

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Manejo e
Conservação do Solo e da Água



Dissertação

**IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE ÁREAS DE SOJA NA REGIÃO SUL DO
RIO GRANDE DO SUL POR MEIO DE IMAGENS MODIS**

Luis Carlos Nunes Weymar Junior

Pelotas, 2016.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

W549i Weymar Júnior, Luis Carlos Nunes.

Identificação e mapeamento de áreas de soja na região sul do Rio Grande do Sul por meio de Imagens MODIS. / Luis Carlos Nunes Weymar Júnior. – Pelotas, 2016.
79f. il. color. ; 30 cm.

Orientador: Dr. Rodrigo Rizzi.

Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo e da Água) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, 2016.

1. Agronomia. 2. CEI. 3. EVI2. 4. Sensoriamento remoto. 5. Reamostragem. 6. Estatísticas agrícolas. I. Rizzi, Rodrigo. II. Título.

CDD 621.3678

Bibliotecária Responsável:
Francine Couto de Oliveira Weymar CRB10/2183

Luis Carlos Nunes Weymar Junior

**IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE ÁREAS DE SOJA NA REGIÃO SUL DO
RIO GRANDE DO SUL POR MEIO DE IMAGENS MODIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Manejo e Conservação do Solo e da Água).

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rizzi

Pelotas, 2016.

Luis Carlos Nunes Weymar Junior

**IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE ÁREAS DE SOJA NA REGIÃO SUL DO
RIO GRANDE DO SUL POR MEIO DE IMAGENS MODIS**

Aprovada em 22 de fevereiro de 2016

Banca Examinadora:

Professor Dr. Rodrigo Rizzi (Presidente)
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

Pesquisador Dr. Enio Egon Sosinski Junior
Embrapa Clima Temperado

Professor Dr. Fioravante Jaekel dos Santos
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

**“Cada sonho que você deixa para trás é um pedaço do
seu futuro que deixa de existir”**

Steve Jobs

Dedico ...aos meus pais, Brunilda e Luis pelo apoio e dedicação na minha vida e formação, aos meus irmãos e a minha esposa Francine pelo amor e constante incentivo.

Agradecimentos

A meus pais, Brunilda Maria Jahnecke e Luis Carlos Nunes Weymar responsáveis pela minha formação e personalidade;

Aos meus irmãos, Adriza, Guilherme e Lislaine pelo incentivo, companheirismo em todas as horas;

A minha Esposa, Francine Couto de Oliveira Weymar pelo amor e porque sempre esteve me apoiando e incentivando no enfrentamento das dificuldades cotidianas;

Aos meus sogros, Ademar e Maria Rejane pelo incentivo e apoio que sempre me deram;

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado fazendo com que a jornada se tornasse mais tranquila;

Ao Dr. Rodrigo Rizzi sem o qual essa etapa não seria possível, e pelo apoio, amizade, e orientação nessa jornada;

A Universidade Federal de Pelotas (UFPEL) pela oportunidade de realizar uma graduação e pós-graduação de qualidade;

Ao Programa de Manejo e Conservação do Solo e da Água (MACSA) que tornou possível a realização de sonho;

Aos professores do MACSA que foram indispensáveis para a construção do conhecimento;

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural da faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), nos conselhos e conversas durante o mestrado;

Em especial ao professor Dr. Rogers Ademir Drunn Pereira que foi de fundamental importância para se realizar a pesquisa;

As professoras: Dr^a Rita de Cássia Fraga Damé e Dr^a Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra, as quais foram incentivadoras e responsáveis pelo rumo da minha formação acadêmica;

Aos colegas de pós-graduação pelo companheirismo nas horas de estudos das disciplinas e encontros durante a jornada;

Em especial ao colega de pós-graduação Gabriel da Silva Lemos que esteve presente durante a jornada e sempre auxiliando quando necessário;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro concedido por meio de bolsa de mestrado.

RESUMO

WEYMAR JR, Luis Carlos Nunes. **Identificação e mapeamento de áreas de soja na região sul do Rio Grande do Sul por meio de imagens MODIS**. 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

Devido à importância da soja na economia brasileira, a correta identificação e mapeamento das áreas de sojas são de suma importância ao planejamento da produção agrícola e da comercialização. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia rápida e operacional para a identificação e mapeamento das áreas cultivadas com soja em municípios do sul do Rio Grande do Sul a partir da adaptação da metodologia *Crop Enhancement Index* (CEI) em imagens MODIS. Inicialmente, obteve-se um mapa de referência a partir da interpretação visual multitemporal de imagens Landsat adquiridas para a safra 2013/14 em três municípios. Para adaptar a metodologia CEI para o calendário agrícola da soja (períodos de mínimo e máximo Índice de Vegetação (IV)) utilizaram-se as imagens MODIS compostas em 16 dias para as bandas espectrais do vermelho (RED) e do Infravermelho próximo (NIR), sob a forma do IV *Enhanced Vegetation Index 2* (EVI2). Em seguida, uma adaptação espectral foi realizada adicionando-se a banda do infravermelho de ondas curtas (SWIR). Na adaptação espacial, as imagens MODIS foram reamostradas a partir de três algoritmos (vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica) para quatro tamanhos de pixel (250, 125, 62,5 e 30m). Por fim, avaliou-se a capacidade da metodologia CEI/MODIS na identificação das áreas de soja considerando a sua dimensão. Os períodos de mínimo e máximo IV mais adequados vão de 17 de novembro a 1º de janeiro e de 17 de janeiro a 22 de março, respectivamente. A inserção da banda do SWIR aumentou 2,5% o desempenho da metodologia no mapeamento da classe “soja”. Na adaptação espacial, o melhor resultado foi obtido com o tamanho do pixel em 125 m reamostrado pelo algoritmo convolução cúbica, o que provocou um aumento de 6,77% no acerto do mapeamento da classe “soja” e de 1,63% na exatidão global. Em geral, exatidão do produtor foi de 49,07 e 98,72% e a exatidão do consumidor foi de 84,31 e 93,97%, para as classes “soja” e “não soja” respectivamente, com exatidão global de 92,63%. Na identificação

dos talhões de soja, os melhores resultados foram observados para aqueles entre 50 e 100 ha (54%) e acima de 100 ha (83,16%).

Palavras-Chave: CEI, EVI2, sensoriamento remoto, reamostragem, estatísticas agrícolas.

ABSTRACT

WEYMAR JR, Luis Carlos Nunes. **Identification and mapping of soybean fields in the South Portion of Rio Grande do Sul State, Brazil, through MODIS images.** 2016. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

Due to the importance of soybean for the Brazilian economy, the accurate identification and mapping of soybean areas are highly relevant for agricultural planning e trading. In this sense, the goal of this work was to develop a rapid and operational methodology to identify and map soybean fields in municipalities of southern Rio Grande do Sul State, Brazil, by adapting the Crop Enhancement Index (CEI) methodology over MODIS images. First, a soybean reference map for the 2013/14 crop year performed by a multitemporal visual interpretation over Landsat images was obtained for three municipalities. To adapt the CEI methodology to the soybean crop season (periods of maximum and minimum Vegetation Index (VI)), the CEI methodology used 16-days composited MODIS images for red (RED) and Near Infrared (NIR) spectral bands, through the Enhanced VI 2 (EVI2). Then, a spectral adjustment was performed by adding a Short Wave Infrared band (SWIR). During the spatial adapting, MODIS imagery was resampled by using three resampling algorithms (nearest neighbor, bilinear and cubic convolution) and four pixel sizes (250, 125, 62.5 e 30m). Finally, the ability of the CEI/MODIS methodology in identifying soybean considering the field size was assessed. Best result for maximum and minimum VI periods goes from November 17th to January 1st and January 17th to March 22th, respectively. The SWIR band increased 2.5% the performance of CEI for mapping soybean fields. Best result for spatial adapting was provided by cubic convolution and pixel size of 125m, which increased 6.77% the soybean mapping accuracy. Overall, producer's accuracy was 49.07 and 98.72% and user's accuracy was 84.31 and 93.97% for soybean and non-soybean classes, respectively, with global accuracy of 92.63%. Best soybean identification was observed for fields between 50 and 100 (54%) and above 100 ha (83.16%).

Keyword: CEI, EVI2, remote sensing, resampling, agricultural statistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área plantada e produção de soja plantada no Rio Grande do Sul	25
Figura 2: Comparação entre as posições das bandas no espectro eletromagnético, dos sensores ETM+ (Landsat 7) e OLI (Landsat 8)	29
Figura 3: Reamostragem pelo método vizinho mais próximo	36
Figura 4: Reamostragem pelo método bilinear	37
Figura 5: Reamostragem pelo método de Convolução Cúbica	37
Figura 6: Localização da área de estudo no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. Com o limite político dos municípios de Aceguá (A), Bagé (B) e Hulha Negra (C).	39
Figura 7: Área plantada de soja e arroz (ha) nos municípios de Aceguá, Bagé e Hulha Negra	39
Figura 8: Mapa de Referência da área de estudo, com o limite político dos municípios de Aceguá (a), Bagé (b) e Hulha Negra (c)	49
Figura 9: Imagens Landsat 8 (OLI), RGB 564 com destaque para um talhão de soja (centro da imagem) com plantio tardio.	50
Figura 10: Imagens Landsat 8 (OLI), RGB 564 com destaque para um talhão de soja com plantio precoce	51
Figura 11: Perfil temporal do EVI2 para a soja para nos municípios da área de estudo, bem como os períodos de Min e MaxIV utilizados na primeira fase da metodologia	52
Figura 12: Áreas de soja (1) e de arroz (2) na imagem Landsat-8 (OLI) RGB 564 (A), mapa de erros e acertos e imagens CEI com (B e D) e sem (C e E) a utilização da banda do SWIR	55
Figura 13: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 (08/03/2014) usada na elaboração do mapa de referência	58
Figura 14: Imagem MODIS (06/03/2014) original e reamostrada e os respectivos mapas de erros e acertos com o tamanho de pixel de 250m, 125m, 62,5m e 30m e os algoritmos de reamostragem vizinho mais próximo, bilinear, e convolução cúbica.	59

Figura 15: Frequência de valores dos pixels da imagem CEI nas classes “soja” e “não soja” e o limiar de fatiamento acima do qual os pixels foram considerados como representativos das áreas de soja.....	61
Figura 16: Perfil temporal médio do EVI2 nas classes “soja”, “não soja”, erro de inclusão e erro de omissão.....	62
Figura 17: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 de 08 de março de 2014, com destaque ao alvo classificado como erro de inclusão, com seu perfil temporal de EVI2 em comparação com o perfil temporal médio para acerto soja	63
Figura 18: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 de 08 de março de 2014, com dois alvos classificados como erro de omissão, com seus respectivos perfis temporais de EVI2, bem como o perfil temporal médio de EVI2 para acerto soja	64
Figura 19: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB564 de 08 de março de 2014, com destaque ao alvo classificado como acerto soja, com o respectivo perfil temporal de EVI2, em comparação com o perfil temporal de EVI2 para acerto soja	65
Figura 20: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 de 08 de março de 2014, com destaque a alvos classificados como acerto não soja, com os respectivos perfis temporais de EVI2, e em comparação ao perfil temporal médio de EVI2 para acerto soja.....	65
Figura 21: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 de 08 de março de 2014 com destaque para áreas de arroz irrigado e os respectivos perfis temporais de EVI2. As áreas 1 e 2 foram erroneamente classificadas como soja (erro de inclusão) e as áreas 3 e 4 corretamente classificadas como não soja (acerto não soja) pela metodologia CEI.	66
Figura 22: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 de 08 de março de 2014 com destaque para as lavouras de soja e os respectivos perfis temporais de EVI2. As áreas 1 e 2 foram corretamente classificadas como soja (acerto soja) e as áreas 3 e 4 erroneamente classificadas como não soja (erro de omissão) pela metodologia CEI	68
Figura 23: Mapa de soja da área de estudo gerado pela metodologia CEI, com o limite político dos municípios de Aceguá (a), Bagé (b) e Hulha Negra (c)	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de soja no mundo e nos principais países na safra 2014/15	24
Tabela 2: Produção de soja no Brasil nos na safra 2014/15 principais estados produtores	24
Tabela 3: Relação das bandas do sensor ETM+ com suas faixas espectrais e resoluções espaciais	27
Tabela 4: Relação das bandas do sensor OLI com suas faixas espectrais e resoluções espaciais	28
Tabela 5: Características e aplicações das bandas do sensor MODIS a bordo do satélite Terra	30
Tabela 6: Identificação das datas nos calendários Gregoriano e Juliano para as imagens MODIS utilizadas	42
Tabela 7: Relação das composições das datas em dias julianos para a definição dos períodos de Min e MaxIV.....	44
Tabela 8: Descrição dos DJ, e resultados de acertos para as classes “soja” e “não soja” utilizados para definição dos períodos de Min e MaxIV, em cada composição	53
Tabela 9: Análise da composição de MinIV e MaxIV, e os respectivos acertos nas classes “soja” e “não soja” e exatidão global.....	54
Tabela 10: Análise da composição de Min e MaxIV, e os respectivos acertos das classes “soja” e “não soja” e exatidão global.....	56
Tabela 11: Valores de acerto soja e não soja e exatidão global para diferentes tamanho de pixel e algoritmos de reamostragem das imagens MODIS.....	57
Tabela 12: Acertos soja e não soja e exatidão global para avaliação da quantização de armazenamentos para 16 e 8 bits	60
Tabela 13: Resultados de exatidão global e acerto soja e não soja, para exclusão de 1, 2, 4, 8 e 16 pixels e sem a exclusão	69
Tabela 14: Acerto soja e não soja e a exatidão global por município e para a área total	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARVI - *Atmospherically Resistant Vegetation Index*

