,67.

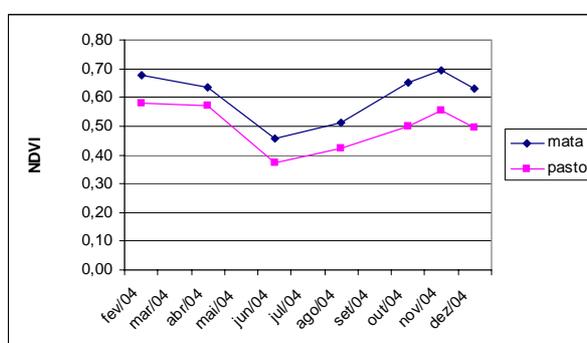


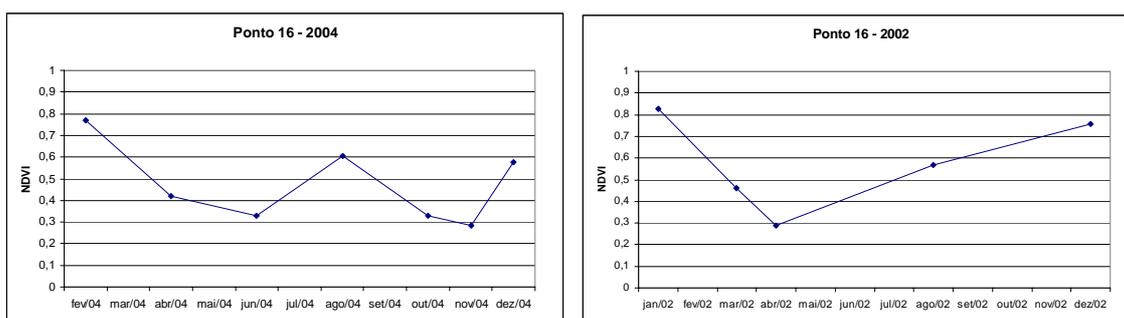
FIGURA 5.11 - Comportamento do NDVI ao longo do ano para as classes mata e pasto.

Outro fator importante de diferenciação espectral entre o pasto e a mata é a amplitude dos valores para a banda 5 e 7. Para as duas classes os maiores valores de reflectância na banda 5 foram observados nos meses de fevereiro e outubro, e os menores valores em abril. Porém, o pasto apresenta valores que variam de 0,21 a 0,31 e a mata 0,16 a 0,23. Em relação à banda 7, os meses com maiores e menores valores de reflectância diferem entre as classes, e também a amplitude de variação é distinta. Para a mata, junho apresenta o valor mais alto (0,12), e novembro o mais baixo (0,09). Para o pasto, agosto e junho foram responsáveis pelos valores mais altos (0,19) e baixos (0,12), respectivamente. Os maiores valores de reflectância da banda 5 estão associados à maior exposição do solo em áreas de pasto e também à menor quantidade de água disponível nas folhas.

5.2.2 Análise dos pontos para 2002

No grupo de imagens disponíveis para o ano de 2002 não foi possível a aquisição de imagens em intervalos regulares. O banco de imagens de 2002 é composto por cinco cenas: janeiro, março, abril, agosto e dezembro. Os maiores intervalos estão entre os meses de abril e agosto e entre os meses de agosto e dezembro. Para auxiliar no processo de visualização e análise do comportamento das variáveis ao longo do ano, optou-se pela interpolação dos meses citados, por meio do cálculo da média entre os meses. Embora esses dados interpolados não sirvam de parâmetros para comparações entre os anos, a sua geração visou somente facilitar a visualização gráfica da curva anual das variáveis.

Um dos problemas ocasionados pela falta de imagens entre os meses de agosto e dezembro é a distinção das subclasses *soja* e *soja com cultura de inverno* (Figura 5.12). No conjunto de imagens de 2004, a subclasse *soja com cultura de inverno* é bem diferenciada da subclasse *soja* por apresentar um pico nos valores do NDVI na imagem de agosto e um rápido declínio para a imagem de outubro, e, na imagem de dezembro, os valores voltarem a aumentar. Nas imagens de 2002, o comportamento de pico dos valores de NDVI em agosto não é perceptível, pois o valor atribuído ao mês de outubro é uma média entre os valores de agosto e dezembro.



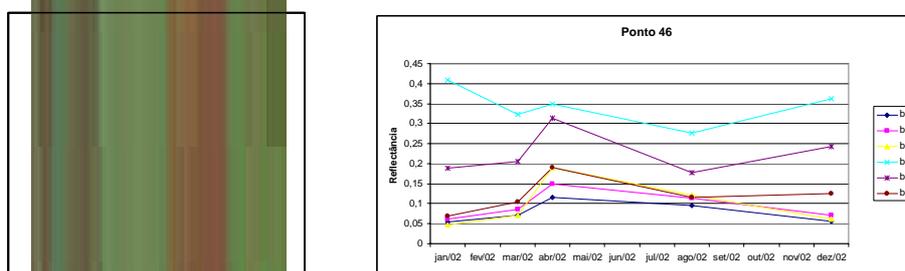
(a)

(b)

FIGURA 5.12 – Comportamento do NDVI ao longo do ano no ponto amostral 16 (soja): (a) para as imagens de 2004 e (b) para as imagens de 2002.

Dada a impossibilidade de visualização das culturas de inverno pela análise do comportamento espectro-temporal, os pontos de soja não foram divididos em duas

subclasses de vegetação. As características mais importantes na identificação desta cultura foram os valores de NDVI para os meses de janeiro e dezembro: 0,75 e 0,67, respectivamente. Além disso, para as bandas do visível (Figura 5.13), a imagem de abril foi responsável por maiores valores de reflectância, pelo fato de a maioria dos talhões apresentarem maior teor de clorofila. Valores mais baixos de reflectância também foram observados para a banda 5 e 7, o que está relacionado à menor disponibilidade de água nessas áreas em que



(b)

FIGURA 5.13 Comportamento espectral do ponto 46 (soja). (a) Imagem de 16/04/02, composição comportamento espectral ao longo de 2002.

Para a classificação, no conjunto de imagens do ano de 2002, foi possível a separação de três grupos com datas de plantio e colheita diferentes. Os grupos encontrados para o ano de 2002 foram: janeiro a abril, janeiro a agosto, e abril a dezembro, onde o primeiro mês é referente à primeira imagem onde foi evidenciada a cultura da cana-de-açúcar e o segundo mês representa a imagem em que foi observada a presença de palha, representando o período de colheita. Esses grupos apresentam um comportamento espectro-temporal ao longo do ano muito distinto. As variáveis espectrais que apresentaram maior coeficiente de variação foram as bandas 3, 7 e o NDVI (dados não mostrados).

As mesmas relações entre as classes “mata” e “pasto” para os dados de 2004 foram observadas para as imagens de 2002: mesmo padrão de curva do NDVI, porém com amplitudes diferentes, com valores mais altos associados à classe mata (0,56 – 0,75 para mata e 0,44 – 0,62 para o pasto). O mesmo ocorreu com os valores de reflectância da banda 5: 0,09 a 0,16 para a mata e 0,15 a 0,24 para o pasto e banda 7: 0,03 a 0,07 para a

mata e 0,07 a 0,13 para o pasto. Em todos os casos, os menores valores foram observados para o mês de agosto; porém, em relação aos maiores valores, para a mata estes foram observados em março, e, para o pasto, em dezembro.

Na classe mata, os maiores valores de NDVI foram observados nas imagens de início e final de ano, e os menores valores no mês de agosto, conforme pode ser visto na Figura 5.14. Os valores de reflectância para as bandas do visível variaram entre 0,04 e 0,08, com valores mais altos na imagem de outubro. No conjunto de 20 pontos, o coeficiente de variação médio para as bandas do visível foi de 15,3%, sendo que o maior valor foi encontrado na imagem de março para a banda 3 (33,6%). Os valores da banda 4 permaneceram estáveis durante todo o ano, com variação de 0,25 a 0,31, e com maior coeficiente de variação entre os pontos na imagem de março (cv= 10,30%). Exceto pela banda 1, todas as outras bandas tiveram maior coeficiente de variação no mês de março. Os valores de reflectância observados para a banda 7 – infravermelho de ondas curtas, giraram em torno dos valores observados para as bandas do visível, ou seja, baixa reflectância, o que pode estar relacionado à alta absorção causada pela maior quantidade de água líquida na folha.

O mesmo padrão de curva foi observado entre as bandas 5 e 7, porém com valores distintos. O mês com valores mais altos foi março, com 0,16 para a banda 5 e 0,07 para a banda 7, e o mês com valor mais baixo foi agosto com 0,08 para a banda 5 e 0,03 na banda 7. Essa semelhança entre a curva espectro-temporal das bandas 5 e 7 é explicada pelo fato de que as duas bandas estão localizadas na mesma região do espectro eletromagnético: infravermelho de ondas curtas.

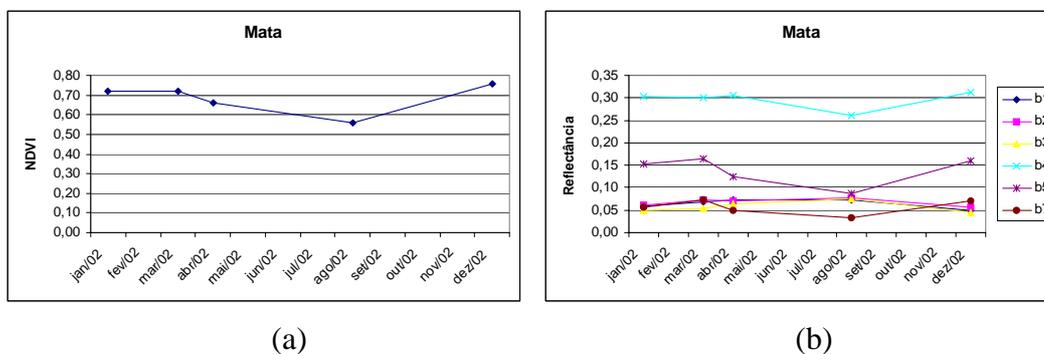


FIGURA 5.14 - Comportamento espectro-temporal da classe mata para o ano de 2002. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.

A classe pasto, cujo comportamento espectro-temporal está apresentado na Figura 5.15, foi responsável por metade dos pontos do painel amostral (50 pontos). Ao comparar as classes mata e pasto, observou-se pouca diferença entre suas reflectâncias nas bandas do visível. Mas, de forma geral, os valores para o pasto são maiores do que para os pontos de mata. Este fato pode estar associado à menor quantidade de material fotossinteticamente ativo presente nos pastos, o que leva a uma menor absorção de energia em comparação com a mata, que apresenta grande quantidade de material fotossinteticamente ativo, além da influência de fatores como a sombra e exposição do solo (Affonso, 2005). Assim como em todas as outras classes analisadas, os maiores valores de reflectância foram observados na banda 4, seguidos pela banda 5, 7 e pelas bandas do visível.

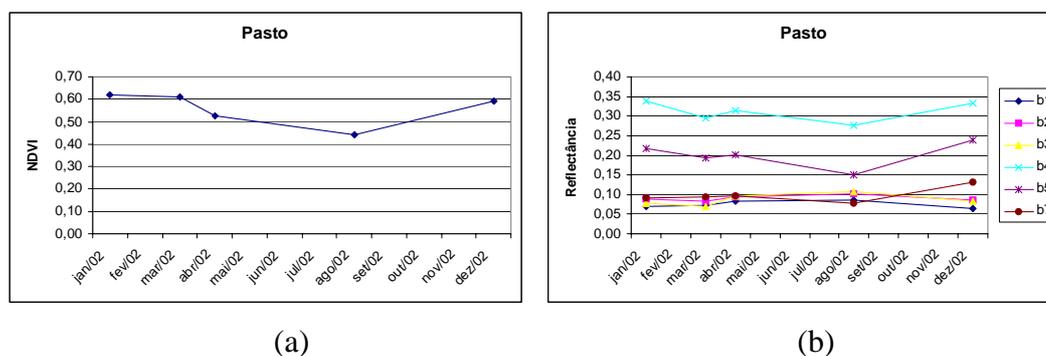


FIGURA 5.15 - Comportamento espectro-temporal da classe pasto para o ano de 2002. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.

5.2.3 Análise dos pontos para 2003

Para o ano de 2003 foram adquiridas seis imagens representativas dos meses de janeiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro. Como a imagem de dezembro é do começo do mês, não é possível a visualização da soja em sua plena expressão espectral, que fica evidente somente a partir da metade para o final do mês. Porém, na primeira imagem de 2004 (fevereiro), a soja já apresenta expressão espectral, confirmando o fato de que em dezembro ela já havia sido plantada, mas ainda não era perceptível pelo sensor (Figura 5.16).

As bandas 5 e 7 apresentam seus picos de maior valor de reflectância nas imagens de abril e novembro, épocas em que a palha predomina. Em abril a palha se refere à recente colheita da soja, e em novembro está relacionada com a colheita da cultura de inverno plantada na área.

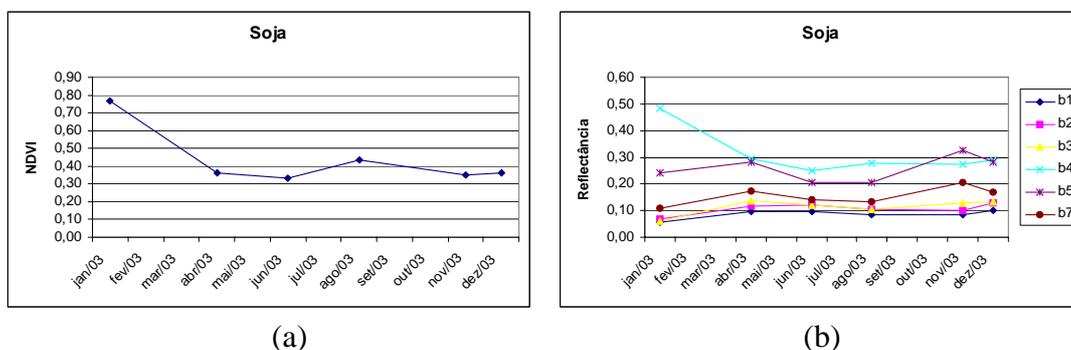


FIGURA 5.16 - Comportamento espectro-temporal da classe soja para o ano de 2003. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.

