

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM  
SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**SUBSÍDIOS À PREVISÃO DE SAFRA DA SOJA NO RIO GRANDE DO  
SUL USANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E  
SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação submetida como  
requisito parcial para a obtenção  
do grau de MESTRE EM  
SENSORIAMENTO REMOTO

JOSÉ LUIS GAFFRÉE MOTTA

Eng<sup>o</sup>. Agrônomo

Orientadora Eng<sup>a</sup>. Agr<sup>a</sup>. Dr. Denise Cybis Fontana

Porto Alegre (RS), Brasil

Março, 2002

**MOTTA, José Luis Gaffrée**

**SUBSÍDIOS À PREVISÃO DE SAFRA DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL USANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO.**

José Luis Gaffrée Motta –Porto Alegre: UFRGS, 2001. 74p

Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e Meio Ambiente. Porto Alegre, 2002.

- 1 - Área Cultivada
- 2 - Monitoramento
- 3 - LANDSAT
- 4 - NOAA
- 5 - NDVI
- 6 – Soja

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os professores e funcionários do CEPSRM/UFRGS, em especial aos professores Jorge Ducati e Vitor Haertel, pela orientação e amizade prestada no decorrer do curso e durante a elaboração deste trabalho. Desejo também expressar meus agradecimentos às secretárias Mônica e Magdalena pela paciência e colaboração.

Aos colegas e amigos de curso, em especial ao Hélio Radke Bittencourt, Mauro Erbert e Marcos Martins, pelo excelente auxílio e amizade.

A todos os meus amigos, em especial ao Francisco, Reinaldo, Romário, João, Francesca, Marcelo Silva, pela força e confiança depositada. Ao Felipe Soares pela ajuda e companheirismo nos trabalhos de campo.

A toda a equipe da GEOTEC Planejamento e Consultoria, em especial aos meus sócios Martimiano e Juliano pela cumplicidade, dedicação e apoio.

Ao Tio Ney Artur Azambuja, Tia Denise, Vó Jenny, Madrinha (Vó Lourdes), Maria (Ma), Luciana e meu grande amigo Paulo Shermann Azambuja, pelo afeto, carinho, pelos ensinamentos que sempre me passaram e por se fazerem parte de minha família.

À minha orientadora Denise, pela excelente pessoa que é, pela incansável disposição em me auxiliar sempre que possível e, também, ao Eliseu Weber, por sua didática e todos os ensinamentos passados durante o curso.

A toda minha família, com amor, dedico este trabalho:

Ao meu cunhado Luiz, pelos conselhos e ensinamentos;

As minhas sobrinhas Mariana e Juliana, pelo carinho;

Aos meus irmãos Ana Flávia e Rodrigo, pela confiança e amizade;

Aos meus pais José Flávio e Ana Luisa, pelo grande amor que sempre me deram, pelo exemplo de caráter, pela superação de dificuldades, por serem meus pais

A Deus, por me dar saúde para viver.

# SUBSÍDIOS À PREVISÃO DE SAFRA DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL USANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO<sup>1</sup>

**Autor:** *José Luis Gaffrée Motta*

**Orientador:** *Denise Cybis Fontana*

## SINOPSE

Informações sobre as condições de crescimento e expectativa de produção de culturas são importantes para a economia brasileira, visto que permitem um planejamento adequado da economia agrícola, contornando problemas de escassez e administrando com vantagens o excesso de produtos. Neste contexto, as tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento permitem a obtenção de informações precisas, em tempo hábil e com baixo custo. O presente trabalho teve como principal objetivo gerar subsídios para o aprimoramento do sistema atual de acompanhamento e previsão da safra de soja no Brasil, incorporando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Como objetivos específicos, buscou-se avaliar a acurácia da classificação digital de imagens LANDSAT para estimativa da área cultivada com soja e verificar a influência de aspectos regionais, tais como condições climáticas, de ocupação e de manejo, sobre a evolução temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), obtidos de imagens NOAA, visando o monitoramento da cultura da soja em projetos de previsão de safras. A estimativa de área cultivada com soja foi realizada através da classificação digital não supervisionada. Como verdade terrestre foram selecionadas 24 lavouras de soja, individualizadas na imagem com diferentes tamanhos e de diferentes regiões de uso e cobertura do solo, as quais foram quantificadas usando GPS de precisão topográfica. A verificação da acurácia da estimativa foi feita através de análise de regressão linear, sendo testada a significância do coeficiente de determinação. O monitoramento da cultura da soja foi realizada usando imagens decendiais de máximo NDVI. Nestas imagens, foram selecionadas 18 janelas amostrais, sendo extraídos os valores de NDVI e expressos na forma de perfis espectrais. Os resultados mostraram que a estimativa de área das lavouras cultivadas com soja, obtida através do processo de classificação digital não supervisionada em imagens LANDSAT, foi acurada e precisa para pequenas, médias e grandes lavouras, mostrando-se ser uma técnica eficiente para ser utilizada em projetos de previsão de safras de soja na região estudada. A evolução temporal do NDVI, obtida de imagens NOAA, apresentou sensibilidade quanto às diferenças de uso e cobertura do solo, demonstrando que as escalas espacial e temporal das imagens NOAA são adequadas para o acompanhamento em nível regional da evolução temporal da biomassa. Existe, ainda, potencial de uso de imagens NDVI para inferir sobre a área cultivada com soja em projetos de previsão de safras em escalas regionais, desde que a cultura seja predominante no pixel.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais e Meio Ambiente. Porto Alegre, 2002.

# TECHNICAL SUPORT TO SOYBEAN HARVEST FORECASTING IN THE RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL, USING GEOPROCESSING TECHNIQUES AND REMOTE SENSING<sup>2</sup>

**Author:** *José Luis Gaffrée Motta*

**Advisor:** *Denise Cybis Fontana*

## ABSTRACT

Information about growth conditions and the expectations of crop production are important for the Brazilian economy, since they allow appropriate planning of the agricultural economy, solving problems of scarcity and managing product surpluses with advantage. In this context, the remote sensing and geoprocessing technologies allow one to obtain precise information, in a timely manner and at a low cost. The main goal of the present study to generate information to improve the current monitoring follow up and forecasting system of the soybean harvest in Brazil, incorporating remote sensing and geoprocessing techniques. As specific objectives, it was sought to evaluate the accuracy of the digital classification of LANDSAT images to estimate the area cultivated with soybeans and look at the influence of regional aspects, such as climatic conditions, land use and management, on the temporal evolution of the normalized difference vegetation index (NDVI), obtained from NOAA images, for the purpose of monitoring the soybean crop in a harvest forecasting project. The estimate of the soybean area was performed using unsupervised digital classification. As ground truth 24 soybean fields were chosen, individualized in the image with different sizes and regions of use and land cover, which were quantified using a GPS. The accuracy of the estimate was done by linear regression analysis, and the significance of the coefficient of determination was tested. The soybean crop was monitored using decennial images of maximum NDVI. In these images, 18 sampling windows were chosen, and the NDVI values were extracted and expressed in the form of spectral profiles. The results showed that the area estimate of the soybean fields, obtained using the unsupervised digital classification of LANDSAT images, was accurate and precise to small, medium and big fields, and proved to be an efficient technique for use in harvest forecasting projects. The temporal evolution of NDVI, obtained from NOAA images, presented sensitivity for the differences of land use and land cover, showing that the spatial and temporal scales of the NOAA images are adequate for follow up of the temporal evolution of biomass on a regional level. There is also a potential for the use of NDVI images to infer the area planted with soybeans in harvest forecasting projects on regional scales, as long as the crop is predominant in the pixel.

---

<sup>2</sup> M.Sc. Dissertation – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – Remote Sensing Applied to Natural Resources and the Environment, Porto Alegre, 2002.

## SUMÁRIO

	Página
<b>I. INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	04
2.1- Sensoriamento remoto .....	04
2.1.1- Imagens digitais.....	07
2.1.2- Classificação digital de imagens .....	08
2.2- Comportamento espectral da vegetação.....	10
2.2.1- Índices de vegetação.....	13
2.3- Estimativa e previsão de safras.....	14
2.3.1- Estimativa de área cultivada.....	15
2.3.2- Monitoramento de cultivos.....	18
<b>III. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
3.1- Localização geográfica.....	21
3.2- Estimativa de área cultivada.....	22
3.2.1- Aquisição das imagens.....	22
3.2.2- Georreferenciamento.....	23
3.2.3- Classificação digital.....	23
3.2.4- Seleção das lavouras.....	23
3.2.5- Trabalho de campo.....	24
3.2.6- Acurácia da classificação digital.....	24
3.3- Monitoramento da cultura da soja.....	25
3.3.1- Aquisição das imagens.....	26
3.3.2- Georreferenciamento.....	26
3.3.3- Obtenção de imagens decendiais de índice de vegetação.....	26
3.3.4- Extração de dados espectrais.....	27
3.3.5- Análise dos perfis espectrais para o monitoramento da soja.....	27
<b>IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	29
4.1- Imagens LANDSAT.....	29
4.2- Imagens NOAA.....	36
<b>V. CONCLUSÕES</b> .....	67
<b>VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	68

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 2.1.</b> Espectro eletromagnético (Fonte: WATZALAWICK, 2000).....	05
<b>Figura 2.2.</b> Curva da Irradiância solar e absorção da radiação pelos gases atmosféricos e pelo vapor d’água (Fonte: SLATER, 1980 apud NOVO, 1992).....	06
<b>Figura 2.3.</b> Reflectância típica de uma folha verde (Fonte: NOVO, 1992).....	11
<b>Figura 3.1.</b> Região de maior produção de Soja no Rio Grande do Sul com a localização das imagens LANDSAT utilizadas.....	21
<b>Figura 4.1.</b> Imagem LANDSAT órbita ponto 223-80 de 29 de janeiro de 2000, composição colorida RGB 543, georreferenciada, com a malha municipal sobreposta.....	30
<b>Figura 4.2.</b> Imagem LANDSAT órbita ponto 224-79 de 05 de fevereiro de 2000, composição colorida RGB 543, georreferenciada, com a malha municipal sobreposta.....	31
<b>Figura 4.3.</b> Classe temática soja, obtida por classificação não supervisionada da imagem LANDSAT órbita ponto 223-80 de 29 de janeiro de 2000, georreferenciada e com malha municipal sobreposta.....	32
<b>Figura 4.4.</b> Classe temática soja, obtida por classificação não supervisionada da imagem LANDSAT órbita ponto 224-79 de 05 de fevereiro de 2000, georreferenciada e com malha municipal sobreposta.....	33
<b>Figura 4.5.</b> Regressão linear entre as áreas de lavouras de soja medida com GPS e estimada por classificação digital de imagens LANDSAT no estado do Rio Grande do Sul. Safra 1999/2000.....	35
<b>Figura 4.6.</b> Janela de amostragem nº 01: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	38
<b>Figura 4.7.</b> Janela de amostragem nº 02: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	39
<b>Figura 4.8.</b> Janela de amostragem nº 03: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	40
<b>Figura 4.9.</b> Janela de amostragem nº 04: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	41

<b>Figura 4.10.</b> Janela de amostragem nº 05: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	42
<b>Figura 4.11.</b> Janela de amostragem nº 06: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	43
<b>Figura 4.12.</b> Janela de amostragem nº 07: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	44
<b>Figura 4.13.</b> Janela de amostragem nº 08: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	45
<b>Figura 4.14.</b> Janela de amostragem nº 09: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	46
<b>Figura 4.15.</b> Janela de amostragem nº 10: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	47
<b>Figura 4.16.</b> Janela de amostragem nº 11: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	48
<b>Figura 4.17.</b> Janela de amostragem nº 12: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	49



<b>Figura 4.18.</b> Janela de amostragem nº 13: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	50
<b>Figura 4.19.</b> Janela de amostragem nº 14: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	51
<b>Figura 4.20.</b> Janela de amostragem nº 15: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	52
<b>Figura 4.21.</b> Janela de amostragem nº 16: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	53
<b>Figura 4.22.</b> Janela de amostragem nº 17: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	54
<b>Figura 4.23.</b> Janela de amostragem nº 18: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).....	55
<b>Figura 4.24.</b> Dendograma da evolução temporal do NDVI máximo mensal nas 18 janelas de amostragem no período de setembro de 1999 a março de 2000.....	56
<b>Figura 4.25.</b> Calendário agrícola médio da soja no Rio Grande do Sul, no período 1982 a 1994. Fonte: FONTANA et al. (1999).....	60
<b>Figura 4.26.</b> Média dos máximos mensais do grupo 1, extraídos da análise de agrupamento (dendograma).....	60
<b>Figura 4.27.</b> Média dos máximos mensais do grupo 2, extraídos da análise de agrupamento (dendograma)	61
<b>Figura 4.28.</b> Média dos máximos mensais do grupo 3, extraídos da análise de agrupamento (dendograma).....	62
<b>Figura 4.29.</b> Média dos máximos mensais do grupo 4, extraídos da análise de agrupamento (dendograma).....	62

<b>Figura 4.30.</b> Média dos máximos mensais do grupo 5, extraídos da análise de agrupamento (dendograma).....	63
<b>Figura 4.31.</b> Média dos máximos mensais dos cinco grupos extraídos da análise de agrupamento (nível 5 de agregação/corte 1).....	64
<b>Figura 4.32.</b> Média dos máximos mensais dos três grupos extraídos da análise de agrupamento (nível 10 de agregação/corte 2).....	65
<b>Figura 4.33.</b> Regressão linear entre NDVI médio de janeiro a março e a área cultivada com soja em Janelas amostrais (> 30% de Soja).....	66

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 3.1.</b> Coordenadas das lavouras selecionadas para o trabalho de campo, datas dos levantamentos e abrangência municipal.....	25
<b>Tabela 3.2.</b> Coordenadas mínimas e máximas (projeção UTM, datum SAD 69, fuso 21) das janelas amostrais obtidas de imagens LANDSAT selecionadas para geração dos perfis espectrais.....	28
<b>Tabela 4.1.</b> Áreas de lavouras de soja medida com GPS e estimada por classificação digital de imagens LANDSAT no estado do Rio Grande do Sul. Safra 1999/2000.....	36
<b>Tabela 4.2.</b> Descrição das janelas de amostragem efetuada usando os dados coletados durante o levantamento de campo.....	57
<b>Tabela 4.3.</b> Coeficiente de correlação (r) entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a área cultivada de soja no período de setembro de 1999 a março de 2000, para todas as janelas (total) e para as janelas de amostragem com mais de 30 % de soja.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>AVHRR</b>	- <i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>
<b>NOAA</b>	- <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
<b>HRTM</b>	- <i>High Resolution Picture Transmission</i>
<b>NDVI</b>	- <i>Normalized difference vegetation index</i>
<b>GVI</b>	- <i>Global Vegetation Index</i>
<b>LAC</b>	- <i>Local Area Coverage</i>
<b>GAC</b>	- <i>Global Area Coverage</i>
<b>NASA</b>	- <i>National Aeronautics and Space Administration</i>
<b>ERTS</b>	- <i>Earth Resources Technology Satellites</i>
<b>MSS</b>	- <i>Multispectral Scanner System</i>
<b>RBV</b>	- <i>Return Beam Vidicon</i>
<b>TM</b>	- <i>Thematic Mapper</i>
<b>SAD69</b>	- <i>South American Datum 1969</i>
<b>GPS</b>	- <i>Global Position System</i>
<b>IFOV</b>	- <i>Instantaneous Field of View</i>
<b>LSPA</b>	- <b>Levantamento Sistemático de Produção Agrícola</b>
<b>UFRGS</b>	- <b>Universidade Federal do Rio Grande do Sul</b>
<b>CONAB</b>	- <b>Companhia Nacional de Abastecimento</b>
<b>INPE</b>	- <b>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais</b>
<b>DSG</b>	- <b>Diretoria de Serviço Geográfico do Exército</b>
<b>CEPSRM</b>	- <b>Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia</b>
<b>UTM</b>	- <b>Projeção Universal Transversa de Mercator</b>
<b>REM</b>	- <b>Radiação Eletromagnética</b>
<b>RMS</b>	- <b>Erro Médio Quadrático</b>

## I. INTRODUÇÃO

No Brasil e em muitos outros países, o monitoramento e previsão de safras são realizados com o auxílio de dados oriundos de levantamentos realizados por entidades privadas e públicas ligadas à produção agrícola. Os dados coletados em nível municipal são posteriormente agrupados em toda a extensão do território nacional. Tais dados geram, na maioria das vezes, informações com um certo grau de incerteza, devido à subjetividade na avaliação por entrevistas. A liberação das informações obtidas desses levantamentos geralmente é lenta e onerosa, devido às diferenças regionais em nosso país.

Os recursos oferecidos pelas tecnologias de geoprocessamento e sensoriamento remoto permitem a obtenção de informações precisas, em tempo hábil e com baixo custo, sobre a extensão, as condições de desenvolvimento e o potencial de produção das culturas. Tais informações possuem uma importância muito grande em nossa economia, por estarem intimamente ligadas a excesso/escassez de produtos. Com a globalização, necessitam-se informações cada vez mais rápidas e precisas, tendo como resultando decisões mais seguras no que diz respeito à cotação de preços na bolsa de mercadorias (mercado futuro). Tais tecnologias contribuem, portanto, para reestruturar o sistema de acompanhamento e previsão de safras, tornando-o mais eficiente e dinâmico nas escalas regional e nacional, podendo servir, ainda, como importante apoio, aferindo os dados levantados pela metodologia utilizada atualmente. Convém ressaltar que essas novas técnicas não pretendem substituir a metodologia utilizada, mas sim contribuir para uma melhor acurácia nos resultados, obtendo-se as informações desejadas mais rapidamente, com custos menores.

Presente no Brasil desde antes da proclamação da República, a soja começou a ser plantada em estações de pesquisa a partir de 1900, mas até 1950 era cultivada em pequenas hortas. O salto definitivo na produção de soja no Brasil se deu nas décadas de 70 e 80, passando de 906.073 ha na safra de 1968/69 para 8.774.023 ha na safra de 1978/79. Esse crescimento foi responsável pela consolidação das economias

do Rio Grande do Sul e do Paraná. Esta leguminosa é um produto agrícola muito importante em termos de contribuição de renda ao agricultor, ao produto interno bruto e às exportações. Atualmente, o Brasil é responsável por aproximadamente 20% da soja produzida no mundo, aparecendo como o segundo produtor mundial, logo depois dos Estados Unidos.

No Brasil, a soja é plantada em 13 estados e ocupa 60% da área cultivada do País. Três desses Estados – Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul – são responsáveis por 63% da produção nacional, e outros dois – Goiás e Mato Grosso do Sul – produzem mais 20% do total. Na área do Mercosul (Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai), o plantio e produção de soja vêm crescendo. Hoje, esses países respondem por 35% da produção mundial, ou seja, 53,82 milhões de toneladas de um total de 153,75 milhões de toneladas.

No Estado do Rio Grande do Sul, na safra 1999/2000, foram produzidas 4.965.000 toneladas em uma área de 3.009.100 ha, com um rendimento médio de 1.650 Kg/ha (CONAB, Jul/2000). A região de maior produção da cultura situa-se na porção noroeste do estado, onde o milho é a segunda cultura predominante em termos de área cultivada, no período de primavera-verão.

Através do uso de imagens de satélites, a diferenciação entre a soja e o milho é tecnicamente possível, dada à diferença de resposta espectral destas culturas, especialmente na porção do infravermelho do espectro. A soja apresenta reflectância superior à do milho no infravermelho, como conseqüência da estrutura interna das folhas (maior número de camadas de células e espaços vazios), aliadas à reflexão aditiva superior, em função do maior índice de área foliar.

Além da diferenciação espectral, a cultura da soja no estado é cultivada principalmente em médias e grandes lavouras e com relativo curto período para semeadura. Esta situação possibilita condições favoráveis para a identificação e quantificação das áreas de lavoura, usando-se satélites atualmente disponíveis, como é o caso do LANDSAT, assim como o monitoramento das condições de crescimento das plantas, usando-se imagens do satélite NOAA.

Dadas às características espaciais e espectrais da cultura da soja no Rio Grande do Sul, a hipótese deste trabalho é de que as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são úteis em um sistema de acompanhamento e previsão de safras. Tal contribuição pressupõe que a metodologia utilizada nos projetos de grande escala

gere resultados confiáveis para a quantificação da área cultivada e para o monitoramento das plantas.

Neste contexto, o presente trabalho teve como principal objetivo a geração de informações para o aprimoramento do sistema atual de acompanhamento e previsão da safra de soja no Brasil, a partir da incorporação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Os objetivos específicos foram:

- ✚ Avaliar a acurácia dos resultados da classificação digital de imagens LANDSAT para estimativa das áreas cultivadas com soja em projetos de previsão de safras em larga escala e em escala regional;

- ✚ Verificar a influência de aspectos regionais, tais como condições climáticas, de ocupação e de manejo, sobre a evolução temporal do índice de vegetação, obtido de imagens NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), visando ao monitoramento da cultura da soja em projetos de previsão de safras.

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1- Sensoriamento remoto

NOVO (1992) define sensoriamento remoto como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre, através de registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta terra, em suas mais diversas manifestações.

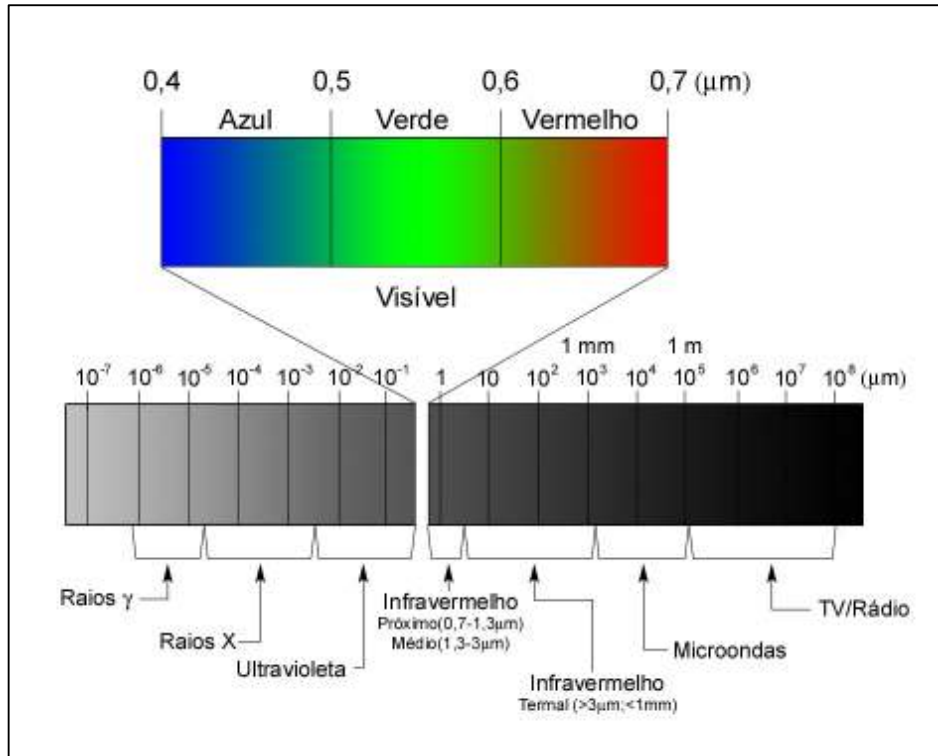
As técnicas de sensoriamento remoto pressupõem que toda a matéria a uma temperatura superior a zero grau absoluto ( $0^{\circ}$  K ou  $-273^{\circ}$ C) emite radiação eletromagnética (REM), como resultado de suas oscilações atômicas e moleculares (SLATER, 1980).

De acordo com CROSTA & SOUZA FILHO (1997), a radiação eletromagnética abrange diferentes partes do espectro eletromagnético, sendo dividido em regiões com denominações específicas, em função das fontes e tipos de processos envolvidos na geração de radiação. Os diferentes tipos de radiação eletromagnética foram divididos de acordo com seu comprimento de ondas ( $\lambda$ ), ou de acordo com sua frequência ( $\nu$ ) (Figura 2.1).

A REM, ao atravessar a atmosfera, sofre diversas alterações. As principais interações que ocorrem entre a energia e a atmosfera podem ser descritas como espalhamento, quando ocorre a difusão da energia pelas partículas atmosféricas, e absorção, quando parte da energia é absorvida pelos gases atmosféricos, como vapor de água,  $\text{CO}_2$  e ozônio. Em ambos os casos, uma parcela de energia é perdida, sendo que a parcela remanescente sofre modificações antes de ser captada pelo sensor.

A direção da energia pode ser modificada de forma aleatória, devido à presença de partículas de gases e aerossóis na atmosfera, resultando no chamado espalhamento atmosférico. Isto ocasiona a diminuição da qualidade das imagens nos comprimentos de onda do visível e do infravermelho próximo, pois é onde ocorrem os efeitos mais intensos (CROSTA & SOUZA FILHO, 1997).





**Figura 2.1. Espectro eletromagnético (Fonte: WATZALAWICK, 2000).**

O vapor de água, ozônio, dióxido de carbono e metano são os principais gases responsáveis pela absorção da radiação eletromagnética. Esta absorção faz com que a aquisição de informações para Sensoriamento Remoto fique restrita somente a algumas porções do visível e do infravermelho. Estas porções, que possuem uma baixa absortância e alta transmitância, são denominadas de janelas atmosféricas (Figura 2.2).

Os sensores captam informações resultantes da interação da energia eletromagnética com objetos (alvos) da superfície terrestre, a qual pode ser refletida ( $E_r$ ), transmitida ( $E_t$ ), absorvida ( $E_a$ ) ou emitida pela superfície (Equação 2.1).

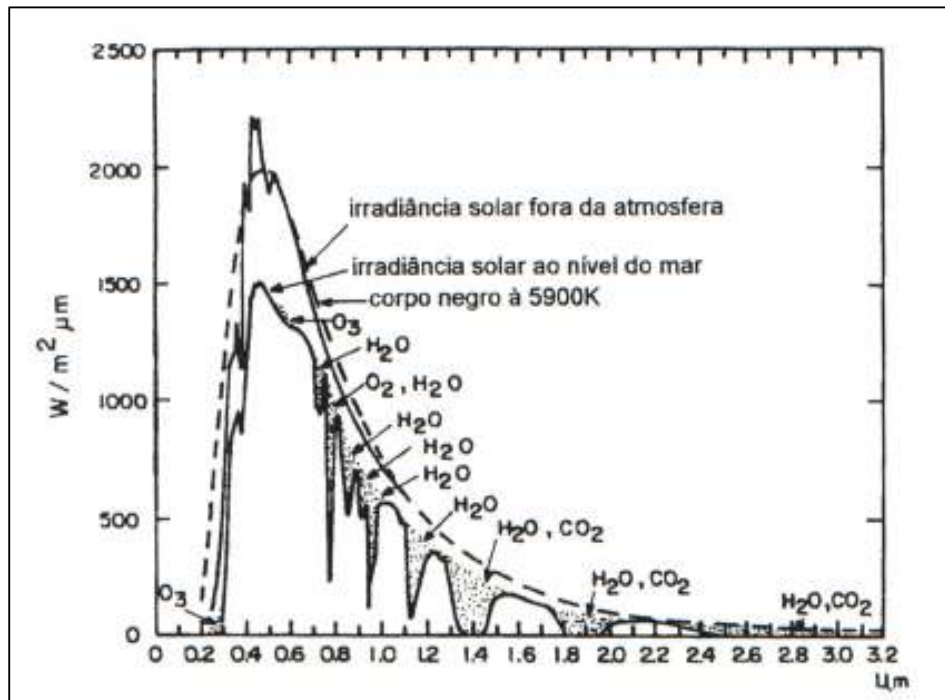


Figura 2.2. Curva da irradiância solar e absorção da radiação pelos gases atmosféricos e pelo vapor d'água (Fonte: NOVO, 1992).