BL - Bilinear

BRDF - *Bidirectional Reflectance Distribution Function*

CC - Convolução Cúbica

CEI - *Crop Enhancement Index*

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

DEAGRO - Departamento do Agronegócio

DJ - Dia Juliano

EEM - Espectro EletroMagnético

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EOS - *Earth Observing System*

ETM+ - *Enhanced Thematic Mapper Plus*

EUA - Estados Unidos da América

EVI - *Enhanced Vegetation Index*

EVI2 - *Enhanced Vegetation Index 2*

FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

GES DAAC - *Goddard Space Flight Center Earth Sciences Distributed Active Archive Center*

IAC - Instituto de Agronomia de Campinas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IV - Índice de Vegetação

MACSA - Manejo e Conservação do Solo e da Água

MAXIV - Máximo Índice de Vegetação

MINIV - Mínimo Índice de Vegetação

MODAPS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Adaptive Processing System*

MODIS - *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*

MRT - *Modis Reprojection Tool*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*

NIR - *Near Infrared*

OLI - *Operational Land Imager*

RED - *Red*

RS - *Rio Grande do Sul*

SAVI - *Soil Adjusted Vegetation Index*

SIDRA - *Sistema IBGE de Recuperação Automática*

SIG - *Sistema de Informação Geográfica*

SLC - *Scan Line Corrector*

SPRING - *Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas*

SR - *Sensoriamento Remoto*

SWIR - *Short Wave Infrared*

USDA - *United States Department of Agriculture*

USGS - *United States Geological Survey*

VMP - *Vizinho Mais Próximo*

Sumário

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. HIPÓTESE	20
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	2020
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
2.1. ORIGEM DA SOJA	22
2.2. PRODUÇÃO DE SOJA	23
2.3. ZONEAMENTO CLIMÁTICO DA SOJA E DO ARROZ	25
2.4. SENSORES	26
2.4.1. <i>ENHANCED THEMATIC MAPPER PLUS (ETM+)</i>	26
2.4.2. <i>OPERATIONAL LAND IMAGER (OLI)</i>	28
2.4.3. <i>MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)</i>	29
2.5. ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO	3131
2.6. REAMOSTRAGEM.....	35
2.6.1. VIZINHO MAIS PRÓXIMO	36
2.6.2. BILINEAR	36
2.6.3. CONVOLUÇÃO CÚBICA	37
3. METODOLOGIA	38
3.1. ÁREA DE ESTUDO.....	388
3.2. MAPA DE REFERÊNCIA	40
3.3. METODOLOGIA CEI.....	41
3.4. ADAPTAÇÃO TEMPORAL DA METODOLOGIA CEI	43
3.5. ADAPTAÇÃO ESPECTRAL DA METODOLOGIA CEI.....	45
3.6. REAMOSTRAGEM DAS IMAGENS MODIS	45
3.7. ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DAS IMAGENS MODIS DE 16 PARA 8 BITS DE DADOS.....	46
3.8. ANÁLISE DA MÉDIA DO CEI DOS TALHÕES DE SOJA.....	47
3.9. EXCLUSÃO DE PIXELS ISOLADOS	47
3.10. ANÁLISE DO TAMANHO DOS TALHÕES IDENTIFICADOS	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1. MAPA DE REFERÊNCIA	48

4.2.	PERFIL TEMPORAL DO EVI2 DA SOJA.....	51
4.3.	ADAPTAÇÃO TEMPORAL DA METODOLOGIA CEI	52
4.4.	ADAPTAÇÃO ESPECTRAL DA METODOLOGIA CEI.....	54
4.5.	REAMOSTRAGEM DO TAMANHO DO PIXEL DAS IMAGENS MODIS	56
4.6.	ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DAS IMAGENS MODIS DE 16 PARA 8 BITS DE DADOS.....	60
4.7.	ANÁLISE DA MÉDIA DO CEI EM TALHÕES DE SOJA	60
4.8.	ANÁLISE DO PERFIL TEMPORAL DO EVI2 E MÉDIA DO VALOR CEI EM DIFERENTES ALVOS.....	62
4.9.	EXCLUSÃO DE PIXELS ISOLADOS	68
4.10.	ANÁLISE DO TAMANHO DOS TALHÕES IDENTIFICADOS	69
4.11.	RESULTADOS FINAIS.....	70
5.	CONCLUSÕES	72
	REFERÊNCIAS.....	73

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glicine max (L.) Merrill*), tem um papel muito importante na agricultura e na economia brasileira, pois a cultura e seus derivados são uns dos principais produtos do setor agropecuário, que foi responsável por 23% do produto interno bruto do Brasil em 2015 (Mendes, 2016). O Rio Grande do Sul (RS) é um dos principais estados brasileiros responsável pela produção agrícola do país. No RS não é diferente a importância da soja no setor agropecuário, a qual vem aumentando a área plantada nos últimos anos, chegando a 4,6 milhões de hectares em 2015. Isto principalmente devido à expansão da cultura no sul do estado, onde esta começa a figurar mais intensamente onde predomina a cultura do arroz.

As estimativas de área plantada feitas pelos órgãos responsáveis são predominantemente realizadas a partir de opiniões de agentes ligados ao setor agrícola. Entretanto, a maior parte destas informações refere-se apenas aos valores de área plantada, produção e produtividade das culturas e, em geral, não são disponibilizados mapas com a localização espacial dos talhões.

Tais mapas são fundamentais quando o foco dos estudos são inferências sobre impactos ambientais da existência ou expansão de cultivos agrícolas em uma determinada região. Porém, vêm se desenvolvendo nos últimos anos algumas alternativas com o intuito de auxiliar na geração não só dos valores de área ocupada pelas culturas, mas dos mapas contendo a localização dos talhões. Esses estudos contam, principalmente, com o auxílio de imagens de satélite e de Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Ao longo da safra, as culturas agrícolas possuem características particulares em imagens orbitais, onde pode se observar o seu comportamento espectral variável. Uma imagem orbital advém da aquisição através de sensores a bordo de satélites artificiais. O comportamento espectral é resultado da interação da REM com os alvos da superfície terrestre. Este pode fornecer indicadores sobre as épocas de preparo do solo ou pré-semeadura, pleno desenvolvimento das plantas e da senescência. Com isso, o uso de séries temporais de imagens de satélite vem sendo crescentemente incluído nos estudos de identificação e mapeamento dessas culturas.

Existem diversas imagens que podem auxiliar na geração dos mapas das culturas como, por exemplo, as dos satélites Landsat, com resolução espacial de 30

metros. Estas são adequadas para identificar e delimitar talhões de grandes culturas. Porém, a grande cobertura de nuvens dificulta à obtenção de várias imagens ao longo da safra para grandes regiões, dada a sua baixa resolução temporal, o que dificulta o mapeamento dos talhões de forma regular em grandes regiões.

A utilização de imagens adquiridas por sensores com maior tempo de revisita (como o MODIS) minimiza o problema de cobertura de nuvens, permitindo a análise espectro-temporal em grandes regiões, como um estado, através de índices espectrais de vegetação (IV). A metodologia CEI (*Crop Enhancement Index*) (Rizzi et al., 2009) em imagens MODIS tem demonstrado potencial na identificação e no mapeamento de cultivos agrícolas (MAÇORANO et al., 2014, SILVA JUNIOR, C. A. et al., 2014). Contudo, uma vez que tais imagens possuem resolução espacial mais grosseira, o foco do problema reside na validação desta metodologia, ou seja, na avaliação da precisão da identificação dos talhões de soja, principalmente frente aos talhões de arroz na região em estudo, bem como do correto mapeamento dos seus limites.

1.1. HIPÓTESE

É possível identificar e mapear as áreas cultivadas com soja em municípios do sul do RS por meio da análise do comportamento espectro-temporal da cultura em imagens adquiridas pelo sensor MODIS.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma metodologia rápida, operacional para a identificação das áreas cultivadas com soja em municípios do sul do RS a partir da metodologia CEI em imagens adquiridas pelo sensor MODIS.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Gerar um mapa temático das áreas de soja a partir de imagens padrão Landsat para parte da área de estudo e uni-lo a mapas existentes, visando gerar um dado de referência;
- Adaptar a metodologia CEI/MODIS no que se refere às janelas temporais das composições das imagens de Mínimo e Máximo IV, bem como às bandas espectrais que compõem as imagens IV, para as condições de cultivo da região sul do RS, visando identificar as áreas de soja;
- Avaliar o desempenho de algoritmos para a reamostragem dos valores das imagens do MODIS tanto para sua resolução espacial nativa quanto para diferentes tamanhos de pixel no mapeamento das áreas de soja;
- Confrontar espacialmente os mapas gerados a partir da metodologia CEI/MODIS frente ao de referência para quantificar e identificar as fontes de erro de omissão e inclusão a partir da análise espectral e temporal em imagens MODIS e Landsat;
- Avaliar a capacidade da metodologia CEI/MODIS na identificação das áreas de soja considerando a sua dimensão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ORIGEM DA SOJA

A soja teve sua origem na Ásia, mais precisamente na China. Contudo, data-se de aproximadamente 3000 anos atrás. Entretanto, foi apenas após a guerra com o Japão (1894 – 1895) que a soja deixou de ser exclusividade da China, onde os japoneses importaram a soja como fertilizante (FEDERIZZI, 2005). Na Europa a soja começou a se propagar em meados dos anos de 1739, no jardim botânico de Paris na França (SEDIYAMA et al., 1996a). Porém, há relatos de 1712 quando um botânico alemão já teria mencionado o grão nos seus escritos (FEDERIZZI, 2005).

Nas Américas o primeiro relato da leguminosa é nos Estados Unidos da América (EUA), e foi de lá que vieram as sementes que iniciaram a propagação da mesma no Brasil (Costa, 1996). Em 1882, Gustavo D’Utra levou para a Bahia as sementes de soja oriundas do EUA, sendo este o marco da introdução da soja no Brasil, e em 1892 o Instituto de Agronomia de Campinas (IAC), registrou experiências com a soja por Daffert (FEDERIZZI, 2005).

Os primeiros relatos da soja no RS são datados do início do século XX, em que em 1914 o professor Craig da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, foi o responsável pela chegada do grão no estado (COSTA, 1996). Contudo, foi em 1941 que a soja apareceu nas estatísticas agrícolas oficiais e entre 1960 e 1970 ocorreu à expansão de produção da soja, que se deu devido ao aumento do seu preço e das disponibilidades da infra-estrutura do trigo, ociosa no verão.

A soja tem como principais produtos do complexo o grão propriamente dito, o farelo para alimentação animal e o óleo. Com seu elevado teor de proteína e óleo e sua composição favorável de aminoácidos, essa leguminosa torna-se uma ótima substituta à carne na alimentação humana (COSTA, 1996). A soja é composta de aproximadamente 40% de proteína, 20% de óleo, 17% de celulose, 7% de açúcares, 6% de cinzas, 5% de fibras e outros (FEDERIZZI, 2005).

No final da década de 70 do século passado, houve a expansão da área de cultivo de soja no sul do Brasil, devido ao aumento do preço do grão, sendo o RS então responsável por 90% da produção do país (COSTA, 1996). Em 1976, o estado do Paraná já dividia com o estado do RS o posto de maior produtor de soja do país. Contudo, o rendimento do estado do Paraná no final do século XX já superava o do

RS. O sul do país tem condições climatológicas semelhantes às lavouras americanas, origem da soja usada na região.

Entretanto, em 1980, através do melhoramento genético, gerou-se o evento da “tropicalização” da soja, o qual fez com que o centro-oeste do Brasil começasse a produzir o grão, vindo a se tornar o maior produtor do país.

Os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul surgiram com contribuições importantes para produção brasileira de soja nesta mesma época (COSTA, 1996). A revolução socioeconômica e tecnológica protagonizada pela soja no Brasil Moderno pode ser comparada ao fenômeno ocorrido com a cana-de-açúcar, no Brasil Colônia e com o café, no Brasil Império/República.

Entretanto, o estado com maior área plantada na safra 2014/15 foi o Mato Grosso, seguido pelo RS, e pelo Paraná (CONAB, 2016). A região conhecida como MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) tem a previsão de crescer 18,7% em área de soja até 2025. Podendo chegar a 8,7 milhões de hectares (MAPA, 2015). O aumento de área plantada no RS tem como responsável também a região sul do estado, onde encontra-se a região em estudo.