Como pode ser visto na Figura 5.17, a curva espectral do NDVI para os pontos de mata permanece com o mesmo padrão dos outros anos analisados, com valores mais altos no início e final do ano e menores valores no mês de junho. De modo geral, as reflectâncias permanecem uniformes durante todo o ano, com exceção da banda 4, mais influenciada pelas diferenças de disponibilidade de água, o que pode causar alterações na relação água-ar no mesófilo foliar (Ponzoni, 2001).

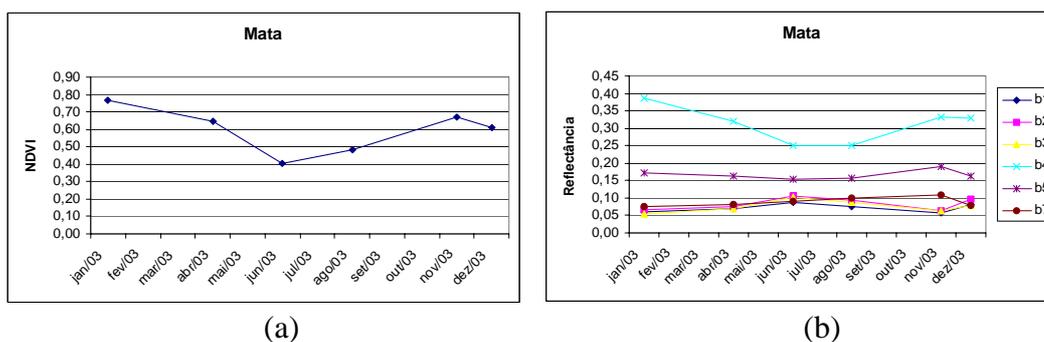


FIGURA 5.17 - Comportamento espectro-temporal da classe mata para o ano de 2003. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.

Os valores de reflectância na banda 4 são bem semelhantes para as classes pasto e mata, e variaram de 0,25 a 0,39 para as duas classes ao longo do ano. Porém, como mencionado anteriormente, os fatores que mais diferenciam essas duas classes entre si

são os valores relacionados às bandas 5 e 7, que para o pasto variaram de 0,19 a 0,29 na banda 5 e de 0,18 a 0,12 na banda 7.

5.2.4 Análise dos pontos para 2005

As seis imagens disponíveis para o ano de 2005 englobaram todo o ano (fevereiro, abril, junho, agosto, setembro e novembro). No conjunto de pontos de soja, ocorreu o mesmo evento de 2003 (Figura 5.16), em que na última imagem do ano ainda não era possível visualizar a soja. Os altos valores de NDVI e reflectância na banda 4 na imagem de fevereiro confirmam a presença da soja nos talhões. Os valores mais altos da banda 5 e 7 são observados para os meses de abril e novembro.

Para a classe mata foram observados os mesmos aspectos de padrão estável durante todo o ano (Figura 5.18). A amplitude de variação da banda 4 foi de 0,1 entre os meses do período de seca e chuva. As bandas 5 e 7 apresentaram as menores variações (0,01), com o mesmo formato da curva, com distinção apenas quanto aos valores de reflectância - maiores para a banda 5. As bandas do visível variaram em média 0,03 ao longo do ano, sendo que as bandas 1 e 2 apresentam praticamente os mesmos valores de reflectância em todos os meses avaliados.

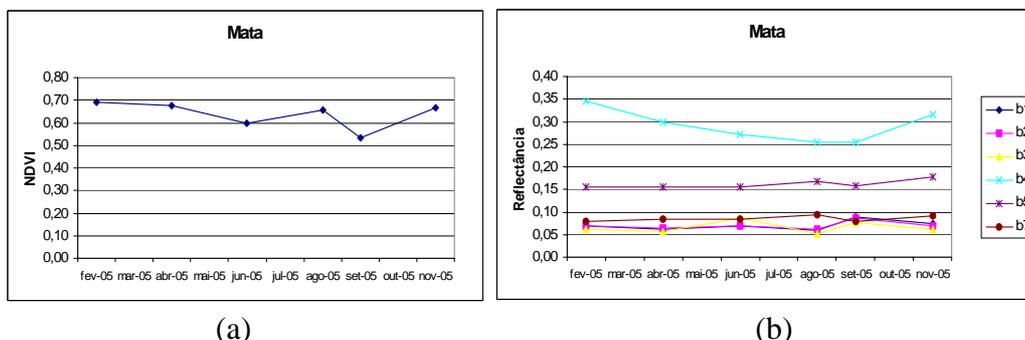


FIGURA 5.18 - Comportamento espectro-temporal da classe mata para o ano de 2005. (a) comportamento do NDVI ao longo do ano e (b) comportamento espectral.

A maioria dos pontos presentes no painel amostral continuou fazendo parte da classe pasto, como nos outros anos avaliados. Porém, entre todos os anos, 2005 foi o que apresentou o menor número (37 pontos). As considerações sobre as características espectrais desta classe permanecem as mesmas já mencionadas, como padrão estável de

reflectância durante o ano, e valores mais altos de reflectância para a banda 7 e para a banda 5 em comparação à classe mata.

5.3 Avaliação entre os quatro anos

A análise da cana-de-açúcar mostrou que sua data de plantio e colheita foi muito variável ao longo de um ano. Assim, optou-se pela análise conjunta dos dados dos quatro anos. Nesta análise, foi possível avaliar as safras dos pontos com cana-de-açúcar, mesmo que as imagens disponíveis não cobrissem todo o intervalo da safra. Os pontos de cana apresentaram em sua maioria quatro safras, ou seja, nos quatro anos avaliados, foram identificados quatro períodos distintos de vigor vegetativo da espécie. Em grande parte, a fase inicial da cultura foi observada nos últimos ou primeiros meses do ano.

Algumas áreas apresentaram duas ou três safras de cana-de-açúcar, mas nesses pontos ocorreram mudanças no uso do solo. Este é o caso do ponto 4, que em 2002 era pasto e passou a ser cultivado com cana-de-açúcar a partir de 2003; e o ponto 83, que era pasto em 2002 e 2003, e foi identificado como cana-de-açúcar em 2004 e 2005.

O ponto 47 é um exemplo característico dos pontos de cana-de-açúcar. Como se observa na Figura 5.19, na primeira imagem do ano de 2002 (a), a cana-de-açúcar já estava bem desenvolvida, e ocupava todo o talhão de forma regular. Esse padrão se manteve até a imagem de abril, mas na próxima imagem disponível (b), a cana-de-açúcar foi colhida e a palha passou a ocupar todo o talhão. Observa-se neste período a primeira safra, que começa antes de janeiro de 2002 e acaba entre junho e julho do mesmo ano. Na imagem de dezembro de 2002 (c) a cana-de-açúcar está novamente vigorosa, ou seja, a segunda safra se inicia em outubro/novembro de 2002 e termina entre agosto e setembro de 2003, como mostra o calendário agrícola para o plantio e colheita da cana de ano. Para as safras 03/04 e 04/05, observa-se que o desenvolvimento da cana-de-açúcar ocorre no mesmo período, com início em outubro/novembro, pois na imagem de dezembro apresenta-se bem vigorosa e se mantém neste estágio até os meses de agosto/setembro, quando é colhida. A Figura 5.19 mostra a dinâmica observada e descrita no ponto 47.

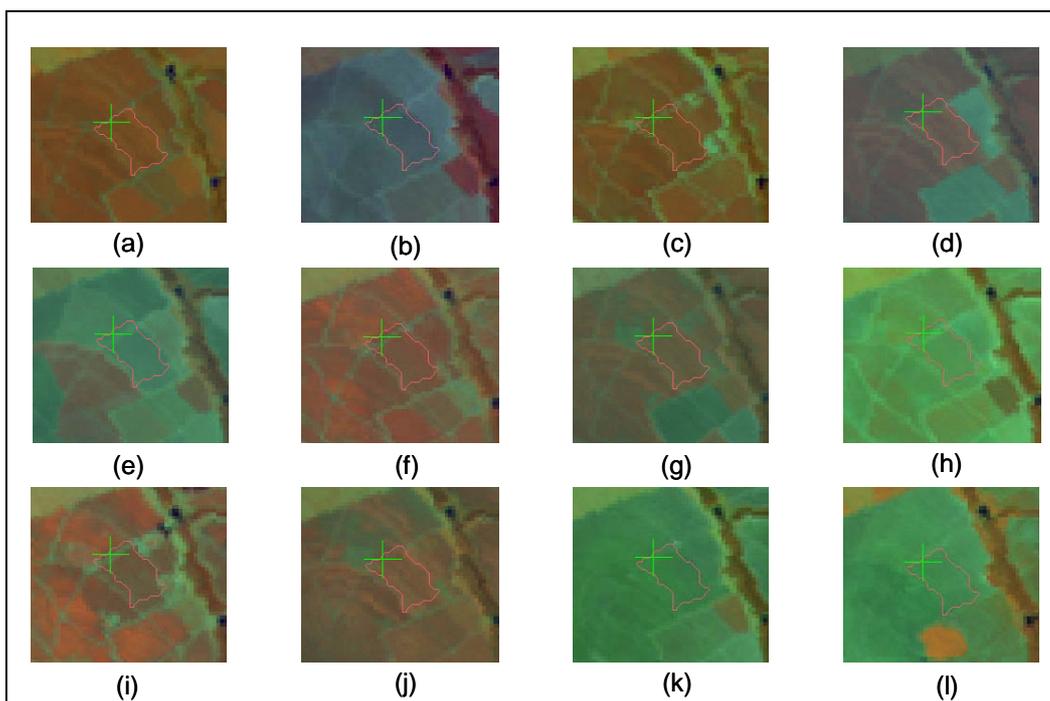


FIGURA 5.19 – Dinâmica temporal do ponto 47 (cana-de-açúcar), composição colorida 4R5G3B. (a) imagem de 26/01/02, (b) imagem de 06/08/02, (c) imagem de 28/12/02, (d) imagem de 14/06/03, (e) imagem de 01/08/03, (f) imagem de 07/12/03, (g) imagem de 03/08/04, (h) imagem de 06/10/04, (i) imagem de 25/12/04, (j) imagem de 03/06/05, (k) imagem de 22/08/05 e (l) imagem de 10/11/05.

A Figura 5.20 mostra a dinâmica dos valores de NDVI em todas as imagens do banco de dados para o ponto 47, que é um ponto representativo da classe cana-de-açúcar. Os menores valores, indicados por círculos, estão associados aos períodos de palhada da cultura, que ocorrem entre agosto e outubro para todos os anos analisados, como mostram as imagens na Figura 5.19 (b, e, h e k). Os maiores valores ocorrem entre o final e o início de cada ano, como indicam as elipses vermelhas, no período de maior vigor vegetativo da cultura. Há uma percepção de que os valores de pico de NDVI são decrescentes à medida que os anos passam. Embora não haja comprovação empírica, esse comportamento pode indicar uma possibilidade de monitoramento do decréscimo produtivo da cana em safras sucessivas.

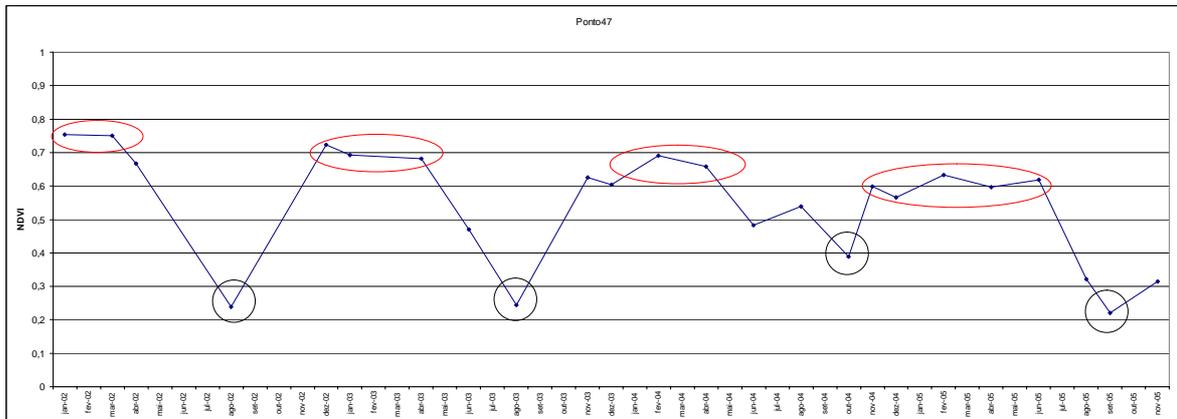


FIGURA 5.20 – Comportamento do NDVI para o ponto 47 ao longo de quatro anos (2002 a 2005).

Para representar a classe da soja, foi selecionado o ponto 27 que terá sua dinâmica espectro-temporal mais bem detalhada a seguir. As imagens referentes a este talhão estão mostradas na Figura 5.21.