Os processos de emissão, absorção, reflexão e transmissão ocorrem simultaneamente, e as intensidades relativas caracterizam a matéria em investigação, especialmente as características físicas e químicas da mesma. Este comportamento espectral das diversas substâncias é denominado assinatura espectral e é utilizado, em sensoriamento remoto, para distinguir os alvos entre si (STEFFEN et al., 1996).

$$E_i(\lambda) = E_r(\lambda) + E_a(\lambda) + E_t(\lambda) \quad (2.1)$$

Ao dividir-se cada um dos termos da equação 2.1 por  $E_i(\lambda)$ , obtém-se a seguinte equação:

$$1 = \rho(\lambda) + \alpha(\lambda) + \tau(\lambda) \quad (2.2)$$

Onde  $\rho(\lambda)$  é a reflectância,  $\alpha(\lambda)$  é a absorvância,  $\tau(\lambda)$  é a transmitância.

A energia pode ser absorvida por um corpo através de processos físicos e biológicos, como a fotossíntese e a evapotranspiração, ou emitida na forma de calor. Para um determinado alvo (corpo negro), em estado de equilíbrio, é possível estabelecer a relação  $\varepsilon(\lambda) \cong \alpha(\lambda)$ . Com isto:

$$1 = \rho(\lambda) + \varepsilon(\lambda) + \tau(\lambda) \quad (2.3)$$

A maior parte dos alvos na superfície terrestre, com exceção da água e vegetação, é opaca à radiação, possuindo uma transmissividade igual a zero, resultando em:

$$1 = \rho(\lambda) + \varepsilon(\lambda) \quad (2.4)$$

Sendo assim, na região termal do espectro eletromagnético, os alvos com reflectância baixa possuem alta emitância, sendo um resultado de uma alta absorptância. Com relação aos níveis de cinza, os alvos mais escuros são os que liberam mais calor (TODT, 1998).

### **2.1.1- Imagens digitais**

Atualmente, existe a disponibilidade de uma variedade grande de sensores remotos que são utilizados para a coleta de dados e geração de imagens. Possuem, entretanto, diferenças importantes quanto a algumas de suas propriedades fundamentais, ditas resolução espacial, espectral, temporal e radiométrica. Tais diferenças fazem com que a escolha de um ou outro sensor seja determinada pelo tipo de informação buscada.

*Resolução* é uma medida da habilidade que um sistema sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximas espacialmente (NOVO, 1992).

A *resolução espacial* pode ser definida como a menor área possível de ser registrada e representada pelo sensor, denominando-se *pixel*.

A *resolução espectral* refere-se à possibilidade de obter o valor da energia solar refletida e/ou emitida pela superfície terrestre em diferentes porções do espectro eletromagnético, chamada bandas. Quanto maior o número de bandas e mais estreita forem estas, maior a resolução espectral.

Cada *pixel* contém o registro da energia solar refletida e/ou emitida pela superfície terrestre, que é armazenado como um valor digital possível de ser processado em meio digital, sendo descrito em tons de cinza. O número total de tons de cinza de uma imagem de sensoriamento remoto é geralmente definido como uma potência de 2. Por exemplo,  $2^8$  é igual 256 cores de cinza. A quantidade de níveis de tons de cinza usados para expressar as variações na intensidade da energia armazenada pelo sensor pode ser denominada de *resolução radiométrica*; portanto, quanto maior o número de níveis de cinza, maior a *resolução radiométrica*.

A *resolução temporal* se relaciona à frequência com que o satélite recobre a mesma porção da superfície terrestre, a qual permite selecionar a melhor data a utilizar dentro de um determinado período de interesse. Pode-se, dessa forma, excluir aquelas imagens onde houver uma cobertura de nuvens prejudicial à visualização da área em foco, tornando possível o acompanhamento da evolução de cultivos ou de outros fenômenos.

### **2.1.2- Classificação digital de imagens**

As imagens de sensoriamento remoto, por sua natureza digital e discreta, são constituídas de um arranjo de elementos sob a forma de malha ou *grid* e têm sua localização definida em um sistema de coordenadas do tipo linhas (x) e colunas (y), respectivamente. O nome dado a estas células é *pixel*, que possui um atributo numérico “z”, indicando o seu nível de cinza, que varia do preto ao branco (CROSTA, 1992). O valor “z” ou contador digital representa a intensidade da energia eletromagnética medida pelo sensor.

Uma imagem de satélite é definida matematicamente, portanto, como sendo uma função  $f(x, y)$ , bidimensional, válida em uma certa região. Normalmente, esta região é um subconjunto de um plano, e a função (f) pode assumir apenas valores positivos. Esta função representa a energia refletida por objetos, que é capturada através de algum processo físico. Em uma imagem digital, esta função fica limitada a assumir apenas valores inteiros. A região em que a função é definida constitui, em geral, um arranjo (matriz) retangular de pontos. Daí o termo matricial, usado em associação à imagens digitais, frequentemente em contraposição ao termo vetorial, que se refere a representações geométricas baseadas em sistemas de coordenadas (DAVIS, 1997).

O processo de classificação digital de imagens baseia-se na distinção e identificação de diferentes alvos que possuem comportamentos espectrais diferenciados, os quais permitem a sua classificação. A classificação digital de imagens associa cada *pixel* da imagem a um determinado rótulo, obtendo-se como resultado um determinado tema.

Existem essencialmente duas abordagens na classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto: a classificação supervisionada e a não-supervisionada (CROSTA, 1992).

Na primeira, através de algoritmos pré-estabelecidos, o usuário procura identificar pontos na imagem pertencentes a classes desejadas, deixando ao programa de classificação a identificação de todos os demais *pixels* pertencentes àquelas classes. Por outro lado, a classificação não-supervisionada deixa ao programa de classificação a tarefa de decidir quais as classes a serem separadas e quais os *pixels* que pertencem a cada uma delas.

A classificação supervisionada é o procedimento mais utilizado para análises quantitativas de dados de imagens de Sensoriamento Remoto. Nessa técnica de classificação, há uma grande interação do analista com o sistema de processamento das imagens, sendo necessário ainda que o analista tenha conhecimento da área a ser classificada. O sistema de classificação de padrões é constituído basicamente por um alvo, um sistema sensor ou receptor, um sistema e/ou seletor de canais e um algoritmo classificador (RICHARDS, 1993).

O processo de classificação digital não supervisionada consiste em atribuir cada *pixel* de uma imagem a um grupo de classe. Essa atribuição é feita com base em observações do *pixel*, em si e na sua vizinhança, bem como numa série de regras. Portanto, o objetivo da classificação é produzir informações temáticas a partir de objetos da superfície terrestre que apresentem padrões espectrais similares (PEREIRA, 1992). Nesse tipo de classificação, o algoritmo baseia-se na análise de agrupamentos, onde são identificadas, no espaço de atributos, as nuvens (*clusters*) formadas por *pixels* com características espectrais similares. Nesse tipo de classificador, é comum especificar o número dessas nuvens, isto é, o número de classes possíveis de serem encontradas na área de estudo, mesmo não sendo este o número ideal de classes. Define-se, então, através de um limiar estabelecido pelo analista, quais as concentrações de *pixels* que devem ser tratados como grupos distintos (RICHARDS, 1993).

A função primordial do processamento digital é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação (CROSTA, 1992). As técnicas inerentes ao processamento digital de imagens devem ter a consideração dos usuários da ciência Sensoriamento Remoto e de planejadores do ambiente físico, proporcionando informações rápidas e otimizadas aos mesmos (PEREIRA, 1992).

A coleta dos dados de referência, ou seja, aqueles que representam a situação real de campo na época da obtenção da imagem, é uma parte essencial de qualquer projeto de classificação e mapeamento envolvendo dados obtidos por meio de sensoriamento remoto. Esses dados são usados para verificar a acurácia da classificação, bem como detectar distinção entre classes e aperfeiçoar o processo de refinamento da classificação (CONGALTON & BIGING, 1992).

O teste estatístico mais simples para se julgar a exatidão dos mapas derivados de dados de sensores orbitais consiste em determinar um número ótimo de amostras a serem tomados no terreno e em assumir uma margem de erro permissível. Então, pela comparação dos pontos amostrados no terreno com aqueles pontos correspondentes obtidos no mapa, gerados pelo processo de classificação, o número de erros pode ser determinado. Se o número de erros é menor ou igual à margem assumida, o mapa é aceito como exato dentro dos intervalos de confiança especificados (CONGALTON, 1984 apud BRITES, 1996).

## **2.2- Comportamento espectral da vegetação**

O termo "comportamento espectral da vegetação" é frequentemente relacionado com as características da radiação eletromagnética refletida por parte de folhas, plantas individuais e conjunto de plantas (STEFFEN et al., 1996).

Conforme FONTANA (1995), o comportamento de uma folha verde na parte visível do espectro eletromagnético (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) é de alta absorvância, baixa refletância e transmitância (Figura 2.3). A absorção da radiação solar pela folha é elevada nas bandas espectrais do azul (0,4 a 0,5 $\mu\text{m}$ ) e do vermelho (0,6 a 0,7 $\mu\text{m}$ ), devido à presença de pigmentos alojados nos cloroplastos. A clorofila é o elemento responsável pelo processo da fotossíntese, quando da existência de luz. Dos pigmentos encontrados nos cloroplastos, cerca de 65% são clorofilas do tipo a e b, 20% são xantofilas e 6% são carotenóides (pigmentos que dão a cor amarelada, alaranjada e

avermelhada aos vegetais, devido à ocorrência do processo de oxidação). A reflectância da vegetação no visível é tipicamente menor do que 10% da energia incidente (Figura 2.3).

Na faixa do infravermelho próximo do espectro (0,76 $\mu\text{m}$  a 1,35 $\mu\text{m}$ ) a reflectância da vegetação tem seu valor típico aumentado ao redor de 40%. Nesta região do espectro, os pigmentos são altamente transparentes à radiação, não assumindo papel relevante. Os valores típicos de reflectância são causados pelo efeito de espalhamento da radiação no mesófilo. A magnitude do espalhamento é proporcional à densidade celular e é consequência da diferença nos índices de refração das paredes celulares e espaços vazios (Figura 2.3).

Na região do infravermelho médio (1,35 $\mu\text{m}$  a 2,60  $\mu\text{m}$ ) uma folha sadia pode ser caracterizada pelas bandas de absorção da água, onde os picos ocorrem em 1,4 $\mu\text{m}$ , 1,9 $\mu\text{m}$  e 2,7 $\mu\text{m}$ . Nesta região, encontram-se os pontos máximos de absorção de água e, quanto menor o teor de água, maior a reflectância. Por outro lado, quando o teor de água se torna muito baixo (em torno de 50%), podem ocorrer alterações na região do visível e infravermelho próximo, devido à degradação da clorofila e da estrutura celular (Figura 2.3).

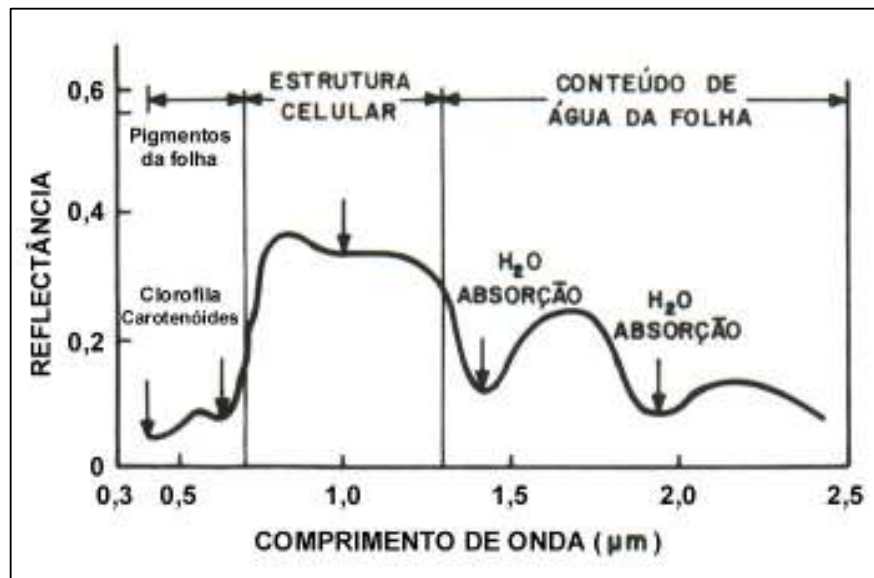


Figura 2.3. Reflectância típica de uma folha verde (Fonte: NOVO, 1992).

De acordo com STEFFEN et al. (1996), a trajetória do fluxo solar incidente dentro do dossel vegetativo, em direção ao solo, e o fluxo radiante em direção ao sensor (radiância) não depende somente das propriedades de reflexão e absorção dos elementos da vegetação, mas também de suas densidades e orientações. Um elemento da vegetação, por exemplo, uma folha presente no interior do dossel, recebe dois tipos de radiação, aquela que não é interceptada pelos demais elementos e a radiação interceptada e espalhada por tais elementos, dependendo da sua distribuição espacial, de suas densidades e orientações, bem como da arquitetura da vegetação.

O conhecimento da curva espectral de uma folha individual, conforme FONTANA (1995), é de extrema importância, mas não pode ser aplicado integralmente para uma comunidade vegetal, já que a reflectância, nessa condição, representa uma integração dos valores de reflectância da folha e da superfície de fundo. Variações na quantidade de radiação refletida pela cultura são acarretadas por alterações, tanto da planta quanto da superfície de fundo. Numa cultura, a relação existente entre área de folha e superfície de fundo varia em função do tempo. Desde a semeadura até o completo desenvolvimento, a resposta espectral é grandemente influenciada pela superfície de fundo.

Conforme TODT (1998), a análise do comportamento espectral em imagens de satélite é bastante complexa, pois vários fatores podem influenciar a resposta espectral, dentre os quais: diferentes espécies, estágios de desenvolvimento, incidências de pragas, diferentes tipos de solos, textura, umidade, manejo, práticas agrícolas, relevo, ângulo de elevação solar, fenômenos meteorológicos como seca, geada, enchentes, bruma, poluição. Cabe salientar que, nas fases iniciais de uma comunidade, o solo é o que mais influencia no comportamento espectral.

Com o crescimento da vegetação, há um aumento na reflectância na porção do infravermelho, devido ao efeito da reflexão aditiva, e um simultâneo decréscimo no visível, devido à maior absorvância, em consequência da maior densidade de pigmentos. Com isso, plantas jovens e em crescimento apresentam alto contraste entre duas regiões do espectro. ASSUNÇÃO & FORMAGGIO (1989) verificaram que plantas jovens, com poucas folhas, absorvem menos radiação no comprimento de onda do azul e vermelho do que plantas adultas, que possuem um maior número de pigmentos. Já no infravermelho próximo, as plantas adultas refletem mais do que as jovens, devido ao processo de reflectância aditiva causada pela sobreposição de camadas de folhas.



### 2.2.1- Índices de vegetação

Nos estudos utilizando sensoriamento remoto, os índices de vegetação têm sido muito usados por serem sensíveis indicadores da presença e da condição de crescimento das plantas. São baseados no fato de que o crescimento e desenvolvimento da vegetação têm como resposta uma distinção muito grande nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo. Na literatura, pode-se encontrar várias propostas de índice de vegetação; sendo, entretanto, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por ROUSE et al. (1973), o mais utilizado.

A equação para o cálculo do índice de vegetação, NDVI, é dada por:

$$\text{NDVI} = \left( \frac{\rho_{\text{IV}} - \rho_{\text{V}}}{\rho_{\text{IV}} + \rho_{\text{V}}} \right) \quad (2.5)$$

onde  $\rho_{\text{V}}$  e  $\rho_{\text{IV}}$  são as reflectâncias nas bandas do vermelho e infravermelho, respectivamente.

De acordo com FONTANA (1995), nuvens, água e neve possuem valores de reflectância maiores no visível; desta forma, tais feições apresentam NDVI negativos. Rochas e solo descoberto têm valores muito parecidos de reflectância nestes dois comprimentos de onda, resultando em NDVI próximo de zero. Com a presença da vegetação, o NDVI assume valores entre 0,1 e 0,6, sendo que altos valores são relacionados com altas densidades de vegetação saudável. Efeitos atmosféricos, tais como o espalhamento por poeiras, aerossóis, gases atmosféricos e nuvens dentro do pixel, agem no sentido de elevar a reflectância na banda do visível com relação à banda do infravermelho, reduzindo com isso o NDVI calculado.

As medidas de NDVI têm, em geral, associação direta com a quantidade de cobertura vegetal, o índice de área foliar, a cobertura do solo e a interceptação da radiação. Vários trabalhos têm verificado as relações entre NDVI e variáveis agronômicas (ROSSINI, 1993; KAZMIERCZAK, 1996; FONTANA et al., 1998; HILL et al., 1999; FONTANA et al., 2000a; FONSECA et al., 2001).

Conforme FONTANA (1995), um dos parâmetros agronômicos de grande interesse ao planejamento agrícola é a estimativa do rendimento das culturas. Em função da alta correlação entre NDVI e taxa assimilatória de comunidades vegetais, o NDVI pode estar correlacionado indiretamente com o rendimento de culturas. Um dos aspectos a ser considerado nas relações entre NDVI e rendimento é a integração desse

índice em certos períodos ou em todo o ciclo de desenvolvimento, pois contempla a evolução da cobertura vegetal.

O estabelecimento de relações entre o padrão de crescimento e desenvolvimento das plantas ao longo do tempo com o padrão de evolução dos índices de vegetação, denominados perfis espectrais, permite observar as mudanças estruturais da vegetação no decorrer da estação de crescimento. Essas mudanças são lentas e resultam em uma diferenciação da reflectância espectral da vegetação. Os perfis espectrais são usados para monitoramento da vegetação, permitindo diferenciar os diferentes tipos de vegetação. Além disso, as possíveis modificações no perfil característico de uma determinada cultura podem estar relacionadas com sua biomassa e rendimento (JUSTICE, 1991).

De acordo com FONSECA (2000), o conhecimento da relação entre a evolução temporal do NDVI frente ao desenvolvimento da cobertura vegetal possibilita o monitoramento das condições de desenvolvimento da vegetação em grandes áreas, ao longo da estação de crescimento, por meio de sensores remotos e com um baixo custo operacional.

FONTANA et al. (1998) associaram a evolução temporal do GVI (*Global Vegetation Index*) com a evolução temporal da cobertura vegetal de soja, mostrando o potencial da utilização de imagens NDVI para o monitoramento da evolução temporal da vegetação no Estado do Rio Grande do Sul.

### **2.3- Estimativa e previsão de safras**

A obtenção de dados confiáveis sobre produção, rendimento e área cultivada através de questionários é muito difícil, lenta e onerosa, além de implicar sempre um certo grau de subjetividade. A extensão e peculiaridades regionais e sazonais do território brasileiro podem introduzir muitos erros nos resultados desse tipo de avaliação, a ponto de invalidar seu uso. Os recursos oferecidos pelas tecnologias do geoprocessamento e sensoriamento remoto podem contribuir significativamente à estruturação de sistemas mais eficientes e dinâmicos para a estimativa da produção agrícola regional e nacional (SMITH et al., 1987 apud FONTANA et al., 2001; FIGUEIREDO & COLLARES, 1993 apud FONTANA et al., 2001).

O dimensionamento do volume total de produção a ser obtido numa determinada região pode ser considerado como o produto entre a área cultivada e o

rendimento por unidade de área. Pressupõe-se neste conceito que, para uma estimativa adequada da produção, é necessário um conhecimento detalhado destes dois segmentos.

Na maior parte dos programas de previsão de safras, utilizando-se a disponibilidade atual de sensores remotos, a estimativa da área cultivada é realizada por meio de imagens de satélites de recursos naturais (LANDSAT e SPOT, principalmente), enquanto que o rendimento seguidamente é obtido a partir de imagens de satélites meteorológicos (NOAA) e modelos agrometeorológicos.

### **2.3.1- Estimativa de área cultivada**

No Brasil, atualmente, a estimativa da área cultivada em níveis municipal, regional e nacional é realizada de forma operacional através de informações obtidas por meio de métodos baseados em entrevistas feitas com agricultores ou entidades relacionadas ao setor agrícola (IBGE, 1998).

A procura de objetividade nos prognósticos agrícolas por meio de técnicas de sensoriamento remoto vem ganhando importância operacional em nível mundial, permitindo a realização de estimativas com maior antecedência, com maior precisão e com menor custo, quando comparadas com as técnicas tradicionais (DUTTA et al., 1994).

Nas décadas de 70 e 80, houve um aumento das técnicas digitais para coleta e processamento de dados espaciais (PEREIRA et al., 1987). O grande passo tem sido o uso de dados remotos obtidos por satélites, sendo que no Brasil é freqüente o uso de imagens LANDSAT para a estimativa de área cultivada. O programa LANDSAT, iniciado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), na década de setenta, fornece imagens para avaliação dos recursos terrestres. A plataforma do LANDSAT chamada ERTS (*Earth Resources Technology Satellites*) gera imagens que ajudam a análise regional, embora falte aos sensores a resolução requerida para um maior detalhamento ou análise do mapa.

O programa LANDSAT compõe-se de uma série de cinco satélites lançados a intervalos médios de 3 a 4 anos. Os três primeiros satélites fazem parte da primeira geração, tendo como principais sensores, o MSS (*Multispectral Scanner System*) e o RBV (*Return Beam Vidicon*). A segunda geração de satélites da série LANDSAT é composta de outro sensor, o TM (*Thematic Mapper*), sendo mantido o MSS com algumas modificações (ZARATTINI, 1989).

O LANDSAT 5, em regime operacional desde março de 1984, é composto basicamente de dois subsistemas: o satélite (aquisição de dados) e o apoio terrestre (processamento dos dados) (NOVO, 1992). O satélite opera a 705 Km de altitude, possuindo um sistema de funcionamento por meio da utilização da energia solar, captada por painéis solares. Também, detém dispositivos de auto correção de órbita e posicionamento, a fim de garantir produtos geometricamente constantes. Perfaz em 16 dias toda a varredura da superfície terrestre, abrangendo uma faixa de 185 Km. Esse satélite permite, sob condições ideais, que se obtenham dados de uma mesma região aproximadamente 22 vezes por ano (CHUVIECO, 1996).

O satélite LANDSAT 5 possui 7 bandas óticas: três na porção visível do espectro eletromagnético (azul, verde, vermelho); três na porção do infravermelho (infravermelho próximo, médio e distante), com resolução espacial de 30 metros; e uma banda no infravermelho termal, sendo esta com uma resolução espacial de 120 metros. Segundo SANTOS (1996), este sensor facilitou bastante a identificação pormenorizada de classes de uso da terra.

As bandas da imagem LANDSAT 5 mais utilizadas para estudos com vegetação são as 3, 4 e 5, que apresentam as seguintes características:

↳ **Banda 3**, correspondente à faixa de 0,63 a 0,69  $\mu\text{m}$  do espectro eletromagnético. Possui aplicação na diferenciação de espécies vegetais e na classificação de cultivos (ELACHI, 1987 apud FONTANA et al., 2001), tendo assim bom contraste entre solo exposto e solo com vegetação. Nesta banda, áreas de solo exposto apresentam-se geralmente mais claras e áreas cobertas por vegetação mostram-se escuras, pois, em grande parte dos solos, a radiação solar é refletida, ao passo que, com a vegetação, esta radiação é absorvida para que seja realizada a fotossíntese.

↳ **Banda 4**, correspondente à faixa de 0,76 a 0,90  $\mu\text{m}$  (infravermelho próximo). É utilizada para o delineamento de corpos d'água e análises de biomassa (ELACHI, 1987 apud FONTANA et al., 2001). No caso de matas e árvores em geral as camadas de folhas sobrepostas geram o efeito da reflexão aditiva, por serem as folhas parcialmente translúcidas à radiação da faixa do infravermelho próximo. Assim, a radiação transmitida por determinada camada de folhas é parcialmente refletida por aquelas situadas abaixo e adiciona-se à refletida pela mesma (HOFFER, 1988 apud FONTANA et al., 2001).

↳ **Banda 5**, correspondente à faixa de 1,55 a 1,75  $\mu\text{m}$  de comprimento de onda (infravermelho médio). É fortemente influenciada pelo conteúdo de água nas

folhas (HOFFER, 1988 apud FONTANA et al., 2001), sendo, por isto, indicada para o monitoramento das condições hídricas da vegetação. Por este motivo, é também muito útil na diferenciação de solos com e sem cobertura vegetal e na discriminação entre diferentes tipos de solos (ELACHI, 1987 apud FONTANA et al., 2001).

Com o lançamento do LANDSAT 7 em abril de 1999, a série de satélites de observação contam, além das seis bandas óticas tradicionais, com mais uma banda pancromática de 15 metros de resolução no terreno e também com a modificação na banda do infravermelho termal, com uma resolução de 60 metros.

BELTRAME (1991) afirmou que o satélite LANDSAT TM 5 apresenta distintas aplicações na caracterização e no levantamento de recursos naturais renováveis. LOCH (1990) salientou que a resolução espacial de aproximadamente 30 metros fornece condições para identificar, quantificar, avaliar e acompanhar as alterações provocadas na estrutura fundiária do uso do solo e na rede viária. ALVES et al. (1998) concluíram que a utilização de imagens de satélite tem possibilitado estudos de desmatamento em várias regiões do Planeta, particularmente em regiões tropicais, onde extensões significativas de florestas não poderiam ser monitoradas facilmente sem o recurso dos satélites de Sensoriamento remoto.

No contexto de estimativa de safras, BATISTA (1984) relatou a experiência de utilização de imagens MSS-LANDSAT na estimativa de área plantada com cana-de-açúcar, na região de Araçatuba e Guararapes. MEDEIROS et al. (1996) apresentaram uma metodologia para a estimativa de áreas plantadas com culturas de verão, por meio de integração de dados multitemporais do sensor LANDSAT TM 5 da época de baixa ocorrência de nuvens (pré plantio, junho-outubro).

Neste sentido ARONOFF (1991) e ASSAD (1993), afirmaram que a disponibilidade de informações confiáveis sobre a área, distribuição, tipos de culturas implantadas e expectativa de produção é fundamental à tomada de decisões para o planejamento, definição de prioridades e projeções sobre o volume de recursos a ser liberado para o financiamento da produção, tanto por parte do setor público quanto do setor privado. Melhores subsídios podem, também, ser obtidos para o estabelecimento de políticas de preços e para o manejo dos estoques reguladores do Governo Federal, assim como do parque instalado para armazenamento da safra.

As maiores limitações para utilização de dados do satélite LANDSAT no Brasil para previsão de safras de verão são a presença de nuvens durante o ciclo de crescimento das principais culturas anuais e a rigidez do cronograma, que se encontra

limitado ao período de fevereiro-março (CHEN, 1990). Além disso, BATISTA (1978) enfatizou que a utilização de imagens orbitais para a identificação e avaliação de áreas ocupadas com culturas em pequenas lavouras apresenta limitações devido à resolução espacial dos sensores. ALMEIDA (1984) recomenda que levantamentos com imagens orbitais sejam feitos em níveis regionais e municipais.

MEDEIROS et al. (1996) comparou a estimativa de áreas cultivadas com cana-de-açúcar, soja e milho, a partir de imagens digitais e pelo Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA). O autor verificou grande discrepância entre as estimativas, recomendando a análise quanto à origem do erro.

Em um estudo realizado na região da fronteira oeste do Rio Grande do Sul com lavouras de arroz nos anos agrícolas de 1985 a 1988, WEBER & SANTOS (1994) compararam área real (medida por topografia convencional) e área estimada pela interpretação visual de imagens LANDSAT de 26 lavouras. A análise de regressão entre a área real e a área estimada, resultou em um coeficiente de determinação de 0,93.