2.2. PRODUÇÃO DE SOJA

A produção mundial de soja na safra de 2014/2015 foi de 318,8 milhões de toneladas. O Brasil contribuiu com 96,2 milhões de toneladas, ou seja, aproximadamente 30,2% de toda produção mundial. Na tabela 1 são descritos os principais produtores mundiais do grão (DEAGRO/FIESP, 2016). A produção de grãos de soja do Brasil na safra de 2015/16, pelas projeções do *United States Department of Agriculture* e dados da Companhia Nacional de Abastecimento CONAB, será em torno de 30,2% da produção mundial (CONAB, 2015).

Tabela 1: Produção de soja no mundo e nos principais países na safra 2014/15.

País	Produção (Milhões de Toneladas)	%
EUA	106,9	33,5
Brasil	96,2	30,2
Argentina	61,4	19,3
China	12,2	3,8
Demais	42,2	13,2
Mundo	318,8	100,0

Fonte: DEAGRO/FIESP (2016).

Na tabela 2 constam os valores de produção de soja dos principais estados brasileiros, bem como sua contribuição na produção nacional. A soma dos seis principais estados equivale a 83,2% de toda produção brasileira (CONAB, 2015).

Tabela2: Produção de soja no Brasil na safra 2014/15 nos principais estados produtores.

Estado	Produção (Mil Toneladas)	%
Mato Grosso	28.018	29,1
Paraná	17.210	17,9
Rio Grande do Sul	14.881	15,5
Goiás	8.625	9,0
Mato Grosso do Sul	7.177	7,5
Bahia	4.180	4,3

Fonte: CONAB (2015).

O aumento de área plantada com soja no sul do RS vem se destacando nos últimos anos, pois em regiões antes típicas de outras culturas, como o arroz, percebe-se o aumento das áreas de soja. Na figura 1 nota-se a expansão da área cultivada e da produção de soja no RS.

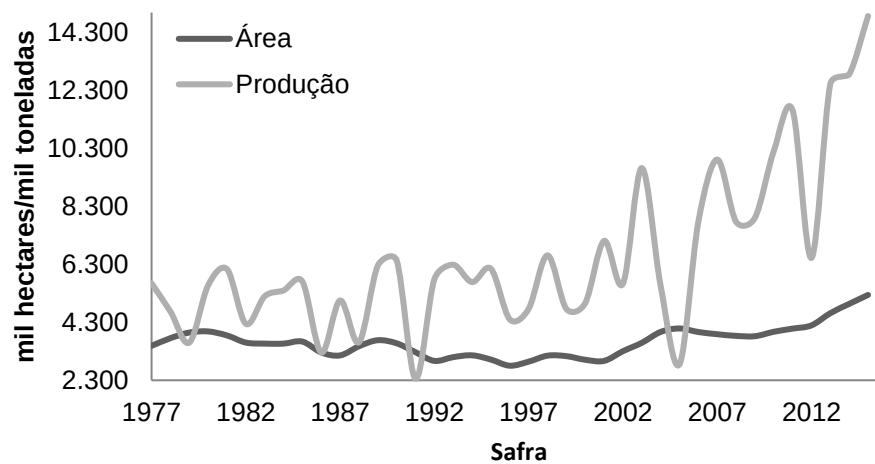


Figura 1: Área plantada e produção de soja no Rio Grande do Sul.
Fonte: CONAB (2015).

2.3. ZONEAMENTO CLIMÁTICO DA SOJA E DO ARROZ

A época de plantio da soja na região sul do RS é compreendida entre o início de outubro e o fim de dezembro. Contudo, conforme Cunha et al. (2001), o maior rendimento dá-se quando as semeaduras ocorrem em novembro. No mesmo trabalho, o autor conclui que para o sul do estado as cultivares de ciclo precoce são aquelas em que as perdas do potencial de rendimento são maiores em relação às de ciclo semitardio/tardio.

Um dos motivos pelos quais a perda do potencial de rendimento da soja é maior nos ciclos precoce é o problema de deficiência hídrica. Estas são maiores e mais frequentes nas regiões central, sul e oeste do RS, na região da Campanha, ao sul do estado, as necessidades de irrigação são maiores que as verificadas na região norte. Esse fato demonstra que a chuva normal de verão, na média, não é suficiente para suprir às necessidades hídricas das culturas, principalmente na metade sul do estado, em função da maior demanda evaporativa da atmosfera no verão, conforme Cunha et al. (2001).

Os critérios para semeadura da soja seguem o recomendado a um solo de 5 cm de profundidade que são no início da semeadura a temperatura fique em 18,7 e 24,1°C e entre 24,4 a 29,4°C no final da época recomendada para o estado do RS (COSTA, 1996).

A região de estudo tem como principal cultura o arroz irrigado. As características espectrais do arroz podem assemelhar-se às da soja em algumas fases do desenvolvimento da cultura. Com isso, torna-se necessário conhecer as características de cultivo do arroz para o melhor desenvolvimento do trabalho.

Para o arroz, Steinmetz et al. (2007) separaram o RS em sub-regiões agroclimáticas. A área de estudo deste trabalho (municípios de Aceguá, Bagé e Hulha Negra) localiza-se na sub-região 10b. Nesta região, o período de semeadura do arroz vai de 11 a 30 de outubro para cultivares de ciclo tardio, de 11 de outubro a 20 de novembro para as de ciclo médio, de 21 de outubro a 30 de novembro para as de ciclo precoce e de 21 de outubro a 10 de dezembro para as de ciclo muito precoce.

Os critérios utilizados para definição dos períodos de semeadura do arroz foram: temperatura do solo desnudo a 5 cm de profundidade maior ou igual a 20°C, como indicador do início da semeadura, a probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas do ar menores ou iguais a 15°C durante os períodos de prefloração e floração e a disponibilidade de radiação solar nas fases reprodutiva e de maturação (STEINMETZ et al., 2007).

2.4. SISTEMAS SENSORES

Há uma variedade de satélites e sensores imageadores orbitando a Terra. Cada sensor tem características próprias, gerando assim diferentes tipos de imagens. Algumas das principais características desses sensores são a resolução espacial, a largura da faixa imageada, número, largura e posicionamento das bandas espectrais, resolução radiométrica, dentre outras. A seguir serão abordados os sensores utilizados no trabalho.

2.4.1. *ENHANCED THEMATIC MAPPER PLUS (ETM+)*

O lançamento do satélite Landsat-7 foi em 15 de abril de 1999, a bordo do satélite está o sensor ETM+. As suas imagens estão disponíveis no

[site<glovis.usgs.gov/>](http://glovis.usgs.gov/) pelo USGS. A sua órbita é síncrona com o sol na altitude de 705 km. O sensor cobre todo globo terrestre a cada 16 dias, exceto para as latitudes polares. A sua faixa de imageamento é de 185 km, sua resolução espacial é de 15 a 60 m e sua resolução radiométrica é de 8 bits (USGS, 2015c). O sensor ETM+ possui 8 bandas espectrais (Tabela 3), cada uma possui características e aplicações diferentes (WILLIAMS et al., 2006). As bandas são divididas da seguinte maneira: três bandas espectrais são centradas na faixa do visível do Espectro Eletromagnético (EEM) (bandas 1, 2 e 3), uma na faixa do infravermelho próximo (do inglês *NEAR-INFRARED* - NIR) (banda 4), duas no infravermelho de ondas curtas (do inglês *SHORTWAVE INFRARED* - SWIR) (bandas 5 e 7), uma no infravermelho termal (banda 6) e uma banda pancromática (banda 8).

Tabela 3: Relação das bandas do sensor ETM+ com suas faixas espectrais e resoluções espaciais.

Banda	Faixa Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)
1	0,441 - 0,514	30
2	0,519 - 0,601	30
3	0,631 - 0,692	30
4	0,772 - 0,898	30
5	1,547 - 1,749	30
6	10,31 - 12,36	60
7	2,064 - 2,345	30
8	0,515 - 0,896	15

Fonte: USGS, (2015d).

Em 31 de maio de 2003, o ETM+ apresentou uma falha no *Scan Line Corrector* (SLC), o que provoca áreas sem recobrimento nas porções laterais das imagens. Contudo, suas características geométricas e radiométricas das áreas imageadas no centro da cena não dependem do SLC (USGS, 2015a), permitindo o uso destas imagens para mapeamento quando as áreas de estudo se encontram no centro da faixa imageada.

2.4.2. OPERATIONAL LAND IMAGER (OLI)

O lançamento do satélite Landsat-8 foi em 11 de fevereiro de 2013. Sua órbita é síncrona com o sol a uma altitude de 705 km. A bordo do satélite está o sensor OLI, cujas imagens estão também disponíveis no *site* <glovis.usgs.gov/> pelo USGS. O sensor cobre todo o globo terrestre a cada 16 dias, exceto para as latitudes polares, e sua passagem por um ponto qualquer do globo terrestre se dá com oito dias de defasagem em relação ao Landsat-7. A sua faixa de imageamento é de 185 km e sua resolução radiométrica é de 12 bits (USGS, 2015b).

O sensor OLI possui 9 bandas espectrais (tabela 4), cada uma possui características e aplicações diferentes. As bandas espectrais são divididas da seguinte maneira: quatro bandas espectrais são centradas na faixa do visível do EEM (bandas 1, 2, 3 e 4), uma na faixa do NIR (banda 5), três no SWIR (bandas 6, 7 e 9) e uma banda pancromática (banda 8). A banda pancromática possui resolução espacial de 15m e as demais tem resolução espacial de 30m.

Tabela 4: Relação das bandas do sensor OLI com suas faixas espectrais e resoluções espaciais.

Banda	Faixa Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)
1	0,435 - 0,451	30
2	0,452 - 0,512	30
3	0,533 - 0,590	30
4	0,636 - 0,673	30
5	0,851 - 0,879	30
6	1,566 - 1,651	30
7	2,107 - 2,294	30
8	0,503 - 0,676	15
9	1,363 - 1,384	30

Fonte: USGS, (2015d).

Na figura 2 pode-se perceber as diferenças das bandas espectrais entre os sensores ETM+ e OLI. Assim, é possível ver a correspondência gráfica entre as suas bandas espectrais.

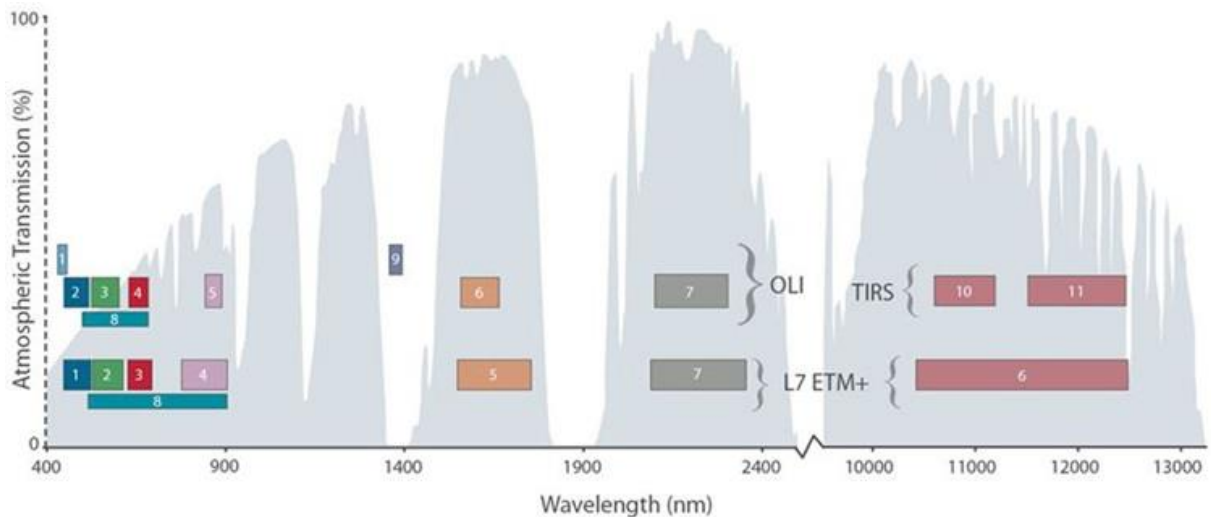


Figura 2: Comparação entre as posições das bandas no espectro eletromagnético, dos sensores ETM+ (Landsat 7) e OLI (Landsat 8).

Fonte: NASA (2016).

2.4.3. MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*)

O sensor MODIS (JUSTICE et al. 1998b) encontra-se a bordo dos satélites Terra e Aqua da *National Aeronautics and Space Administration* e fazem parte do projeto EOS (*Earth Observing System*), que foi concebido com o intuito de fornecer observações de longo prazo, para obter melhor conhecimento da dinâmica global e dos processos que ocorrem na superfície da Terra (JENSEN, 2011). O MODIS tem uma faixa de imageamento de 2330 km de largura, isso faz com que entre 1 e 2 dias cada ponto do planeta seja observado (NASA, 2015a). Isto permite a geração de imagens compostas, geralmente livres de cobertura de nuvens. Em um período de 16 dias de observações, por exemplo, utilizam-se os melhores pixels para compor uma imagem. Os produtos do MODIS podem ser encontrados em <http://reverb.echo.nasa.gov/>.