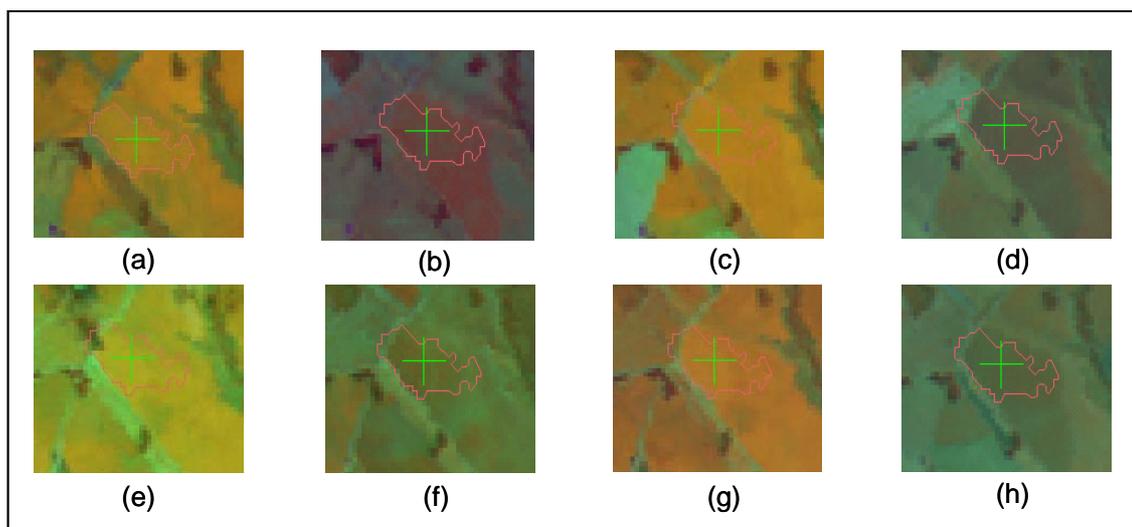


FIGURA 5.21 – Dinâmica temporal do ponto 27, composição colorida R4G5B3. (a) imagem de 26/01/02, (b) imagem de 06/08/02, (c) imagem de 29/01/03, (d) imagem de 01/08/03, (e) imagem de 09/02/04, (f) imagem de 03/08/04, (g) imagem de 11/02/05 e (h) imagem de 22/08/05.

Pela análise do NDVI (Figura 5.22), observa-se que os maiores valores estão associados aos picos de desenvolvimento da soja, entre o final de dezembro e início de fevereiro (setas vermelhas). As setas pretas indicam as culturas de inverno plantadas entre as duas safras consecutivas da soja. No ano de 2002 não é possível distinguir a cultura de

inverno, pois houve ausência de imagens no período entre setembro e novembro, quando seria detectada a presença de palha da cultura em questão. Porém, pela análise visual da imagem de agosto/2002 (Figura 5.21, (b)) é possível perceber a cultura de inverno. Neste caso, também é perceptível uma queda nos valores de NDVI ao longo dos anos, que pode estar associada ao desgaste de nutrientes no solo.

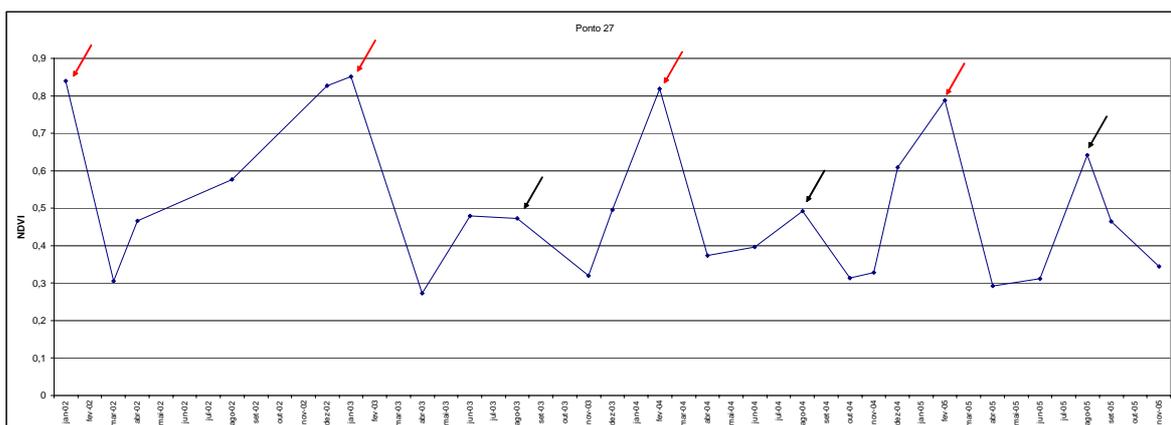


FIGURA 5.22 - Comportamento do NDVI para o ponto 27 (classe soja) ao longo de quatro anos (2002 a 2005).

Na análise de reflectância das classes (Figura 5.23), os maiores valores para todas as bandas (1 a 5 e 7) foram referentes à soja, em todos os anos avaliados. Nas bandas do visível a variação entre os meses com maiores e menores reflectâncias para a classe soja foi bem grande, não sendo possível a identificação de um padrão ou alguma tendência de comportamento. Na comparação dos valores de reflectância entre as classes, observa-se que nas bandas do visível, esses valores são bem próximos. Porém, dentro da classe soja foi observado que nas imagens de outubro-novembro o valor de reflectância da banda 5 é maior que da banda 4, exceto no ano de 2002, pois neste ano não há imagens desses meses.

Em geral, no período outubro-novembro há grande contribuição do solo na resposta espectral; e como o solo tende a ter maior reflectância na banda 5 do que na banda 4, esta pode ser uma explicação para o fato de as respostas na banda 5 serem maiores que na banda 4 para esses talhões de soja nesse período do ano.

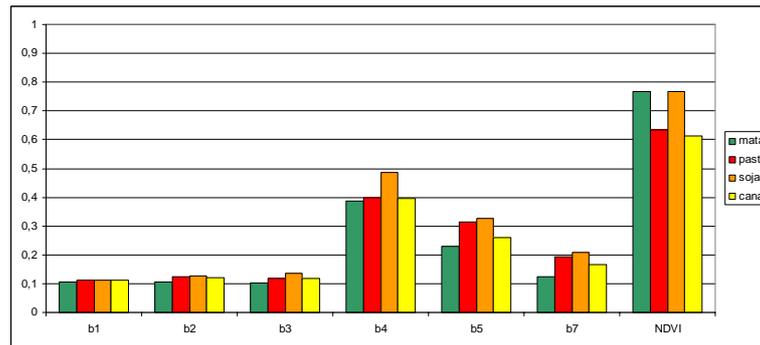


FIGURA 5.23 – Maiores valores de NDVI e de reflectância e por banda em todos os anos avaliados.

Quanto aos valores de NDVI, tanto os mais altos quanto os mais baixos foram observados na classe da soja, com o maior valor (0,77) ocorrendo em janeiro de 2003 e o menor (0,33) em junho do mesmo ano. Apesar disso, os valores observados para a classe mata foram bem semelhantes ao da classe soja. Os valores de reflectância e desvio padrão para todas as imagens pertencentes ao banco de dados são mostrados no Apêndice A.

5.3.1 Análise estatística

Para avaliar as diferenças entre as classes de uso, foram realizadas análises estatísticas que as compararam, duas a duas, em três períodos do ano. A divisão do ano em períodos foi necessária, pois não havia disponibilidade de imagens em todos os meses para todos os anos. Assim, optou-se pela divisão dos seguintes períodos: dezembro a março – período 1; abril a julho – período 2; e agosto a novembro – período 3. O período 1 representa o conjunto de dados de todas as imagens entre dezembro e março dos anos de 2002 a 2005. Da mesma forma, foram separados os dados para os outros períodos. A análise das diferenças médias foi realizada para avaliar, entre as classes que mostraram diferenças significativas, quais seriam as bandas que apresentariam maiores diferenças e possivelmente seriam melhores indicadoras de separação das classes.

Em geral, todas as classes apresentaram características distintas entre si, que foram apontados como significativas nos testes estatísticos. A classe mata e a classe pasto apresentaram diferenças significativas entre si em quase todas as bandas (1 a 5 e 7) e no NDVI para todos os períodos do ano, exceto para banda 1 no primeiro período, como

pode ser visto na Tabela 5.6. As maiores diferenças médias encontradas entre estas classes foram nas bandas 5, 7 e NDVI, e as menores nas bandas 1 e 4 para todos os períodos. A seguir são apresentados os resultados (Tabela 5.6), banda a banda, para a comparação entre as classes estudadas.

TABELA 5.6 - Valores de p nas comparações entre as classes para os três períodos do ano.

Período 1	m/p	m/s	m/c	p/s	p/c	s/c
b1	0,063	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	1,000	0,310	<i>0,237</i>
b2	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	0,237	<i>0,028</i>
b3	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,028</i>	<i>0,028</i>	0,176	<i>0,028</i>
b4	<i>0,028</i>	<i>0,043</i>	0,612	0,063	<i>0,043</i>	<i>0,028</i>
b5	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,028</i>	0,866	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>
b7	<i>0,028</i>	<i>0,018</i>	<i>0,028</i>	0,310	1,000	0,612
ndvi	<i>0,018</i>	0,176	<i>0,018</i>	0,091	<i>0,018</i>	<i>0,028</i>
Período 2	m/p	m/s	m/c	p/s	p/c	s/c
b1	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	0,237	<i>0,028</i>
b2	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	0,398	<i>0,043</i>
b3	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,043</i>	0,063	<i>0,018</i>
b4	<i>0,018</i>	0,866	<i>0,018</i>	<i>0,043</i>	0,063	<i>0,018</i>
b5	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>
b7	<i>0,028</i>	<i>0,028</i>	<i>0,028</i>	<i>0,018</i>	<i>0,028</i>	<i>0,028</i>
ndvi	<i>0,018</i>	<i>0,018</i>	<i>0,028</i>	<i>0,028</i>	0,176	<i>0,018</i>
Período 3	m/p	m/s	m/c	p/s	p/c	s/c
b1	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	0,333	0,721	0,799
b2	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	0,959	0,139	0,508
b3	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	0,241	0,386	0,114
b4	<i>0,022</i>	0,646	0,575	0,093	0,508	0,074
b5	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	0,285	<i>0,005</i>	<i>0,007</i>
b7	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	0,203	<i>0,022</i>	<i>0,022</i>
ndvi	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	<i>0,005</i>	0,169	0,646	0,093

Valores em itálico representam diferença significativa entre as classes com 95% de confiança. Comparações realizadas com duas classes. m: mata. p: pasto. s: soja. c: cana-de-açúcar. Período 1: final de dezembro a março. Período 2: abril a julho. Período 3: agosto a início de dezembro.

Considerando que a soja está presente no campo somente no primeiro período, que abrange as imagens de final de dezembro a março, maior ênfase foi dada às comparações dentro deste período. Para os outros períodos considerou-se esta classe como palha, já que no segundo período há predominância de restos de culturas e, no terceiro, a área podia estar cultivada com alguma cultura de inverno ou com palha mais antiga.

Na comparação entre as classes mata e soja, para o primeiro período, somente o NDVI não apresentou diferença significativa (Tabela 5.6). Neste período, as duas classes apresentam vigor vegetativo elevado: no caso da soja, por ser a época de maior

desenvolvimento da cultura e, no caso da mata, por ser uma época de chuva. Para os períodos 2 e 3, a única banda que não apresentou diferença significativa foi a banda 4, o que pode estar associado ao volume de biomassa das classes em questão. Para a soja, que nestes períodos, é representada pela palha, o volume de biomassa é bem reduzido. E para a mata, por ser uma época seca e a formação florestal ser semidecídua, a queda de folhas altera a estrutura florestal, aumenta os espaços “vazios” dentro da floresta, e diminui assim, a reflectância na banda 4, que é impulsionada pelo “material verde”.

Entre as classes mata e cana-de-açúcar foi observada diferença significativa em todos os períodos. Somente a banda 4 não apresentou diferenças nos períodos 1 e 3, o que pode estar associado ao período de maior desenvolvimento da cana-de-açúcar, que ocorre no início e final do ano, quando o volume de biomassa é maior, sendo, neste caso, equivalente ao da classe mata.

Para as classes pasto e soja, considerando o primeiro período, observou-se que as bandas da região do infravermelho não apresentaram diferenças. Somente as bandas 2 e 3 evidenciaram diferença entre as classes, que pode estar relacionada com a distinta quantidade de pigmentos, principalmente clorofila (Epiphanyo, 1988; Marengo e Lopes, 1994), encontrada nas duas classes. Porém, o volume de biomassa verde pode não ser distinto ao ponto de diferenciar as duas classes, como mostra o resultado do teste estatístico para a banda 4.

A única variável que mostrou diferença significativa em todos os períodos na comparação das classes pasto e cana-de-açúcar foi a banda 5, o que pode estar associado à maior exposição de solo pelo pasto quando comparado à cana-de-açúcar.

5.3.2 Correlação entre as bandas

Foram obtidas apenas as correlações entre as bandas para o primeiro período, pois como explicado anteriormente, é o período em que é possível identificar a classe soja. Na matriz de correlação das bandas para o período 1 (15 de dezembro a 15 de março), as seguintes bandas apresentaram maior correlação: (1 e 2), (1 e 3), (2 e 3), (3 e 7) e (3 e

ndvi), e os pares de banda que mostraram menor correlação foram: (1 e 4), (2 e 4), (3 e 4), (4 e 5) e (4 e 7), como mostra a Tabela 5.7.

TABELA 5.7 – Matriz de correlação para os dados de reflectância

	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7	NDVI
Banda 1	1,00	0,92	0,89	-0,13	0,58	0,70	-0,78
Banda 2	-	1,00	0,90	0,00	0,76	0,75	-0,75
Banda 3	-	-	1,00	-0,27	0,74	0,92	-0,94
Banda 4	-	-	-	1,00	0,26	-0,15	0,49
Banda 5	-	-	-	-	1,00	0,86	-0,56
Banda 7	-	-	-	-	-	1,00	-0,85
NDVI	-	-	-	-	-	-	1,00

Nos gráficos de correlação entre as bandas (Figura 5.24) foi possível observar quais combinações apresentaram maior separabilidade entre as classes. Na análise da banda 1 com as outras bandas (2 a 5 e 7), foi possível separar apenas a classe mata no par de bandas 1 e 5, e 1 e 7. As outras bandas (2, 3 e 4), quando plotadas contra a banda 1, apresentaram alta correlação, ou seja, as bandas apresentam informação duplicada, sendo desnecessária a análise de todas as bandas. As bandas 2 e 3 também apresentaram alta correlação, não sendo possível distinguir nenhuma classe. Com as bandas 2 e 4 foi possível separar as classes mata e soja. Nas combinações das bandas 2-5, 2-7, e 3-7 apenas a classe mata foi distinguida das outras. A combinação das bandas 3 e 5 possibilitou a separação das classes mata e cana-de-açúcar. Com as bandas 3 e 4 foram separadas as classes mata, cana-de-açúcar e soja. Na correlação entre as bandas 5 e 7 as classes mata e cana-de-açúcar foram separadas. Em relação ao NDVI, a classe mata foi distinguida das demais com as bandas 4, 5 e 7. E a classe cana-de-açúcar foi distinguida apenas na combinação da banda 5 com o NDVI. Para as classes pasto e soja nenhuma combinação de banda com o NDVI possibilitou sua discriminação.