Nas safras de 1998/1999 (FONTANA et al., 2000c) e de 1999/2000 (FONTANA et al., 2000b), foi proposto o uso de imagens LANDSAT para a estimativa de área cultivada com soja, em um projeto realizado conjuntamente entre a UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) e a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), abrangendo grande parte do território brasileiro. Os autores verificaram que a classificação não supervisionada foi adequada à identificação de áreas de soja, mas enfatizaram a necessidade de trabalhos posteriores para avaliação da acurácia do método.

### **2.3.2-Monitoramento de cultivos**

Algumas aplicações de dados de sensoriamento remoto, como é o caso do monitoramento da evolução temporal dos cultivos, requerem não só uma adequada resolução espacial, mas também, e principalmente, uma adequada resolução temporal. Esta necessidade pode ser suprida pelos satélites meteorológicos de órbita polar, que possuem cobertura diária global e bandas espectrais compatíveis com o estudo da vegetação.

Segundo KAZMIERCZAK (1996), o sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*), um dos três sensores a bordo dos satélites NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), foi projetado para análise multiespectral de

parâmetros meteorológicos, oceanográficos e hidrológicos, mas tem sido muito empregado para estudar a dinâmica da vegetação. O campo de visada (IFOV) é de 1,4 miliradianos, o que corresponde a uma resolução de 1,1 x 1,1 Km ao nadir, para uma altitude nominal de 833 Km. Os dados de 10 bits permitem uma grande amplitude de variação da dinâmica radiométrica. Opera numa órbita síncrona solar, com um período orbital de 102 minutos, totalizando 14,1 órbitas/dia, com um ciclo de cobertura de 9 dias (KIDWELL, 1991).

Os dados provenientes do AVHRR são recebidos com resolução total (1,1 Km) e armazenados em duas diferentes formas. Alguns dados selecionados são gravados em resolução total, referenciados como LAC (*Local Area Coverage*). Todos os dados, entretanto, são amostrados espacialmente para uma resolução de 4 Km e armazenados sob a forma GAC (*Global Area Coverage*). A partir de 1982 os produtos GAC têm sido utilizados para gerar um terceiro produto, denominado GVI (*Global Vegetation Index*) (FONTANA, 1995).

Segundo VAN DIJK et al. (1987), entre as principais vantagens deste sensor, podem ser citadas a alta resolução temporal, garantia de cobertura global, baixo custo e avaliação em tempo real. O AVHRR é um sistema operacional capaz de fornecer dados globais diariamente, o que facilita o monitoramento da superfície terrestre e principalmente da vegetação (MALINGREAU & BELWARD, 1992).

Nos trabalhos relacionados ao monitoramento de culturas, normalmente, são utilizadas imagens de índice de vegetação, as quais são obtidas a partir das bandas 1 (0,58 a 0,68  $\mu\text{m}$ ) e 2 (0,725 a 1,10  $\mu\text{m}$ ) do sensor AVHRR. Este índice permite determinar a existência e condição da vegetação, tendo como objetivo minimizar os dados espectrais em um só valor, realçando a contribuição espectral da vegetação verde, diminuindo, com isso, a contribuição espectral do solo, ângulo solar, vegetação senescente e atmosfera (BARRET & GUYOT, 1991 apud FONTANA, 1995).

Alguns pesquisadores propuseram modelos matemáticos a partir do comportamento espectral da vegetação verde, que são capazes de indicar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por densidade de área. Nestes modelos, quanto maior o índice de vegetação, mais densa é a fitomassa verde, na medida em que aumenta a quantidade de vegetação, aumenta a reflexão na banda do infravermelho próximo, enquanto a reflexão na banda do vermelho diminui, fazendo com que o aumento da razão seja potencializado, realçando a vegetação (KAZMIERCZAK, 1996).

Analisando um grupo de dados do índice NDVI (índice de vegetação por diferença normalizada), derivados do AVHRR/NOAA em várias datas, MARSH et al. (1992) verificaram que existe uma relação entre as limitações decorrentes da resolução espacial do sensor e a distribuição espacial da vegetação natural e agrícola. Os autores sugeriram a utilização conjunta de ambos os sensores (alta e baixa resolução espacial), de forma a permitir extrair o máximo de informações da área monitorada.

No Brasil, BATISTA et al. (1993), observando os efeitos do fenômeno El Niño, demonstraram que mudanças fenológicas em diversas classes de cobertura vegetal na Amazônia Legal podem ser observadas através do NDVI obtido de imagens NOAA.

FONTANA et al. (1996) utilizaram o índice de vegetação global (GVI/NOAA) para o monitoramento da biomassa em nível regional no Rio Grande do Sul. Os autores analisaram a evolução temporal do GVI e relacionaram-na com a evolução da biomassa durante a estação de crescimento das culturas de primavera-verão, verificando variações entre diferentes regiões do Estado e conforme as distintas condições de disponibilidade hídrica nos anos estudados. Na região de maior produção de soja e milho no Rio Grande do Sul, a evolução foi caracterizada por uma curva semelhante à curva de crescimento e desenvolvimento de culturas agrícolas, podendo, portanto, ser relacionada ao rendimento de grãos dessas culturas.

Para os estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul, FONTANA et al. (2000a) analisaram o comportamento do NDVI, obtido de imagens NOAA, sobre lavouras de soja. A evolução temporal do NDVI evidenciou as diferenças de manejo e de condições de crescimento entre os estados.



### III. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1- Localização geográfica

O estudo foi efetuado durante o ano agrícola 1999/2000, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, a qual foi escolhida devido ao grande volume na produção de soja (Figura 3.1).

Segundo levantamento de reconhecimento de solos do Rio Grande do Sul descrito por BRASIL (1973), na região de estudo ocorre predominantemente rochas basálticas, com alguma ocorrência de arenitos.

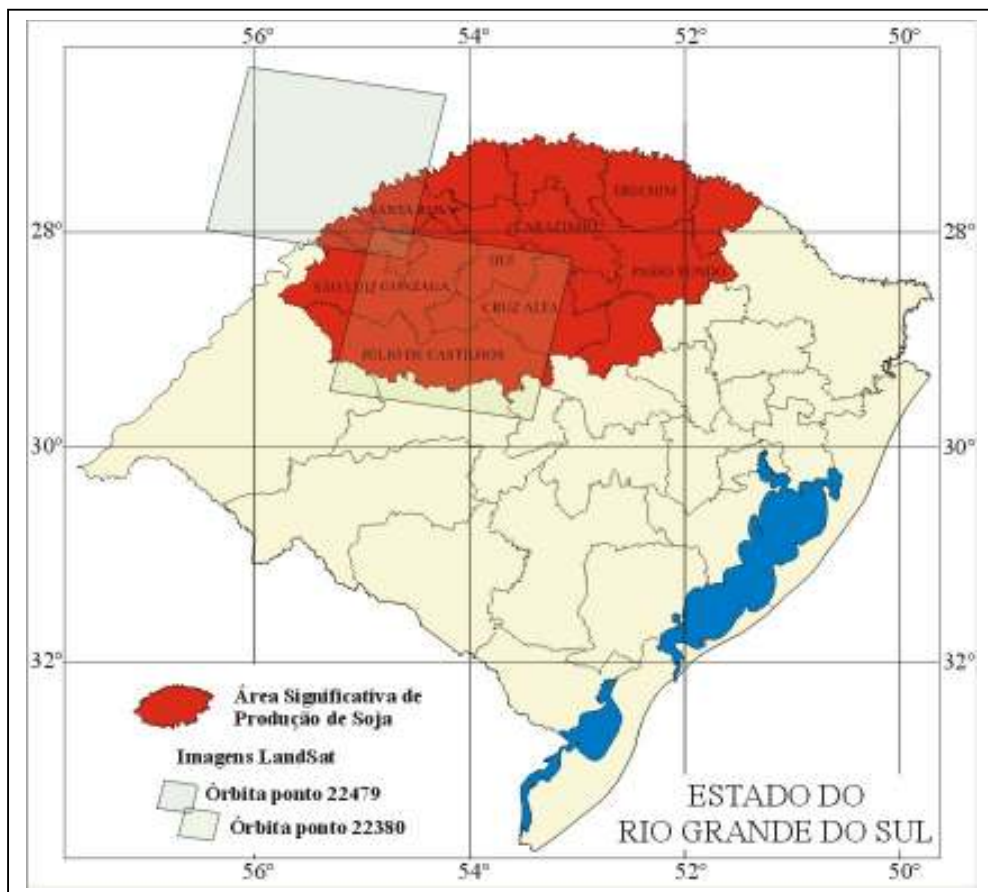


Figura 3.1. Região de maior produção de Soja no Rio Grande do Sul com a localização das imagens LANDSAT utilizadas.

Segundo NIMER (1989), o Rio Grande do Sul apresenta alto grau de uniformidade climática, expressa pelo domínio de apenas duas formas climáticas, Cfa e Cfb, conforme classificação de KÖPPEN (1948). O significado desta classificação é que “C” refere-se ao clima temperado; “f” refere-se à não-existência de estação seca, ou seja, nenhum mês com precipitação pluvial inferior a 60mm; “a” refere-se à temperatura média do mês mais quente (janeiro), superior a 22°C; e “b”, à ocorrência de verões amenos, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C. Na região de estudo, ocorre a forma climática Cfa.

### **3.2- Estimativa de área cultivada**

O Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento remoto e Meteorologia/UFRGS, em parceria com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) desenvolveu, na safra 1999/2000, um projeto intitulado Monitoramento e Previsão de Safra de Soja. Esta dissertação foi inserida no contexto deste projeto, visando aprofundar algumas das etapas do mesmo. Desta forma, foram acompanhados e realizados os passos abaixo descritos, com exceção da classificação digital, a qual foi realizada por outros membros da equipe do projeto.

#### **3.2.1- Aquisição das imagens**

Foram adquiridas duas imagens do satélite LANDSAT TM 5, através de encomenda realizada ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As órbitas-ponto das imagens escolhidas foram 223-80 e 224-79, abrangendo parte da região de maior produção de soja no Rio Grande do Sul (Figura 3.1). As datas das imagens foram, respectivamente, 29 de janeiro de 2000 e 05 de fevereiro de 2000, tendo sido escolhidas de forma a coincidir com o pleno desenvolvimento das lavouras de soja na região, diminuindo, assim, a influência da superfície de fundo.

No presente trabalho utilizaram-se as bandas 3, 4, 5 do sensor LANDSAT-5 TM. Estas bandas foram combinadas, gerando uma composição colorida, onde os diferentes temas da superfície tornaram-se mais facilmente visualizados. Na composição colorida, foram associadas as cores vermelho (R), verde (G) e azul (B) às bandas espectrais 5, 4 e 3, respectivamente.

### **3.2.2- Georreferenciamento**

O georreferenciamento das imagens foi efetuado utilizando-se o *Software* Envi versão 3.2, consistindo em operações numéricas que modificaram sua geometria, de maneira a ajustá-las a um sistema de coordenadas geográficas consideradas como referência.

As coordenadas para o registro foram obtidas a partir de pontos de controle identificáveis na imagem, sendo estes extraídos das cartas em escala 1:50.000, elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), onde é empregado o sistema de projeção UTM (Projeção Universal Transversa de Mercator). O sistema geodésico oficial brasileiro adota esse sistema de projeção com o Datum SAD69 (*South American Datum* 1969). Como as cartas da DSG são antigas, em virtude do mapeamento sistemático do Brasil ter iniciado pelo RS, adotam o Datum Córrego Alegre, foi necessário fazer ainda uma conversão de Datum nas coordenadas dos pontos de controle para não haver inconsistências com outras informações a utilizar no projeto posteriormente.

### **3.2.3- Classificação digital**

Para obtenção da área cultivada com soja, foi utilizado o método de classificação não supervisionada, utilizando um algoritmo denominado “*ISODATA*” no software Envi. Os dados foram examinados e divididos em agrupamentos espectrais naturais predominantes nas imagens, os quais receberam o mesmo código. Como os agrupamentos da classificação não supervisionada não são as classes de informação, mas categorias espectrais, foi necessário realizar uma reclassificação, através de dados de referência sobre algumas lavouras, para obter a classe soja. As demais classes foram eliminadas, obtendo-se, assim, uma imagem *booleana*, ou seja, imagem contendo apenas uma classe, neste caso soja.

### **3.2.4- Seleção das lavouras**

Em ambas imagens, foram isoladas lavouras visivelmente individualizadas (pequenas, médias e grandes), ou seja, lavouras cujos vizinhos não apresentavam cultivo semelhante. Após a fase de individualização, foi realizado a extração das coordenadas centrais das lavouras, definindo, assim, as áreas a serem medidas no trabalho de campo. Por fim, realizou-se a sobreposição da malha vetorial dos municípios, com o objetivo de

definir o melhor trajeto a ser percorrido, de forma a otimizar e agilizar o levantamento das áreas selecionadas.

### **3.2.5- Trabalho de campo**

Como descrito no item 3.2.4, foram selecionadas inicialmente 42 lavouras de soja individualizadas, localizadas em diferentes regiões da imagem, para a realização do trabalho de campo. A seleção destas lavouras deu-se preferencialmente próximo a estradas ao longo das duas cenas (22479 e 22380), com a finalidade de facilitar e agilizar o trabalho de levantamento das áreas amostrais.

Devido ao pouco tempo, condições meteorológicas e à dificuldade de acesso a algumas lavouras escolhidas, foram medidas as áreas de somente 24 lavouras (Tabela 3.1), utilizando-se GPS (*Global Position System*) de precisão topográfica MAGELLAN Promark X-CM EURO. Todas as coordenadas extraídas do levantamento com GPS foram pós-processadas com correção diferencial em *software* específico. Estes dados foram corrigidos e ajustados para o fuso 21, já que toda a cena 224-79 e metade da 223-80 estavam incluídas neste fuso.

Foram realizadas, em conjunto com a medição das lavouras, entrevistas com os proprietários das áreas, de forma a obter informações sobre data de semeadura, colheita, sistema de cultivo, ciclo dos cultivares, produção, etc.

### **3.2.6- Acurácia da classificação digital**

Nesta fase, as lavouras medidas foram cruzadas com as imagens *booleanas* da classe soja (obtidas da classificação não supervisionada), e com as imagens resultantes da composição colorida das bandas 3, 4 e 5. Desta forma, foi possível garantir que as áreas medidas eram realmente aquelas classificadas, obtendo-se os valores em hectares das lavouras nas imagens classificadas.

A verificação da acurácia da estimativa de área cultivada com soja, obtida pelo processo de classificação digital de imagens LANDSAT, foi feita através da análise de regressão linear entre a área estimada nas imagens e aquela medida em campo, sendo testado a significância do coeficiente de determinação.

**Tabela 3.1. Coordenadas das lavouras selecionadas para o trabalho de campo, datas dos levantamentos e abrangência municipal.**

<b>Lavouras</b>	<b>Coordenadas X</b>	<b>Coordenadas Y</b>	<b>Data</b>	<b>Município</b>
128	823568	6745675	8/8/00	Júlio de Castilhos
135	821648	6734335	8/8/00	Júlio de Castilhos
122	826028	6771535	10/8/00	Júlio de Castilhos
120	826868	6785095	11/8/00	Tupanciretã
141	824828	6786925	11/8/00	Tupanciretã
144	804968	6779545	11/8/00	Tupanciretã
117	853148	6824485	12/8/00	Cruz Alta
111	864278	6850135	12/8/00	Santa Bárbara
160	864638	6852295	12/8/00	Santa Bárbara
162	826268	6856045	13/8/00	Pejuçara
107	796748	6855565	13/8/00	Ijuí
108	799028	6849565	13/8/00	Ijuí
161	824048	6856435	13/8/00	Ijuí
106	794978	6856435	13/8/00	Coronel Barros
35	723266	6885749	15/8/00	Cerro Largo
38	723326	6883109	15/8/00	Cerro Largo
39	720506	6885089	15/8/00	Cerro Largo
88	713348	6887275	15/8/00	Salvador das Missões
89	707168	6887845	15/8/00	São Pedro do Butiá
63	730436	6918539	16/8/00	Santo Cristo
64	730446	6918059	16/8/00	Santo Cristo
5	748226	6944249	16/8/00	Tucunduva
7	748766	6943529	16/8/00	Tucunduva
9	747986	6928769	17/8/00	Tuparendi

### **3.3- Monitoramento da cultura da soja**

Da mesma forma que o item 3.2, a aquisição das imagens, georreferenciamento e obtenção de imagens decendiais de índice de vegetação foram efetuados por outros membros da equipe do projeto de Monitoramento e Previsão de Safra de Soja, sendo parte de seus resultados utilizados para desenvolvimento deste trabalho.

### 3.3.1- Aquisição das imagens

No período de setembro de 1999 a março de 2000 imagens NOAA, obtidas pela estação de recepção de imagens NOAA pertencente ao CEPARM/UFRGS, foram utilizadas no monitoramento do crescimento das plantas. O sistema é constituído de um prato coletor de 1,52m de diâmetro, com receptor de microondas operando no domínio de frequências entre 1670 e 1735 MHz, estando apto a receber emissões dos satélites da série NOAA (NOAA-10, NOAA-12, NOAA-14, NOAA-15 e NOAA-16). A recepção das imagens NOAA procedeu-se no formato HRTP (*High Resolution Picture Transmission*), sendo posteriormente efetuado o processamento para as correções da distorção panorâmica e radiância para as bandas 1 e 2, bem como ângulo de incidência solar.

### 3.3.2- Georreferenciamento

Na correção geométrica, foi utilizada uma transformação polinomial de terceiro grau, utilizando a projeção geográfica, esferóide WGS 84 e Datum WGS 84, usando os parâmetros da órbita do satélite obtidos de um arquivo gerado no momento da aquisição da imagem. A reconstrução da imagem foi efetuada por interpolação, utilizando-se o algoritmo de vizinho mais próximo, sendo aproximada para uma resolução espacial equivalente a 2,0 Km.

### 3.3.3- Obtenção de imagens decendiais de índice de vegetação

O NDVI foi obtido pela relação:

$$NDVI = \left( \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \right) \quad (3.1)$$

Onde  $\rho_V$  e  $\rho_{IV}$  representam as reflectâncias da banda 1 (0,58 a 0,68  $\mu\text{m}$ ) e banda 2 (0,725 a 1,1 $\mu\text{m}$ ) do AVHRR/NOAA, respectivamente. As imagens foram padronizadas para um intervalo de NDVI, que oscilou de -1,0 a +1,0.

A partir das imagens de NDVI diárias, foram geradas imagens de composição decendial, na qual cada *pixel*, geograficamente registrado, correspondeu ao maior NDVI observado ao longo de dez dias consecutivos. O processo de composição registrou cada

imagem diária em uma base cartográfica, de forma que um *pixel* na imagem, em várias datas, correspondeu exatamente à mesma localização no terreno.

#### **3.3.4- Extração de dados espectrais**

De cada imagem decenal, foram extraídos valores de NDVI, utilizando-se uma janela de amostragem de  $3 \times 3$  *pixels*, sendo o *pixel* central localizado sobre as lavouras selecionadas para a medição da área cultivada nas imagens LANDSAT.

Estas janelas de amostragem foram obtidas através de uma coordenada central extraída das imagens NOAA, totalizando 18 janelas (17 com lavouras medidas e 1 com elevada presença de soja). Posteriormente, projetou-se as coordenadas das janelas NOAA, que estavam em latitude/longitude, para coordenadas UTM, sendo assim recortadas nas imagens LANDSAT (Tabela 3.2).

#### **3.3.5- Análise dos perfis espectrais para o monitoramento da soja**

Os valores de NDVI da janela de amostragem foram expressos na forma de gráfico, em função do tempo, obtendo-se os perfis espectrais no período de setembro de 1999 a março de 2000. Devido à variação dos perfis decenais, foram também confeccionados gráficos com os perfis máximos mensais, minimizando, desta forma, a interferência atmosférica, especialmente aquela devido à nebulosidade.

Posteriormente, foram identificados grupos com semelhante padrão de evolução de NDVI. O método de agrupamento foi o de *Ward*, onde as 18 janelas foram agrupadas em 5 e 3 grupos obtidos através de um corte subjetivo no dendograma (DINIZ, 1994).

O perfil espectral de cada grupo foi, então, obtido pela média aritmética do NDVI das janelas pertencentes ao grupo e expressos na forma gráfica. Por fim, foi realizada uma análise de correlação entre a área cultivada com soja e o NDVI integrado nos períodos de setembro a março, outubro a março, dezembro a março, janeiro a março e fevereiro a março. Para o período de maior correlação, foi ajustada uma equação linear simples entre a área cultivada com soja; e NDVI para as janelas com mais de 300 ha cultivados com soja, conforme classificação digital das imagens LANDSAT.

**Tabela 3.2. Coordenadas mínimas e máximas (projeção UTM, datum SAD 69, fuso 21) das janelas amostrais obtidas de imagens LANDSAT selecionadas para geração dos perfis espectrais.**

<b>Janela</b>	<b>X<sub>mínimo</sub></b>	<b>X<sub>máximo</sub></b>	<b>Y<sub>mínimo</sub></b>	<b>Y<sub>máximo</sub></b>
1	819758,7000	823568,6850	6733195,2252	6737815,2070
2	822038,7000	825848,6850	6744295,2252	6748915,2070
3	822788,7010	826628,6859	6771055,2252	6775675,2070
4	823678,7010	827488,6860	6784435,2252	6789055,2070
5	801828,7010	805668,6859	6778345,2251	6782935,2070
6	849898,7010	853738,6859	6823885,2252	6828505,2070
7	858428,7010	862268,6859	6845905,2252	6850525,2070
8	862498,7010	866338,6859	6849345,0182	6853965,0000
9	822988,7010	826858,6858	6853675,2252	6858295,2070
10	793158,7010	797028,6858	6854455,2251	6859045,2070
11	797318,7010	801158,6859	6847615,2251	6852205,2070
12	746023,6270	749923,6117	6942487,6739	6947046,6560
13	729583,6270	733483,6117	6914636,6739	6919196,6560
14	703743,6270	707583,6119	6887126,6639	6891686,6460
15	711223,6270	715063,6119	6885186,6739	6889746,6560
16	717493,6270	721393,6117	6882016,6319	6886576,6560
17	722663,6270	726563,6117	6881756,6739	6886316,6560
18	744953,4993	748793,4244	6928326,1559	6932886,1379



## IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1- Imagens LANDSAT

A primeira imagem, Figura 4.1, órbita ponto 223-80, de 29 de janeiro de 2000, foi georreferenciada utilizando-se 122 pontos de controle identificáveis tanto nas cartas-base (sistema de coordenadas UTM – *Projeção Universal Transversa de Mercator*) como na imagem LANDSAT, obtendo-se, assim, 244 pares de dados. O modelo de registro utilizado para ajustar a imagem à base, a partir das coordenadas desses pontos, foi um polinômio de primeiro grau com reamostragem por vizinho mais próximo. O erro médio quadrático (RMS) de registro obtido foi de 2,59 *pixels* ou 77,7 m.

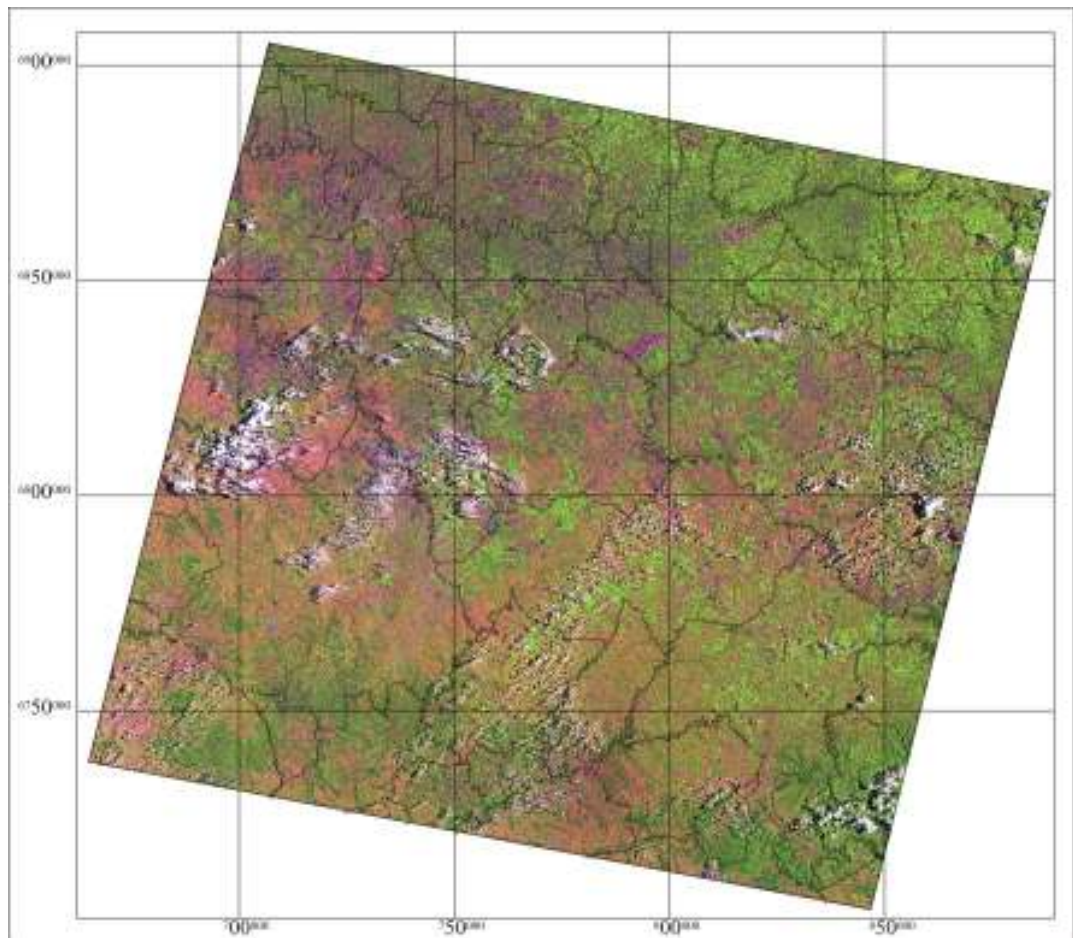
A segunda imagem, Figura 4.2, órbita ponto 224-79, de 05 de fevereiro de 2000, foi georreferenciada utilizando-se 58 pontos de controle identificáveis tanto nas cartas-base (sistema de coordenadas UTM - *Projeção Universal Transversa de Mercator*) como na imagem LANDSAT, obtendo-se, assim, 116 pares de dados. O modelo de registro utilizado para ajustar a imagem à base, a partir das coordenadas desses pontos, foi um polinômio de primeiro grau com reamostragem por vizinho mais próximo. O erro médio quadrático (RMS) de registro obtido foi de 4,73 *pixels*, ou 141,9 metros. O RMS elevado da segunda imagem ocorreu devido à sua localização, pois, estando grande parte da imagem inserida na Argentina, havia poucos pontos de controle para o georreferenciamento.

A precisão efetiva do registro foi verificada com a sobreposição da malha municipal digital do Rio Grande do Sul à imagem georreferenciada (Figuras 4.1 e 4.2), através do que se constatou um bom ajuste, exceto nas bordas da imagem, onde ocorreram alguns desvios.