O MODIS é um radiômetro de imageamento por varredura “*whiskbroom*”, que utiliza o deslocamento do satélite para fazer o imageamento na direção do voo (JENSEN, 2011). O instrumento coleta dados em 36 bandas espectrais as quais são descritas na tabela 5. Neste caso, 10 bandas estão posicionadas na região espectral do visível, sete na região do NIR, três no SWIR e 16 no espectro termal. A resolução radiométrica do sensor MODIS é de 12 bits. Na tabela 5 também são descritas suas aplicações (JUSTICE et al. 1998a).

Tabela 5: Características e aplicações das bandas do sensor MODIS a bordo do satélite Terra.

Banda	Faixa Espectral (µm)	Resolução Espacial (m)	Utilidade da Banda
1	0,62-0,67	250	Classificação de cobertura da Terra, absorção por clorofila, mapeamento do índice de área foliar
2	0,841-0,876	250	
3	0,459-0,479	500	Propriedade da Terra, nuvens e aerossóis
4	0,545-0,565	500	
5	1,230-1,250	500	
6	1,628-1,652	500	
7	2,105-2,155	500	
8	0,405-0,420	1000	
9	0,438-0,448	1000	
10	0,483-0,493	1000	Cor dos oceanos, fito plâncton, biogeoquímica
11	0,526-0,536	1000	
12	0,546-0,556	1000	
13	0,662-0,672	1000	
14	0,673-0,683	1000	
15	0,743-0,753	1000	
16	0,862-0,877	1000	
17	0,890-0,920	1000	Vapor d'água atmosférico
18	0,931-0,941	1000	
19	0,915-0,965	1000	
20	3,600-3,840	1000	Temperatura de superfície de nuvem
21	3,929-3,989	1000	
22	3,929-3,989	1000	
23	4,020-4,080	1000	
24	4,433-4,498	1000	Temperatura atmosférica
25	4,482-4,549	1000	
26	1,360-1,390	1000	Nuvens Cirrus
27	6,535-6,895	1000	Vapor d'água
28	7,175-7,475	1000	
29	8,400-8,700	1000	
30	9,580-9,880	1000	Ozônio
31	10,780-11,280	1000	Temperatura de superfície de nuvem
32	11,770-12,270	1000	
33	13,185-13,485	1000	Altitude do topo das nuvens
34	13,485-13,785	1000	
35	13,785-14,085	1000	
36	14,085-14,385	1000	

Fonte: Jensen, (2011).

Os posicionamentos de algumas destas bandas visam principalmente, fornecer informações para alimentar algoritmos que buscam promover a correção dos efeitos atmosféricos, propostos em VERMOTE E VERMEULEN (1999). O MODIS transfere os dados capturados para uma estação terrestre. Os dados passam por processamentos antes de serem disponibilizados ao público. O processamento de dados gera variados produtos, que têm sua aplicação separada em terrestres, oceânicas e atmosféricas. Nesse trabalho utilizaram-se os produtos MOD13Q1 e MCD43A4.

O produto MOD13Q1 é um produto que contém imagens compostas de dois índices de vegetação, que são o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e o *Enhanced Vegetation Index* (EVI), com composições no período de 16 dias e resolução espacial de 250m. As bandas do azul e do SWIR são reamostradas para 250m, isso devido a estas serem adquiridas originalmente em resolução espacial de 500m. Enquanto o NDVI é mais sensível à clorofila, o EVI é mais sensível a variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar, a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (HUETE et al., 2002).

O produto MCD43A4 fornece dados com resolução espacial de 500m, usando a função de distribuição da reflectância bidirecional (do inglês; *bidirectional reflectance distribution function*) para modelar os valores de reflectância como se estes fossem adquiridos com visada a nadir. O produto possui frequência temporal de 8 dias e refere-se a uma composição de 16 dias (o dia inicial e os 15 dias subsequentes). Os satélites Terra e Aqua fornecem dados para geração desse produto, proporcionando melhor qualidade na geração dos dados (LP DAAC, 2014).

2.5. ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO

Na literatura há diversos IV propostos com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, principalmente nas regiões do visível e do NIR. Os IV são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal como índice de área foliar, biomassa, além de minimizar os efeitos de variações na iluminação da cena, declividade da superfície e geometria de aquisição, que influenciam os valores de reflectância dos alvos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Os IV são definidos como razão simples, soma, diferenças ou razões de diferenças de bandas posicionadas em diferentes porções do espectro eletromagnético. O objetivo é ampliar o sinal da vegetação e reduzir os efeitos da atmosfera, geometria da cena e do solo. Contudo, o IV que responder pequenas variações no estado fenológico da vegetação e não for abalado pelas variações das condições atmosféricas, da geometria da cena do solo pode ser considerado ideal (JACKSON; HUETE, 1991).

O NDVI é um dos IV mais utilizados quando se trata de dinâmica da cobertura vegetal. Este IV foi proposto por Rouse et al. (1973), que normalizaram a razão simples para o intervalo de -1 a +1. O NDVI é obtido através da equação 1.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

em que RED e NIR são valores de reflectância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente.

Os números digitais de uma imagem NDVI variam de -1 a 1. Os valores mais elevados estão relacionados às áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa e vice-versa (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

As características do solo no espectro de radiação dos dosséis vegetais esparsos têm influência no cálculo de IV (HUETE, 1988). Huete et al. (1985) verificaram que a sensibilidade dos IV em relação a cobertura de solo pela vegetação deve ser considerada. Portanto, no *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), introduziu-se uma constante com a função de minimizar o efeito do solo. Para tal constante os valores variam de 1 a 0 sendo 1 para densidades baixas de vegetação, 0,5 para densidades médias e 0,25 para altas densidades. A fórmula para o cálculo do SAVI pode ser vista na equação 2.

$$SAVI = \frac{(NIR-RED)*(1+L)}{NIR+RED+L} \quad (2)$$

em que RED e NIR são valores de reflectância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente e L é o constante para correção dos efeitos do solo.

Com o objetivo de reduzir a dependência do NDVI dos efeitos atmosféricos foi desenvolvido por Kaufman e Tanré (1992) o *Atmospherically Resistant Vegetation Index* (ARVI). Na qual a banda do vermelho foi substituída pela diferença da reflectância entre as bandas do azul e do vermelho como um indicador da interferência atmosférica. Pode-se observar a fórmula do ARVI na equação 3 e a equação 4 sendo a constante AV.

$$ARVI = \frac{NIR - AV}{NIR + AV} \quad (3)$$

$$AV = RED * Y(BLUE - RED) \quad (4)$$

em que BLUE, RED e NIR são valores de reflectância nas bandas do azul, vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente, e Y é um parâmetro que depende das características dos aerossóis presentes na região em estudo (geralmente é utilizado o valor de 1).

Contudo, com o desenvolvimento do sensor MODIS, Huete et al. (1999) propuseram um novo IV que se denomina EVI, o qual foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de sua detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, e reduzindo a influência do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). O EVI é calculado através da equação 5.

$$EVI = G * \frac{NIR - RED}{NIR + C1 * RED - C2 * BLUE + L} \quad (5)$$

em que BLUE, RED e NIR são valores de reflectância nas bandas do azul, vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente, C1 e C2 são os coeficientes de correção dos efeitos atmosféricos para o vermelho e o azul, respectivamente, L é o fator de correção para a interferência do solo e G é o fator de ganho. Os valores geralmente utilizados são 6, 7,5, para C1 e C2, respectivamente e fixos em 2,5 e 1 para L e G, respectivamente.

Em seguida, o EVI2 (*Enhanced Vegetation Index 2*) foi proposto por Jiang et al. (2008), de acordo com a equação 6:

$$EVI2=2,5* (NIR - RED) / (NIR+2,4* RED+1) \quad (6)$$

em que RED e NIR são imagens de reflectância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente.

A abordagem *Crop Enhancement Index* (CEI) (Rizzi et al., 2009) é fundamentada no comportamento temporal do IV e no calendário agrícola da região em estudo. Sendo a cultura observada ao longo de todo o seu ciclo de crescimento e desenvolvimento. A metodologia CEI é baseada na diferença entre o máximo (MaxIV) e o mínimo IV (MinIV). A formulação original do CEI dá-se a partir da equação 7:

$$CEI=G* (MaxIV-MinIV) / (MaxIV+MinIV+S) \quad (7)$$

em que MaxIV = valor máximo do EVI observado no período de máximo desenvolvimento da cultura; MinIV = valor mínimo do EVI observado no período de pré-plantio e/ou emergência; S = coeficiente de realce (10^2); G = fator de ganho (10^2).

O valor do MinIV para as áreas de soja ocorre na fase que antecede a semeadura ou quando a cultura ainda está em fase inicial, durante a emergência. Neste período, a resposta espectral predominante é a do solo exposto e os valores de IV observados nas imagens são baixos. O valor do MaxIV é observado durante a fase de máximo desenvolvimento da cultura, quando a resposta espectral é função, principalmente, da ampla cobertura do solo pelas plantas e da elevada biomassa, o que implica em altos valores de IV nas imagens.

Os valores de CEI podem variar numericamente entre -1 e 1. Contudo, grandes diferenças positivas entre o Max e o MinIV observados ao longo da safra da soja retornam altos valores de CEI e indicam grande probabilidade de um pixel representar a cultura. Áreas não cultivadas ou de floresta apresentam pouca ou nenhuma variação na biomassa no mesmo período, o que resulta em valores de CEI próximos a zero. Já áreas com maior biomassa na época do MinIV em relação à época do MaxIV da soja apresentam valores negativos de CEI. Portanto, teoricamente o CEI pode ser empregado para detectar qualquer tipo de cultura agrícola, desde que o seu calendário seja conhecido e bem definido em uma determinada região, conforme visto em trabalhos desenvolvidos por Eberhardt et al. (2013) e Risso (2013).

Na composição das imagens MODIS, teoricamente cada pixel contém o melhor valor observado dentro do período de 16 dias, entretanto, isso não quer dizer que

esteja imune a cobertura de nuvens ou falhas no processo de seleção de pixels. Uma das alternativas para evitar essa questão é escolher imagens em épocas de menor cobertura de nuvens, ou realizar uma inspeção visual com o intuito de retirar imagens ou porções de imagens com presença desses problemas. Outro procedimento adotado por Rizzi et al. (2009), para eliminar pixels isolados e erroneamente classificados na formação das imagens de Min e MaxIV foi a aplicação de um filtro de moda com a janela de 5x5 pixels sobre o mapa final. Todavia, tal processo pode comprometer a delimitação correta dos talhões, por promover uma supressão dos limites dos mesmos.

2.6. REAMOSTRAGEM

A aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto (SR), permite explorar diferentes escalas de trabalho, que dependerá exclusivamente da natureza do estudo a ser realizado (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010). Assim, podem utilizar-se de diferentes sensores cujas resoluções espaciais não necessariamente são coincidentes. A utilização da reamostragem dá-se quando se têm duas imagens ou dados com resoluções espaciais diferentes. Em que se transforma uma das imagens para a resolução da outra, contudo, não é sempre que as escalas são exatamente divisíveis entre si. Isso faz com que um novo pixel fique entre dois pixels, ou que um pixel agrupe mais de um pixel na sua composição. Devido a isso, faz-se necessário uma interpolação, em que os pixels (valores) passam por uma reamostragem baseada na sua vizinhança. Existem diferentes maneiras de se realizar a reamostragem, contudo, os valores dos pixels devem ser interpolados baseados na sua vizinhança. Alguns dos processos de reamostragem são os de “vizinho mais próximo”, “bilinear” e “convolução cúbica”.

A alteração do tamanho do pixel de uma imagem a partir da reamostragem também pode ser utilizada visando melhorar a qualidade do mapeamento das classes. Por exemplo, como quase a totalidade dos talhões de soja é muito maior do que aquela abrangida por um pixel (0,09 ha) nas imagens Landsat, estes são representados por muitos pixels. Isto permite o seu mapeamento com uma exatidão satisfatória, pois se faz uma melhor análise na inspeção visual dos talhões durante o

mapeamento. Diferentemente do que ocorre com o uso das imagens do MODIS utilizadas, em que cada pixel representa uma área de 6,25 ha (bandas RED e NIR) ou 25 ha (banda SWIR), quando muitos talhões podem ser representados por poucos ou nenhum pixel puro. A reamostragem não altera a resolução espacial da imagem, mas como mais pixels são utilizados para representar os talhões, este processo pode melhorar a qualidade do mapeamento, principalmente pela melhor delimitação dos seus limites.

2.6.1. VIZINHO MAIS PRÓXIMO

O algoritmo do tipo vizinho mais próximo é uma interpolação determinística no qual o novo valor é igual ao da sua amostra mais próxima, não considerando qualquer outra. Ou seja, é realizado atribuindo-se ao pixel ora gerado o mesmo valor do seu vizinho mais próximo (Figura 3). Fazendo com que não ocorra a criação de valores inexistentes na imagem original. Então, este algoritmo é geralmente utilizado quando não se pode alterar os valores dos pixels.