A figura 5.24 mostra quais as combinações de bandas em que foi possível a discriminação entre as classes, como por exemplo, na classe pasto, em que somente os pares 4-5 e 4-7 puderam diferenciar a classe em questão.

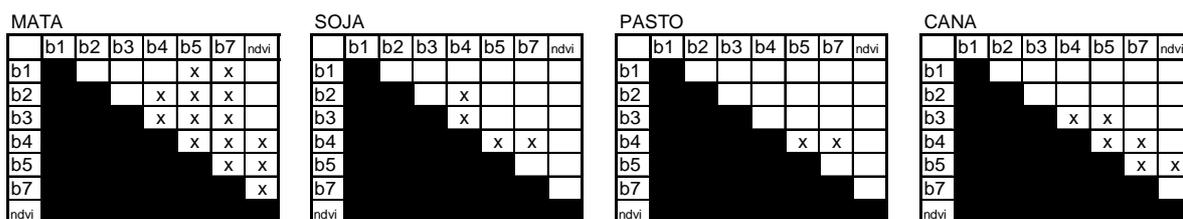


FIGURA 5.24 – Indicação dos pares de bandas espectrais que possibilitam a separação das classes para o período 1.

A Figura 5.25 mostra as melhores separações entre as classes, que ocorreram para os dados das bandas 4-5 e 4-7, em que foi possível distinguir todas as classes presentes nas análises (mata, soja, pasto e cana).

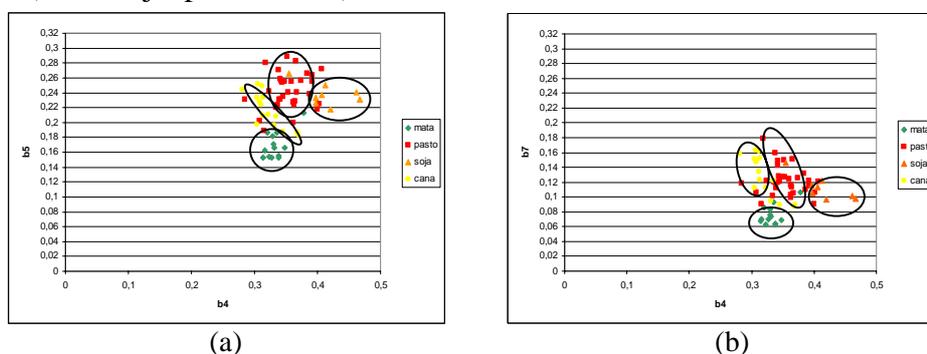


FIGURA 5.25 – Gráficos de dispersão entre as bandas (a) 4 e 5 e (b) 4 e 7.

As combinações de bandas em que foi possível a distinção de todos os grupos (4 e 5) e (4 e 7) também apresentou baixos valores de correlação. Porém, a baixa correlação entre as bandas 1 e 4 não significou a possibilidade de distinção visual entre as classes; neste caso, por exemplo, não foi possível diferenciar nenhuma classe.

5.3.3 Mudanças no uso do solo

A safra de 2004 foi o primeiro ano em que os dados foram coletados em campo. Assim, foi possível uma comparação entre os dados provenientes da classificação das imagens e os dados de campo. Esta análise se fez necessária para quantificar e qualificar os erros que podem ser cometidos em campo e, assim, auxiliar o processo de auditoria dos pontos amostrais. Dos 100 pontos tratados neste trabalho, 23 foram classificados pelas imagens de 2004 em classes distintas daquelas identificadas pelos técnicos de campo. Em 2005 os pontos em desacordo com os dados de campo aumentaram para 26, como mostra a Tabela 5.8.

TABELA 5.8 – Pontos com classificação diferenciada entre os dados de campo e a análise das imagens presentes no banco de dados para os anos de 2004 e 2005.

	2004			2005	
	campo	Imagem		campo	imagem
1	soja	pasto	1	soja	pasto
2	pasto	mata	3	capoeira	cana
9	mata	cana	9	mata	cana
10	pasto	soja	10	pasto	soja
18	mandioca	soja	14	capoeira	soja
19	pasto	soja	17	mata	pasto
21	pasto	Soja	18	mata	soja
22	soja	pasto	19	algodão	soja
26	algodão	pasto	20	pasto	soja
34	soja	pasto	21	pasto	soja
41	mandioca	pasto	22	soja	pasto
43	soja	mata	26	algodão	pasto
48	mandioca	pasto	34	soja	pasto
57	mandioca	cana	41	mata	pasto
58	mata	soja	43	estrada	mata
61	algodão	pasto	48	mandioca	pasto
71	pasto	mata	61	mandioca	pasto
74	mata	pasto	71	pasto	mata
80	soja	pasto	73	capoeira	pasto
84	soja	mata	74	mata	pasto
92	mata	pasto	80	soja	pasto
94	soja	pasto	82	capoeira	mata
96	pasto	cana	86	pasto	mata
			88	capoeira	pasto
			89	pasto	mata
			92	mata	pasto

A seguir são apresentados alguns exemplos de pontos em que podem ter sido cometidos erros por parte dos técnicos em campo.

No caso do ponto 2, a classificação feita pelos técnicos apontava para pasto em 2004 e mata em 2005, e pela análise das imagens nos quatro anos o ponto foi classificado como mata. Logo, conclui-se que houve falha por parte do técnico na coleta dos dados referentes ao ano de 2004. A Figura 5.26 (a) ilustra esse caso, que mostra o ponto 2 na cena do dia 11/02/2005, identificado como pasto pelo técnico. Este erro pode ter sido cometido devido a um erro de posicionamento do técnico.

Em relação ao ponto 9, uma situação diversa foi observada. Este ponto foi classificado pelos técnicos como sendo mata. Pela análise das imagens, embora seja um ponto localizado bem próximo a uma mata ciliar, sua localização exata mostra que se trata de

um talhão de cana-de-açúcar. A imagem do dia 23/11/2004, ilustrada na Figura 5.26 (b), mostra o ponto 9, em que a cana-de-açúcar havia sido colhida e se observa a presença de palha no talhão.

O ponto 22 segue a mesma lógica do ponto 9, em que a identificação dos técnicos foi soja nos anos 2004 e 2005. Na análise das imagens, nota-se que é uma área de pasto próxima a um talhão de soja. A Figura 5.26 (c), com a imagem do dia 29/01/2003 ilustra esse caso.

O ponto 57 foi identificado como cana-de-açúcar nos quatro anos de imagens. Porém, os dados de campo de 2004 indicam que nesta área havia mandioca. A Figura 5.26 (d) mostra que em janeiro de 2004 a cultura existente no talhão era cana-de-açúcar. Nos dados de campo de 2005, o ponto é identificado como cana-de-açúcar; o que guarda concordância com a identificação feita nas imagens.

Como a localização dos pontos é gerada de forma aleatória por uma rotina computacional, alguns pontos podem ficar no limite entre dois usos distintos, como é o caso do ponto 84, ilustrado pela imagem de 11/02/2005, na Figura 5.26 (e). Pelos dados de campo, a área era um talhão de soja em 2004 e um fragmento florestal em 2005. Na análise das imagens, nota-se que o ponto está localizado no limite do fragmento florestal, embora a apenas alguns pixels da borda e para dentro do fragmento.

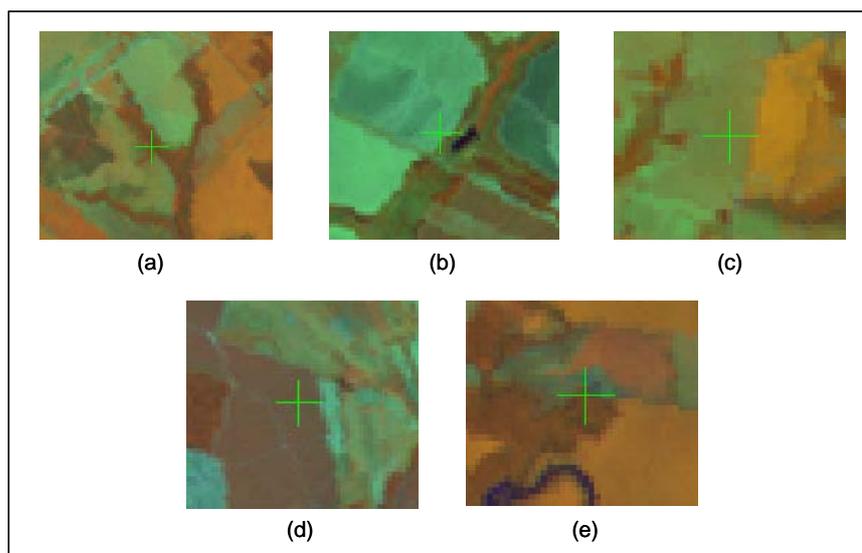


FIGURA 5.26 – Imagens na composição RGB 453 representativas de pontos que não apresentaram concordância entre os dados de campo e a análise das imagens. (a) imagem de 11/02/05, (b) imagem de 23/11/04, (c) imagem de 29/01/03, (d) imagem de 25/12/04 e (e) imagem de 11/02/05.

A maior diferença encontrada entre as classes quanto à área utilizada no município (Tabela 5.9) foi para o pasto, que apresentava 50 pontos em 2002 e caiu para 37 em 2005. Esta diferença é justificada pelo avanço da agricultura nos últimos anos, quando as áreas de pasto foram transformadas em áreas de plantio de diversas culturas (Brandão et al., 2005). Como evidência deste fato, além da diminuição dos pontos de pasto, está o aumento no número de pontos de soja entre 2002 e 2005, que passaram de 14 para 21 pontos. O número de pontos de mata permaneceu o mesmo e nas mesmas posições geográficas durante todos os anos avaliados. O ponto de milho (ponto 69) que aparece em 2005, foi um ponto com soja nos três anos anteriores. A área de cana-de-açúcar sofreu um pequeno incremento entre 2002 e 2005, passando de 16 para 19 pontos, respectivamente.

TABELA 5.9 – Número de pontos pertencentes às classes de ocupação do solo nos quatro anos estudados e estimativa de área agrícola.

OCUPAÇÃO	imagem 2002			imagem 2003			campo 2004			imagem 2004			campo 2005			imagem 2005		
	pontos (f)	área (ha)	cv	pontos (f)	área (ha)	cv	pontos (f)	área (ha)	cv	pontos (f)	área (ha)	cv	pontos (f)	área (ha)	cv	pontos (f)	área (ha)	cv
algodão	0	-	-	0	-	-	2	1.398	70,00%	0	-	-	2	1.398	70,00%	0	-	-
cana	16	11.182	22,91%	18	12.580	21,34%	16	11.182	22,91%	19	13.279	20,65%	16	11.182	22,91%	19	13.279	20,65%
capoeira	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	5	3.494	43,59%	0	-	-
estrada	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	1	699	99,50%	0	-	-
mandioca	0	-	-	0	-	-	4	2.795	48,99%	2	1.398	70,00%	3	2.097	56,86%	2	1.398	70,00%
mata	20	13.977	20,00%	20	13.977	20,00%	20	13.977	20,00%	20	13.977	20,00%	21	14.676	19,40%	20	13.977	20,00%
milho	0	-	-	0	-	-	0	-	-	0	-	-	1	699	99,50%	1	699	99,50%
pasto	50	34.944	10,00%	48	33.546	10,41%	35	24.460	13,63%	38	26.557	12,77%	31	21.665	14,92%	37	25.858	13,05%
soja	14	9.784	24,78%	14	9.784	24,78%	23	16.074	18,30%	21	14.676	19,40%	20	13.977	20,00%	21	14.676	19,40%

Foram calculadas também as estimativas de área baseado nos dados de campo para os anos 2004 e 2005.

Pela análise da Tabela 5.10 de classificação baseada apenas nas imagens, sem considerar os dados de campo, foram observados 17 pontos que apresentaram mudanças de uso durante os quatro anos. Destes, 10 eram áreas de pasto e passaram a ser cultivados com soja, três passaram de pasto para cana-de-açúcar, dois de soja para pasto, um de soja para milho, e um foi identificado como área de pousio. Este último ponto, de número 18, foi cultivado com soja em 2002, foi identificado como pasto em 2003, e em 2004 e 2005 voltou a ser cultivado com soja novamente. No caso deste ponto é necessário destacar que ele foi incluído na classe “pasto” em 2003, pois espectralmente no intervalo analisado de um ano sua resposta foi de um pasto. Porém, na realidade, sua função não era a de ser pasto, mas sim a de ser uma área de pousio entre dois anos com plantio de soja.

TABELA 5.10 – Tabela final de classificação dos pontos amostrais nos quatro anos avaliados.