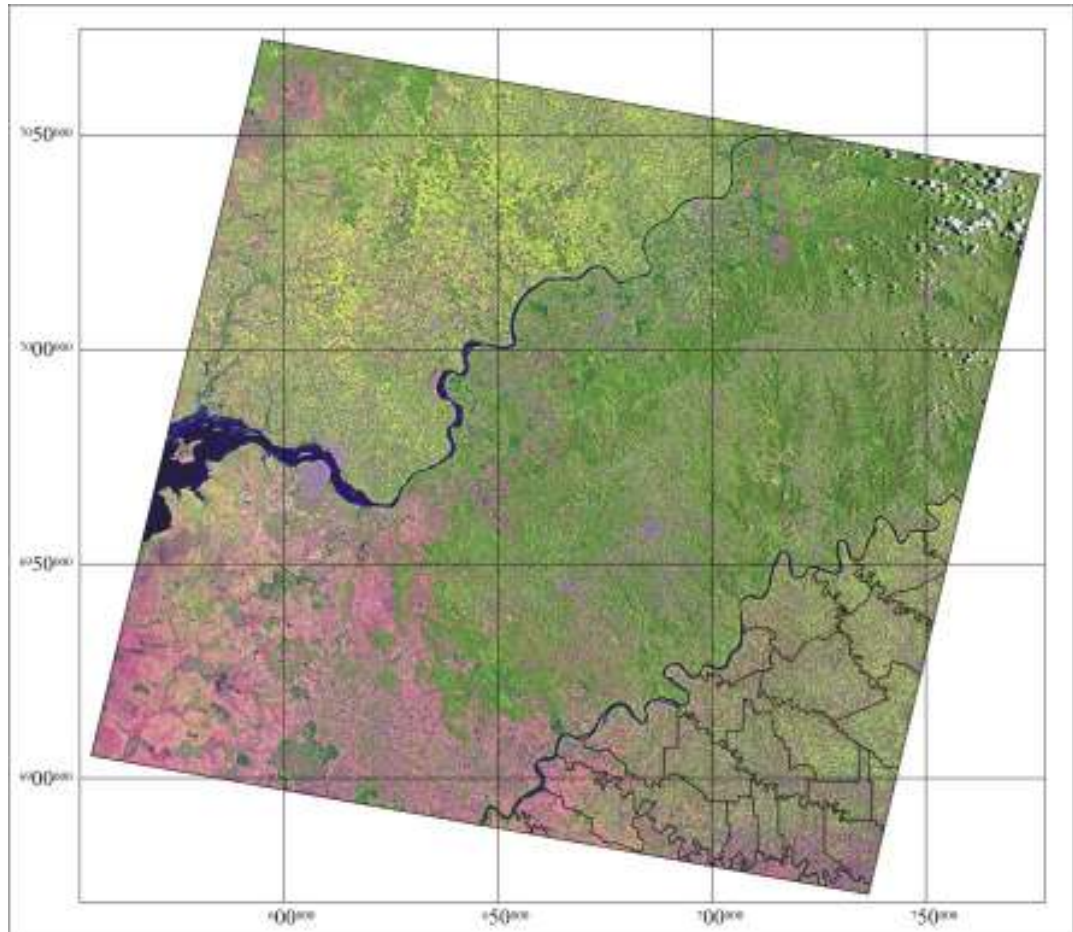
A área cultivada com soja, obtida a partir da classificação não supervisionada das imagens pode ser visualizada nas Figuras 4.3 e 4.4.

Conforme FONTANA et al.(2001) salientaram, os agrupamentos que a classificação não supervisionada produziu não são classes de informação, mas sim,

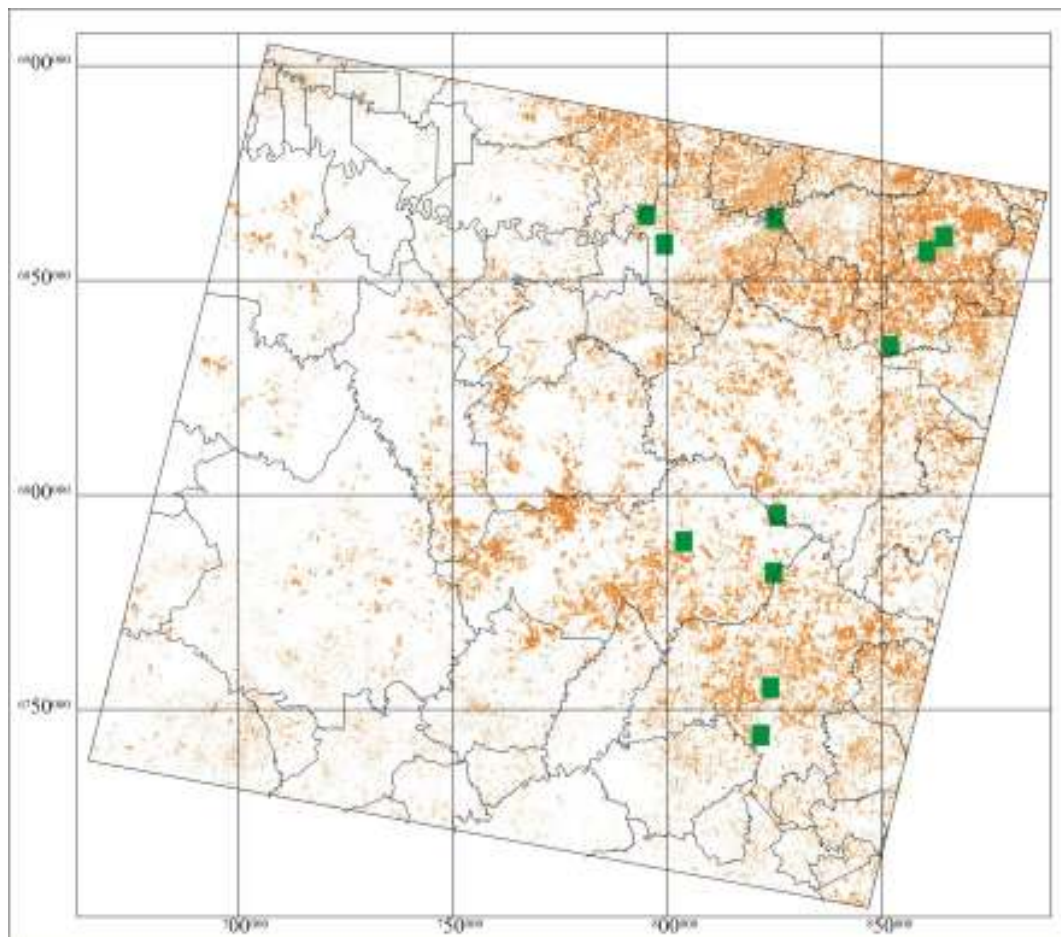
categorias espectrais. Sendo assim, uma vez individualizados, foi possível relacionar esses agrupamentos às classes de cobertura do solo, através da familiaridade com a região estudada. Como as classes de interesse eram referentes à soja, foi necessário efetuar uma reclassificação das classes espectrais para obter as classes de informação, ou classes temáticas de soja, resultando em uma imagem *booleana*.



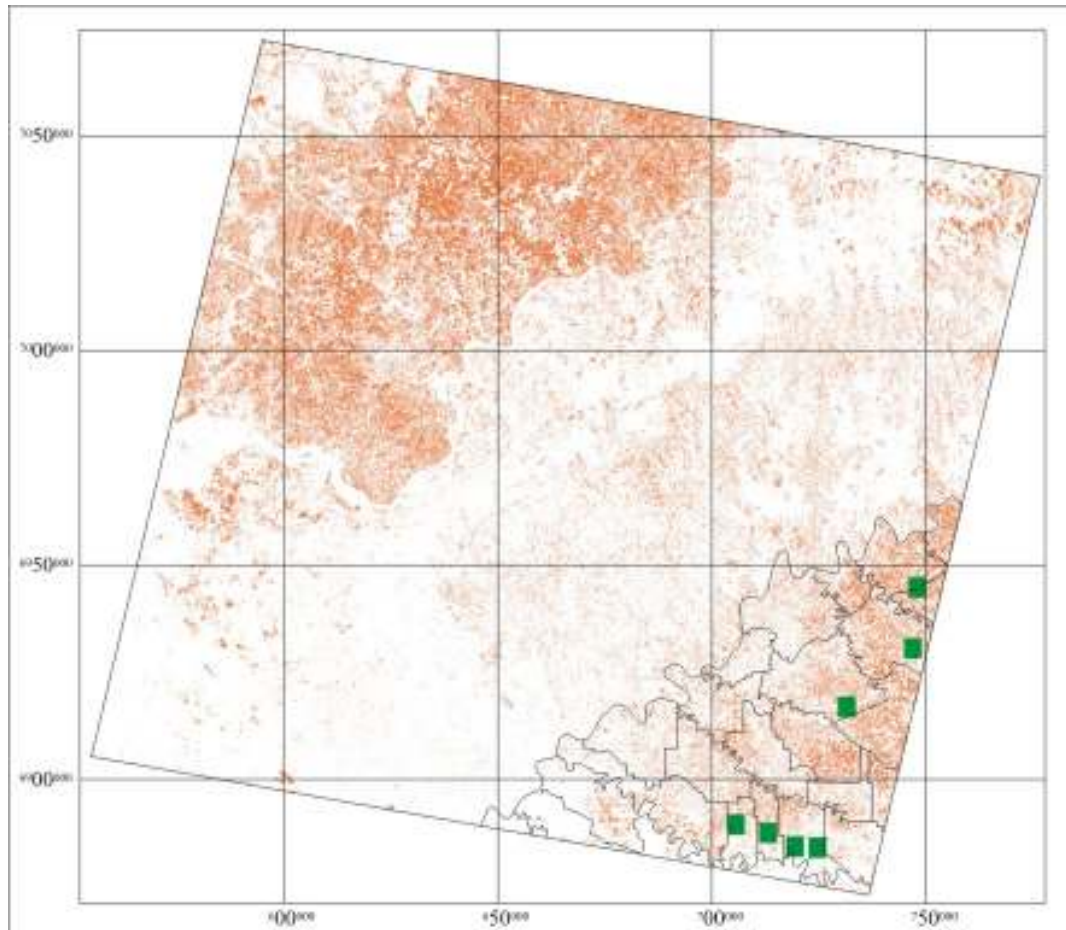
**Figura 4.1. Imagem LANDSAT órbita ponto 223-80 de 29 de janeiro de 2000, composição colorida RGB 543, georreferenciada, com a malha municipal sobreposta.**



**Figura 4.2. Imagem LANDSAT órbita ponto 224-79 de 05 de fevereiro de 2000, composição colorida RGB 543, georreferenciada, com a malha municipal sobreposta.**



**Figura 4.3.** Classe temática soja, obtida por classificação não supervisionada da imagem LANDSAT órbita ponto 223-80 de 29 de janeiro de 2000, georreferenciada e com malha municipal sobreposta.



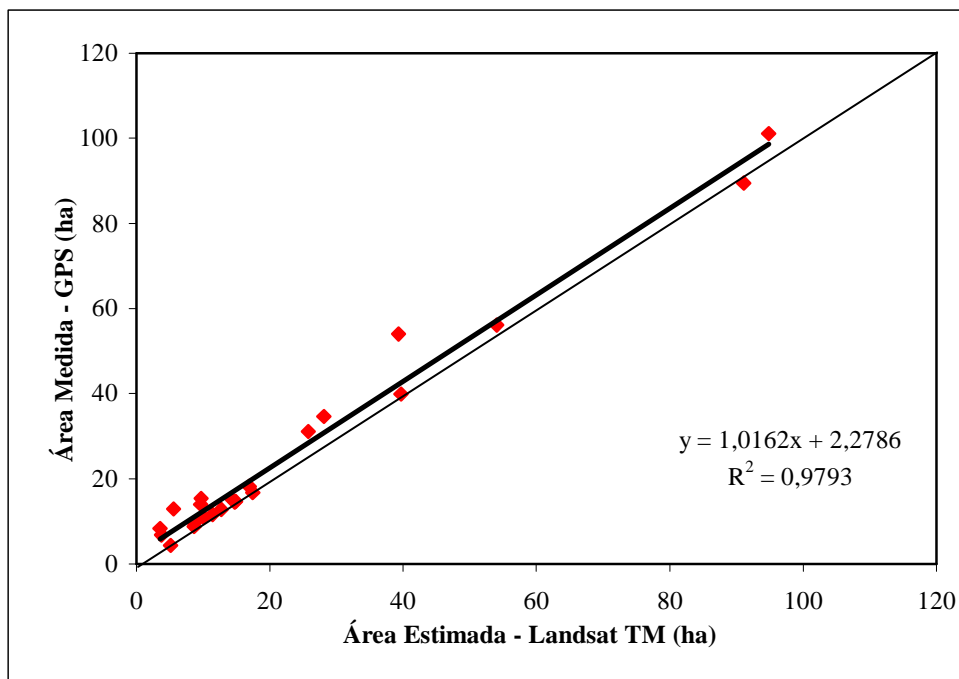
**Figura 4.4. Classe temática soja, obtida por classificação não supervisionada da imagem LANDSAT órbita ponto 224-79 de 05 de fevereiro de 2000, georreferenciada e com malha municipal sobreposta.**

No levantamento de campo, foram percorridos aproximadamente 3000 Km em dez dias, partindo de Santa Maria até a beira do Rio Uruguai, no município de Tuparendi, onde foi medida a última lavoura. A escolha prévia do roteiro a ser seguido foi fundamental para a agilidade do trabalho, localizando-se com facilidade todas as áreas que foram levantadas. Uma das principais dificuldades encontradas foi devido à colocação da base do sistema de posicionamento global (GPS), pois, sendo um equipamento delicado e caro, o local deveria ser seguro, devendo, para isto, encontrar o proprietário ou o funcionário responsável pelas lavouras para cuidá-las enquanto o levantamento estivesse sendo realizado. Outra dificuldade foi encontrar os proprietários ou arrendatários para realizar as entrevistas, já que estas gerariam informações valiosas para uma avaliação precisa dos dados.

A Tabela 4.1 e a Figura 4.5 mostram os resultados obtidos da análise de regressão linear entre a área medida das lavouras de soja e aquela obtida através da classificação digital das imagens LANDSAT. Verificou-se que a estimativa de área cultivada com soja pela classificação digital foi acurada. As diferenças obtidas variaram de -1,57 ha a 14,71 ha, totalizando 61,14 ha. As pequenas discrepâncias verificadas entre a área de soja estimada e a medida com GPS poderiam ser minimizadas com uma avaliação multitemporal. As lavouras que apresentaram as maiores diferenças (128, 120, 141, 144, 111, 107, 108, 106 e 39) foram aquelas que sofreram ataque de lagartas e gafanhotos, principalmente nas encostas de banhados. Além disso, devido à resolução espacial, não foi possível detectar estes problemas gerando assim diferenças que prejudicaram a estimativa.

O coeficiente de determinação da regressão linear entre os dois métodos de obtenção da área cultivada foi altamente significativo ( $R^2 = 0,9793$ ), demonstrando que o processo de classificação não supervisionada em imagens LANDSAT é muito útil e pode contribuir grandemente em programas de previsão de safras de soja.

É importante salientar que as áreas cultivadas com soja em lavouras de pequena, média e grande áreas foram muito próximas daquelas medidas a campo (Figura 4.5). O coeficiente angular da reta de regressão linear foi muito próximo de 1, o que demonstra a precisão do método de estimativa da área cultivada através das imagens LANDSAT.



**Figura 4.5.** Regressão linear entre as áreas de lavouras de soja medida com GPS e estimada por classificação digital de imagens LANDSAT no estado do Rio Grande do Sul. Safra 1999/2000.

**Tabela 4.1. Áreas de lavouras de soja medida com GPS e estimada por classificação digital de imagens LANDSAT no estado do Rio Grande do Sul. Safra 1999/2000.**

<b>Lavouras</b>	<b>Área Estimada (ha)</b>	<b>Área Medida (ha)</b>	<b>Diferença (ha)</b>
<b>122</b>	39,69	39,89	0,20
<b>128</b>	39,33	54,04	14,71
<b>135</b>	11,43	11,63	0,20
<b>120</b>	5,58	12,87	7,29
<b>141</b>	94,86	101,06	6,20
<b>144</b>	9,72	15,38	5,66
<b>117</b>	54,00	56,07	2,07
<b>111</b>	28,08	34,60	6,52
<b>160</b>	91,08	89,51	-1,57
<b>162</b>	14,40	15,06	0,66
<b>107</b>	3,51	8,34	4,83
<b>108</b>	25,74	31,17	5,43
<b>161</b>	14,85	14,66	-0,19
<b>106</b>	3,78	6,83	3,05
<b>35</b>	12,69	12,75	0,06
<b>38</b>	8,64	9,60	0,96
<b>39</b>	9,63	13,95	4,32
<b>88</b>	10,08	10,97	0,89
<b>89</b>	17,46	16,81	-0,65
<b>63 e 64</b>	16,92	18,24	1,32
<b>9</b>	5,13	4,36	-0,77
<b>5</b>	14,76	14,51	-0,25
<b>7</b>	8,64	8,82	0,18
<b>Área Total (ha)</b>	<b>540,00</b>	<b>601,14</b>	<b>61,14</b>

#### **4.1- Imagens NOAA**

Nas figuras 4.6 a 4.23, são apresentados, para cada janela de amostragem, os comportamentos espectrais dos alvos definindo a aparência da imagem LANDSAT, da imagem NOAA e dos perfis espectrais de máximo NDVI decendial e mensal. Observa-se que as janelas de amostragem mostraram padrões muito distintos, sendo que a área ocupada com soja nas janelas amostrais variou de 61,47 ha a 1.054,35 ha. Também nestas figuras pode-se observar que houve grandes diferenças quanto ao tipo de uso e cobertura no entorno das lavouras selecionadas. Os valores de NDVI de setembro a março, entre as janelas amostrais, mostram variações, o que, possivelmente, foi



conseqüência das condições distintas de uso e ocupação do solo nas vizinhanças das lavouras de soja e também devido à interferência atmosférica diferenciada. Isto significa que, em alguns casos, nos dez dias consecutivos utilizados na confecção da imagem da composição decendial, houve redução no NDVI, devido à interferência atmosférica, provavelmente pela presença de nuvens persistentes no período. Desta forma, foi também utilizada uma composição de máximo mensal do NDVI, com intuito de minimizar a influência das nuvens e permitir a análise do padrão espectral definido pelo tipo de ocupação do solo.

Devido à quantidade de janelas amostradas e a dificuldade de análise dos resultados, foi realizada uma análise de agrupamento, visto que, segundo CURI (1983), esse tipo de análise tem por finalidade, a partir de um conjunto de unidades conhecidas somente por uma listagem de seus caracteres, encontrar a melhor maneira de descrever seus padrões de similaridades mútuas.

A Figura 4.24 mostra um dendrograma obtido pelo método de agrupamento de *Ward*, considerando como variável o NDVI máximo mensal das diferentes janelas de amostragem e como medida de proximidade a distância euclidiana. A escala vertical à esquerda indica o nível de similaridade, pois a cada partição corresponde um valor numérico, que representa o nível no qual ocorrem os agrupamentos. Quanto mais elevado o índice, mais heterogêneas as parte agrupadas. Esse índice é também chamado nível de agregação. No eixo horizontal, são marcados os elementos em uma ordem conveniente de formação dos grupos; no caso exemplificado, as 18 janelas de amostragem.

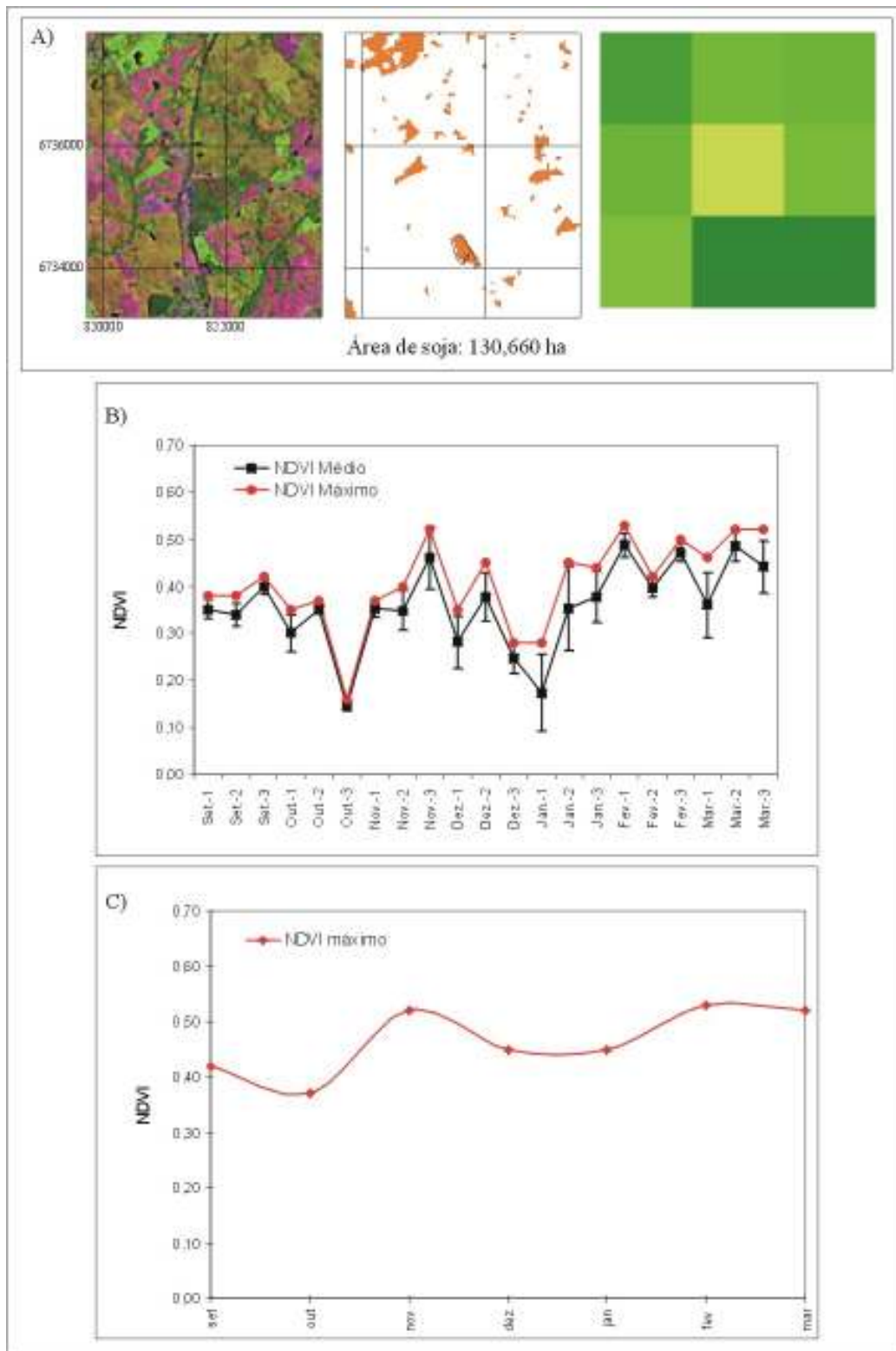
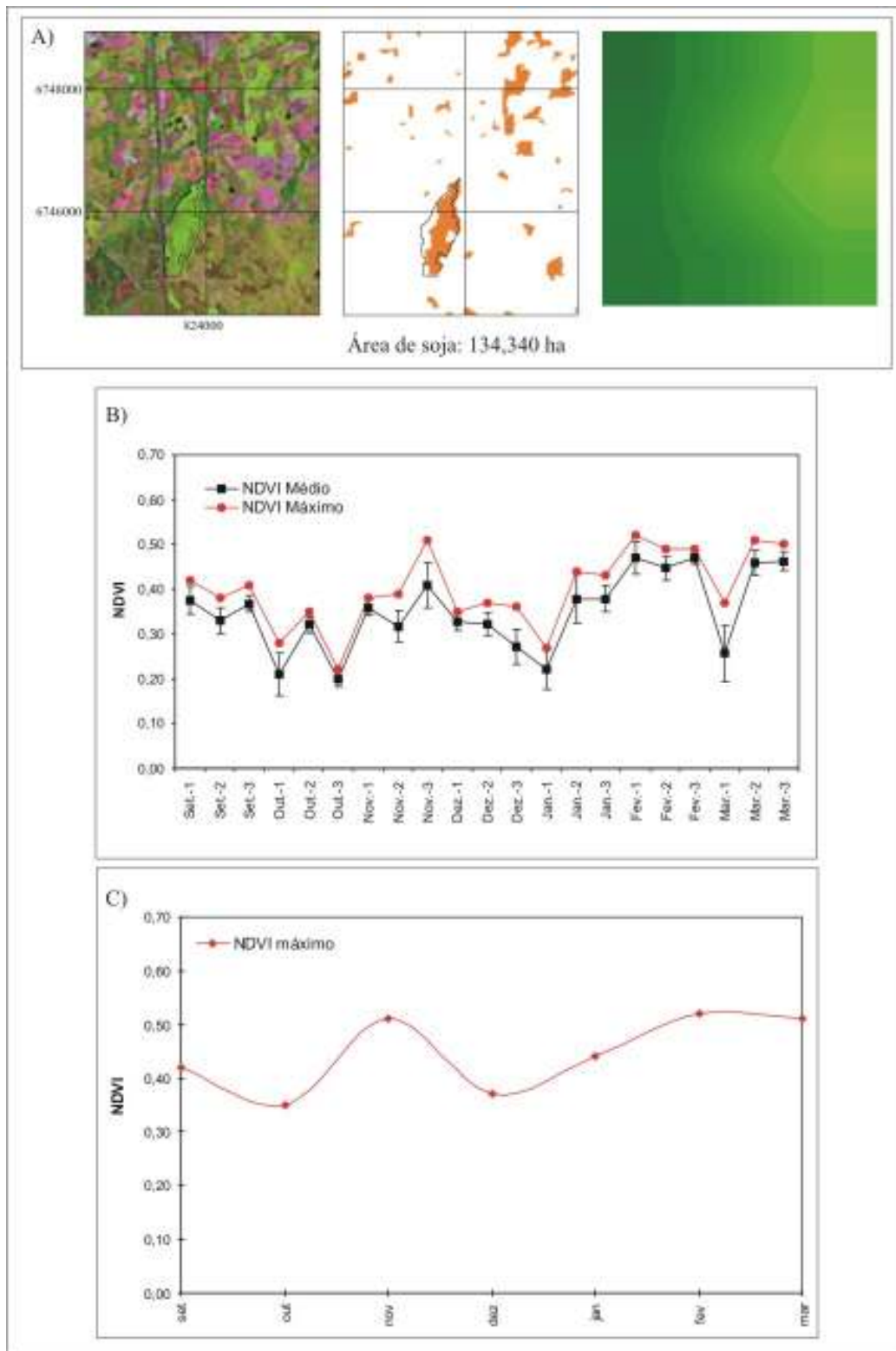
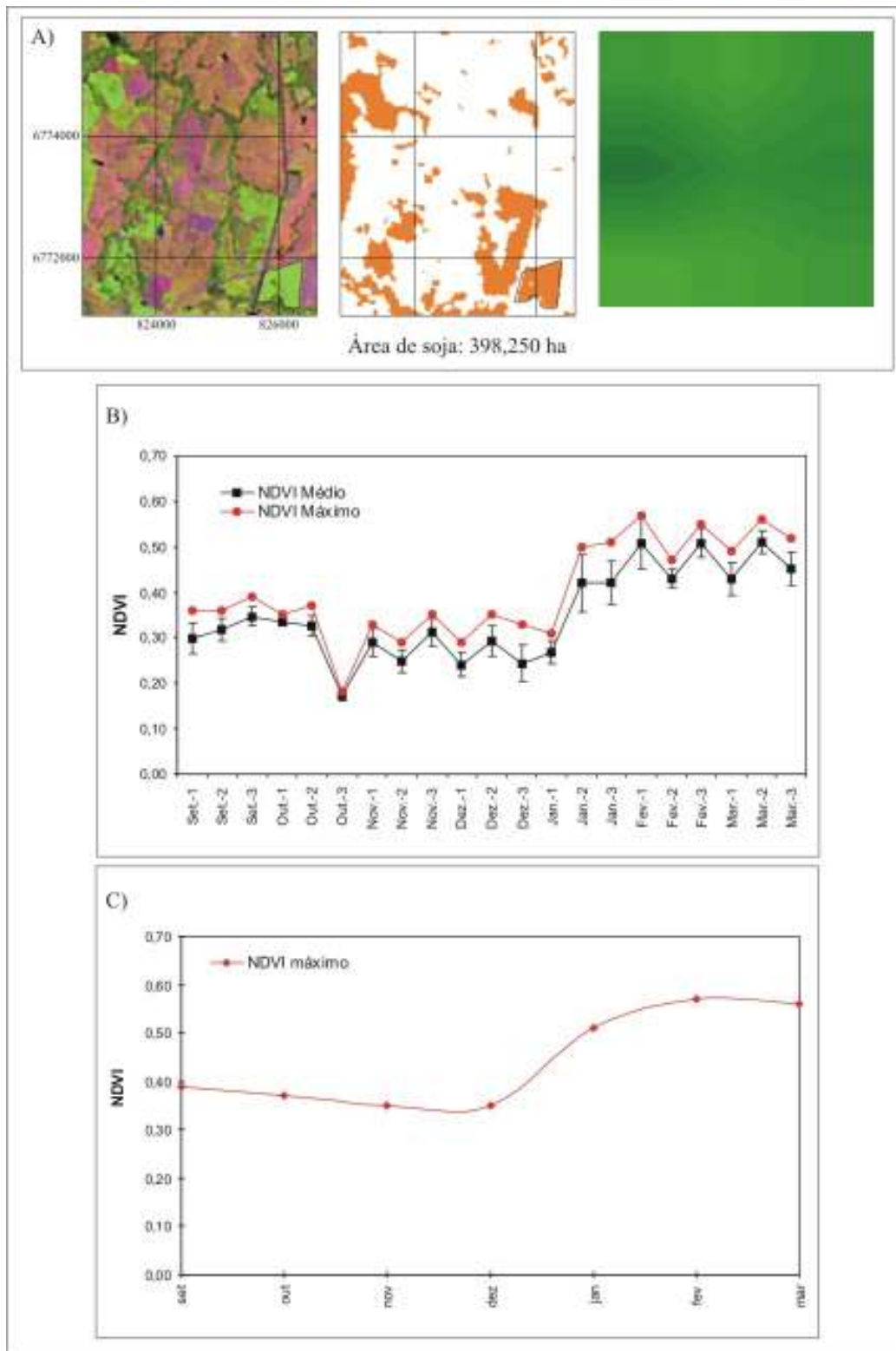


Figura 4.6. Janela de amostragem nº 01: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).