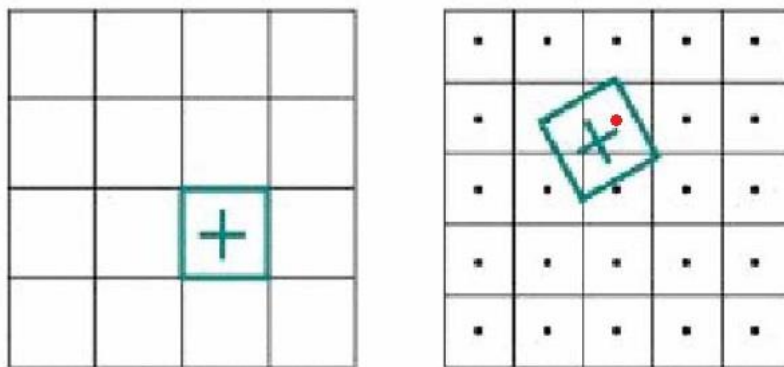


Figura 3: Reamostragem pelo método vizinho mais próximo.
Fonte: Melo & Pachêco (2004).

2.6.2. BILINEAR

O algoritmo de reamostragem do tipo bilinear utiliza a média ponderada dos quatro vizinhos usando uma grade de 2x2 (Figura 4), podendo ocorrer, então, a mudança do valor do pixel. Para cada vizinho, é considerado o inverso da distância,

uma vez que quanto menor a distância, mais aquele pixel contribui para a formação do valor final do pixel.

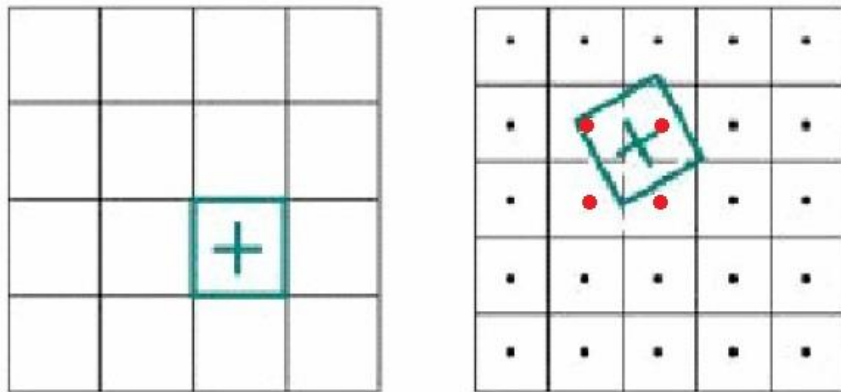


Figura 4: Reamostragem pelo método bilinear.

Fonte: Melo; Pachêco (2004).

2.6.3. CONVOLUÇÃO CÚBICA

Na reamostragem do tipo convolução cúbica, são levados em consideração os 16 pixels mais próximos (4x4), nesse método a interpolação ajusta os polinômios cúbicos a cada coluna, interpolando após um novo polinômio cúbico a esses resultados (Figura 5).

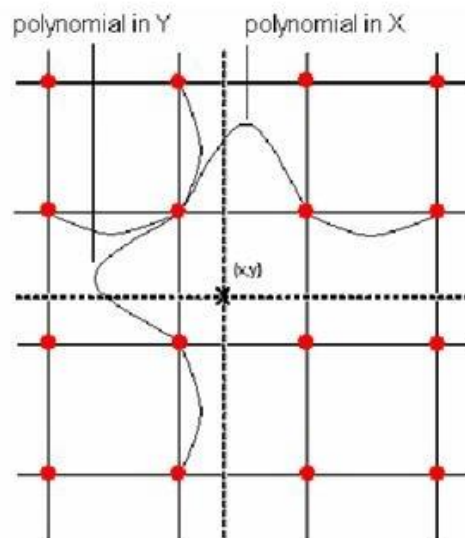


Figura 5: Reamostragem pelo método de Convolução Cúbica.

Fonte: Brys (2008).

O método de convolução cúbica é o mais complexo entre os citados, porém, é mais preciso espacialmente quando se realiza os trabalhos com imagens com resoluções diferentes. As imagens com esse tipo de algoritmo têm um aspecto visual mais agradável. Contudo, é o método que os dados mais sofrem alterações entre os citados (BRYs, 2008).

3. METODOLOGIA

Todas as fases do projeto foram realizadas no aplicativo SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas; Câmara et al., 1996) disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (www.dpi.inpe.br/spring/), bem como no aplicativo GNU OCTAVE, que é uma linguagem de programação que se destina principalmente para cálculos numéricos (EATON; BATEMAN; HAUBERG, 2009). O OCTAVE fornece recursos para a solução numérica de problemas lineares e não lineares e para realizar outros experimentos numéricos. Também fornece uma extensa capacidade de gráficos para visualização e manipulação de dados, sendo disponibilizado pela *GNU General Public* (<http://www.gnu.org/software/octave/>). As imagens do MODIS foram reprojetadas e reamostradas pelo *software Modis Reprojection Tool* (MRT), disponível em https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool/, a partir de uma programação em lote. Como o OCTAVE não opera com imagens quantizadas em 16 bits de dados, formato em que as imagens MODIS são armazenadas, estas foram transformadas para 8 bits com o auxílio do *software* ConvGeoTiff, desenvolvido pelo INPE e disponível em www.gosharefiles.com/get/-85GKI73/ConvGeotiff.html.

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A região estudada localiza-se na Campanha do RS, compreendendo os municípios de Aceguá, Bagé e Hulha Negra (Figura 6). Tais municípios estão inseridos entre os meridianos O 55° 14' 54" e O 52° 16' 32" e os paralelos S 32° 45' 47" e S 30° 29' 25", totalizando aproximadamente 6.468 Km².

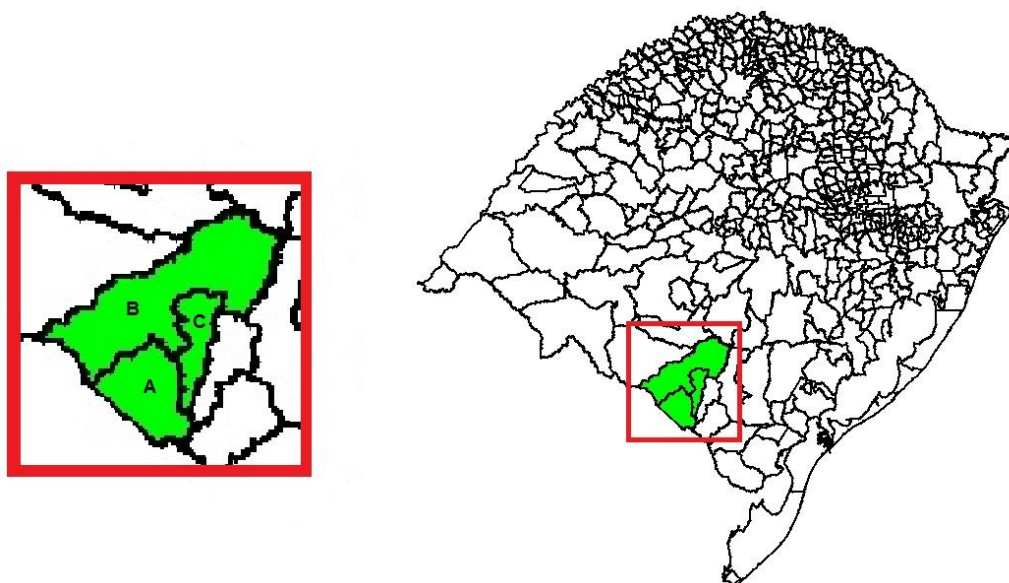


Figura 6: Localização da área de estudo no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. Com o limite político dos municípios de Aceguá (A), Bagé (B) e Hulha Negra (C).

A escolha dos municípios deu-se devido à grande expansão de áreas cultivadas com soja apresentada na região nos últimos anos. Essa região é também importante produtora de arroz irrigado. Na figura 7, pode-se observar o aumento de área plantada com soja na área de estudo, que, nos últimos anos, superou a área plantada de arroz.

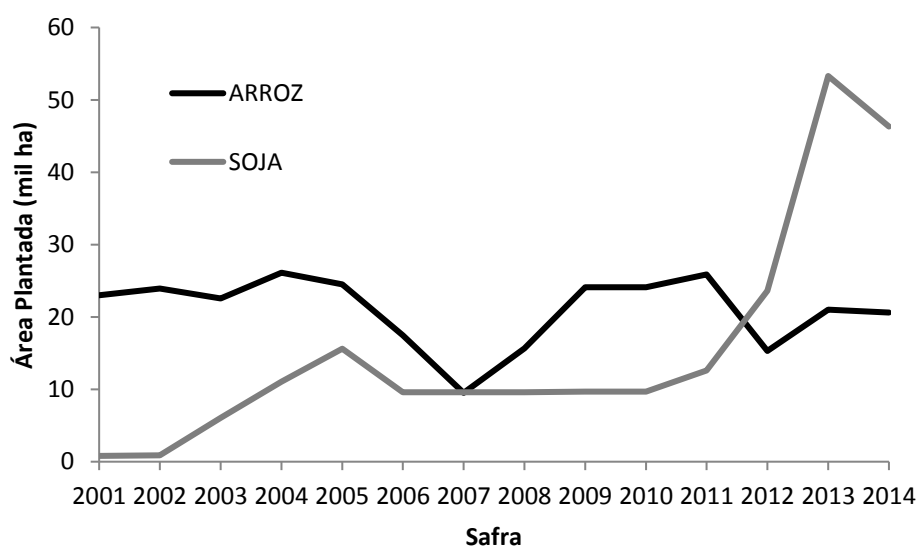


Figura 7: Área plantada de soja e arroz (ha) nos municípios de Aceguá, Bagé e Hulha Negra.
Fonte: SIDRA (2015).

Entretanto, como a soja é relativamente nova na região, seu cultivo e manejo aparentemente não são bem consolidados em algumas áreas. Devido ao déficit hídrico, a cultura da soja já tem a sua produtividade prejudicada na metade sul do RS, e para as cultivares de ciclo tardio, a região tem o potencial de produtividade menor se comparadas a de ciclo médio e precoce, pois a disponibilidade hídrica (regime pluvial e armazenagem do solo) não é favorável como em outros locais do RS (CUNHA et al., 2001).

3.2. MAPA DE REFERÊNCIA

A primeira fase do processo foi a obtenção de um mapa de referência. Isto permitiu quantificar a área de soja cultivada e, principalmente, a localização dos talhões de soja na safra analisada. Tais informações são fundamentais na adaptação e na identificação da precisão da metodologia CEI via imagens MODIS. Em outras palavras, o mapa de referência serviu para comparação e validação frente aos resultados oriundos da metodologia CEI, permitindo identificar os erros de omissão e de inclusão, bem como os acertos no mapeamento.

O mapeamento das áreas plantadas com soja via imagens Landsat é descrito a seguir. Contudo, tal procedimento foi aplicado apenas para o município de Aceguá. Para os municípios de Hulha Negra e Bagé foram utilizados os mapeamentos previamente realizados por Lemos e Rizzi (2015) e Lemos (2015).

As imagens utilizadas na elaboração do mapa de referência foram as adquiridas pelo sensor OLI do satélite Landsat-8, cuja resolução espacial é de 30 metros. Tais imagens já têm seu uso consagrado em metodologias de mapeamento e estimativa de áreas de grandes culturas agrícolas (RIZZI; RUDORFF, 2005; BERKA & RUDORFF, 2003; SUGAWARA, RUDORFF; ADAMI, 2008). Outras imagens utilizadas são aquelas adquiridas pelo sensor ETM+, a bordo do satélite Landsat-7, (WILLIAMS et al., 2006). As datas utilizadas no mapeamento foram: 26/12/2013, 28/01/2014, 08/03/2014, 24/03/2014 e 09/04/2014, uma vez que parte do município de Aceguá localiza-se na sobreposição das órbitas 222 e 223, ponto 82. As imagens foram processadas pelo aplicativo SPRING, utilizando-se as bandas centradas nas faixas do RED, NIR e SWIR do EEM. Tais bandas foram associadas às cores azul,

vermelho e verde, formando as composições coloridas RGB453 e RGB564 para os sensores ETM+ e OLI, respectivamente.

As características da banda do RED são úteis na discriminação da vegetação, dada a sua alta absorção pelos pigmentos fotossintéticos da vegetação verde sadia. A banda do NIR é sensível à quantidade de biomassa da vegetação e/ou área foliar presente, e a banda do SWIR é sensível ao conteúdo de água na folha da vegetação (JENSEN, 2011). Tais bandas são as mais utilizadas no mapeamento de culturas, dado o seu potencial em facilitar a discriminação dos diferentes alvos da superfície terrestre, particularmente as diferentes espécies de grandes culturas agrícolas.

O mapeamento das áreas de soja partiu de uma classificação automática não supervisionada sob a imagem adquirida em 08/03/2014. Em seguida, realizou-se uma interpretação visual na tela do computador com a utilização de todas as imagens. Neste processo, cada talhão foi inspecionado individualmente em todas as imagens e a ele foi atribuída uma das classes temáticas “soja” ou “não soja”, em função do seu comportamento espectral e temporal.

3.3. METODOLOGIA CEI

Para o desenvolvimento da metodologia CEI foram usadas imagens MODIS nas mesmas faixas espectrais descritas anteriormente. As bandas do RED e NIR foram obtidas do produto MOD13Q1 (versão 5.0), em que os intervalos do EEM são de 0,620 – 0,670 μm e de 0,841 – 0,875 μm , respectivamente (ANDERSON et al., 2003). As imagens usadas desse produto são composições de 16 dias com resolução espacial de 250 metros.