Pontos	2002	2003	2004	2005	Pontos	2002	2003	2004	2005
1	pasto	pasto	pasto	pasto	51	pasto	soja	soja	soja
2	mata	mata	mata	mata	52	cana	cana	cana	cana
3	cana	cana	cana	cana	53	soja	soja	soja	soja
4	pasto	cana	cana	cana	54	pasto	pasto	pasto	pasto
5	soja	soja	soja	soja	55	pasto	pasto	pasto	pasto
6	pasto	pasto	pasto	pasto	56	mata	mata	mata	mata
7	soja	soja	soja	soja	57	cana	cana	cana	cana
8	pasto	pasto	pasto	pasto	58	soja	soja	soja	soja
9	cana	cana	cana	cana	59	pasto	pasto	pasto	pasto
10	soja	soja	soja	soja	60	mata	mata	mata	mata
11	pasto	pasto	pasto	pasto	61	pasto	pasto	pasto	pasto
12	cana	cana	cana	cana	62	cana	cana	cana	cana
13	soja	pasto	pasto	pasto	63	pasto	pasto	pasto	pasto
14	pasto	pasto	soja	soja	64	pasto	pasto	soja	soja
15	pasto	soja	soja	soja	65	pasto	pasto	pasto	pasto
16	soja	soja	soja	soja	66	cana	cana	cana	cana
17	pasto	pasto	pasto	pasto	67	cana	cana	cana	cana
18	soja	pasto	soja	soja	68	mata	mata	mata	mata
19	soja	soja	soja	soja	69	soja	soja	soja	milho
20	soja	soja	soja	soja	70	cana	cana	cana	cana
21	pasto	soja	soja	soja	71	mata	mata	mata	mata
22	pasto	pasto	pasto	pasto	72	pasto	pasto	pasto	pasto
23	pasto	pasto	pasto	pasto	73	pasto	pasto	pasto	pasto
24	pasto	pasto	pasto	pasto	74	pasto	pasto	pasto	pasto
25	cana	cana	cana	cana	75	pasto	cana	cana	cana
26	pasto	pasto	pasto	pasto	76	pasto	pasto	soja	soja
27	soja	soja	soja	soja	77	mata	mata	mata	mata
28	pasto	pasto	pasto	pasto	78	pasto	pasto	pasto	pasto
29	cana	cana	cana	cana	79	pasto	pasto	pasto	pasto
30	pasto	pasto	pasto	pasto	80	pasto	pasto	pasto	pasto
31	pasto	pasto	pasto	pasto	81	pasto	pasto	soja	soja
32	pasto	pasto	pasto	pasto	82	mata	mata	mata	mata
33	mata	mata	mata	mata	83	pasto	pasto	cana	cana
34	pasto	pasto	pasto	pasto	84	mata	mata	mata	mata
35	mata	mata	mata	mata	85	mata	mata	mata	mata
36	mata	mata	mata	mata	86	mata	mata	mata	mata
37	mata	mata	mata	mata	87	pasto	pasto	pasto	pasto
38	pasto	pasto	pasto	pasto	88	pasto	pasto	pasto	pasto
39	cana	cana	cana	cana	89	mata	mata	mata	mata
40	mata	mata	mata	mata	90	mata	mata	mata	mata
41	pasto	pasto	pasto	pasto	91	pasto	pasto	pasto	pasto
42	cana	cana	cana	cana	92	pasto	pasto	pasto	pasto
43	mata	mata	mata	mata	93	cana	cana	cana	cana
44	pasto	pasto	pasto	pasto	94	soja	pasto	pasto	pasto
45	pasto	pasto	soja	soja	95	mata	mata	mata	mata
46	soja	soja	soja	soja	96	cana	cana	cana	cana
47	cana	cana	cana	cana	97	pasto	pasto	pasto	pasto
48	pasto	pasto	pasto	pasto	98	pasto	pasto	pasto	pasto
49	mata	mata	mata	mata	99	pasto	pasto	pasto	pasto
50	pasto	pasto	pasto	soja	100	pasto	pasto	soja	soja

Nos dados de campo de 2004, quatro pontos foram classificados pelos técnicos como mandioca. Sabendo da semelhança espectral da cultura da mandioca com o padrão de uma área de pasto, entendeu-se que as áreas identificadas como pasto pelas imagens e como mandioca pelos técnicos eram realmente áreas de mandioca (pontos 41 e 48). Porém, dois pontos não foram identificados nas imagens como pasto. O ponto 18 (Figura 5.27 (a)) é um talhão de soja, não podendo em nenhum momento ser confundido com a cultura da mandioca. Além disso, para o ano de 2005, este ponto foi considerado como mata, o que mostra a inconsistência da informação de campo, e há evidência de o ponto estar nitidamente dentro de um talhão de soja. No ponto 57 a confusão foi feita com um talhão de cana, como mostra a Figura 5.27 (b). Em todos os anos avaliados

pelas imagens, o ponto foi classificado como cana, mas nos dados de campo o ponto foi considerado mandioca em 2004 e cana em 2005. Pela análise da figura percebe-se que houve erro por parte dos técnicos na identificação da cultura para o ano de 2004.

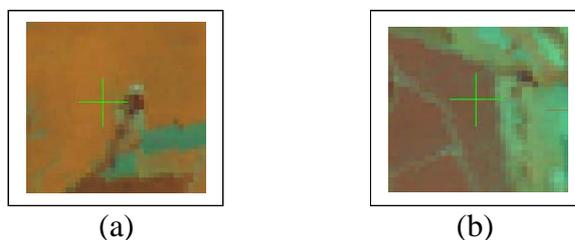


FIGURA 5.27 – Pontos identificados erroneamente pelos técnicos, (a) ponto 18, imagem de 09/02/04 composição colorida 4R5G3B e (b) ponto 57, imagem de 16/04/05 composição colorida 4R5G3B.

Outra cultura que apareceu nos dados de campo e não foi contemplada nas imagens foi o algodão. Para o ano de 2004, dois pontos (26 e 61) foram identificados como algodão pelos técnicos. A cultura do algodão pode ser plantada em dois períodos predominantemente, ou como uma cultura de verão, que apresentaria seu maior vigor vegetativo entre janeiro e fevereiro ou ainda como um aproveitamento do solo após a colheita da cultura de verão. Porém, nos pontos 26 e 61, observou-se, pela análise das imagens, uma resposta de pasto durante todo o ano, evidenciando que não houve a plantação de algodão na área. Em 2005, também foram encontrados pelos técnicos dois pontos de algodão (26 e 19). Para o ponto 26 ocorreu o mesmo fato descrito para 2004, e para o ponto 19, as imagens mostram que a cultura predominante do ponto é a soja, não sendo possível a identificação do algodão como principal ocupação na data de referência.

5.4 Previsão

Como descrito em Materiais e Métodos, foi desenvolvido um processo de cálculo de probabilidade de cada classe vir a ocupar um ponto. O somatório dos valores de cada ano para cada classe, por ponto, define o grupo de probabilidade de ocupação. Esses grupos foram divididos segundo o critério apresentado na Tabela 5.11:

TABELA 5.11 – Classes de probabilidade de ocupação de acordo com o histórico apresentado por cada ponto amostral.

Somatório	Probabilidade de ocupação
0	Muito baixa
0,1 a 0,3	Baixa
0,4 a 0,6	Média
0,7 a 0,9	Alta
1	Muito alta

O grupo *muito baixa* só ocorre quando o ponto não foi ocupado pela classe em todos os anos avaliados, e o grupo *muito alta* representa os pontos e que a ocupação foi a mesma durante todos os anos. Para o grupo *baixa*, as situações de uso possíveis são: 2002, 2002/2003, 2003 ou 2004. O grupo *média* ocorre quando as seguintes combinações de uso foram observadas: 2002/2004, 2002/2003/2004, 2002/2005, 2003/2004, 2003/2005 ou 2005. E para o grupo *alta*, as combinações de uso possíveis são: 2004/2005, 2003/2004/2005, 2002/2003/2005 ou 2002/2004/2005. A seguir, é apresentada a Tabela 5.12 com a probabilidade de ocupação para cada ponto em cada classe.

TABELA 5.12 – Probabilidade de ocupação para os pontos amostrais em cada classe.

Ponto	mata	pasto	cana	soja
1	mb	0	1	mb
2	ma	1	mb	0
3	mb	0	mb	0
4	mb	0	mb	0
5	mb	0	0,1	0,9
6	mb	0	0	0
7	mb	0	1	0
8	mb	0	1	0
9	mb	0	1	0
10	mb	0	0	0
11	mb	0	1	0
12	mb	0	0	0
13	mb	0	0,9	0,1
14	mb	0	0,3	0,7
15	mb	0	0,1	0,9
16	mb	0	0	1
17	mb	0	1	0
18	mb	0	0,2	0,8
19	mb	0	0	1
20	mb	0	0	1
21	mb	0	0,1	0,9
22	mb	0	1	0
23	mb	0	1	0
24	mb	0	1	0
25	mb	0	0	1
26	mb	0	1	0
27	mb	0	0	1
28	mb	0	1	0
29	mb	0	0	1
30	mb	0	1	0
31	mb	0	1	0
32	mb	0	1	0
33	mb	0	1	0
34	mb	0	1	0
35	mb	0	1	0
36	mb	0	1	0
37	mb	0	1	0
38	mb	0	1	0
39	mb	0	0	1
40	mb	0	1	0
41	mb	0	1	0
42	mb	0	0	1
43	mb	0	1	0
44	mb	0	1	0
45	mb	0	0,3	0,7
46	mb	0	0	1
47	mb	0	0	1
48	mb	0	1	0
49	mb	0	0	1
50	mb	0	0,6	0,4
51	mb	0	0,1	0,9
52	mb	0	0	1
53	mb	0	0	1
54	mb	0	1	0
55	mb	0	1	0
56	mb	0	0	1
57	mb	0	0	1
58	mb	0	0	1
59	mb	0	1	0
60	mb	0	0	1
61	mb	0	1	0
62	mb	0	0	1
63	mb	0	1	0
64	mb	0	0,3	0,7
65	mb	0	1	0
66	mb	0	0	1
67	mb	0	0	1
68	mb	0	0	1
69	mb	0	0	0,6
70	mb	0	0	1
71	mb	0	0	1
72	mb	0	1	0
73	mb	0	1	0
74	mb	0	1	0
75	mb	0	0,1	0,9
76	mb	0	0,3	0,7
77	mb	0	0	1
78	mb	0	1	0
79	mb	0	1	0
80	mb	0	1	0
81	mb	0	0,3	0,7
82	mb	0	0	1
83	mb	0	0,3	0,7
84	mb	0	0	1
85	mb	0	0	1
86	mb	0	0	1
87	mb	0	1	0
88	mb	0	1	0
89	mb	0	0	1
90	mb	0	0	1
91	mb	0	1	0
92	mb	0	1	0
93	mb	0	0	1
94	mb	0	0,7	0,3
95	mb	0	0	1
96	mb	0	0	1
97	mb	0	1	0
98	mb	0	1	0
99	mb	0	1	0
100	mb	0	0,3	0,7

É necessário deixar claro que a classe *muito alta* não significa 100% de certeza de ocupação do ponto pela classe. Ou seja, um ponto com valor 1 na classe soja tem uma chance muito alta de ser soja no próximo ano; porém, pode haver mudança de ocupação devido a outros fatores que fogem ao acompanhamento dos dados do histórico da área, e que levem a uma mudança na ocupação.

A título de ilustração desse conceito de probabilidade de uso, a seguir serão discutidos alguns pontos e suas respectivas probabilidades de ocupação. O ponto 1, pela classificação das imagens, foi ocupado por pasto nos quatro anos avaliados. Assim, este ponto recebeu os valores 0,1 para 2002, 0,2 para 2003, 0,3 para 2004 e 0,4 para 2005, na classe pasto. A soma desses valores resulta em 1. Na tabela de probabilidades, significa que este ponto tem uma probabilidade muito alta de ser pasto em 2006. Como as outras classes não foram observadas neste ponto, ficaram com valor 0, que representa a classe de probabilidade muito baixa, ou seja, a classe soja, por exemplo, tem uma probabilidade muito baixa de ocorrer nesta área. É evidente que a atribuição de uma classe muito baixa não significa uma chance nula, pois a ocupação deste ponto pode ser alterada; mas, de acordo com o histórico avaliado, esta chance é muito baixa.

O ponto 15, que foi identificado como pasto somente em 2002, e soja nos outros anos, teve sua probabilidade de ocupação calculada da seguinte maneira. A classe pasto recebeu valor 0,1 de probabilidade em 2002 e 0 nos outros anos, somando 0,1 ao final dos quatro anos. A classe soja recebeu os valores 0,2, 0,3 e 0,4 por estar presente nos anos 2003, 2004 e 2005 respectivamente, somando, assim 0,9 de probabilidade. Neste caso, o ponto 15 tem uma probabilidade baixa de ser pasto e alta de ser soja. E as outras classes apresentaram chance muito baixa de ocupação nesta área.

O ponto 50 apresentou pasto nos três primeiros anos de análise e soja no ano de 2005. Assim, a classe pasto obteve 0,6 no somatório de valores para os anos de 2002, 2003 e 2004, e a classe soja obteve o valor 0,4 por estar presente apenas em 2005. Neste caso, a probabilidade ocupação com estas duas classes é média.

Este procedimento de previsão foi a chave para a definição dos pontos que deveriam ser auditados após o recebimento pela planilha de campo preenchida pelos técnicos.

5.5 Definição de auditoria

Após a definição das probabilidades de ocupação para cada classe em todos os pontos amostrais, foram escolhidas as classes que representariam os pontos que deveriam

passar por auditorias. Ou seja, após o recebimento da planilha de campo será verificado se o preenchimento do dado de referência está coerente com a previsão realizada.

Se por exemplo, o ponto 38, que tem probabilidade muito alta de ser pasto, tiver sido identificado pelo técnico como cana-de-açúcar (que apresenta probabilidade muito baixa para esta classe), este será um ponto onde a auditoria será necessária. Outro caso possível pode ser exemplificado pelo ponto 45, em que a probabilidade de ocupação com soja é alta; se este ponto for identificado como pasto (que possui baixa probabilidade de estar nessa classe), o ponto também será indicado para a auditoria. No caso do ponto 50, em que existe uma probabilidade média de ser pasto ou soja, não haveria necessidade da realização da auditoria, caso uma das classes citadas fosse mencionada como a classe de ocupação do ponto na data de referência. Porém, se a área fosse identificada como um talhão de cana-de-açúcar (que apresenta probabilidade muito baixa de sê-lo), o ponto mereceria auditoria.

A seguir são apresentadas as localizações geográficas dos pontos (Figura 5.28) que deveriam ser auditados de acordo com a classe de ocupação indicada pelo técnico de campo.