**Figura 4.7.** Janela de amostragem nº 02: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).



**Figura 4.8.** Janela de amostragem nº 03: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

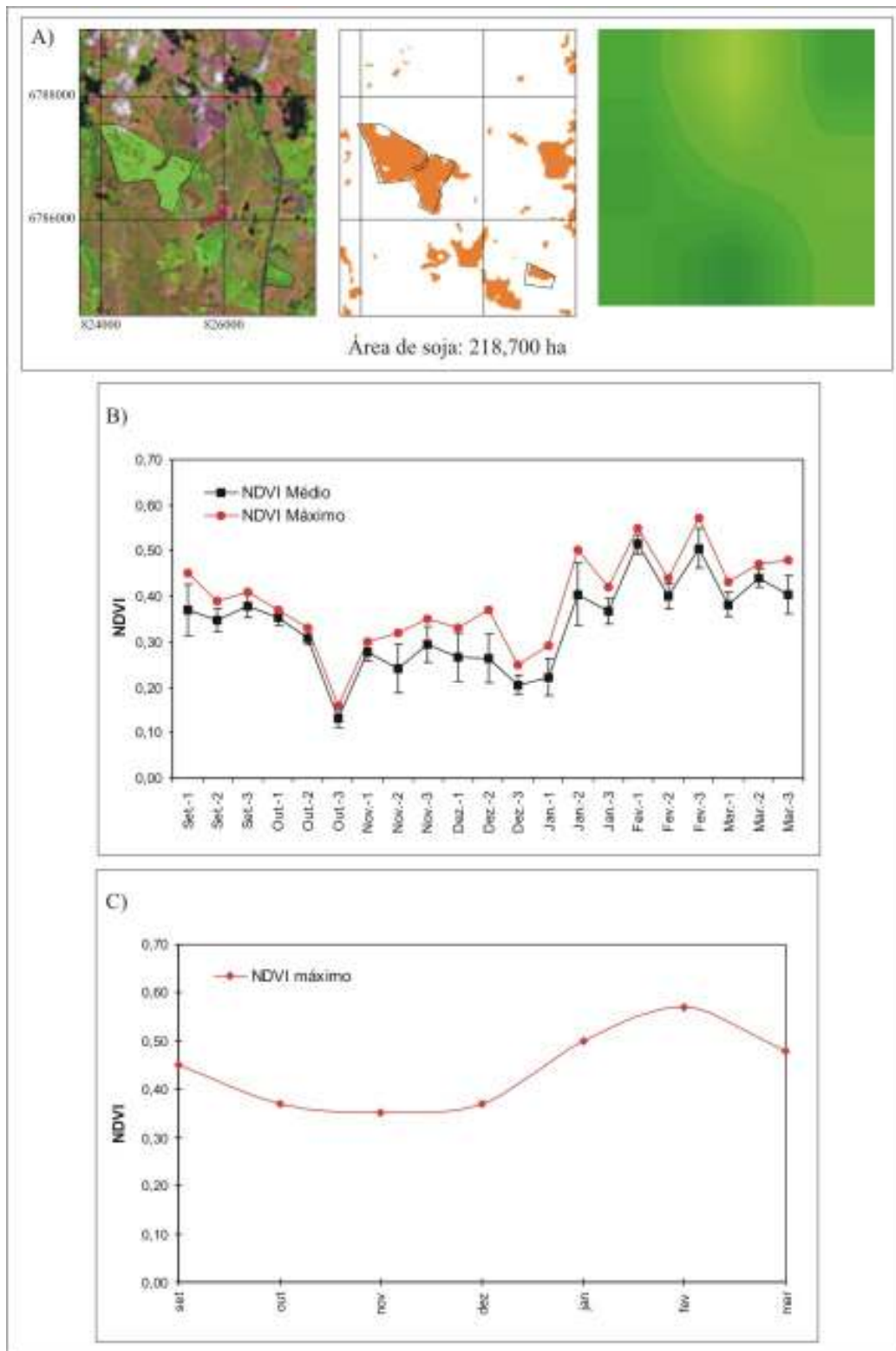


Figura 4.9. Janela de amostragem nº 04: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

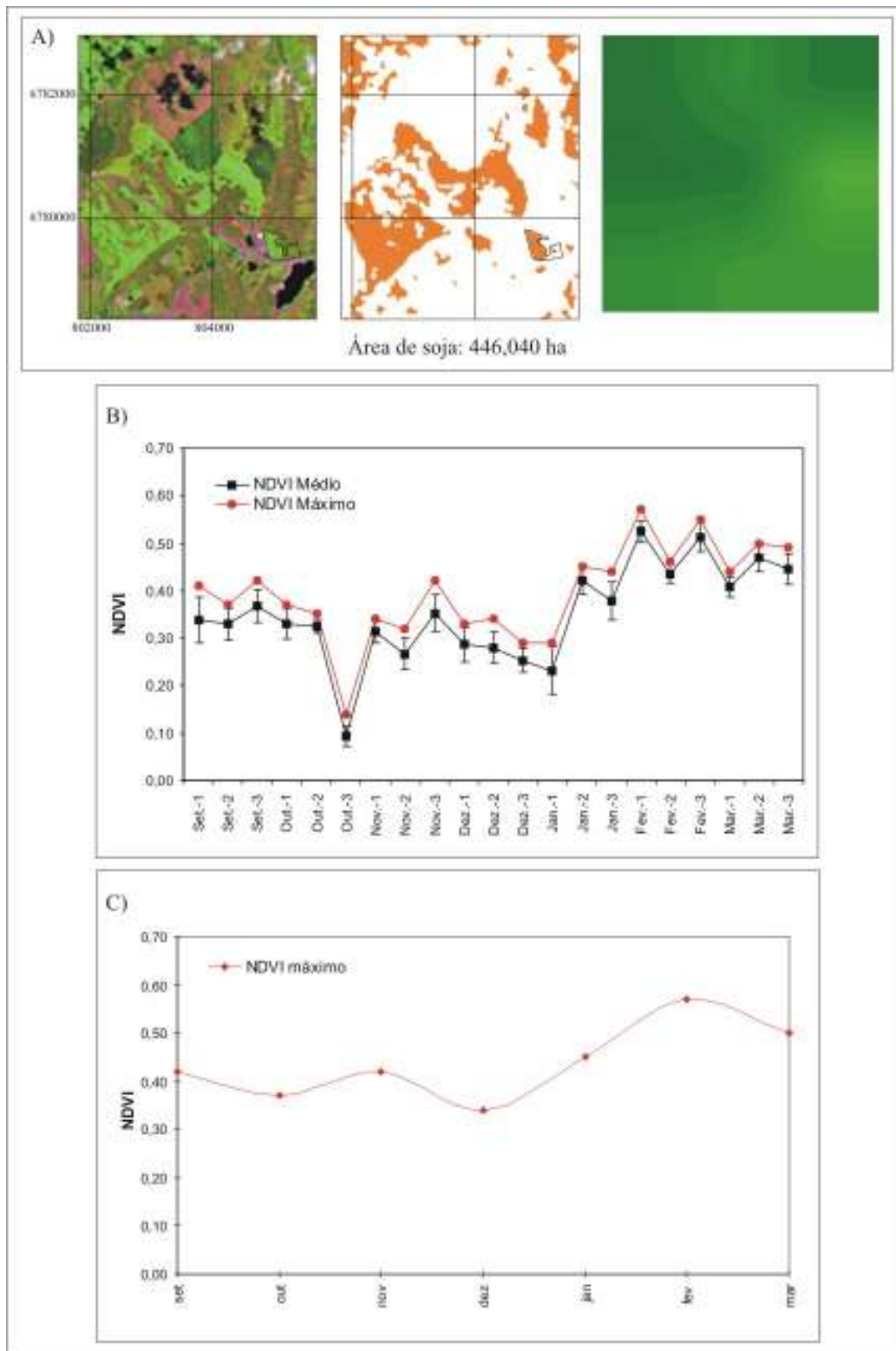


Figura 4.10. Janela de amostragem nº 05: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

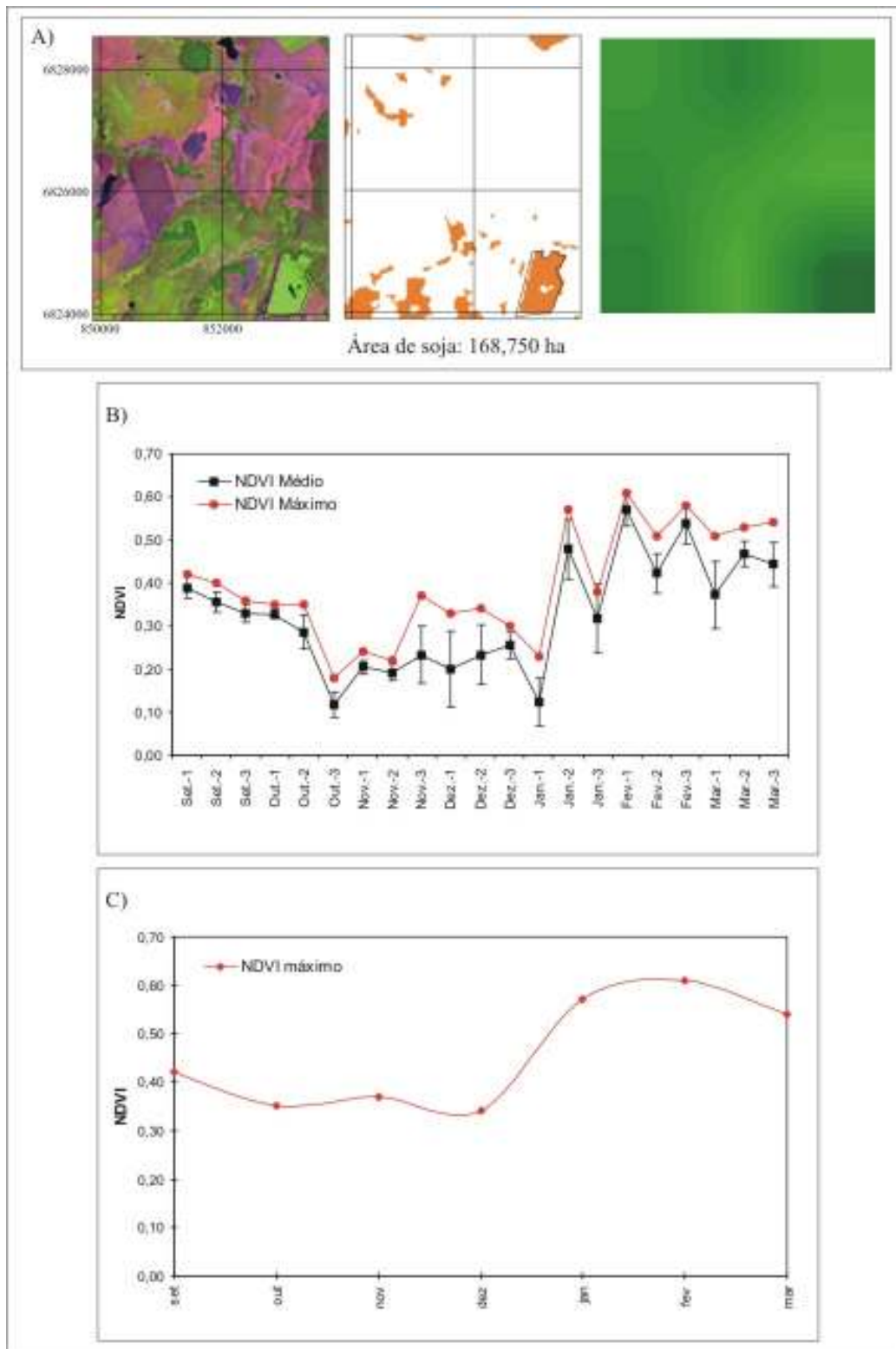


Figura 4.11. Janela de amostragem nº 06: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decenal e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

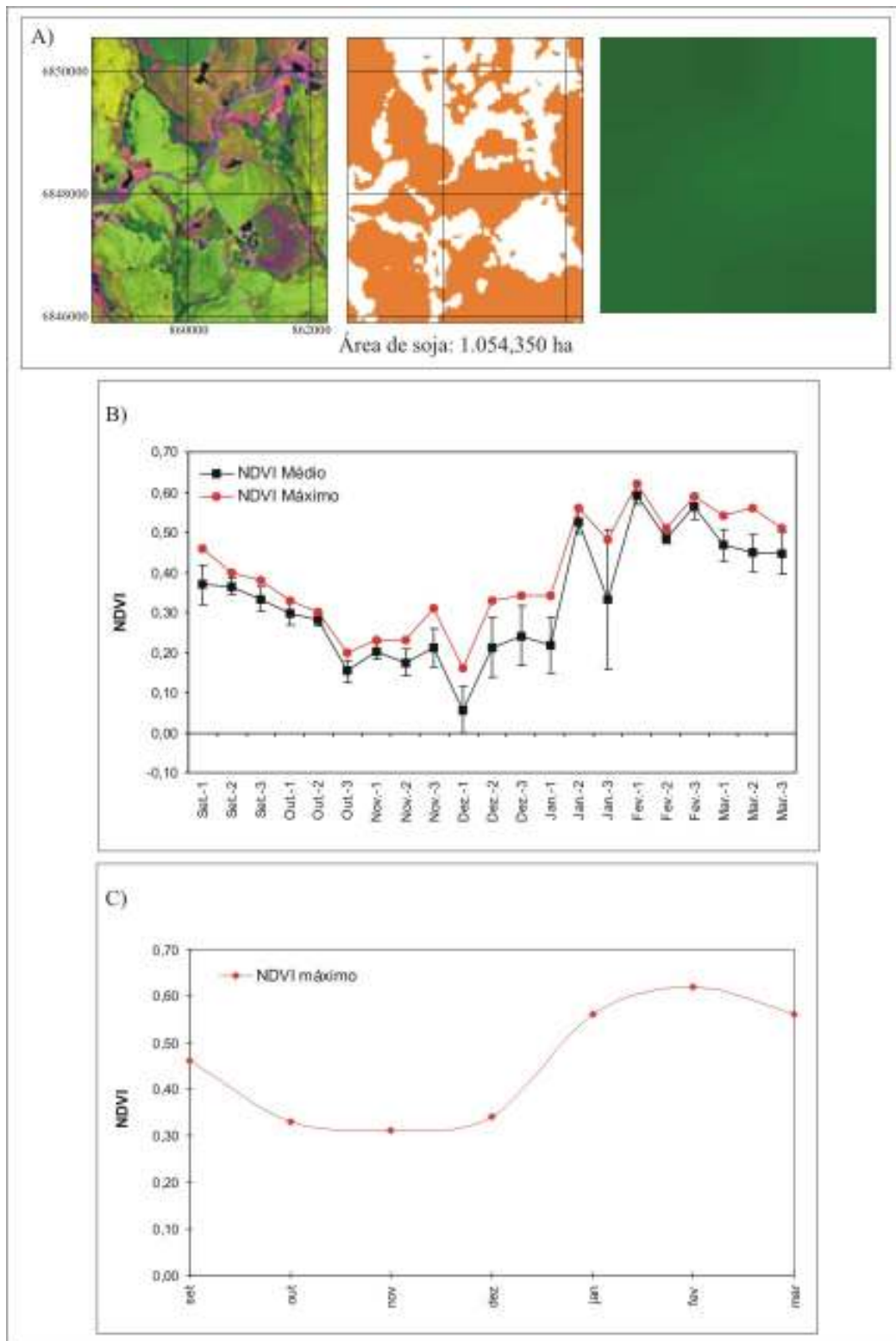


Figura 4.12. Janela de amostragem nº 07: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).



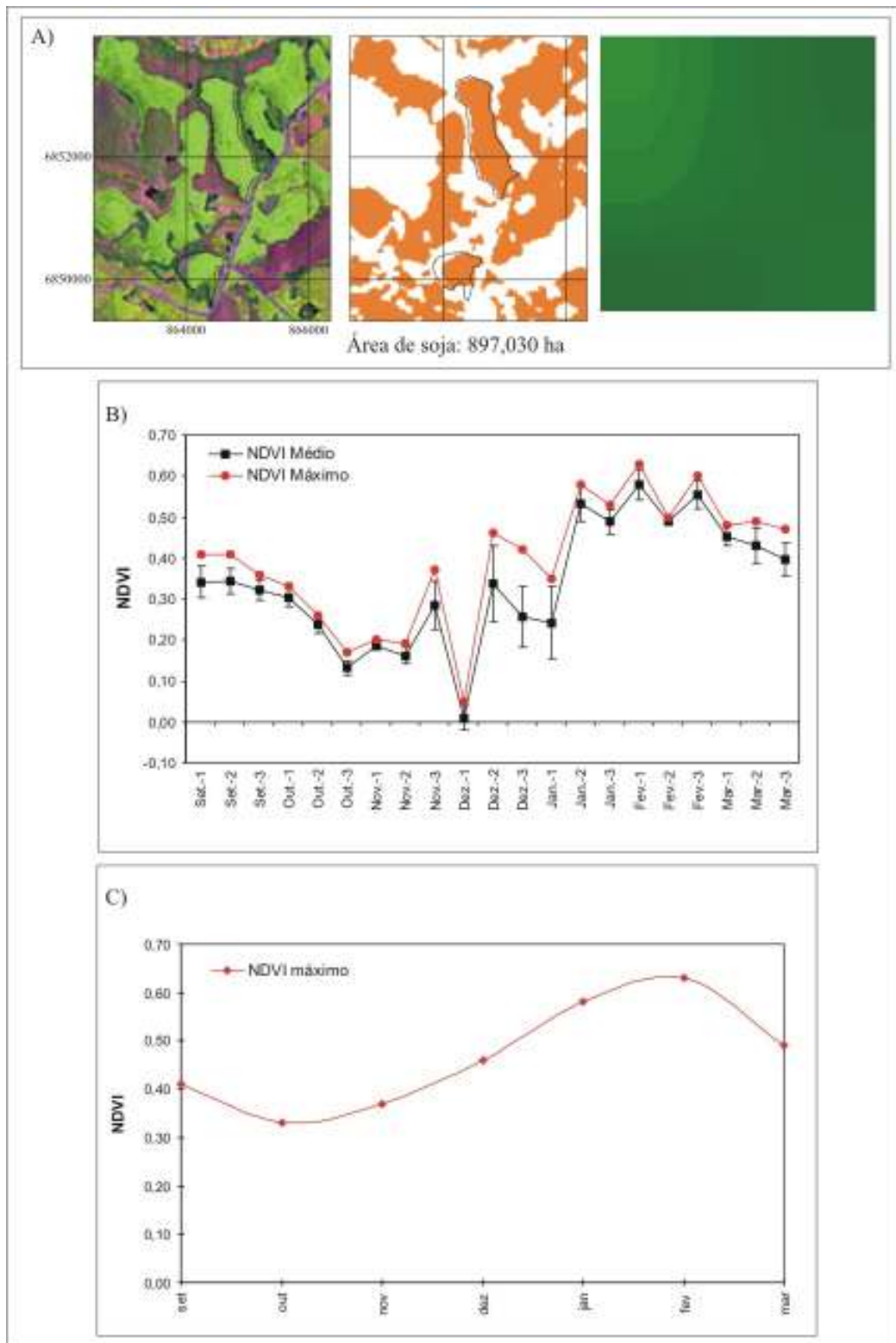


Figura 4.13. Janela de amostragem nº 08: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

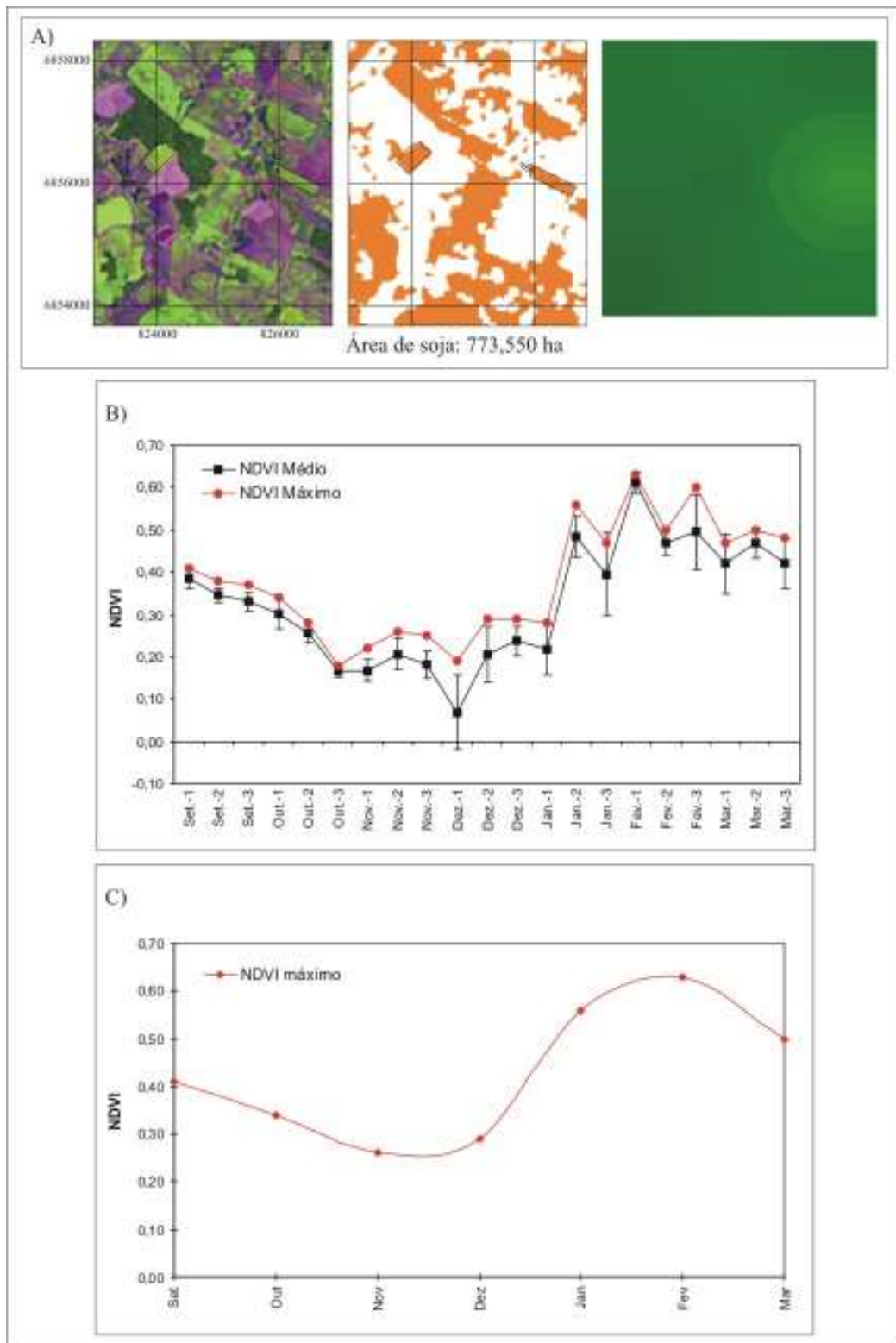


Figura 4.14. Janela de amostragem nº 09: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

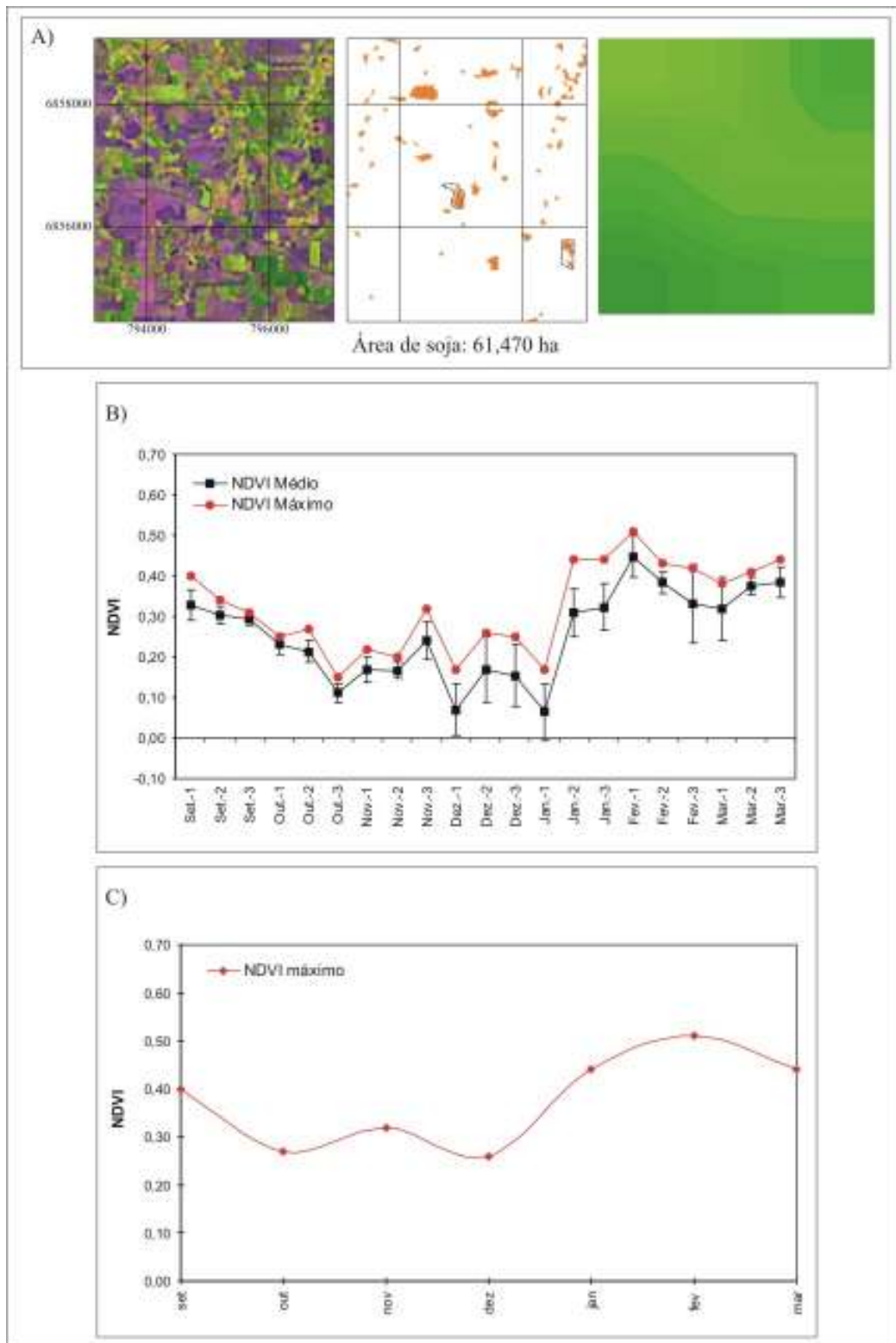


Figura 4.15. Janela de amostragem nº 10: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