As imagens com a banda do SWIR foram adquiridas do produto MCD43A4 (versão 5.0), em que a faixa no EEM dessa banda fica localizada entre 1,628 – 1,652 μm , com resolução espacial de 500 metros. O uso da banda do SWIR de outro produto deu-se devido a esta estar posicionada em uma porção do EEM muito relevante em mapeamentos de uso e cobertura da Terra via imagens de satélite, mas que não está disponível no produto MOD13Q1. Visando compatibilizar as imagens SWIR extraídas deste produto à resolução espacial daquelas do produto MOD13Q1, o processo de

reprojeção de tais imagens incluiu ainda a reamostragem dos pixels para 250 x 250 m.

Assim, a partir do calendário agrícola da soja na região, foram obtidas as imagens MODIS desde 1º de novembro de 2013 (Dia Juliano (DJ) 305) até 23 de abril de 2014 (DJ 113) (13 imagens compostas de 16 dias), de modo a abranger todo o ciclo da cultura (tabela 6). Então, para todas áreas e em cada uma das datas, calculou-se o EVI2 (JIANG et al., 2008).

Tabela 6: Identificação das datas nos calendários Gregoriano e Juliano para as imagens MODIS utilizadas.

Data Calendário Gregoriano	*Data Calendário Juliano
1º de Novembro	305
17 de Novembro	321
3 de Dezembro	337
19 de Dezembro	353
1º de Janeiro	1
17 de Janeiro	17
2 de Fevereiro	33
18 de Fevereiro	49
6 de Março	65
22 de Março	81
7 de Abril	97
23 de Abril	113

*As imagens compostas contêm dados de 16 dias a partir daquele que inicia o referido período.

Em seguida, de posse das imagens MODIS e do mapa de referência, calculou-se a média do EVI2 somente para as áreas de soja em cada imagem, visando produzir o perfil temporal médio do EVI2 para a área de estudo. Este perfil está relacionado à evolução de biomassa de um dossel, além de auxiliar o monitoramento de áreas agrícolas, no caso da soja, serviu de subsídio à escolha de períodos de análise de Min e MaxIV.

A metodologia CEI foi então testada para área de estudo. A partir da análise do perfil temporal do EVI2, utilizaram-se as imagens dos DJ 305, 321, 337, 353 de 2013 e 1 de 2014 para o período de MinIV e as imagens 1, 17, 33, 49, 65, 81, 97 e 113 de 2014 para o período de MaxIV. Nesta fase, efetuou-se uma modificação na formulação original do CEI em que Rizzi et al. (2009) utilizaram o máximo e o mínimo valor do IV dentro dos períodos de Max e MinIV, respectivamente. Neste trabalho, tanto para o

Max quanto para o MinIV utilizou-se a média dos valores observados nas imagens para cada período.

Em seguida, aplicou-se um limiar de fatiamento acima do qual os valores foram considerados como representativos de talhões de soja, gerando um mapa com as classes “soja” e “não soja”, chamado de “mapa CEI”. O mapa CEI foi confrontado ao mapa de referência, gerando um mapa com quatro classes, sendo elas: “erro de inclusão”, “erro de omissão”, “acerto soja” e “acerto não soja”. Nesta fase, definiu-se o limiar de fatiamento no qual os valores de área dos erros de omissão e inclusão fossem equivalentes, visando, assim, coincidir o valor da área de soja classificada via metodologia CEI ao encontrado no mapa de referência. A classificação desse mapa deu-se da seguinte maneira: a classe “acerto soja” refere-se a pixels mapeados como soja tanto no mapa de referência quanto no mapa CEI. De maneira análoga, tem-se a classe “acerto não soja”, que é quando ambos os mapas classificam o pixel como “não soja”. Entretanto, os erros são diferentes, pois a classe “erro de inclusão” deu-se quando o mapa de referência classificou o pixel como “não soja”, e o mapa CEI como “soja”. Por fim, a classe “erro de omissão” deu-se quando o mapa de referência classifica o pixel como “soja” e o Mapa CEI como “não soja”. Destaca-se que nesta fase do processo o mapa de referência teve sua resolução espacial degradada de 30 para 250 m, visando sua compatibilidade ao mapa CEI.

3.4. ADAPTAÇÃO TEMPORAL DA METODOLOGIA CEI

Na agricultura não se tem apenas uma data recomendada para iniciar a semeadura. Com o desenvolvimento genético das plantas e das tecnologias nas lavouras, a semeadura pode ocorrer em diferentes épocas, podendo ser classificada como precoce, média e tardia. Isto implica que talhões implantados em épocas distintas e/ou com cultivares de ciclos diferentes possivelmente apresentarão seus valores de Min e MaxIV em imagens adquiridas em datas distintas. O que exige que não apenas uma data, mas sim um período da safra na região seja utilizado na obtenção de tais valores, que geralmente é distinto entre o Min e o MaxIV.

Entretanto, diferenças no calendário agrícola fazem com que estes períodos possam se alterar de uma região para outra. Contudo, deve-se ter o cuidado para

evitar, quando possível, que essas datas não englobem as características de Min e MaxIV de outras culturas da região, como o arroz. Para identificação dos períodos de Min e MaxIV foram utilizadas diferentes composições com as imagens MODIS da safra 2013/2014. Tais composições estão descritas na tabela 7.

Tabela 7: Relação das composições das datas em dias julianos utilizadas para a definição dos períodos de Min e MaxIV.

Composição	MinIV					MaxIV							
1	305	321	337	353	1	1	17	33	49	65	81	97	113
2		321	337	353	1	1	17	33	49	65	81	97	113
3			337	353	1	1	17	33	49	65	81	97	113
4			337	353	1	1	17	33	49	65	81	97	
5		321	337	353	1	1	17	33	49	65	81	97	
6	305	321	337	353	1	1	17	33	49	65	81	97	
7			337	353	1	1	17	33	49	65	81		
8		321	337	353	1	1	17	33	49	65	81		
9	305	321	337	353	1	1	17	33	49	65	81		
10			337	353	1		17	33	49	65	81		
11		321	337	353	1		17	33	49	65	81		
12	305	321	337	353	1		17	33	49	65	81		
13			337	353	1		17	33	49	65	81	97	113
14		321	337	353	1		17	33	49	65	81	97	113
15	305	321	337	353	1		17	33	49	65	81	97	113
16			337	353	1		17	33	49	65	81	97	
17		321	337	353	1		17	33	49	65	81	97	
18	305	321	337	353	1		17	33	49	65	81	97	

Os mapas de soja gerados para cada uma das composições foram comparados frente ao mapa de referência. Com os resultados de erros e acertos em cada composição, pôde-se identificar a combinação entre os melhores períodos de MinIV e MaxIV. Entretanto, para a escolha dos períodos, levou-se em conta tanto o menor erro total quanto o maior acerto soja. Isso ocorreu da seguinte forma: dentre as composições que retornaram os menores erros totais adotou-se aquela de maior acerto soja. Na metodologia CEI proposta por Rizzi et al. (2009), a composição de Min e MaxIV dá-se através dos valores mínimo e máximo dos IVs, respectivamente. Porém, neste trabalho analisou-se também o uso das médias das imagens que compõem tanto os valores de mínimo quanto de máximo IV, bem como estas em

combinação com os valores de máximo e mínimo, ou seja, máximo e mínimo, máximo e média do mínimo, média do máximo e média do mínimo e média do máximo e mínimo.

3.5. ADAPTAÇÃO ESPECTRAL DA METODOLOGIA CEI

Uma vez realizada a adaptação temporal, o passo seguinte buscou discriminar as culturas agrícolas não apenas pela diferença no calendário agrícola, mas pelo seu distinto comportamento espectral. Assim, utilizou-se a banda centrada na porção do SWIR, não considerada pelas imagens de IV utilizada na metodologia CEI original (RIZZI et al., 2009). Tal banda é muito utilizada em composições coloridas para a classificação digital e/ou visual de imagens padrão Landsat. Assim, nesta fase, para obtenção do MaxIV utilizou-se a equação 8. Para a obtenção do MinIV, a formulação do IV manteve-se inalterada, ou seja, o IV utilizado foi o EVI2 (Jiang et al., 2008), assim como as demais fases da metodologia.

$$IV = 1,9 * (SWIR + NIR - (RED * 2)) \quad (8)$$

em que RED NIR e SWIR são imagens de reflectância nas bandas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, respectivamente. A análise do desempenho da adição da banda do SWIR deu-se a partir da comparação dos resultados frente aqueles obtidos sem a sua utilização. Na sequência, novamente analisou-se o uso das médias de valores de máximo e mínimo, assim como tais valores em relação aos valores médios das imagens de mínimo e máximo.

3.6. REAMOSTRAGEM DAS IMAGENS MODIS

As imagens MODIS foram submetidas a um processo de reamostragem para um tamanho de pixel de 125, 62,5 e 30m, para posteriormente serem submetidas a um novo processo de mapeamento e análise dos erros e acertos. Além de verificar

qual a combinação entre tamanho de pixel e algoritmo de reamostragem que gerou o melhor resultado frente ao mapa de referência.

Ainda durante o processo de reamostragem, as imagens MODIS foram submetidas a diferentes tipos de algoritmos, com o intuito de verificar sua influência no mapeamento dos talhões. Tanto para a reprojeção das imagens quanto para a alteração do tamanho do pixel, o *software* MRT utiliza um algoritmo para o cálculo dos novos valores dos pixels. Os tipos de reamostragem disponíveis e avaliadas foram: vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica. Esta análise foi realizada nas imagens originais do produto MOD13Q1 nas bandas do RED e NIR e MCD43A4 na banda SWIR. Assim, para cada tamanho de pixel, foram testados os três tipos de algoritmos de reamostragem. Na verificação do melhor tipo de algoritmo utilizou-se o limiar em que os valores de área dos erros de inclusão e omissão se iguallassem. Ressalta-se que esta análise foi realizada somente para a composição de Min e Max IV de melhor desempenho e com o uso da banda do SWIR.

3.7. ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DAS IMAGENS MODIS DE 16 PARA 8 BITS DE DADOS

Com os parâmetros definidos realizou-se uma análise adicional visando avaliar o impacto da alteração da quantização de armazenamento das imagens originais do MODIS de 16 para 8 bits, uma vez que a versão do OCTAVE utilizada somente opera nesta quantização. O *software* utilizado na avaliação da metodologia sob imagens originais de 16 bits foi o SPRING versão 5.3.

3.8. ANÁLISE DA MÉDIA DO CEI DOS TALHÕES DE SOJA

Até então, para efeito de intercomparação dos resultados, a definição do limiar de fatiamento da imagem CEI, tanto para a escolha dos períodos de composição de Min e MaxIV, quanto do tamanho do pixel e do algoritmo de reamostragem seguiram o critério de igualar os erros de omissão e inclusão. O limiar de fatiamento é o valor que se usa para classificar cada pixel em “soja” ou “não soja”. Então, uma vez

definidos os melhores critérios para cada parâmetro utilizado, foi necessário estabelecer um novo valor para o limiar de fatiamento que fosse representativo das áreas de soja identificadas no mapa de referência. Para tanto, a partir de uma operação zonal, calculou-se a média dos valores do CEI envolvendo todos os talhões de soja do mapa de referência. Este valor foi então utilizado como limiar de fatiamento na geração do mapa CEI definitivo. Este mapa foi comparado ao mapa de referência visando determinar a exatidão do mapeamento.

3.9. EXCLUSÃO DE PIXELS ISOLADOS

A última etapa do mapeamento consistiu na exclusão de pixels isolados, visando eliminar os erros de mapeamento que por ventura ocorram no mapa devido a algum ruído. Tal operação trata-se de localizar e eliminar regiões pequenas, por exemplo, com área até 6,25 ha (equivalente a um pixel da imagem MODIS original de 250m de resolução espacial), para todas as classes. Tais regiões são então reclassificadas para a classe que as envolve. Este procedimento foi realizado para 1, 2, 4, 8 e 16 pixels isolados, equivalendo a 1,5625, 3,125, 6,25, 12,5 e 25 ha, respectivamente. Novamente, o mapa CEI foi confrontado ao mapa de referência para verificação dos erros e acertos da metodologia.

3.10. ANÁLISE DO TAMANHO DOS TALHÕES IDENTIFICADOS

Finalmente, de posse do mapa CEI final (classes “soja” e “não soja”), realizou-se uma análise visando avaliar a relação entre o tamanho dos talhões de soja e a capacidade da metodologia CEI em identificá-los. Assim, considerando-se o mapeamento de referência (via imagens Landsat), tais talhões foram agrupados de acordo com o seguinte critério: 0-25, >25-50, >50-100 e >100 ha. Em seguida, considerou-se um talhão como “identificado” se este teve pelo menos 25% de sua área mapeada pela metodologia CEI. Ressalta-se que, neste caso, considerou-se como “talhão” as áreas contíguas de soja mapeadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. MAPA DE REFERÊNCIA

Os dados de área plantada em Aceguá para a safra 2013/2014 disponibilizados pelo IBGE são de 18.000 hectares. Contudo, ao final do mapeamento via imagens Landsat obteve-se um total de 23.150 hectares (Figura 7). A diferença entre a área estimada e a mapeada aproxima-se aquela encontrada por Rizzi e Rudorff (2005), que observaram uma diferença em torno de 27% para municípios da metade norte do RS com até 20% da área total plantada com soja. É nessa faixa que se encontra o município de Aceguá, o qual teve como diferença positiva entre a área de soja mapeada e a estimada de 28,6%.