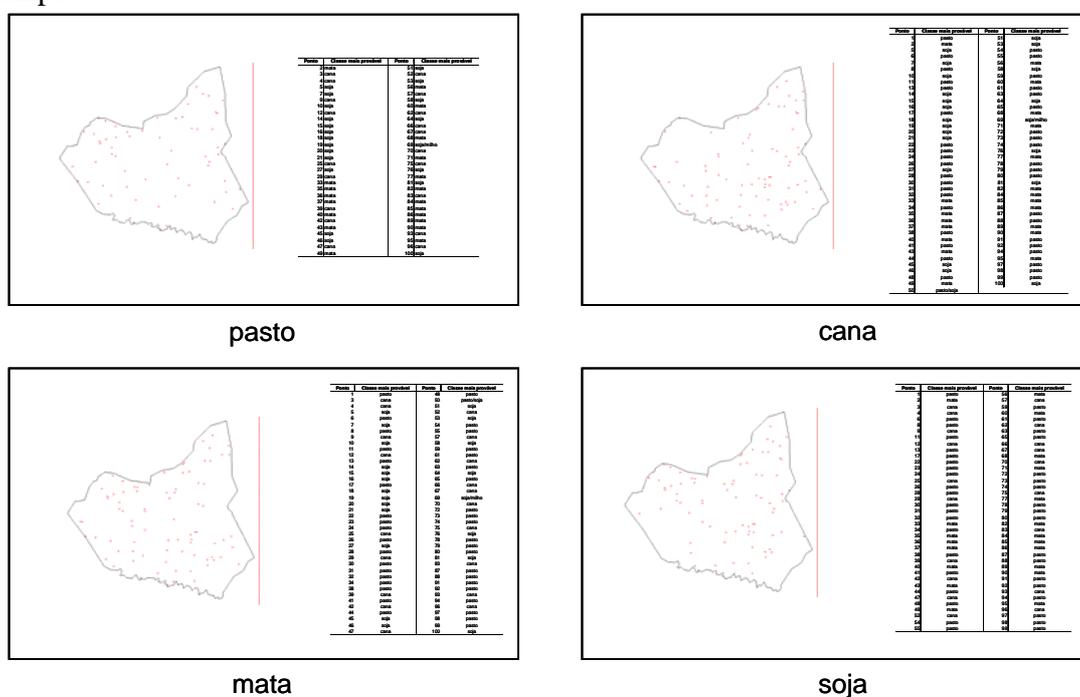


FIGURA 5.28 – Localização geográfica dos pontos que poderão ser auditados por classe.

A Figura 5.28 mostra os pontos que poderão ser auditados caso a identificação do ponto pertença a uma classe em que a probabilidade de ocupação seja muito baixa ou baixa. Um exemplo é o ponto 93, que foi classificado como cana-de-açúcar nos quatro anos avaliados. Se na ficha de campo do próximo ano este ponto for identificado como soja, haverá um esforço para que seja verificada novamente (auditada) a ocupação da área em questão, pois a probabilidade de ocupação do ponto para a classe soja é muito baixa.

5.6 Trabalho de campo e auditoria

O trabalho de campo foi realizado entre os dias 5 e 12 de março de 2006. Era esperado que fosse possível a visita dos 100 pontos amostrais. Porém, alguns fatores limitaram o acesso a algumas áreas, como estradas de terra mal conservadas e porteiros de fazendas fechadas.

Foram visitados 81 pontos, dos quais três (pontos 53, 81, e 100) se encaixaram nos grupos baixo e muito baixo de probabilidade de ocupação, ou seja, pontos passíveis de auditoria. O histórico de ocupação destes pontos será descrito a seguir.

O ponto 53, em todo o decorrer da análise, foi descrito como soja, tanto nas análises das imagens como nos dados coletados pelos técnicos em 2004 e 2005. Porém, no trabalho realizado em 2006, foi observada uma área de pasto na área em questão. Neste caso, a ocupação por pasto neste ponto foi calculada como sendo muito baixa, já que esta classe não havia sido contemplada em nenhum dos anos anteriores.

Para o ponto 81, uma área de conversão de pasto para soja, foi observado um talhão de milho na fase inicial (Figura 5.29). Pela data do campo, pode ser que a colheita da soja tivesse sido realizada anteriormente. Contudo, não se observou nenhum vestígio de soja no solo, o que não era de se esperar, já que a prática de plantio direto é muito utilizada na região. Para este ponto, também é recomendada auditoria, pois a classe milho apresenta uma probabilidade de ocupação muito baixa.



FIGURA 5.29 - Talhão referente ao ponto 81

O ponto 100 foi identificado como pasto nos dois primeiros anos de análise (2002 e 2003). Nos anos seguintes, o uso desta área foi destinado ao plantio de soja. No trabalho de campo realizado em 2006, o ponto fazia parte de uma área com pastagem. Para este ponto, a probabilidade de ocupação pela classe pasto era baixa, sendo, portanto um ponto passível de ser auditado.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação do padrão de uso do solo e da dinâmica de áreas agrícolas pelo estudo de imagens multitemporais mostrou-se uma alternativa viável na geração de dados de previsão de ocupação do solo na área de estudo.

Os padrões de ocupação dos pontos amostrais foram definidos com base nas imagens multitemporais de cada ano avaliado. Para todas as classes avaliadas foram definidos perfis espectro-temporais, assim como o comportamento visual dos alvos durante todo o ano. Para a classe soja foi possível observar a prática do cultivo de culturas de inverno entre as safras de verão. As classes mata e pasto mostraram-se relativamente constantes durante todo o ano. O agrupamento dos quatro anos para a realização das análises da cana-de-açúcar facilitou a identificação das safras desta cultura, que apresenta um ciclo mais longo, quando comparada às outras classes avaliadas.

A primeira forma de verificação de inconsistências nos dados de campo, baseada apenas nos dados de campo, sem a utilização de imagens de satélite, permitiu perceber algumas incoerências nos dados levantados pelos técnicos de campo. Nesta avaliação, foram encontrados 23 pontos com problemas de não-conformidade. Este fato evidencia a necessidade da utilização de imagens de satélite no esclarecimento de dúvidas de campo, e também a importância da análise do histórico de ocupação da área.

A segunda forma de verificação e validação dos dados de campo foi com o auxílio da classificação realizada nas imagens multitemporais. Com a identificação do uso do solo nos pontos amostrais, foi possível identificar alguns erros cometidos pelos técnicos. Em 2004, 23 pontos foram classificados em classes distintas daquelas observadas pelos técnicos, e em 2005, foram observadas diferenças em 26 pontos amostrais. Avaliou-se que os erros aqui observados poderiam estar associados à localização do ponto em áreas

limítrofes entre talhões com usos distintos ou a erros de posicionamento dos técnicos em campo.

Com a identificação do uso do solo em cada ano, foi possível avaliar a dinâmica de cada ponto amostral durante todo o período avaliado (4 anos). Na área de estudo foi observada a prática, por parte dos agricultores, de manter o plantio das mesmas culturas ao longo de alguns anos. Dos 100 pontos amostrais presentes na área, 17 tiveram seu uso alterado em quatro anos de avaliação. Na maior parte destes pontos a mudança foi de áreas de pasto transformadas em áreas cultivadas com soja.

As regras de probabilidade de ocupação na área de estudo, definidas com base o histórico de ocupação de cada ponto amostral mostraram-se muito adequadas. Assim como, a definição de classes de probabilidade de ocupação em função do ano em que dado cultivo ocorreu. A demonstração disso é que a previsão realizada pelas regras de probabilidade de ocupação confirmou-se em 79 dos 81 pontos visitados em campo.

Além disso, foi possível a definição de pontos passíveis de auditoria. Estes pontos só puderam ser definidos com a análise das imagens de satélite quanto ao uso do solo em anos passados, que evidenciaram erros cometidos no campo. Essa auditoria pode ser realizada de duas formas:

1. Pela utilização de imagens de satélite, quando disponíveis, em que pode ser feita a verificação do uso do solo nos pontos amostrais;
2. Pelo trabalho de campo para a verificação e validação dos dados gerados, quando não houver disponibilidade de imagens no momento adequado.

Em relação ao trabalho de campo, o acesso aos pontos é um fator determinante para o sucesso do trabalho. O estado precário de grande parte das estradas de terra, principalmente nos longos períodos de chuva, dificulta a realização do trabalho. Outro problema observado foram as fazendas com porteiros fechadas, que impedem a entrada nas propriedades. Desta forma, concluiu-se que, quando disponíveis, a análise de imagens de satélite é fundamental para a geração de dados do uso atual da terra.

Observou-se também a necessidade do uso de imagens no momento do trabalho de campo, como um guia de deslocamento no município. Quando realizado um teste somente com a utilização do GPS, constataram-se maiores dificuldades em encontrar a localização exata do ponto amostral. A união do GPS com a imagem de satélite promove grandes vantagens, entre elas a não obrigatoriedade de chegar ao ponto exato de localização das amostras. Pelo GPS, é possível obter a distância e a direção em relação ao ponto, e pela imagem pode-se verificar qual o uso do solo na área em questão.

Uma das principais causas de erro no campo para a identificação do uso está relacionada com o posicionamento do técnico em relação ao ponto. Neste sentido, recomenda-se o uso mais freqüente de imagens pelos técnicos, como um fator adicional de verificação de posicionamento.

O estudo do potencial de imagens de baixa resolução espacial em trabalhos de dinâmica temporal como uma alternativa à falta de disponibilidade de imagens de média resolução espacial, visando a melhora na qualidade dos dados gerados, pode ser uma opção viável.

Recomenda-se também a automatização de regras que discriminem os alvos estudados, a partir dos dados espectrais e temporais, para facilitar a avaliação do padrão de cultivo na área de estudo. Assim como, o processo de validação dos dados de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Affonso, A.D.; Valeriano, D.M.; Batista, G.T. Caracterização da vegetação no município de Marabá, no Estado do Pará, através de dados e transformações espectrais (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) do sensor ETM+/Landsat-7. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. Goiânia, 2005. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2005. p.1407-1414.

Bie, C.A.J.M. **Novel approaches to use RS-products for mapping and studying agricultural land systems**. 2003. Disponível em: <<http://www.itc.nl/library/Papers/0019.pdf>>. Acesso em: jan 2006.

Bie, C.A.J.M. **Spatial-temporal mapping of agro-ecosystems and the need to built thematic legends**. 2004. Disponível em: <<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm7/papers/219.pdf>>. Acesso em: jan 2006.

Brandão, A.S.P.; Rezende, G.C.; Marques, R.W.C. Crescimento agrícola no período 1999-2004, explosão da área plantada com soja e meio ambiente no Brasil. **Texto para discussão nº 162**. Rio de Janeiro: IPEA, 2005. 30p.

Bruzzone, L.; Smits, P.C.; Tilton, J.C. Foreword: Special issue on analysis of multitemporal remote sensing images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, n.11, p. 2419-2420, 2003.

Bunnik, N.J.J. **The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties**. Wageningen: Agricultural University Wageningen, 1978. 175p.

Chaves, Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v.24, p.459-479, 1988.

Cheng, J. **Spatio-temporal relevant logic basis for spatio-temporal information systems**. 2005. Disponível em: <[http:// Tools with Artificial Intelligence, 2005. ICTAI 05. 17th IEEE International Conference on](http://Tools with Artificial Intelligence, 2005. ICTAI 05. 17th IEEE International Conference on)>, Acesso em: Janeiro, 2006.

Csornei, G.; Wirnhardt, Cs.; Suba, Zs.; Somogyi, P.; Nádor, G.; Martinovich, L.; Tikász, L.; Kocsis, A.; Zelei, Gy.; Lelkes, M. Crop monitoring by remote sensing. In: FIG Commission 3 Annual Meeting and Seminar, 21-23 Outubro, Budapest, Hungria, 1999. **Proceedings...** Budapest: FÖMI Remote Centre, 1999.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. **Tecnologias de Produção de Soja – Paraná 2005**. 2004. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br>>. Acesso em: nov 2005.

Epiphanyo, J.C.N. **Dados Landsat-5 no estudo das culturas de trigo e feijão**. 1988. 141p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 1988.

Epiphanyo, J.C.N.; Luiz, A.J.B.; Formaggio, A.R. Estimativa de áreas agrícolas municipais, utilizando um sistema de amostragem simples sobre imagens de satélite. **Bragantia**, v.61, n.2, p.187-197, 2002.

Espindola, G. M.; Câmara, G.; Reis, I. A.; Bins, L. S.; Monteiro, A. M. Spatial autocorrelation indicators for evaluation of remote sensing image segmentation algorithms. In: GIS and Spatial Analysis 2005 Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology. **Proceedings...** Toronto, Canada. 2005

Ferreira, P.C.G. Transgênicos e produtividade na agricultura brasileira. **História, Ciência e Saúde-Manguinhos**, v.7, n.2, p.509-512, 2000.

Formaggio, A.R.; Tardin, A.T.; Rudorff, B.; Assunção, G.V.; Epiphanyo, J.C.N.; Moreira, M.A.; Chen, S.C.; Duarte, V. **Sensoriamento remoto na agricultura: conceitos básicos, metodologia e aplicações**. São José dos Campos: INPE, 1989, 217p. (INPE-4806-MD/39).

Gasques, J.G.; Rezende, G.C.; Villa Verde, C.M.; Conceição, J.C.P.R., Carvalho, J.C.S.; Salerno, M.S. **Desempenho e crescimento do agronegócio no Brasil**. Brasília: IPEA, 2004. 48p.

Gürtler, S. **Estimativa de área agrícola a partir de sensoriamento remoto e banco de pixels amostrais**. 2003. 179p. (INPE – 9774-TDI/858). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

Gürtler, S.; Luiz, A.J.B.; Epiphanyo, J.C.N. Uniformização de imagens Landsat para a previsão de safras agrícolas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003a. p.109-116. CD-ROM.

Hall, F.G.; Badhwar, G.D. Signature-extendable technology: global space-based crop recognition. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.25, n.1, p.93-103, 1987.