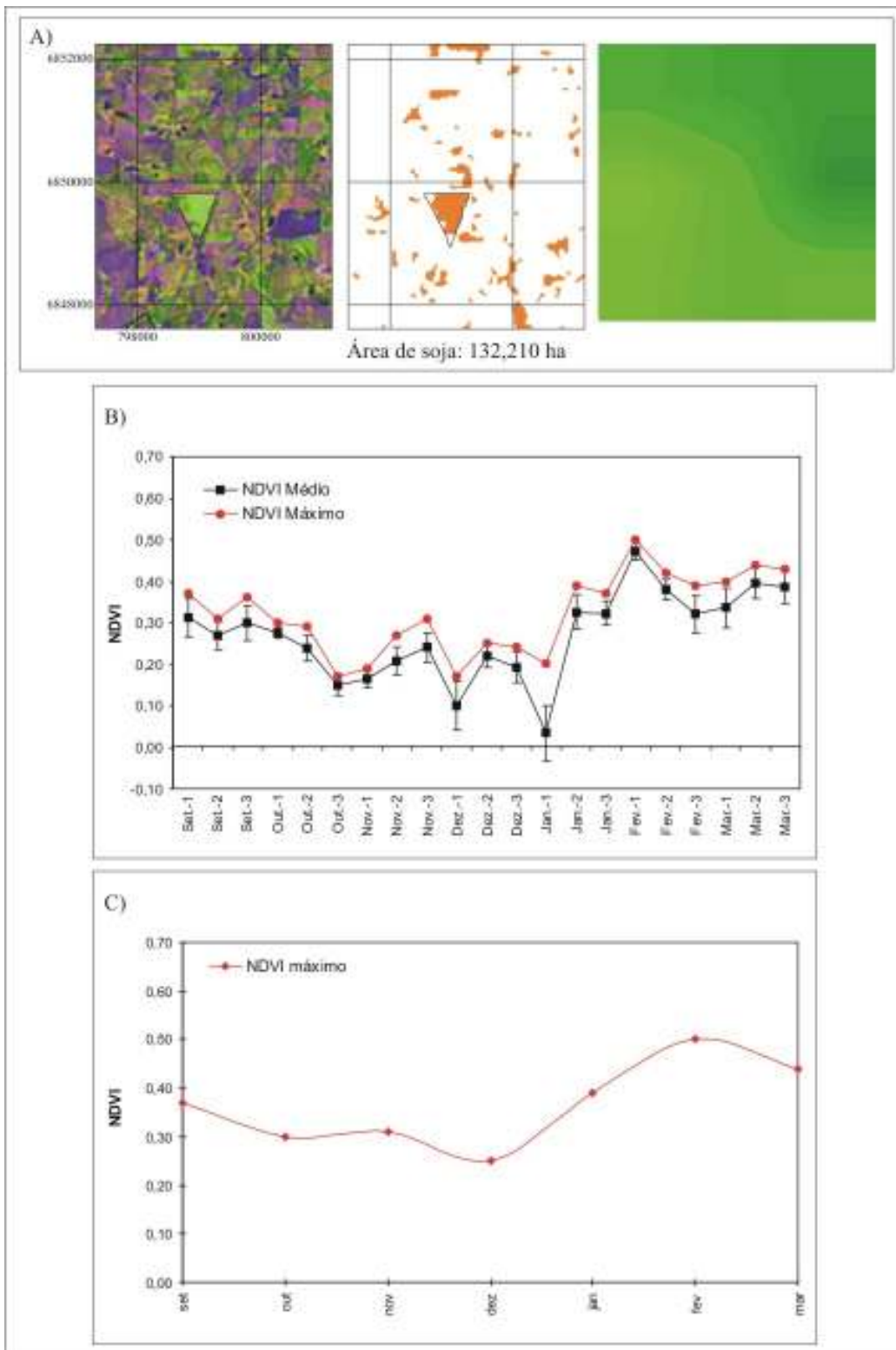


Figura 4.16. Janela de amostragem nº 11: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 223-80 (29/01/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decenal e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

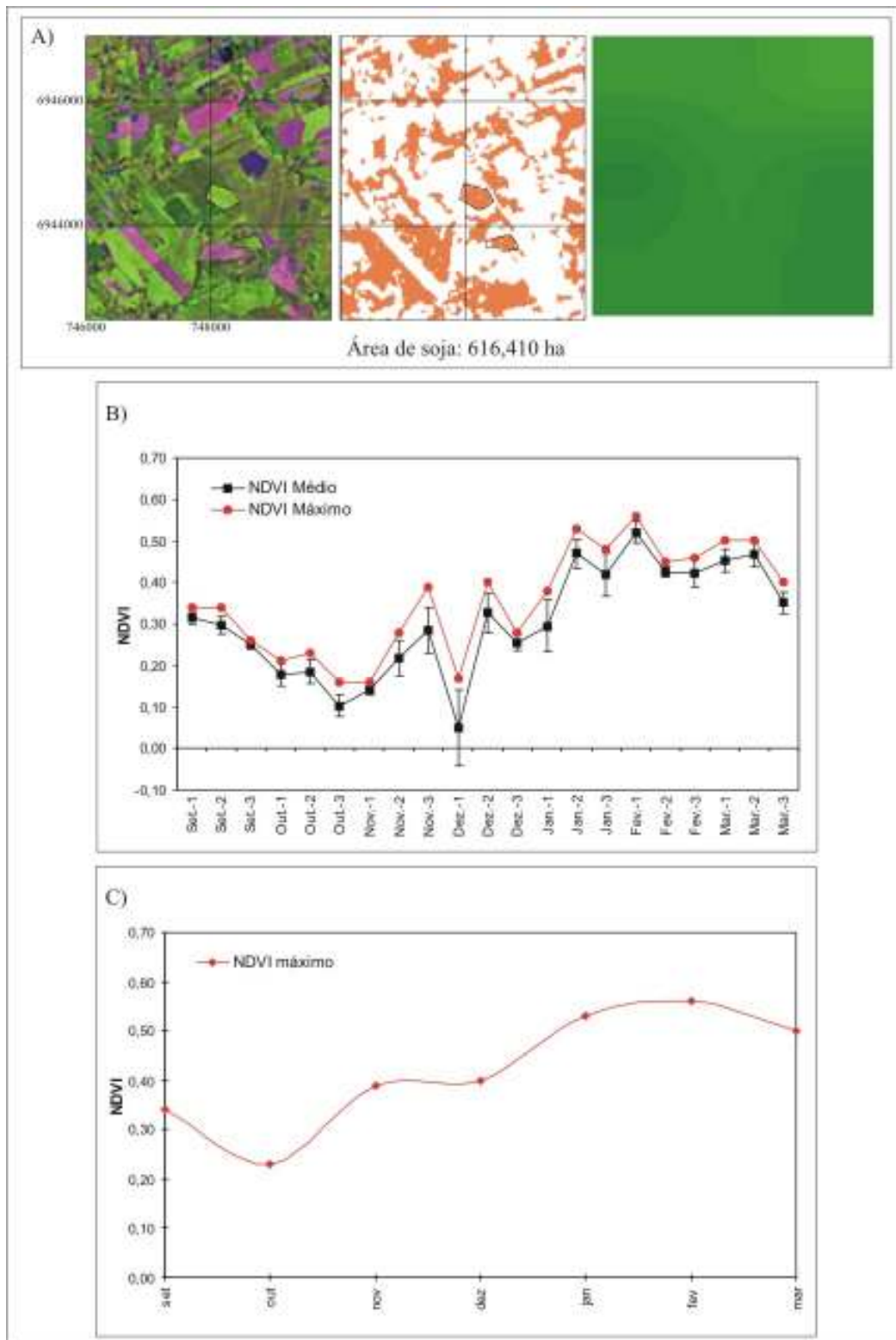


Figura 4.17. Janela de amostragem nº 12: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

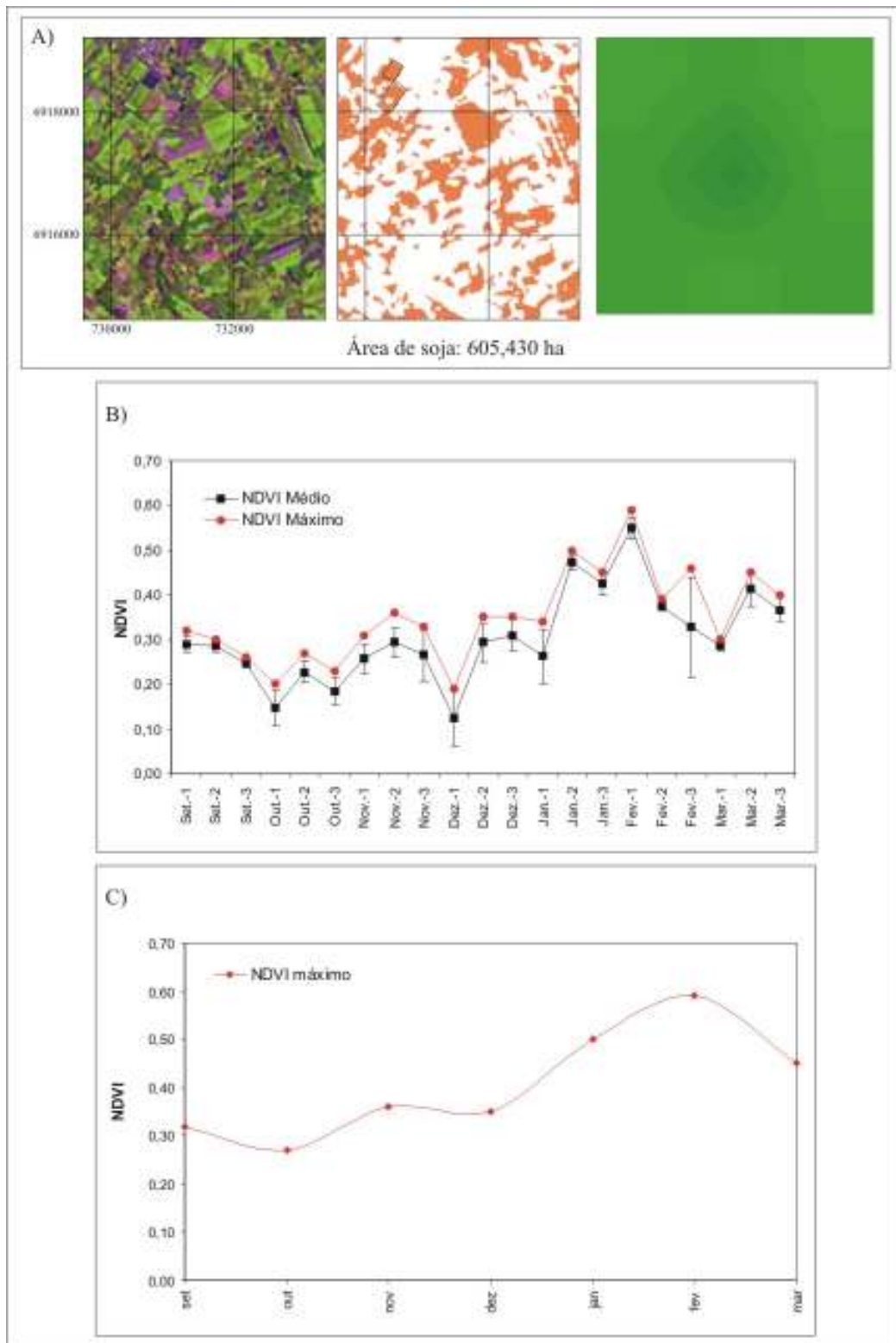


Figura 4.18. Janela de amostragem nº 13: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

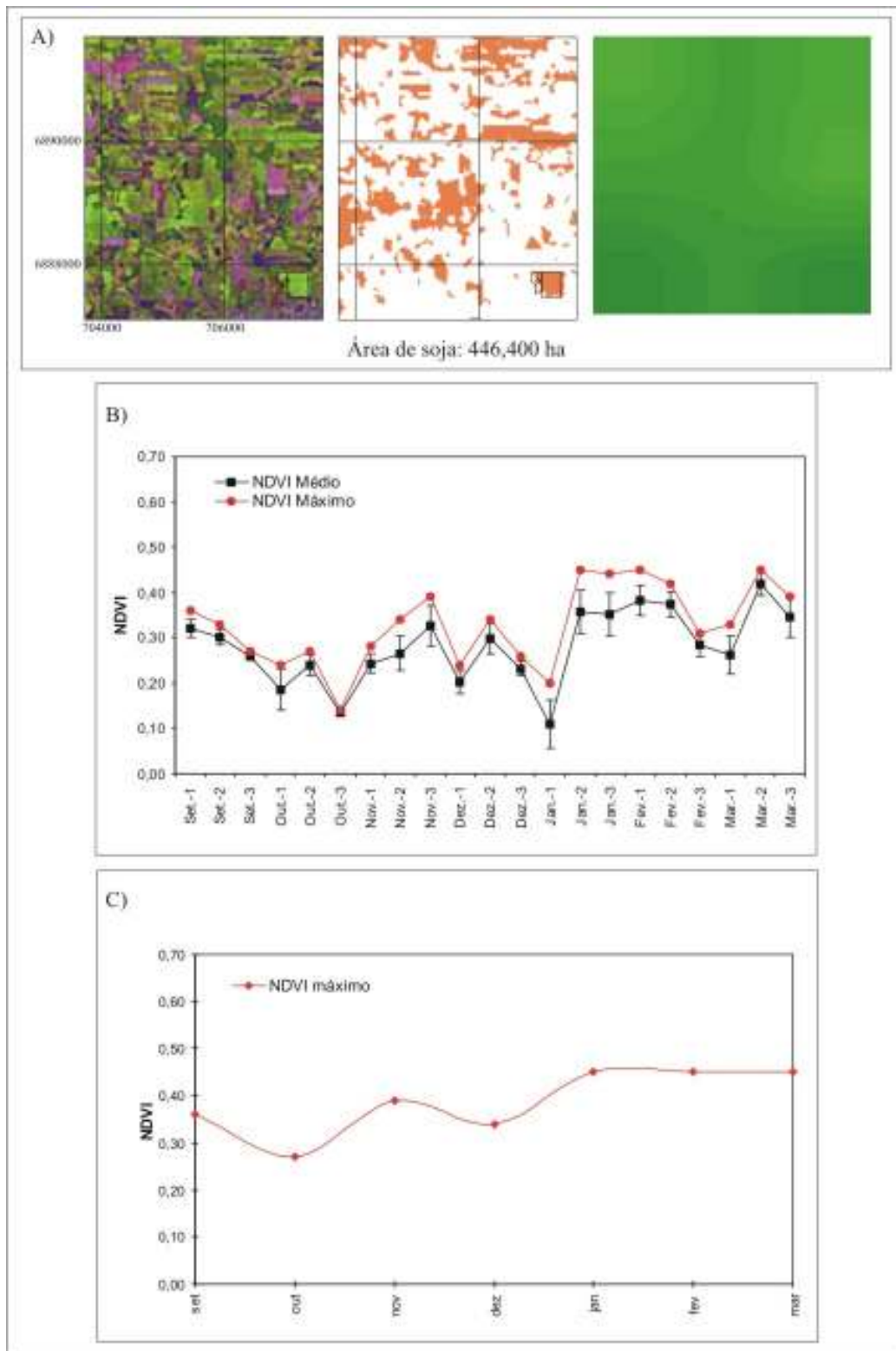


Figura 4.19. Janela de amostragem nº 14: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

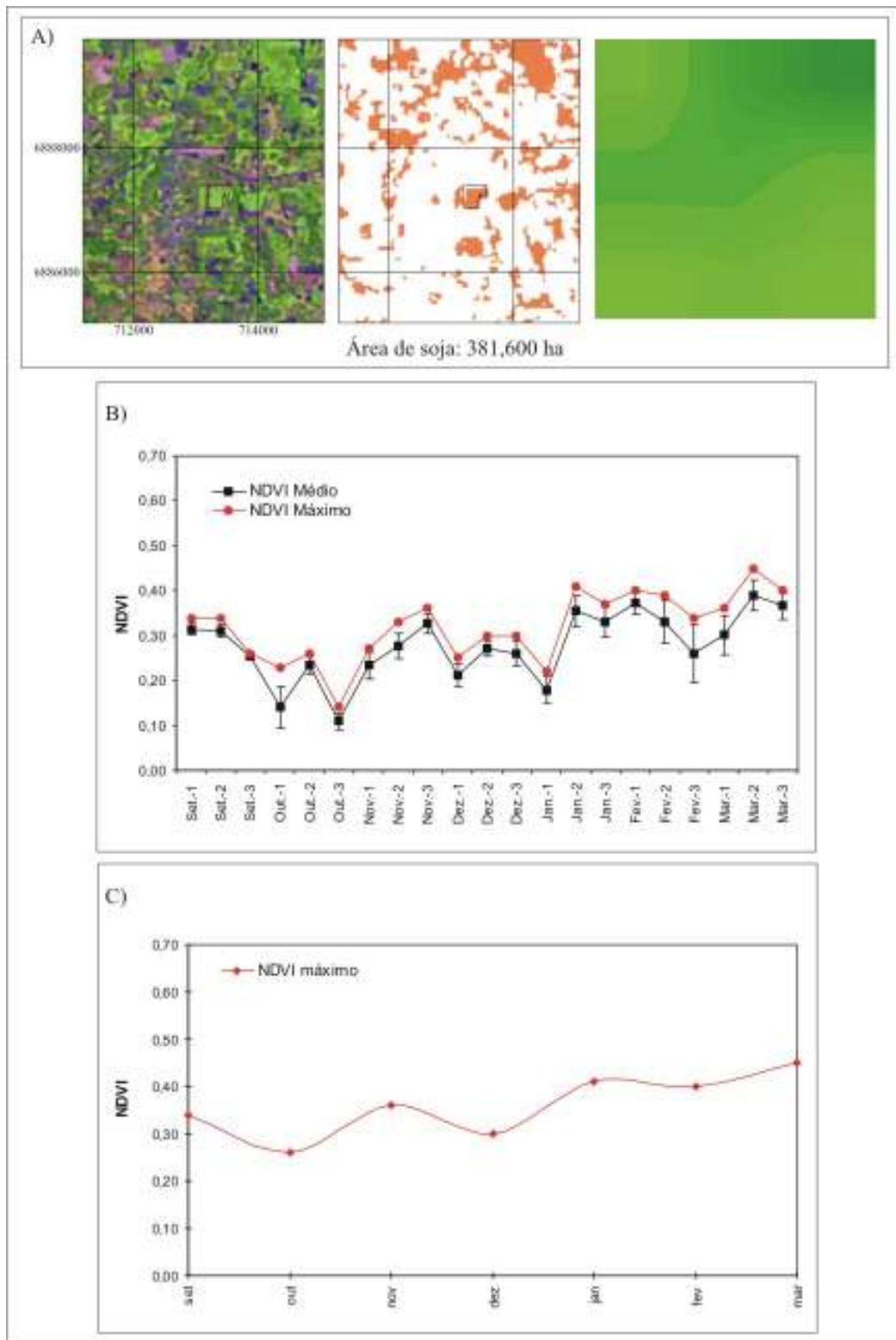


Figura 4.20. Janela de amostragem nº 15: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).



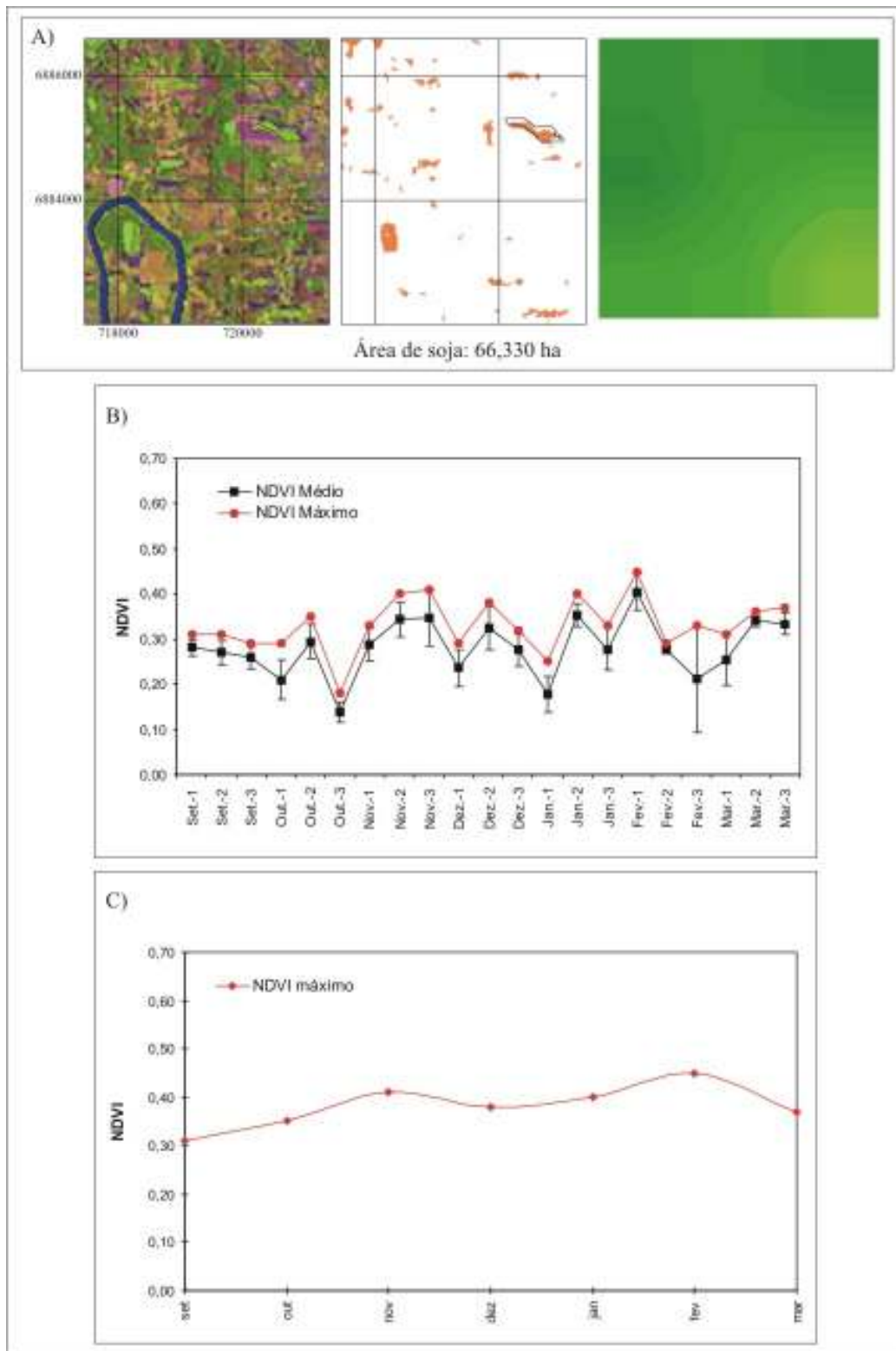


Figura 4.21. Janela de amostragem nº 16: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

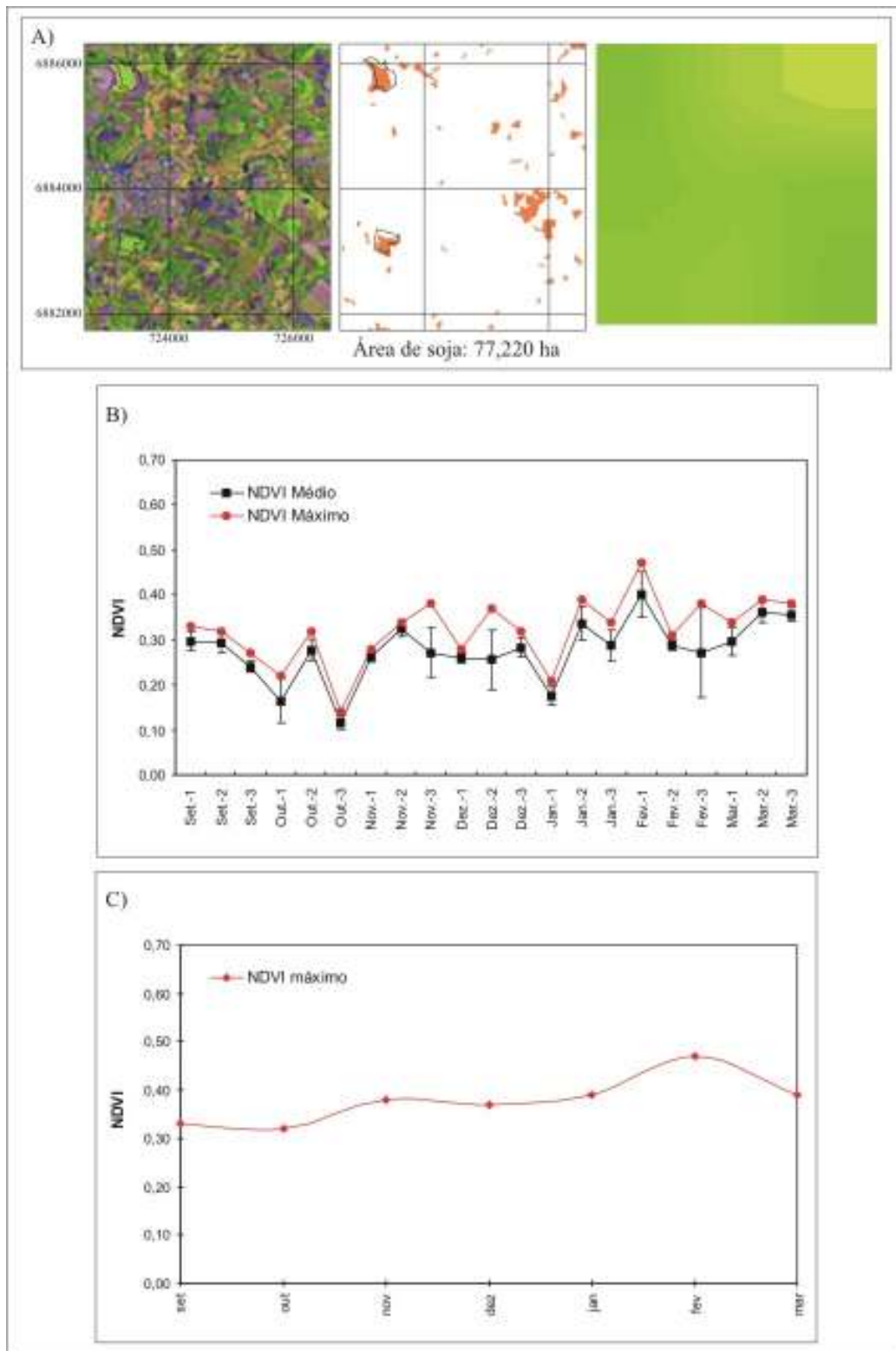
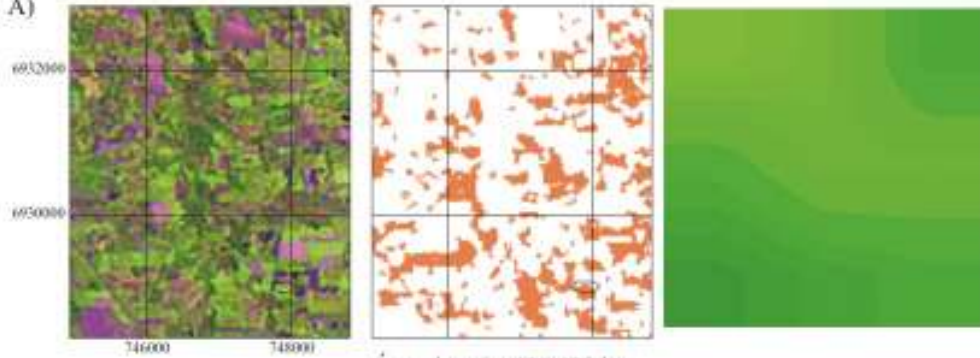


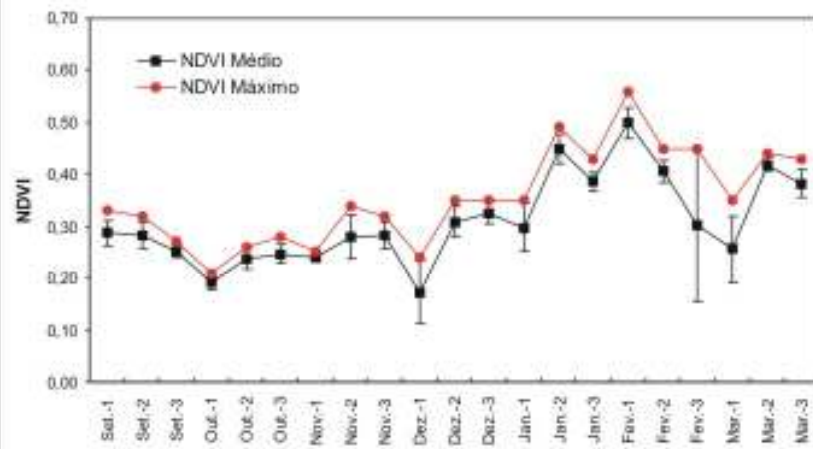
Figura 4.22. Janela de amostragem nº 17: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).