Na classificação visual do mapa de referência, observou-se que existem algumas áreas de soja que não são facilmente discretizadas na área de estudo. Isso ocorre em virtude de existirem alguns talhões de soja que não apresentam as características espectrais típicas da cultura quando se analisa apenas uma imagem. Uma vez que existem talhões que mesmo com uma imagem livre de nuvem torna-se difícil de identificar à leguminosa, inclusive quando a mesma encontra-se em períodos de pleno desenvolvimento vegetativo. Um dos fatores responsáveis é que possivelmente a cultura ainda não tenha seu manejo consolidado na região, fazendo com que as áreas de soja não tenham a coloração característica nas imagens, o que não ocorre quando as plantas estão bem desenvolvidas.

A área total de soja mapeada na safra 2013/14 para os três municípios que compõem a área de estudo foi de 79.151 ha. O mapa de referência final da área de estudo surgiu de um mosaico com os mapas de soja dos três municípios (Figura 8).

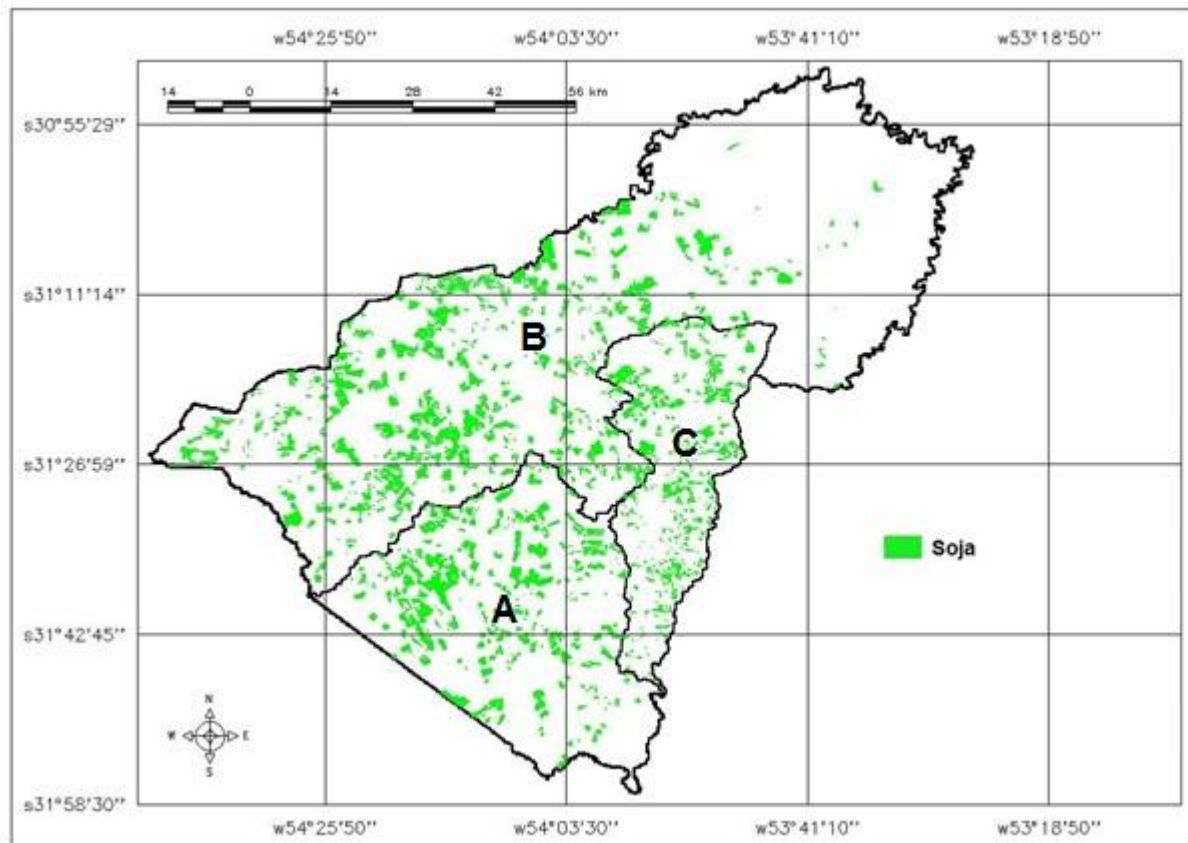


Figura 8: Mapa de Referência da área de estudo, com o limite político dos municípios de Aceguá (a), Bagé (b) e Hulha Negra (c).

O uso de diversas imagens durante todo o período da safra é necessário já que é difícil identificar corretamente todos os talhões de soja para toda a região apenas em uma imagem. Contudo, estudos na região afirmam que a melhor data para se utilizar no mapeamento são imagens do início de março. Segundo Lemos & Rizzi (2015), com o uso de apenas uma imagem Landsat do início de março foi possível mapear somente 63,63% da cultura. Nas Figuras 8 e 9 têm-se exemplos de talhões de soja com o pleno desenvolvimento das plantas em diferentes épocas.

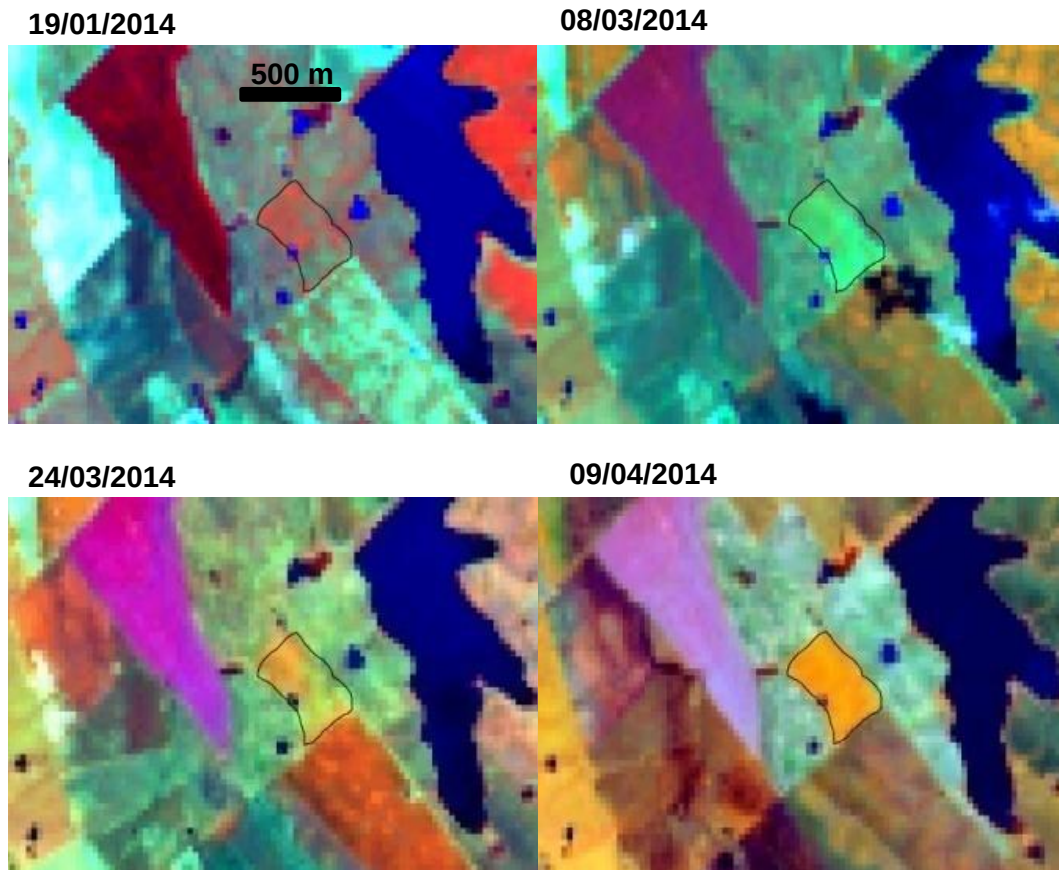


Figura 9: Imagens Landsat 8 (OLI), RGB 564 com destaque para um talhão de soja (centro da imagem) com plantio tardio.

Na figura 9 nota-se que a área em destaque somente apresentou comportamento espectral característico de biomassa em 09/04/2014, caracterizando o cultivo de soja.

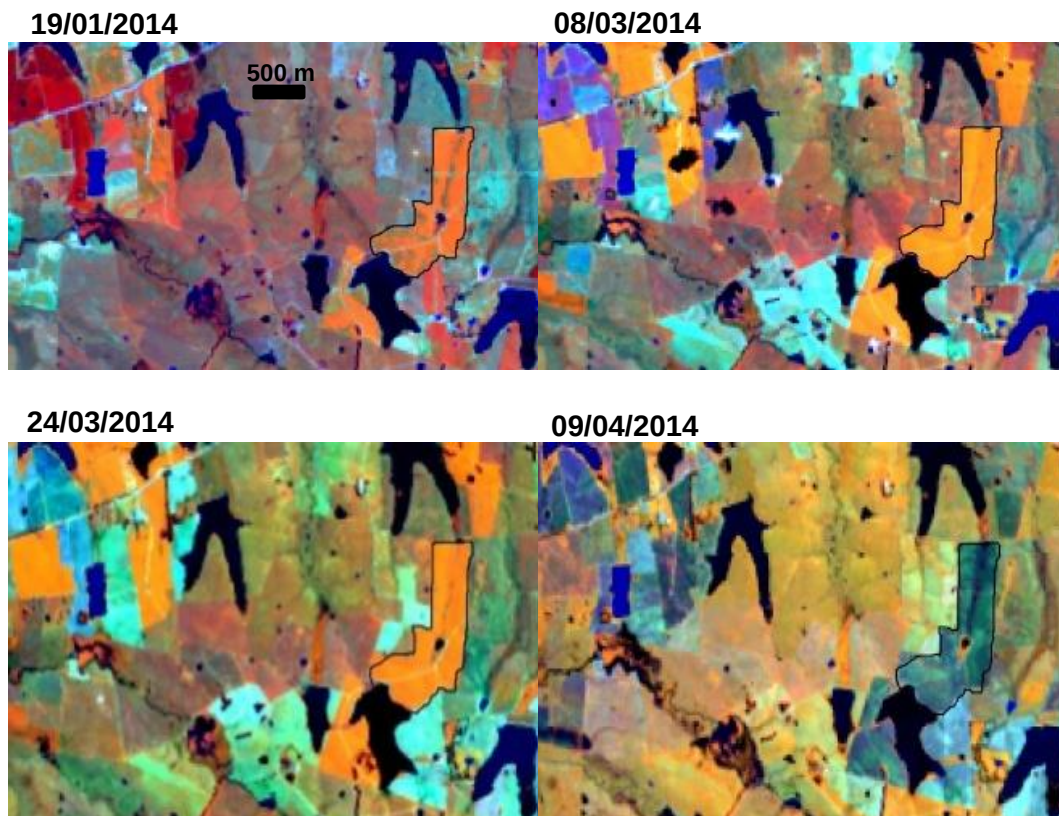


Figura 10: Imagens Landsat 8 (OLI) RGB 564 com destaque para um talhão de soja com plantio precoce.

Na Figura 10 percebe-se que a área em destaque apresentou comportamento espectral característico de biomassa em 19/01/2014. Sendo que em 08 e 24/03/2014, as características do cultivo de soja ficam mais evidentes. Em 09/04/2014 percebe-se que a soja está senescente ou já foi colhida. A análise das Figuras 9 e 10 enfatiza a necessidade da utilização de várias imagens ao longo da safra para que seja possível mapear todas as áreas de soja de maneira satisfatória.

4.2. PERFIL TEMPORAL DO EVI2 DA SOJA

A Figura 11 mostra o perfil temporal do EVI2 da soja para os municípios da área de estudo, bem como os períodos de Min e MaxIV utilizados na primeira fase da metodologia. Percebe-se que entre novembro e início de janeiro é quando se encontram os menores valores de EVI2, variando de 0,31 até 0,47. Isso ocorre por ser

a época recomendada à semeadura da cultura na região. Neste caso, a pouca ou nula quantidade de biomassa faz com que os alvos tenham as características espectrais de solo exposto e/ou vegetação seca. Contudo, é entre fevereiro e março que a soja tem seu maior desenvolvimento. Percebe-se que os maiores valores de EVI2 (~0,80) se encontram nestes meses, indicando maior quantidade de biomassa na lavoura. Então, a aplicação da formulação CEI, conforme descrito no item 3.3 (e que equivale a composição 1 nas Tabelas 7 e 8), retornou os seguintes resultados: acerto soja 62,74%, acerto não soja 94,51% e exatidão global de 90,42%.