Hinzman, L.D.; Bauer, M.E.; Daughtry, C.S.T. Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. **Remote Sensing of Environment**, v.19, n.1, p.47-61, 1986.

Hixson, M.M.; Bauer, M.E.; Scholz, D.K. An assessment if Landsat data acquisition history on identification and area estimation if corn and soybeans. **Remote Sensing of Environment**, v.12, n.1, p.123-128, 1982.

Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR). **Zoneamento agrícola do Paraná**. Londrina, novembro, 2005.

Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR). **Cartas Climáticas do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/Sma/Cartas_Climaticas/Classificacao_Climatica.htm>. Acesso em: jan, 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **CIDADES**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>>. Acesso em: jan, 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática – **SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: jan, 2006a.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Dados climatológicos**. Estação Campo Mourão/PR. Brasília: INMET, dez, 2005.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **SPRING 4.1**. São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>>. Acesso em nov, 2005.

Ippoliti-Ramilo, G.A. **Imagens TM/ Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão**. 1999. 183p. (INPE-7116-TDI/668). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1999.

Jackson, R.D.; Pinter, P.J. Spectral response of architecturally different wheat canopies. **Remote Sensing of Environment**, v.20, n.1, p.43-56, 1986.

- Jensen, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. New Jersey: Prentice Hall, 2000, ISBN 0-13-489733-1. 544p.
- Lo, T.H.C. Use of multitemporal spectral profiles in agricultural land-cover classification. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.42, n.4, p. 535-544, 1986.
- 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. p.111-118. CD-ROM.
- Manalavan, P.; Kesavasamy, K.; Adiga, S. Irrigated crops monitoring through seasons using digital change detection analysis of IRS-LISS 2 data. **International Journal of Remote Sensing**, v.16, n.4, p.633-640, 1995.
- Mandal, D.; Ghosh, S.K. Precision farming – the emerging concept of agriculture for today and tomorrow. **Current Science**, v.79, n.12, p.1644-1647, 2000.
- Marenco, R.A.; Lopes, N.F. Leaf chlorophyll concentration and nitrogen content in soybean plant treated with herbicides. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.6, n.1, p.7-13, 1994.
- Martínez-Casasnovas, J.A.; Martín-Montero, A.; Casterad, M.A. Mapping multi-year cropping patterns in small irrigation districts from time-series analysis of Landsat TM images. **European Journal of Agronomy**, v.23, p.159-169, 2005.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Novas reservas podem triplicar proteção às araucárias no país**. 29/04/2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/ascom/ultimas/index.cfm?id=1720>>. Acesso em: mar 2006.
- Moreira, M.A. Noções básicas sobre vegetação e sua interação com a radiação solar. In: Moreira, M.A **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: UFV, 2001, cap.4, 20p.
- Myneni, R.B.; Hall, F.G.; Sellers, P.J.; Marshak, A.L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.33, n.2, p.481-486, 1995.
- Nagatani, I.; Saito, G.; Toritani, H.; Sawada, H. **Agricultural map of Asian region using time series AVHRR NDVI data**. 2002. Disponível em: <<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/pos2/184.pdf>>. Acesso em: fev 2006.
- National Aeronautics and Space Administration – NASA. **GeoCover Landsat mosaics**. California, 2004. ETM+/Landsat-7. Tile: S-22-20_2000. Disponível em: <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acesso em: maio, 2005.
- Nieuwenhuis, G.J.A.; Múcher, C.A. Satellite remote sensing and crop growth monitoring. In: Gudmandsen (Ed.), **Future trends in remote sensing**. Rotterdam, p.251-262, 1998.
- Oetter, D.R.; Cohen, W.B.; Berterretche, M; Maiersperger, T.K.; Kennedy, R.E. Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. **Remote Sensing of Environment**, v.76, p.139-155, 2000.
- Oliveira, J.C.; Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N.; Luiz, A.J.B. Index for the evaluation of segmentation (IAVAS): An application to agriculture. **Mapping Sciences and Remote Sensing**, v.40, n.3, p.155-169, 2003.
- Ortiz, M.J.; Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N. Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS and historical database. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.1, p.95-105, 1997.

- Panigrahy, S.; Sharma, S.A. Mapping of crop rotation using multitemporal Indian Remote Sensing Satellite digital data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.52, n.1, p.85-91, 1997.
- Panigrahy, S.; Chakraborty, M. An integrated approach for potato crop intensification using temporal remote sensing data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.53, n.1, p.54-60, 1998.
- Pax-Lenney M.; Woodcock, C.E. Monitoring agricultural lands in Egypt with multitemporal Landsat TM imagery: how many images are needed? **Remote Sensing of Environment**, v.59, n.3, p.552-529, 1997.
- Pino, F.A. Estatísticas agrícolas para o século XXI. **Agricultura em São Paulo**, v. 46, n. 2, p. 71-105, 1999.
- Ponzoni, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: Meneses, P.R.; Netto, J.S.M. (ed) **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UNB, 2001. cap.5, p.157-202.
- Raedeke, A.H.; Rikoon, J.S. Temporal and spatial dimensions of knowledge: implications for sustainable agriculture. **Agriculture and Human Values**, v.14, n.2, p.145-158, 1997.
- Raupenstrauch, J.D.; Selige, T.M. Detection of crop rotation using satellite remote sensing for nutrient balance models and risk assessment. In: Gudmandsen (Ed.), **Future trends in remote sensing**. Rotterdam, p.139-143, 1998.
- Ripple, W.J. Spectral reflectance relationships to leaf water stress. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.52, n.10, p. 1669-1675, 1986.
- Rodrigues, R. **Roberto Rodrigues destaca a importância da agricultura para o crescimento registrado para o país em 2004**. Globo Rural, dez 2004. Disponível em <<http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC881599-1485,00.html>> Acesso em: 02 fev 2005.
- Sakamoto, T.; Yokozawa, M.; Toritani, H.; Shibayama, M.; Ishitsuka, N.; Ohno, H. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.96, n. , p. 366-374, 2005.
- Sanches, I.D.A. **Sensoriamento remoto para o levantamento espectro-temporal e estimativa de área de culturas agrícolas**. 2004. 172p. (INPE-10290-TDI/909). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.
- Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento (SEAB). Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba: UFPR, 1987. 73p.
- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA). **Zoneamento ecológico econômico do Paraná**. Disponível em: <<http://webgeo.pr.gov.br/website/zee1/viewer.htm>>. Acesso em: jan 2006.
- Silva, P.G.; Graça, P.M.A.; Santos, J.R.; Shimabukuro, Y.E. Avaliação da correção atmosférica e retificação radiométrica em estudos multitemporais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. Belo Horizonte, 2003. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p.2135-2142.
- Seyler, F.; Chaplot, V.; Muller, F.; Cerri, C.E.P.; Bernoux, V.; Feller, C.; Cerri, C.C.C. Pasture mapping by classification of Landsat TM images. Analysis of the spectral behaviour of the pasture class in a real medium-scale environment: the case of the Piracicaba Catchment (12 400 km², Brazil). **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.23, p. 4985-5004, 2002.

Souza, S.A.M; Gonçalves, J.S.; Vicente, J.R. Balança comercial dos agronegócios brasileiros no período 1997-2004: diferenças entre os resultados em dólar e em real. **Informações Econômicas**, v.32, n.1, p.7-16, 2006.

Thiruvengadachari, S.; Sakthivadivel, R. **Satellite remote sensing for assessment of irrigation system performance: A case study in India**. 1997. Disponível em: <<http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/Pub009/body.htm>>. Acesso em: fev 2006.

Tomita, A.; Inoue, Y.; Ogawa, S.; Mino, N. **Vegetation patterns in the Chao Phraya Delta, 1997 dry season using satellite image data**. In: Chao Phraya delta: Historical development, dynamics and challenges of Thailand's rice bowl, Bangkok, 2000. Disponível em: <http://std.cpc.ku.ac.th/delta/conf/Acrobat/Papers_Eng/Volume%201/Tomita.pdf>. Acesso em: fev 2006.

Uchida, S. **Discrimination of agricultural land use using multi-temporal NDVI data**. In: 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 05-09 Novembro 2001, Singapura. Disponível em: <<http://www.crisp.nus.edu.sg/~acrs2001/pdf/061UCHIDA.PDF>>. Acesso em: set 2005.

Valeriano, M.M. Reflectância espectral de culturas agrícolas anuais (I): espectrorradiometria. **Espaço e Geografia**, v.6, n.1, p.7-27, 2003.

Vincent, S.; Pierre, F. Identifying main crop classes in an irrigated area using high resolution image time series. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'03, 21-25 July, 2003, Toulouse. **Proceedings...** Toulouse: IEEE, 2003, v.1, p.252-254.

Willians, V.L.; Philipson, W.R.; Philpot, W.D. Identifying vegetable crops with Landsat Thematic Mapper data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.53, n.2, p. 187-191, 1987.

APÊNDICE A - VALORES DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO PARA TODAS AS IMAGENS DO BANCO DE DADOS

TABELA A.1. Valores de reflectância para as imagens de 2002

	2002										
	26/01/02		15/03/02		16/04/02		06/08/02		28/12/02		
	m	dp									
MATA											
b1	0,0580	0,0073	0,0674	0,0070	0,0724	0,0043	0,0735	0,0044	0,0499	0,0039	N=20
b2	0,0606	0,0111	0,0729	0,0159	0,0702	0,0092	0,0780	0,0076	0,0557	0,0078	
b3	0,0496	0,0143	0,0551	0,0185	0,0624	0,0098	0,0742	0,0100	0,0440	0,0080	
b4	0,3022	0,0287	0,3017	0,0311	0,3043	0,0291	0,2600	0,0212	0,3131	0,0176	
b5	0,1523	0,0233	0,1651	0,0468	0,1253	0,0197	0,0867	0,0194	0,1598	0,0181	
b7	0,0556	0,0181	0,0735	0,0307	0,0485	0,0138	0,0321	0,0138	0,0707	0,0121	
ndvi	0,7186	0,0732	0,7186	0,0574	0,6596	0,0427	0,5560	0,0490	0,7545	0,0391	
PASTO	m	dp									
b1	0,0711	0,0106	0,0719	0,0059	0,0830	0,0044	0,0856	0,0043	0,0639	0,0080	N=50
b2	0,0893	0,0139	0,0828	0,0120	0,0947	0,0091	0,1025	0,0075	0,0859	0,0116	
b3	0,0777	0,0139	0,0688	0,0177	0,0961	0,0150	0,1067	0,0141	0,0839	0,0272	
b4	0,3378	0,0540	0,2953	0,0348	0,3129	0,0353	0,2759	0,0273	0,3327	0,0432	
b5	0,2161	0,0316	0,1921	0,0431	0,2010	0,0307	0,1494	0,0224	0,2381	0,0429	
b7	0,0924	0,0202	0,0933	0,0310	0,0975	0,0270	0,0780	0,0242	0,1323	0,0532	
ndvi	0,6181	0,0920	0,6111	0,0827	0,5271	0,0733	0,4405	0,0685	0,5938	0,1318	
SOJA	m	dp									
b1	0,0635	0,0102	0,0707	0,0057	0,0919	0,0129	0,0853	0,0056	0,0581	0,0068	N=14
b2	0,0710	0,0113	0,0799	0,0107	0,1052	0,0220	0,1000	0,0101	0,0725	0,0114	
b3	0,0579	0,0135	0,0690	0,0184	0,1195	0,0379	0,1031	0,0182	0,0669	0,0195	
b4	0,4110	0,0825	0,2890	0,0603	0,3119	0,0555	0,2848	0,0214	0,3601	0,0776	
b5	0,2122	0,0171	0,1971	0,0361	0,2386	0,0513	0,1454	0,0397	0,2365	0,0266	
b7	0,0837	0,0122	0,0986	0,0302	0,1331	0,0453	0,0816	0,0354	0,1237	0,0278	
ndvi	0,7409	0,0902	0,5512	0,1694	0,4423	0,1575	0,4662	0,0885	0,6712	0,1224	
CANA	m	dp									
b1	0,0669	0,0113	0,0727	0,0103	0,0862	0,0032	0,0819	0,0045	0,0666	0,0107	N=16
b2	0,0767	0,0166	0,0818	0,0177	0,1000	0,0072	0,0966	0,0069	0,0811	0,0165	
b3	0,0744	0,0363	0,0664	0,0303	0,0929	0,0151	0,0975	0,0181	0,1017	0,0514	
b4	0,3076	0,0390	0,3005	0,0390	0,3503	0,0341	0,2664	0,0407	0,2702	0,0519	
b5	0,1758	0,0564	0,1785	0,0563	0,1628	0,0165	0,1196	0,0317	0,2303	0,0745	
b7	0,0800	0,0517	0,0913	0,0590	0,0741	0,0185	0,0690	0,0452	0,1662	0,0963	
ndvi	0,6131	0,1630	0,6132	0,1164	0,5654	0,0601	0,4364	0,1364	0,4452	0,2532	