A)

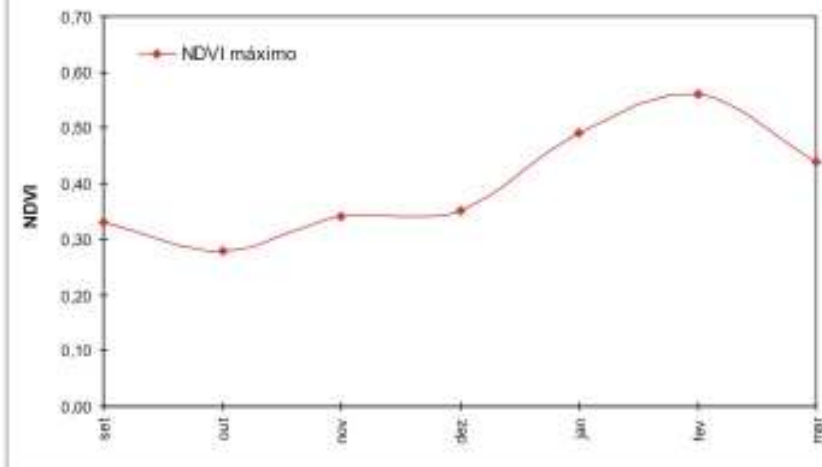


Área de soja: 426,420 ha

B)



C)

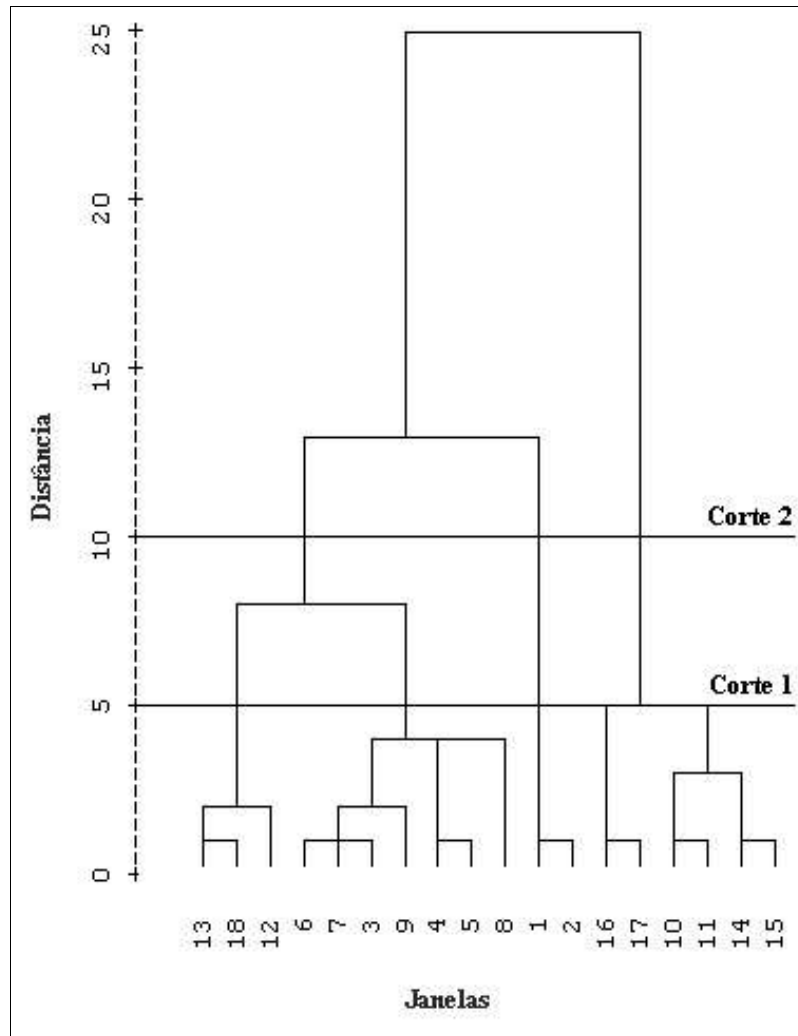


**Figura 4.23. Janela de amostragem nº 18: (A) subimagem LANDSAT, órbita ponto 224-79 (05/02/00) composição colorida das bandas 3, 4 e 5, área classificada como soja, e subimagem NOAA/NDVI (primeiro decêndio de fevereiro), (B) Evolução temporal do NDVI máximo decendial e (C) Evolução temporal do NDVI máximo mensal (setembro de 1999 a março de 2000).**

Segundo DINIZ (1994), observa-se que a inércia em algumas seqüências de agregação aumenta rapidamente, indicando, a partir daí, a existência de um número de grupos a ser obtido. Entretanto, quando a transição está bem definida, algum critério subjetivo deve ser adotado. Sugere-se um corte transversal no dendrograma,

determinando-se, através da necessidade e dos dados agrupados, o número de grupos a ser obtido.

A Figura 4.24 mostra o resultado de análise de agrupamento. Inicialmente, foi escolhido o nível de agregação 5 como ponto de corte 1, definindo-se a existência de 5 grupos homogêneos quanto à evolução do NDVI. Na Tabela 4.2, são mostradas algumas características das janelas amostrais de cada um dos cinco grupos.



**Figura 4.24.** Dendrograma da evolução temporal do NDVI máximo mensal nas 18 janelas de amostragem no período de setembro de 1999 a março de 2000.

Tabela 4.2. Descrição dos grupos e das janelas de amostragem efetuada usando os dados coletados durante o levantamento de campo (safra 1999/2000).

Grupo	Janelas	% de Soja na Janela	Semeadura	Sistema de Cultivo	Ciclo	Colheita	Ocorrência <sup>1</sup>	Caracterização da Vizinhança <sup>2</sup>
1	12	34,67	18/11/99	Plantio Direto	Precoce	final de abril de 2000	S, L	Pequenas lavouras de Soja, MN, SE, M
1	13	34,04	10/11/99	Plantio Direto	Médio / Tardio	final de abril de 2000	S, L	Pequenas lavouras de Soja, MN, SE, M
1	18	24,35	10/11/99	Plantio Direto	Médio	início de abril de 2000	SIF, L	Pequenas lavouras de Soja, MN, SE, M
2	3	22,45	-	-	-	-	-	Lavouras Médias de Soja, Soja do tarde, Solo exposto, Campo Nativo, Mato Nativo
2	4	12,42	26/10/99	Plantio Direto	Precoce / Médio	20/03/2000	SIF, L, G	Lavouras Grandes de Soja, Soja do tarde, Solo exposto, Campo Nativo, Mato Nativo e nuvens
2	5	25,31	5/11/99	Plantio Direto	Médio	início de abril de 2000	SIF, LF	Lavouras Grandes de Soja, Soja do tarde, Solo exposto, Campo Nativo, Mato Nativo e nuvens
2	6	9,51	10/11/99	Plantio Direto e Convencional	Médio	início de abril de 2001	SIC	Lavouras Médias de Soja, Soja do tarde, Solo exposto, Milho, Mato Nativo
2	7	59,43	-	-	-	-	-	Grandes lavouras de soja, Solo exposto e soja do tarde e MN
2	8	50,56	27/10/99	Plantio Direto	Precoce/Médio	04/09/2000	SFID, LJ	Grandes lavouras de soja, Solo exposto, campo nativo e MN
2	9	43,27	15/11/99	Plantio Direto	Médio	04/10/2000	SIC, G, CAS	Lavouras Médias de Soja, soja do tarde, solo exposto, Mato Nativo e Milho

Tabela 4.2. continuação

Grupo	Janelas	% de Soja na Janela	Semeadura	Sistema de Cultivo	Ciclo	Colheita	Ocorrência	Caracterização da Vizinhança
3	1	7,42	-	Plantio Direto	Precoce	final de março de 2000	SJ, L	Pequenas lavouras de Soja, MN, SE, M, campo nativo
3	2	7,80	7/11/99	Plantio Direto	Tardio	início de abril de 2000	SN, SD, G	Pequenas lavouras de Soja, MN, SE, M, campo nativo
4	10	3,46	26/10/99	Plantio Direto	Precoce/Médio	início de abril de 2001	SFD, L	Mato Nativo, solo exposto e pequenas lavouras
4	11	7,50	5/11/99	Plantio Direto	Médio	20/04/2000	SN, SD, L	Mato Nativo, solo exposto e pequenas lavouras
4	14	25,49	6/11/99	Plantio Direto	Médio	final de março de 2000	SIC, L	Pequenas lavouras de Soja, MN, SE, M, campo nativo
4	15	21,79	9/11/99	Plantio Direto	Precoce	início de abril de 2000	SIC, L	Pequenas lavouras de Soja, MN, SE, M, campo nativo
5	16	3,73	26/10/99	Plantio Direto	Tardio	25/04/2000	SIC	Pequenas lavouras de Soja, MN, SE, M, campo nativo
5	17	4,34	20/11/99	Plantio Direto	Médio	25/04/2001	SIC, GD, GJ	Pequenas lavouras de Soja, MN, SE, M, campo nativo e zona urbana

<sup>1</sup> Seca (S), Seca no início da floração (SIF), Seca em Novembro (SN), Seca em Dezembro (SD), Seca em Janeiro (SJ), Lagartas (L), Lagarta em janeiro (LJ), Lagarta na floração (LF), Gafanhoto (G), Gafanhoto em Dezembro (GD), Gafanhoto em Janeiro (GJ), Cascudo (CAS), Mato Nativo; <sup>2</sup>(MN), Solo Exposto (SE), Milho (M).

DINIZ (1994) comenta, que na análise de agrupamentos, todos os processos de hierarquização são similares, iniciando-se pela determinação de uma função de agrupamento. Esta função é usada como critério para medir a distância entre dois objetos ou para estabelecer o quanto eles são parecidos. EVERITT (1994) e DINIZ (1994) chamam-na de coeficiente de parecença, que pode se dividir em duas categorias: medida de similaridade e dissimilaridade. Na primeira, quanto maior o valor observado, mais parecidos são os objetos. Já na segunda, quanto maior o valor observado, menos parecidos (mais dissimilares) serão os objetos.

Nas figuras 4.26 a 4.30, são apresentadas as resoluções temporais do NDVI máximo mensal para cada grupo considerado no nível de agregação 1 do dendograma.

As janelas pertencentes no grupo 1 (Figura 4.26) possuem predominância de soja, mostrando um padrão de evolução de NDVI característico. Entretanto, deve-se ressaltar que a maioria das lavouras presentes nas janelas deste grupo (Figuras 4.17, 4.18 e 4.23), são pequenas, já que a produção de grãos nesta região é desenvolvida por minifúndios. No mês de dezembro, ocorreu uma restrição do crescimento do NDVI, provavelmente devido ao déficit hídrico ocorrido na região.

O grupo 2 (Figura 4.26) foi formado através do agrupamento das janelas que possuíam predominantemente soja em grandes lavouras (Figuras 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14). Este grupo possui uma característica particular, pois está distribuído em uma região entre o município de Júlio de Castilhos, Tupanciretã, Cruz Alta e Santa Bárbara, tendo como similaridades em seu agrupamento o tipo de solo, sistema de cultivo, condições hídricas, forma de ocupação. Desta forma, observa-se a homogeneidade deste grupo com relação às suas características.

Nestes dois grupos com predominância de soja (Figura 4.26, 4.27), verificou-se que o comportamento foi semelhante à curva de crescimento e desenvolvimento de culturas agrícolas. De setembro a novembro, os valores NDVI foram baixos. A partir de novembro, houve um incremento do NDVI, atingindo os máximos valores no mês de fevereiro. Esse incremento está associado ao aumento de densidade de biomassa, devido ao estabelecimento e desenvolvimento da cultura da soja figura 4.25. O grupo 2, onde ocorreu a maior área cultivada com soja (Tabela 4.2), atingiu valores de NDVI, em fevereiro, superiores ao grupo 1.



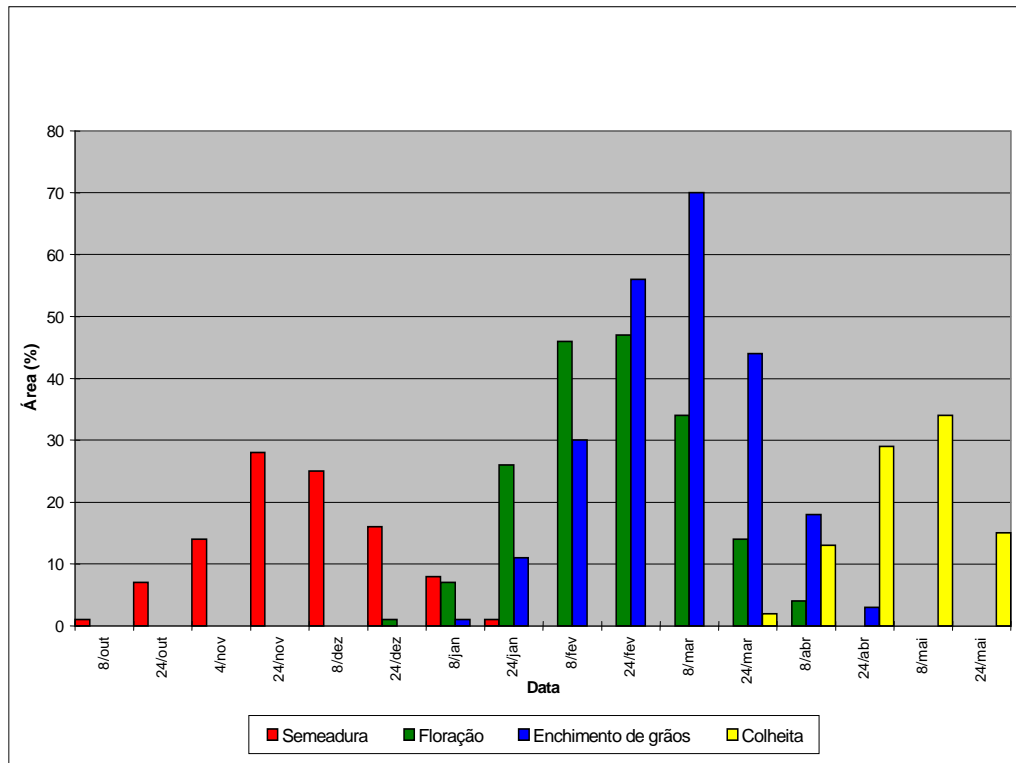


Figura 4.25. Calendário agrícola médio da soja no Rio Grande do Sul, no período 1982 a 1994. Fonte: FONTANA et al. (1999).

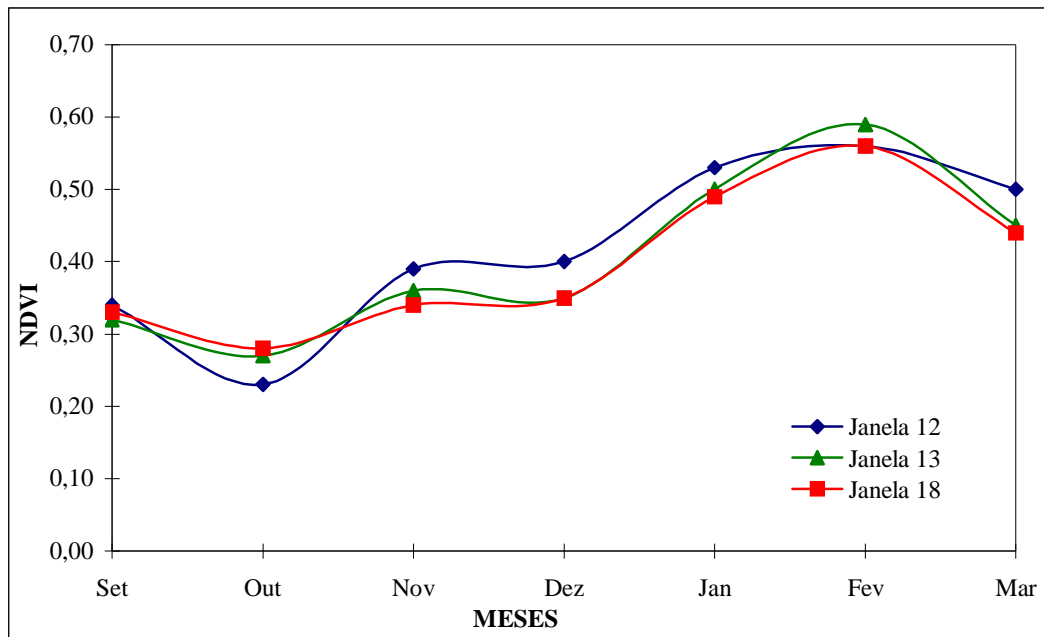
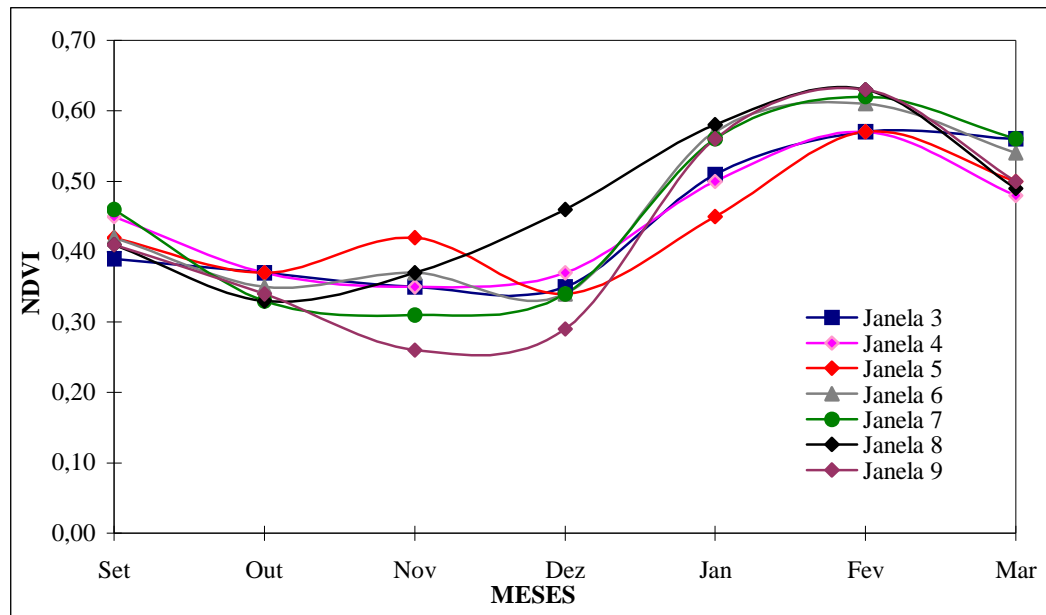


Figura 4.26. Média dos máximos mensais do grupo 1, extraídos da análise de agrupamento (dendograma).

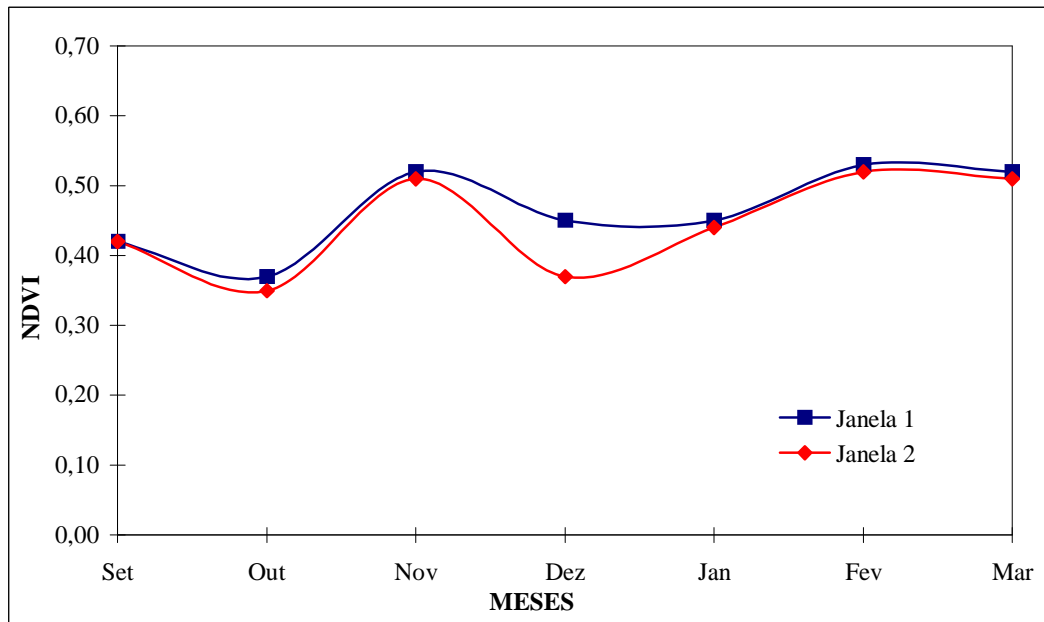


**Figura 4.27. Média dos máximos mensais do grupo 2, extraídos da análise de agrupamento (dendograma).**

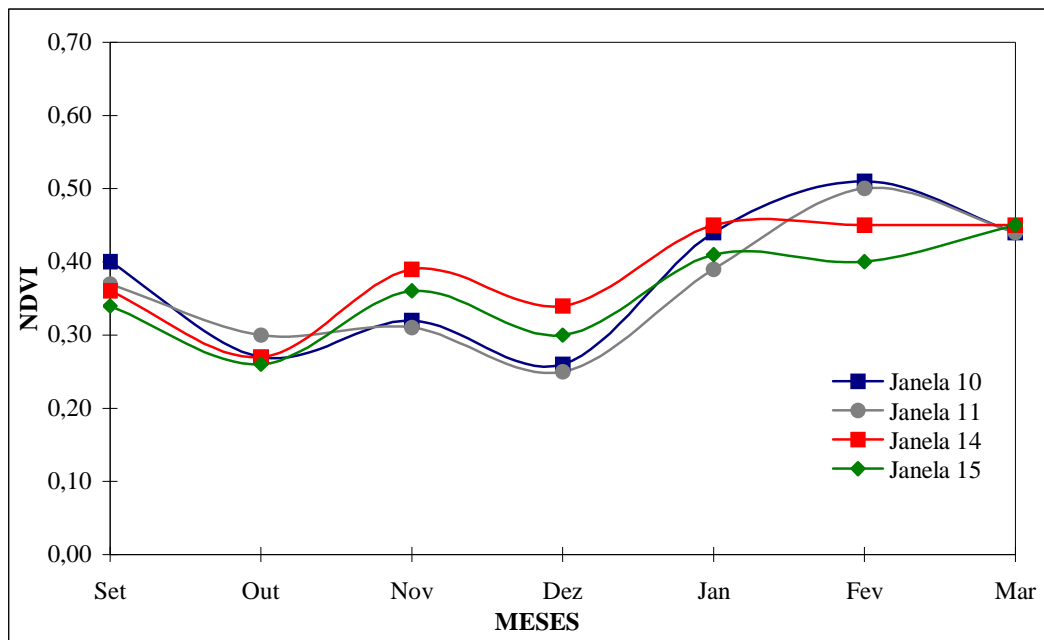
As janelas que formam o grupo 3 (Figura 4.28) apresentavam algumas lavouras de soja, mas a presença dominante de campo nativo e gramíneas perenes de verão mantiveram o NDVI aproximadamente constante ao longo do período estudado. A deficiência hídrica e o solo exposto em outubro, decorrentes da implantação de lavouras de primavera-verão, bem como o abandono destas em dezembro, em decorrência da seca, possivelmente são as causas da diminuição considerável dos valores de NDVI.

No grupo 4 (Figura 4.29), em algumas janelas, observou-se que a elevada presença de pequenas lavouras e de vegetação nativa determinaram a elevação do NDVI, ocorrendo também, uma diminuição do NDVI nos meses de setembro a novembro, devido ao déficit hídrico. Segundo FRANÇA apud DERENNE (2001), em estudo multitemporal, constatou que regiões notórias de cultivo de soja apresentaram variação do NDVI em função do ciclo de plantio, o que explica as pequenas diferenças de NDVI encontradas nas janelas do grupo 4 ao longo do ciclo.

FONTANA et al. (1996) exemplificam em seu trabalho que diferentes municípios apresentaram perfis espectrais semelhantes, comportamento este coerente com o tipo de vegetação local, sistema e ciclo de cultivos semelhantes.



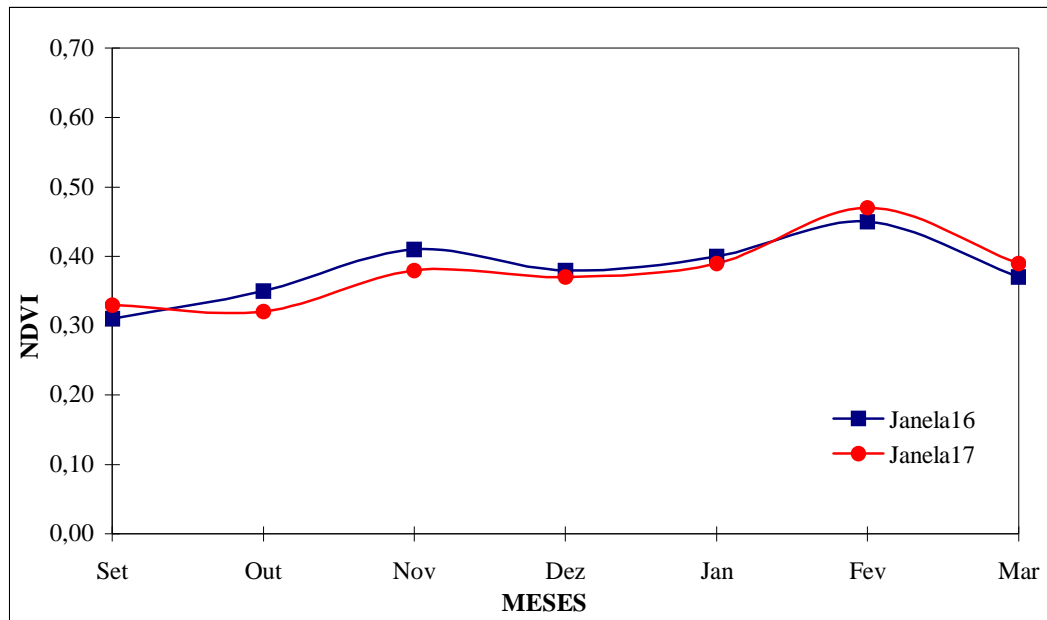
**Figura 4.28.** Média dos máximos mensais do grupo 3, extraídos da análise de agrupamento (dendograma).



**Figura 4.29.** Média dos máximos mensais do grupo 4, extraídos da análise de agrupamento (dendograma).

Em todos os grupos analisados, mas especialmente nos grupos 3 e 4, observa-se uma marcante redução nos valores de NDVI em dezembro. Possivelmente, esta redução esteve associada ao abandono ou mesmo destruição de lavouras, implantadas em outubro, como consequência da deficiência hídrica ocorrida. A safra de 1999/2000 foi ano de ocorrência do fenômeno La Niña, o qual está associado, no Estado do Rio Grande do Sul, à ocorrência de estiagem no período de primavera- verão, segundo (BERLATO & FONTANA, 1999 e PUCHALSKI, 2000),

Na Figura 4.30, a predominância é de vegetação nativa e áreas urbanas (Tabela 4.2). O padrão de NDVI se mostrou praticamente estável ao longo do período de estudo, com uma pequena elevação no mês de fevereiro, quando as pequenas lavouras com culturas de primavera-verão provavelmente tiveram um aumento na densidade de sua biomassa.



**Figura 4.30. Média dos máximos mensais do grupo 5, extraídos da análise de agrupamento (dendograma).**

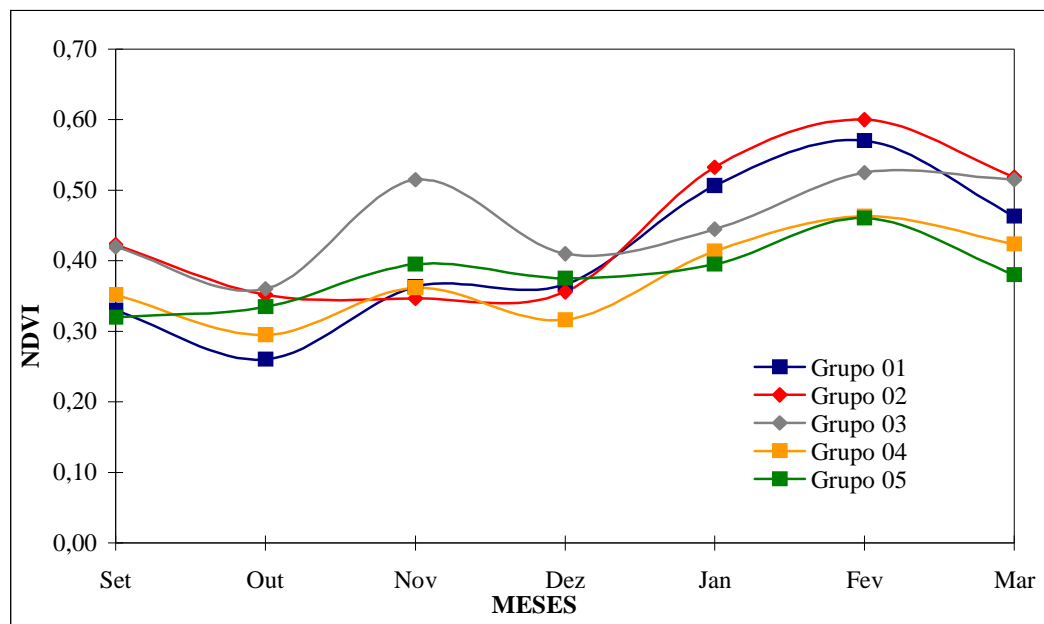
Na Figura 4.31, são apresentadas as médias do NDVI para os cinco grupos descritos. Apesar deste nível de agrupamento ter sido satisfatório e de terem sido agrupadas regiões com certa homogeneidade, foram também analisados os grupos para o nível 10 de agrupamento (Figura 4.32), ou corte 2 do dendograma.

Neste ponto de corte, os grupos 1 e 2 (Figuras 4.26 e 4.27) foram reunidos, assim como os grupos 4 e 5 (4.29 e 4.30). Agora, verifica-se de forma mais evidente as

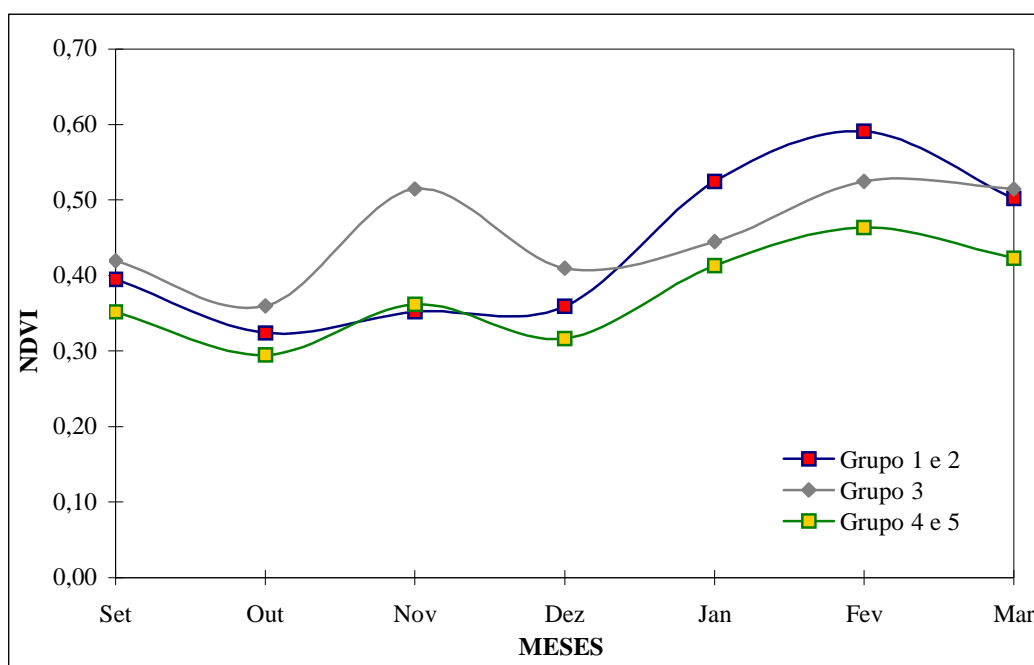
diferenças de padrão de evolução temporal do NDVI, como consequência do tipo de uso do solo.

De acordo com FONTANA (2000a), a semeadura em novembro determina baixas densidades ou ausência de biomassa, resultando em valores de NDVI muito baixos e constantes, elevando-se logo em seguida estando esta elevação associada ao crescimento e desenvolvimento da biomassa das culturas anuais, predominantemente da soja.

Em vista dos resultados obtidos, é possível afirmar que as imagens NOAA representaram um instrumento de monitoramento da superfície extremamente útil, e que expressa condições de uso e cobertura diferenciadas. Dada uma região de produção, é viável monitorá-la em tempo real e, a partir do conhecimento do padrão típico de desenvolvimento regional, emitir alertas sempre que as condições da biomassa, inferidas pelo NDVI, estiverem abaixo das normais. As imagens NOAA representam, portanto, um importante segmento em programas de acompanhamento e previsão de safras.



**Figura 4.31. Média dos máximos mensais dos cinco grupos extraídos da análise de agrupamento (nível 5 de agregação/corte 1).**



**Figura 4.32. Média dos máximos mensais dos três grupos extraídos da análise de agrupamento (nível 10 de agregação/corte 2).**

Tendo como base o fato de que os valores mais elevados de NDVI ocorrem com a presença de maiores áreas cultivadas de soja, em consequência do maior nível de biomassa, foi realizado estudo de correlação simples entre NDVI de diversos períodos e área cultivada com soja em cada subimagem.

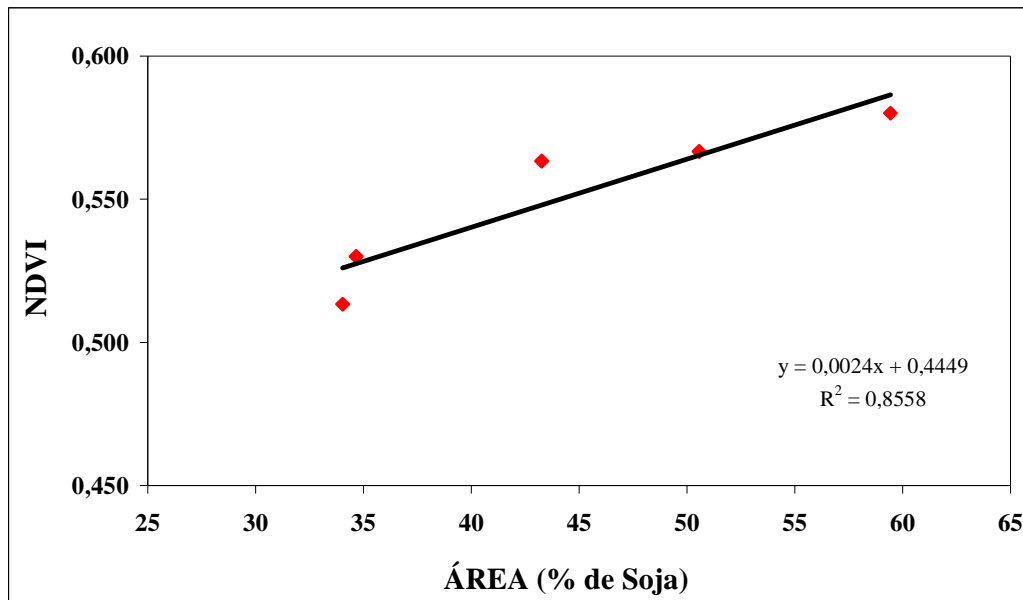
Os coeficientes de correlação variaram de 0,37, quando se considerou todas as janelas de amostragem, usando o NDVI integrado de setembro a março, a 0,94, quando se considerou somente as janelas com mais de 30% da área cultivada com soja e NDVI, integrado nos meses de fevereiro e março. A menor associação entre NDVI e área cultivada com soja, obtida com todo o conjunto de janelas de amostragem (Tabela 4.3), indica que quando a área ocupada com soja é inferior 30 % da área da janela de amostragem, a contribuição dos diferentes alvos na superfície, faz com que o sinal detectado pelo sensor não tenha associação significativa com a área cultivada com soja.

Na Figura 4.33, é apresentada a equação linear simples ajustada para a situação de maior associação, ou seja, somente janelas com mais de 30 % de soja e com período de integração de janeiro a março. Foi obtido um coeficiente de determinação de 0,8558, mostrando que, em condições em que o cultivo de soja predomina, existe uma associação significativa entre os valores de NDVI de janeiro a março, que coincide com

o período de maior desenvolvimento das plantas, e área cultivada. Neste caso, quando maior NDVI maior é a área cultivada com soja. Este resultado deve, ainda, ser avaliado em trabalhos futuros mais detalhados. Mas, de forma preliminar, pode-se inferir que imagens NOAA podem ser utilizadas como indicadores de área cultivada com soja, a despeito da resolução espacial “grosseira”, integrando um programa de previsão de safras em nível regional ou nacional.

**Tabela 4.3. Coeficiente de correlação (r) entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a área cultivada de soja no período de setembro de 1999 a março de 2000, para todas as janelas (total) e para as janelas de amostragem com mais de 30 % de soja.**

Período Safr 1999/2000	r (total)	r (Área > 30%)
Set-Mar	0,37	0,86
Out-Mar	0,38	0,72
Nov-Mar	0,46	0,50
Dez-Mar	0,62	0,77
Jan-Mar	0,65	0,93
Fev-Mar	0,58	0,94



**Figura 4.33. Regressão linear entre NDVI médio de janeiro a março e a área cultivada com soja em Janelas amostrais (> 30% de Soja).**

## V. CONCLUSÕES

A estimativa da área cultivada com soja, obtida através do processo de classificação digital não supervisionada em imagens LANDSAT, é menos subjetiva, tendo um acréscimo na confiabilidade da estimativa, tanto para pequenas, médias e grandes lavouras, revelando-se como uma técnica eficiente para ser utilizada em projetos de previsão de safras.

A evolução temporal do NDVI, obtido de imagens NOAA, apresenta sensibilidade quanto às diferenças de uso e cobertura do solo, demonstrando que as escalas espacial e temporal das imagens NOAA são adequadas para o acompanhamento em nível regional da evolução temporal da biomassa. Salienta-se, entretanto, que o monitoramento da biomassa em intervalos de tempo inferiores a um mês, pode ser comprometido devido à persistência de nuvens em alguns *pixels* da imagem NDVI em períodos menores.

As diferenças na evolução temporal do NDVI observadas evidenciam o potencial uso de imagens NOAA para acompanhar o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja em nível regional. Este produto pode, portanto, integrar sistemas de monitoramento, visando a fornecer alertas quanto a possíveis problemas de crescimento das plantas.

Existe a possibilidade de utilizar imagens NOAA para inferir sobre a área cultivada com soja em projetos de previsão de safras em escala regional, desde que a cultura seja o tipo de cobertura predominante no *pixel*. A continuidade de pesquisas nesta área, assim como o desenvolvimento de sensores com melhores resoluções espaciais num futuro próximo, são fundamentais para viabilizar o uso desta metodologia.



## VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, S. A. O. **Monitoramento da Intensidade de Desmatamento por Classe de Declividade com Imagens LANDSAT**.1984. 112f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 1984.
- ALVES, D. S.; PEREIRA, J. L. G.; SOUZA, C. L. de; SOARES, J. V.; MOREIRA, J. C.; ORTIZ, J. O; SHIMABUKURO, Y. E.; YAMAGUCHI, F. Análise comparativa de técnicas de classificação de imagens do sensor Landsat/TM para caracterização de áreas desflorestadas. In: SIMPÓSIO BRAILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., Santos, 1998. [Anais...]. [S.l : s.n.], [1998?]. 1 CD-ROM.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa, Canada : WDL, 1991. 294p.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E.. **Sistemas de informações geográficas aplicadas na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA - CPAC, 1993. 274 p.
- ASSUNÇÃO, G. V.; FORMAGGIO, A. R. **O Sensoriamento Remoto na Agricultura: conceitos básicos, metodologia e aplicações**. São José dos Campos : INPE, 1989. 217p.
- BATISTA, G. T. **Desenvolvimento e Teste de um Sistema de Fiscalização das Operações de Crédito Agrícola ao Nível de Município e de Propriedades Agrícolas Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos : INPE, 1984. (Relatório INPE-3239-RPE/462).
- BATISTA, G. T. **Uso de Sensores Remotos a Bordo de Satélites e Aeronaves na Identificação e Avaliação de Áreas de Culturas para Fins de Previsão de Safras**. São José dos Campos : INPE, 1978. 33p. (Relatório INPE -1229-NTC/103)
- BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAURENCE, W. T. Monitoramento da Cobertura Florestal através de Índices de Vegetação do NOAA-AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba, 1993 . **Anais**. Curitiba : INPE, 1993. p. 30-37.
- BELTRAME, A. da V. Uma Aplicação do Sensoriamento Remoto no Planejamento Físico de Microbacias Hidrográficas. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.4, n.1, 1991. p.37-41.

- BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade Interanual da Precipitação Pluvial e Rendimento da Soja no estado do Rio Grande de Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 119-125, 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Departamento de Pesquisa Agropecuária, Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife : INCRA, 1973. 431p.
- BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S. Comparação de Desempenho entre Três Índices de Exatidão Aplicados a Classificações de Imagens Orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. [**Anais...**]. [S.l. : s.n.], [1996?]. 1 CD ROM.
- CHEN, S. C. **Contribuição dos dados de satélite no sistema de previsão de safras**. São José dos Campos : INPE, 1990. 7p. (Relatório INPE-5087-PRE/1595).
- CHUVIECO, E. **Fundamentos de Teledetección Espacial**. 3. ed.rev. Madrid: Ediciones Rialp, 1996. 450 p.
- CURI, P. R. Análise de agrupamento complementada com ordenação pelos componentes principais e análise de variância multivariada: um exemplo biológico. **Ciência e Cultura**, Fortaleza, v.37, n.6, p879-887, 1983
- CONGALTON, R.G.; BIGING, G.S. A pilot study evaluating ground reference data collection efforts for use in forest inventory. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 58, n.12, 1669-1671, 1992.
- CONGALTON, R. G. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v.54, p.1669-1671, 1992.
- CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas : IG/UNICAMP, 1992. 170p.
- CROSTA, A. P.; SOUZA FILHO, C. R. Sensoriamento Remoto. In: ANUÁRIO Fator GIS 1997. Curitiba: Sagres, 1997. 188p.
- DAVIS, C. Uso de imagens em GIS. **Revista Fator GIS**, Curitiba, v. 5, n. 20, 1997.
- DERENE, M; SETZER, A.; FRANÇA, H.. O “Cinturão da Soja” da Soja e Milho em Mato Grosso nos Mosaicos IVDN/AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu,PR. [**Anais...**] [S.l. : s.n.], [2001?]. 1 CD ROM.

- DINIZ, G. B. **Séries temporais de irradiação solar: Recuperação de dados mediante componentes principais.** Campina Grande: UFPB, 1994. 118 f. Dissertação (Mestrado - Meteorologia - Climatologia) - Curso de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1994.
- DUTTA, S.; SHARMA, S.A.; KHERA, A.P.; YADAV, M.; HOODA, R. S.; MOTHIKUMAR, K. E.; MANCHANDA, M. E. Accuracy assessment in cotton acreage estimation using Indian remote sensing satellite data. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v.49, n.6, p. 21-26, 1994.
- ELACHI, C. **Introduction to the physics and techniques of remote sensing.** New York : John Wiley, 1987.
- EVERITT, B. **Cluster Analysis.** London: Heinemann Books, 1974. 135p
- FIGUEIREDO, D. C. ; COLLARES, J. E. R. PREVSAFRA - Estimativa da produção agrícola. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** [Curitiba : s.n.], [1993?]. p. 128-131.
- FONSECA, E. L. da. **Caracterização Espectral e Índices de Vegetação em *Paspalum notatum* Flügge var. *Notatum* com vistas à Modelagem de Crescimento.** 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado - Agrometeorologia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- FONSECA, E. L.; OLIVEIRA, J. C.; RIZZI, R. Avaliação da Identificação de Áreas com Cultivos Agrícolas para Fins de Previsão de Safras Utilizando Procedimentos de Classificação Digital de Imagens do Sensor TM/Landsat 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu, PR. [**Anais...**]. [S.l. : s.n.], [2001?]. 1 CD ROM.
- FONTANA, D.C. **Índice de vegetação global para o monitoramento da vegetação e sua correlação com elementos agrometeorológicos e rendimento de grãos de soja.** 1995. 133f. Tese (Doutorado – Agrometeorologia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; HAERTEL, V. Evolução do Índice de Vegetação Global no Oeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.2, p117-122, 1996.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Relação entre o Índice de Vegetação Global e Condições Hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 8, 1399-1405, 1998.

- FONTANA, D.C.; DUCATI, J.R.; WEBER, E.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H.; FIGUEIREDO, D.C. **Desenvolvimento e Teste de Metodologia em Monitoramento e Previsão de Safras no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. 95p. il. (Série D. Relatório Técnico, 003/99).
- FONTANA, D. C.; WEBER, E.; GUANELLI, L. A.; MARTINS, R. L.; GUSSO, A.; DUCATI, J. R.; FIGUEIREDO, D. C. Perfil Espectral da Soja no Sul do Brasil na Safra 2000. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 9., 2000, Puerto Iguazu, Argentina. **Anais...** [S.l. : s.n.], 2000a. p. 97-104.
- FONTANA, D. C.; WEBER, E.; DUCATI, J. R.; FIGUEIREDO, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Monitoramento e Previsão de Safras no Brasil. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 9., 2000, Puerto Iguazu, Argentina. **Anais...** [S.l. : s.n.], 2000b. p. 87-96.
- FONTANA, D. C.; WEBER, E.; DUCATI, J. R.; FIGUEIREDO, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. A Case Study for Crop Monitoring and Harvest Forecast in Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM NA REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 28., 2000, Cape Town, South Africa. **Proceedings...** [S.l. : s.n.], 2000c. p. 91-94.
- FONTANA, D.C.; DUCATI, J.R.; WEBER, E.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H.; FIGUEIREDO, D.C. **Monitoramento e previsão da safra de soja 1999/2000 no Brasil**. Porto Alegre : Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 115p. il. (Série D. Relatório Técnico, 005/01).
- FRANÇA, H. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. [São Paulo] : USP, 2000. Tese (Doutorado) – Instituto de Botânica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- HILL, M. J.; VICKERY, P. J.; FURNIVAL, E. P.; DONALD, G. E. Pasture Land Cover in Eastern Australia from NOAA-AVHRR NDVI and Classified Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 67, n. 1, 1999, p. 32-50.
- IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola –LSPA**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. 2001.
- IBGE. **Revista Brasileira de Estatística**, Rio de Janeiro, v. 49, n.191, 1988, p.55-84.
- INPE.. **Curso de Treinamento: Introdução às Técnicas de Sensoriamento Remoto e Aplicações**. São José dos Campos : INPE, 1980. Cap. 8, p. 1-24. (Relatório INPE 1869 - MO/004).

- JUSTICE, C.O.; ECK, T.F.; TANRÉ, E.T.D.; HOLBEN, B.N. The effect of water vapor on the normalized difference vegetation index derived for the Sahelian Region from NOAA AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, Besingstoke, v.12, p.1165-1187, 1991.
- KAZMIERCZAK, M. L.; TONIOLO, E. R.; DANTAS, M. J.; BAÍA, P. F. S.; CASTRO, G. A. O. R. de. Identificação de áreas de preservação florestal, através de técnicas de geoprocessamento: abordagem preliminar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador, BA. **Anais...** [Salvador : s.n.], [1996?]. 1 CD-ROM.
- KAZMIERCZAK, M. P. Uso de dados AVHRR/NOAA GAC para análise da sazonalidade as caatinga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador, BA. **Anais...** [Salvador : s.n.], [1996?]. 1 CD-ROM.
- KOPPEN, W. 1948. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la Tierra. México : Fondo de Cultura, 1948. 478p.
- KIDWELL, K. B. **NOAA polar orbiter data: user's guide**. Washington: NOAA, 1991. 244p.
- LOCH, C. **Monitoramento Global Integrado de Propriedades Rurais à Nível Municipal Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: UFSC, 1990. 137 p.
- MALINGREAU, J. P.; BELWARD, A. S. Scale considerations in vegetation monitoring AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, Besingstoke, v.13, n.12, p. 2289-2307, 1992.
- MARSH, B. L.; WALSH, J.L.; LEE, C. T.; BECK, L. R.; HTCHINSON, C. F. Comparison of multi-temporal NOAA-AVHRR and Spot-XS satellite data for mapping land-cover dynamics in the West African sahel. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.13, p.2997-3016, 1992.
- MEDEIROS, A. M. P.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens Landsat na Estimativa de Áreas de Cana-de-Açúcar, Milho e Soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador, BA. **Anais...** [Salvador : s.n.], [1996?]. 1 CD-ROM.
- NIMER, E. 1989. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro : IBGE, 1989. 421p.
- NOVO, E. M. L. de. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2.ed.[Rio de Janeiro] : E. Blücher, 1992. 308p.

- PEREIRA, M.N.; KURKDJIAN, M. L.N. O.; SAMPAIO, B. O. Mapeamento do Uso da Terra do Município de São José dos Campos por Sensoriamento Remoto, como Subsídio para a Elaboração de seu P.D.D.I. In: ENCONTRO NACIONAL DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO PLANEJAMENTO MUNICIPAL, 1987, São Paulo. **Anais...** Campos do Jordão: INPE, 1987. p. 001-019.
- PEREIRA, R. S. Interpretação automática de imagens aplicada ao planejamento rural. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7., 1992, Nova Prata, RS. **Anais...** [S.l. : s.n.], [1992?]. v.2, p. 1191-1210.
- PUCHALSKI, L. A. **Efeitos Associados ao El Niño e La Niña na Temperatura Média, Precipitação Pluvial e no Déficit Hídrico no Estado do Rio Grande do Sul.** 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado - Agrometeorologia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction.** 2nd ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1993.
- ROSSINI, P. Using NDVI/AVHRR data for crop monitoring and forecasting in south italy. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba : INPE, 1993. p.458-463.
- ROUSE, J. W.; HASS, R. H; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: NASA ERTS SYMPOSIUM. v. 3, 1973. p. 309-17.
- SANTOS, J.R. dos. A Tecnologia de Sensoriamento Remoto como Suporte ao Monitoramento Ambiental: Situação Atual e Perspectivas. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO, 2., 1996, Curitiba. **Anais...** Curitiba : [s.n.], 1996. p. 07-14.
- SLATER, P.N. **Remote Sensing Optics and Optical Systems.** [S.l.] : Addison-Wesley , 1980. 575p.
- STEFFEN, C. A.; MORAES, E. C.; GAMA, F. F. Radiometria Óptica Espectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, São José dos Campos, SP. [**Anais...**]. São José dos Campos, SP : INPE, 1996. (Tutorial).
- SMITH, T.R.; MENON, S.; STAR, J. L.; ESTES, J. Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems. **International Journal of Geographic Information Systems**, [s.l.], v. 1, p. 13-31, 1987.
- TODT, V. **Avaliação do Desempenho de Classificadores Neurais para Aplicações em Sensoriamento Remoto.** 1998. 232f. Dissertação (Mestrado) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

- VAN DIJK, A.; CALLIS, S. L.; SAKAMOTO, C. M.; DECKER, W. L. Smoothing Vegetation index profiles: an alternative method for reducing radiometric disturbance in NOAA/AVHRR data. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 532, n.8, p.1059-1067, 1987.
- WATZLAWICK, L. F. **Avaliação de Classificadores a partir de dados coletados através de videografia multiespectral**. 2000. 152f. Dissertação (Mestrado - Sensoriamento Remoto e Meteorologia) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- WEBER, E. J.; SANTOS, M. V. 1994. Analisis estadístico de la estimación de areas cultivadas con arroz (Oriza sativa L.) bajo riego utilizando productos de percepción remota. In: SIMPÓSIO ARGENTINO DE TELEDETECCIÓN, 3., 1994, CÓRDOBA. [Anais...] Córdoba : Universidad de Cordoba, [1994?].
- ZARATTINI, A. C. **Sistemas Sensores Landast e Spot** - Uma Abordagem Comparativa. Dissertação (Mestrado) - Curso de Especialização em Interpretação de Imagens Orbitais e Sub-Orbitais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 1989.