TABELA A.2. Valores de reflectância para as imagens de 2003

	2003											
	29/01/03		03/04/03		14/06/03		01/08/03		05/11/03		07/12/03	
	m	dp										
MATA												
b1	0,0596	0,0335	0,0704	0,0039	0,0888	0,0024	0,0769	0,0030	0,0582	0,0047	0,0806	0,0034
b2	0,0671	0,0410	0,0747	0,0073	0,1069	0,0045	0,0927	0,0051	0,0644	0,0077	0,0981	0,0062
b3	0,0553	0,0402	0,0684	0,0085	0,1041	0,0043	0,0863	0,0064	0,0646	0,0110	0,0791	0,0076
b4	0,3865	0,0427	0,3190	0,0321	0,2492	0,0235	0,2511	0,0195	0,3307	0,0238	0,3280	0,0175
b5	0,1731	0,0487	0,1618	0,0214	0,1539	0,0155	0,1580	0,0177	0,1912	0,0299	0,1628	0,0217
b7	0,0764	0,0400	0,0830	0,0132	0,0901	0,0101	0,1011	0,0089	0,1079	0,0195	0,0791	0,0128
ndvi	0,7667	0,0857	0,6445	0,0439	0,4053	0,0402	0,4854	0,0362	0,6703	0,0609	0,6099	0,0371
PASTO	m	dp										
b1	0,0776	0,0352	0,0797	0,0052	0,0951	0,0025	0,0858	0,0036	0,0766	0,0081	0,0938	0,0057
b2	0,1005	0,0367	0,0969	0,0089	0,1189	0,0045	0,1086	0,0058	0,0955	0,0120	0,1225	0,0086
b3	0,0932	0,0388	0,0955	0,0155	0,1191	0,0069	0,1100	0,0092	0,1081	0,0222	0,1134	0,0178
b4	0,3983	0,0379	0,3286	0,0423	0,2533	0,0300	0,2614	0,0283	0,3190	0,0377	0,3269	0,0367
b5	0,2399	0,0407	0,2148	0,0319	0,1956	0,0188	0,2124	0,0216	0,2994	0,0434	0,2422	0,0334
b7	0,1243	0,0403	0,1182	0,0294	0,1229	0,0200	0,1354	0,0160	0,1772	0,0409	0,1272	0,0309
ndvi	0,6336	0,0974	0,5440	0,0810	0,3546	0,0642	0,4025	0,0594	0,4887	0,1049	0,4796	0,0905
SOJA	m	dp										
b1	0,0566	0,0109	0,0968	0,0108	0,0976	0,0052	0,0849	0,0051	0,0840	0,0080	0,1005	0,0089
b2	0,0681	0,0172	0,1179	0,0155	0,1208	0,0067	0,1053	0,0071	0,1020	0,0093	0,1280	0,0104
b3	0,0598	0,0323	0,1362	0,0257	0,1225	0,0133	0,1056	0,0133	0,1288	0,0216	0,1324	0,0262
b4	0,4851	0,0804	0,2928	0,0335	0,2479	0,0398	0,2761	0,0439	0,2739	0,0618	0,2894	0,0519
b5	0,2400	0,0315	0,2820	0,0425	0,2039	0,0356	0,2036	0,0323	0,3273	0,0526	0,2821	0,0406
b7	0,1070	0,0358	0,1749	0,0310	0,1392	0,0374	0,1330	0,0249	0,2067	0,0395	0,1686	0,0402
ndvi	0,7679	0,1506	0,3654	0,0929	0,3305	0,1074	0,4370	0,1064	0,3476	0,1278	0,3642	0,1379
CANA	m	dp										
b1	0,0759	0,0219	0,0791	0,0045	0,0964	0,0033	0,0858	0,0024	0,0735	0,0062	0,0936	0,0071
b2	0,0941	0,0252	0,0939	0,0071	0,1214	0,0057	0,1090	0,0042	0,0906	0,0083	0,1199	0,0102
b3	0,1068	0,0422	0,0911	0,0126	0,1173	0,0105	0,1074	0,0129	0,1025	0,0219	0,1171	0,0320
b4	0,3602	0,0595	0,3396	0,0560	0,2931	0,0320	0,2881	0,0620	0,3072	0,0458	0,3092	0,0470
b5	0,2299	0,0546	0,1879	0,0199	0,1798	0,0246	0,1935	0,0223	0,2548	0,0398	0,2073	0,0430
b7	0,1456	0,0707	0,1075	0,0287	0,1101	0,0314	0,1291	0,0288	0,1585	0,0423	0,1209	0,0461
ndvi	0,5441	0,1775	0,5664	0,1071	0,4244	0,0733	0,4399	0,1364	0,4922	0,1332	0,4455	0,1646

N=20

N=48

N=14

N=18

TABELA A.3. Valores de reflectância para as imagens de 2004

	09/02/04		29/04/04		16/06/04		2004 03/08/04		06/10/04		23/11/04		25/12/04		
	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	
MATA															
b1	0,0929	0,0334	0,0786	0,0025	0,1048	0,0023	0,0707	0,0048	0,0643	0,0054	0,0508	0,0051	0,0718	0,0062	N=20
b2	0,0818	0,0432	0,0970	0,0053	0,1020	0,0061	0,1003	0,0075	0,0683	0,0094	0,0563	0,0089	0,0877	0,0089	
b3	0,0716	0,0394	0,0692	0,0054	0,0913	0,0069	0,0781	0,0115	0,0654	0,0139	0,0579	0,0121	0,0745	0,0114	
b4	0,3506	0,0321	0,3126	0,0264	0,2467	0,0193	0,2433	0,0210	0,3124	0,0240	0,3207	0,0158	0,3301	0,0231	
b5	0,2243	0,0256	0,1547	0,0171	0,1640	0,0202	0,1616	0,0206	0,1962	0,0330	0,1756	0,0253	0,1615	0,0251	
b7	0,0909	0,0262	0,1128	0,0098	0,1231	0,0269	0,0932	0,0377	0,1142	0,0257	0,0864	0,0193	0,0891	0,0157	
ndvi	0,6762	0,1311	0,6353	0,0229	0,4574	0,0334	0,5134	0,0525	0,6511	0,0666	0,6958	0,0565	0,6314	0,0491	
PASTO	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	
b1	0,0969	0,0205	0,0860	0,0037	0,1127	0,0025	0,0823	0,0042	0,0776	0,0046	0,0667	0,0078	0,0887	0,0092	N=38
b2	0,1028	0,0252	0,1132	0,0062	0,1224	0,0061	0,1217	0,0072	0,0940	0,0089	0,0880	0,0120	0,1210	0,0128	
b3	0,0960	0,0255	0,0894	0,0112	0,1179	0,0081	0,1076	0,0091	0,1010	0,0133	0,0971	0,0211	0,1152	0,0182	
b4	0,3613	0,0379	0,3327	0,0335	0,2577	0,0220	0,2661	0,0281	0,3088	0,0383	0,3434	0,0495	0,3462	0,0436	
b5	0,3135	0,0305	0,2146	0,0243	0,2255	0,0187	0,2204	0,0200	0,2910	0,0390	0,2620	0,0407	0,2562	0,0419	
b7	0,1583	0,0285	0,1484	0,0237	0,1188	0,0169	0,1934	0,0365	0,1829	0,0287	0,1422	0,0371	0,1396	0,0300	
ndvi	0,5818	0,0866	0,5728	0,0642	0,3704	0,0417	0,4214	0,0458	0,5015	0,0772	0,5531	0,1072	0,4951	0,0833	
SOJA	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	
b1	0,1108	0,0453	0,0939	0,0068	0,1127	0,0044	0,0774	0,0040	0,0835	0,0073	0,0735	0,0099	0,0853	0,0087	N=21
b2	0,1069	0,0550	0,1212	0,0098	0,1215	0,0094	0,1136	0,0069	0,1011	0,0128	0,0918	0,0145	0,1095	0,0115	
b3	0,0965	0,0525	0,1074	0,0183	0,1172	0,0167	0,0944	0,0112	0,1202	0,0211	0,1179	0,0255	0,1054	0,0269	
b4	0,4284	0,0618	0,3030	0,0278	0,2557	0,0283	0,2812	0,0414	0,2702	0,0272	0,2819	0,0459	0,3439	0,0639	
b5	0,2847	0,0407	0,2436	0,0378	0,2237	0,0368	0,1968	0,0223	0,3154	0,0372	0,2991	0,0643	0,2516	0,0489	
b7	0,1373	0,0607	0,1860	0,0363	0,1187	0,0297	0,1540	0,0456	0,2090	0,0290	0,1883	0,0500	0,1425	0,0411	
ndvi	0,6341	0,1795	0,4749	0,0860	0,3695	0,0778	0,4899	0,0819	0,3847	0,0788	0,4046	0,1228	0,5156	0,1527	
CANA	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	m	dp	
b1	0,1125	0,0225	0,0864	0,0031	0,1118	0,0039	0,0822	0,0070	0,0756	0,0047	0,0656	0,0067	0,0856	0,0066	N=19
b2	0,1160	0,0282	0,1132	0,0055	0,1217	0,0076	0,1223	0,0114	0,0913	0,0091	0,0824	0,0087	0,1125	0,0096	
b3	0,1035	0,0326	0,0874	0,0146	0,1150	0,0203	0,1052	0,0238	0,0946	0,0171	0,0950	0,0237	0,1170	0,0251	
b4	0,3955	0,0271	0,3498	0,0514	0,2764	0,0346	0,2958	0,0455	0,3073	0,0350	0,3073	0,0476	0,2895	0,0491	
b5	0,2591	0,0255	0,1814	0,0255	0,2038	0,0377	0,1984	0,0355	0,2466	0,0451	0,2308	0,0405	0,2269	0,0408	
b7	0,1239	0,0376	0,1305	0,0337	0,1214	0,0280	0,1659	0,1013	0,1602	0,0469	0,1375	0,0467	0,1440	0,0398	
ndvi	0,5886	0,1119	0,5923	0,0996	0,4064	0,1189	0,4685	0,1244	0,5264	0,0861	0,5185	0,1428	0,4144	0,1495	

TABELA A.4. Valores de reflectância para as imagens de 2005

	2005											
	11/02/05		16/04/05		03/06/05		22/08/05		07/09/05		10/11/05	
MATA	m	dp										
b1	0,0679	0,0035	0,0624	0,0034	0,0679	0,0040	0,0589	0,0052	0,0892	0,0077	0,0729	0,0040
b2	0,0702	0,0068	0,0634	0,0063	0,0688	0,0080	0,0610	0,0080	0,0866	0,0100	0,0687	0,0064
b3	0,0624	0,0065	0,0568	0,0072	0,0868	0,0228	0,0526	0,0105	0,0776	0,0131	0,0626	0,0083
b4	0,3464	0,0304	0,2991	0,0321	0,2727	0,0290	0,2540	0,0206	0,2543	0,0158	0,3153	0,0230
b5	0,1554	0,0166	0,1554	0,0192	0,1550	0,0199	0,1674	0,0225	0,1578	0,0257	0,1769	0,0230
b7	0,0795	0,0085	0,0828	0,0117	0,0830	0,0145	0,0947	0,0164	0,0799	0,0206	0,0902	0,0179
ndvi	0,6922	0,0330	0,6781	0,0318	0,5959	0,0399	0,6582	0,0538	0,5345	0,0561	0,6656	0,0517
PASTO	m	dp										
b1	0,0800	0,0047	0,0740	0,0055	0,0770	0,0035	0,0744	0,0049	0,1041	0,0058	0,0836	0,0038
b2	0,0979	0,0104	0,0861	0,0100	0,0887	0,0068	0,0900	0,0087	0,1132	0,0089	0,0913	0,0077
b3	0,0946	0,0121	0,0898	0,0168	0,0953	0,0165	0,0937	0,0122	0,1157	0,0149	0,0869	0,0116
b4	0,3758	0,0355	0,3088	0,0347	0,2994	0,0328	0,2836	0,0358	0,2886	0,0321	0,3341	0,0512
b5	0,2317	0,0314	0,2318	0,0359	0,2141	0,0235	0,2447	0,0289	0,2406	0,0323	0,2462	0,0310
b7	0,1235	0,0193	0,1375	0,0281	0,1251	0,0244	0,1584	0,0247	0,1503	0,0325	0,1362	0,0264
ndvi	0,5935	0,0585	0,5460	0,0860	0,5246	0,0694	0,4995	0,0722	0,4245	0,0767	0,5756	0,0908
SOJA	m	dp										
b1	0,0724	0,0048	0,0801	0,0065	0,0816	0,0074	0,0708	0,0063	0,0996	0,0089	0,0891	0,0066
b2	0,0791	0,0098	0,0923	0,0099	0,0927	0,0112	0,0817	0,0116	0,1050	0,0128	0,0927	0,0084
b3	0,0720	0,0161	0,1033	0,0176	0,0876	0,0166	0,0853	0,0215	0,1101	0,0233	0,1051	0,0161
b4	0,4495	0,0541	0,2696	0,0389	0,2711	0,0549	0,2666	0,0341	0,2528	0,0297	0,2551	0,0333
b5	0,2111	0,0233	0,2469	0,0362	0,2252	0,0377	0,2224	0,0371	0,2160	0,0415	0,2665	0,0438
b7	0,1056	0,0247	0,1649	0,0345	0,1508	0,0417	0,1491	0,0402	0,1442	0,0468	0,1802	0,0387
ndvi	0,7157	0,0819	0,4396	0,1054	0,4362	0,1262	0,5162	0,0999	0,3954	0,0810	0,4109	0,0907
CANA	m	dp										
b1	0,0806	0,0080	0,0720	0,0024	0,0793	0,0064	0,0730	0,0055	0,1037	0,0049	0,0829	0,0037
b2	0,0931	0,0124	0,0830	0,0058	0,0937	0,0102	0,0900	0,0103	0,1123	0,0066	0,0862	0,0051
b3	0,0947	0,0213	0,0798	0,0048	0,0917	0,0185	0,0841	0,0165	0,1104	0,0188	0,0934	0,0135
b4	0,3430	0,0295	0,3133	0,0488	0,3323	0,0637	0,3159	0,0677	0,2882	0,0454	0,2676	0,0383
b5	0,1989	0,0353	0,1797	0,0145	0,1908	0,0393	0,2163	0,0312	0,2058	0,0386	0,2225	0,0281
b7	0,1173	0,0331	0,1034	0,0130	0,1150	0,0551	0,1421	0,0452	0,1363	0,0558	0,1436	0,0375
ndvi	0,5696	0,0915	0,5821	0,0772	0,5450	0,1584	0,5566	0,1329	0,4346	0,1288	0,4805	0,1040

N=20

N=37

N=21

N=19

PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE

Teses e Dissertações (TDI)

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

Manuais Técnicos (MAN)

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

Notas Técnico-Científicas (NTC)

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

Relatórios de Pesquisa (RPQ)

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

Publicações Didáticas (PUD)

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

Publicações Seriadas

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

Programas de Computador (PDC)

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

Pré-publicações (PRE)

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.