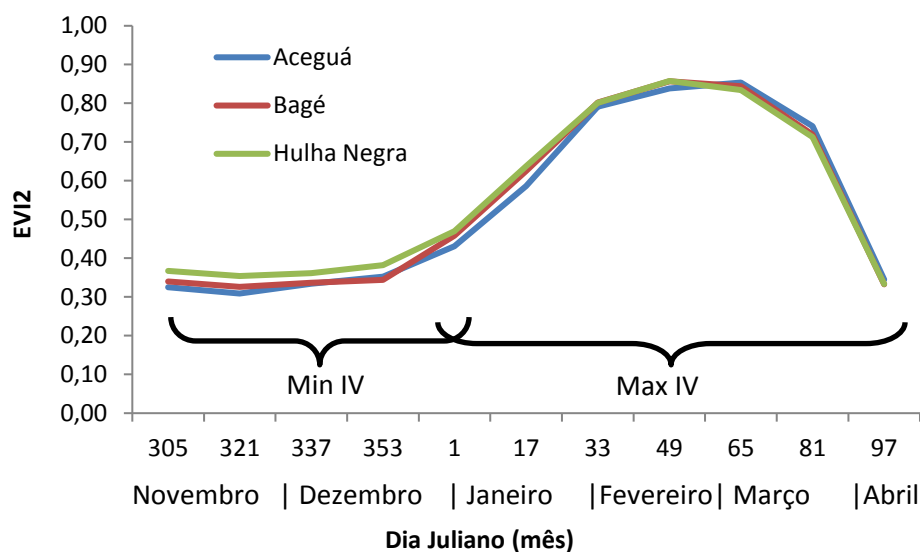


Figura 11: Perfil temporal do EVI2 para a soja para nos municípios da área de estudo, bem como os períodos de Min e MaxIV utilizados na primeira fase da metodologia.

4.3. ADAPTAÇÃO TEMPORAL DA METODOLOGIA CEI

Na Tabela 8 constam os valores de acerto soja e acerto não soja e a exatidão global do mapeamento, para cada uma das composições de Min e MaxIV utilizadas, na comparação ao mapa de referência. Pela Tabela 8, nota-se que o melhor resultado foi o que considerou as imagens dos DJ 321, 337, 353 e 1 para o período de MinIV e dos DJ 17, 33, 49, 65 e 81 para o período de MaxIV (composição 11).

Tabela 8: Descrição dos DJ, e resultados de acertos para as classes “soja” e “não soja” utilizados para definição dos períodos de Min e MaxIV, em cada composição.

Composição	MinIV					MaxIV								Acerto soja (%)	Acerto não soja (%)	Exatidão global (%)
	Nov	Dez				Jan	Fev	Mar	Abril							
1	305	321	337	353	1	1	17	33	49	65	81	97	113	62,74	94,51	90,42
2		321	337	353	1	1	17	33	49	65	81	97	113	63,05	94,55	90,50
3			337	353	1	1	17	33	49	65	81	97	113	61,08	94,25	89,99
4			337	353	1	1	17	33	49	65	81	97		63,53	94,62	90,63
5		321	337	353	1	1	17	33	49	65	81	97		64,36	94,74	90,83
6	305	321	337	353	1	1	17	33	49	65	81	97		63,65	94,63	90,65
7			337	353	1	1	17	33	49	65	81			65,06	94,85	91,02
8		321	337	353	1	1	17	33	49	65	81			64,88	94,82	90,97
9	305	321	337	353	1	1	17	33	49	65	81			63,93	94,68	90,73
10			337	353	1		17	33	49	65	81			65,01	94,85	91,01
11		321	337	353	1		17	33	49	65	81			65,43	94,90	91,12
12	305	321	337	353	1		17	33	49	65	81			64,98	94,83	91,00
13			337	353	1		17	33	49	65	81	97	113	60,45	94,17	89,84
14		321	337	353	1		17	33	49	65	81	97	113	62,83	94,52	90,45
15	305	321	337	353	1		17	33	49	65	81	97	113	63,05	94,55	90,50
16			337	353	1		17	33	49	65	81	97		63,05	94,55	90,50
17		321	337	353	1		17	33	49	65	81	97		64,33	94,74	90,83
18	305	321	337	353	1		17	33	49	65	81	97		64,10	94,71	90,78

Os resultados apresentados na Tabela 9 referem-se à análise feita em relação ao uso das médias e as composições entre as médias e valores de mínimo e máximo, para a composição 11 da Tabela 8. Neste caso, o melhor resultado foi o que utiliza a média dos valores das imagens do período de Min e MaxIV, para cada pixel. Isto representou um aumento de 0,72% de exatidão global e 3,97% em acerto soja, em relação à metodologia que utiliza valores mínimos para MinIV e valores máximos para MaxIV das imagens.

Tabela 9: Análise das composições de MinIV e MaxIV e os respectivos acertos nas classes “soja” e “não soja” e exatidão global.

Composição de Min e Max IV	Acerto soja (%)	Acerto não soja (%)	Exatidão global (%)
Mínimo IV e Máximo IV	62,93	94,53	90,47
Média Mín. IV e Máximo IV	64,98	94,83	91,00
Mínimo IV e Média Máx. IV	63,07	94,56	90,51
Média Mín. IV e Média Máx. IV	65,43	94,90	91,12

4.4. ADAPTAÇÃO ESPECTRAL DA METODOLOGIA CEI

Nas tabelas 8 e 9, os resultados apresentados dizem respeito à metodologia CEI que utiliza somente as bandas RED e NIR. A adição da banda do MODIS centrada na faixa espectral do SWIR obtida do produto MOD43A4 provocou um acréscimo na exatidão do mapeamento (Tabela 11). Apesar do pequeno acréscimo observado na exatidão global (de 91,12 para 91,53%), os valores de acerto da classe “soja” passaram de 65,43 para 67,06%, um aumento de 2,5% (1,63 pp). Portanto, a inclusão da banda do SWIR na formulação do CEI conseguiu minimizar um pouco o problema da mistura espectral entre a soja e os demais alvos, conforme pode ser visto na figura 12.

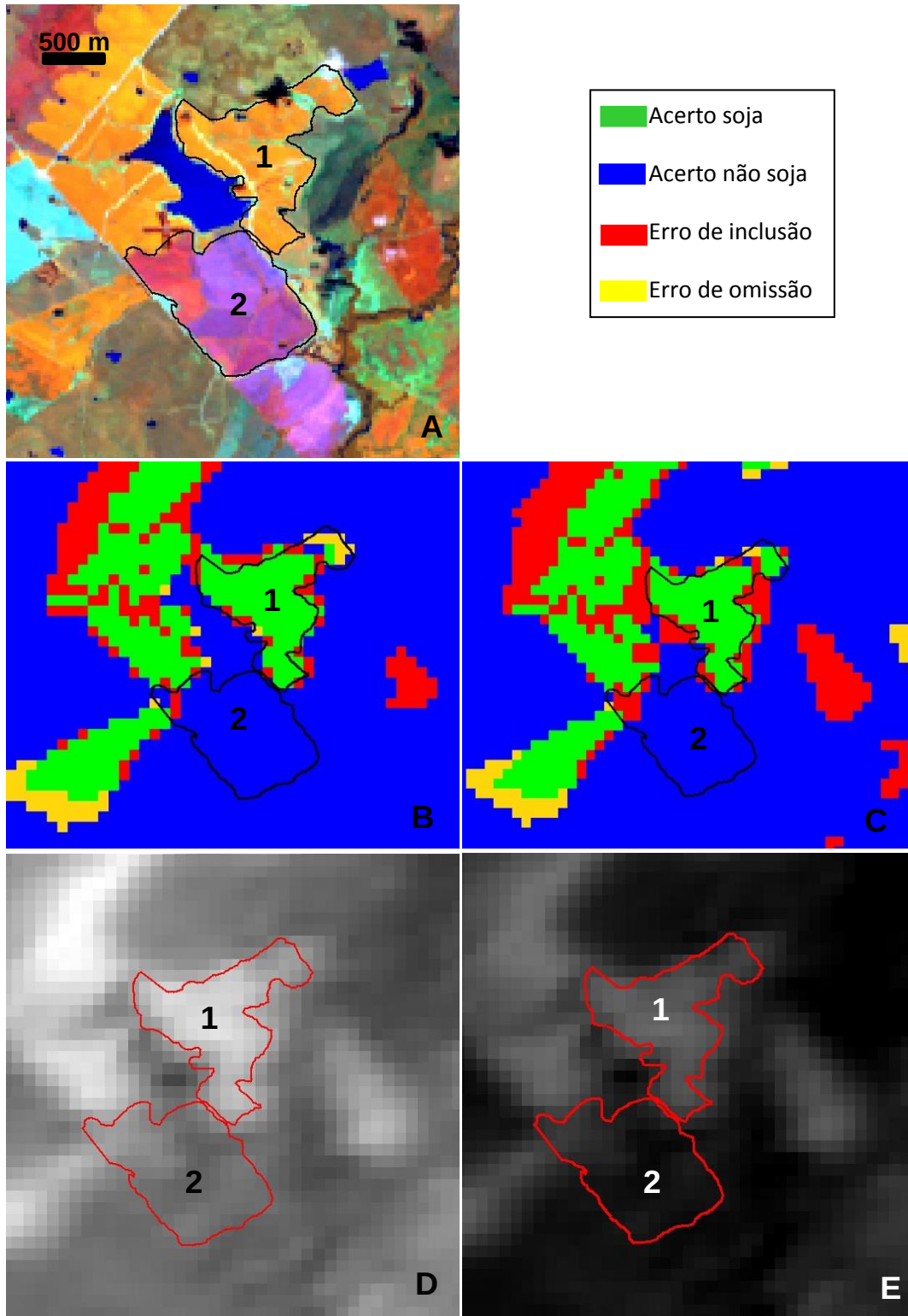


Figura 12: Áreas de soja (1) e de arroz (2) na imagem Landsat-8 (OLI) RGB 564 (A), mapa de erros e acertos e imagens CEI com (B e D) e sem (C e E) a utilização da banda do SWIR.

Os resultados apresentados na tabela 10 referem-se à análise feita em relação ao uso das médias e as composições entre as médias e valores de mínimo e máximo com o uso da banda do SWIR.

Tabela 10: Análise das composições de Min e MaxIV e os respectivos acertos das classes “soja” e “não soja” e a exatidão global.

Composição de Min e Max IV	Acerto soja (%)	Acerto não soja (%)	Exatidão global (%)
Mínimo IV e Máximo IV	64,11	94,71	90,78
Média Mín. IV e Máximo IV	65,48	94,92	91,13
Mínimo IV e Média Máx. IV	65,31	94,89	91,09
Média Mín. IV e Média Máx. IV	67,06	95,14	91,53

Nas análises realizadas de comparação do uso das médias e as composições entre as médias e valores de mínimo e máximo com e sem SWIR, percebe-se que a composição que utiliza a média para mínimo e para o máximo IV com o uso da banda do SWIR foi a que obteve melhor resultado, com 91,53% de exatidão global e 67,06% de acerto soja. Entretanto, cabe destacar os resultados obtidos através da média dos mínimos IV e máximos valores de máximo IV teve resultados muito próximos tanto nas análises com quanto sem a banda do SWIR.

4.5. REAMOSTRAGEM DO TAMANHO DO PIXEL DAS IMAGENS MODIS

A tabela 11 contém os resultados decorrentes da variação do tamanho do pixel das imagens MODIS, bem como os algoritmos usados para sua reamostragem. O melhor resultado obtido foi o do tamanho de pixel de 125 metros, associado à reamostragem do tipo convolução cúbica, para todos os parâmetros (acerto soja, acerto não soja e exatidão global).

Tabela 11: Valores de acerto soja e não soja e exatidão global para diferentes tamanho de pixel e algoritmos de reamostragem das imagens MODIS.

Tamanho do Pixel (m)	Algoritmo*	Acerto soja (%)	Acerto não soja (%)	Exatidão global (%)
250	VMP	67,06	95,14	91,53
250	BL	68,62	95,37	91,94
250	CC	67,70	95,24	91,70
125	VMP	68,08	95,28	91,77
125	BL	71,16	95,96	92,92
125	CC	71,57	96,02	93,02
62,5	VMP	68,07	95,44	92,02
62,5	BL	71,04	95,86	92,76
62,5	CC	71,54	95,93	92,89
30	VMP	68,98	95,63	92,35
30	BL	70,25	95,82	92,67
30	CC	70,72	95,87	92,77

*VMP: vizinho mais próximo; BL: Bilinear; CC: Convolução cúbica.

A utilização das imagens MODIS com os pixels reamostrados de 250 para 30m para a compatibilização com o mapa de referência original retornou resultados substancialmente melhores quando comparados aqueles obtidos com o mapa de referência degradado para o tamanho do pixel das imagens MODIS. O acerto soja subiu 1,9 (pp) (de 67,06 para 68,98%), uma melhora de 2,9%, enquanto que a exatidão global do mapeamento passou de 91,53 para 92,35%. Isto sugere que a degradação da resolução espacial do mapa de referência tem influência na avaliação da precisão do mapeamento da soja via imagens do MODIS.

Quando avaliaram -se os algoritmos de reamostragem, aquele do tipo convolução cúbica obteve os melhores resultados em todos os tamanhos de pixels, seguido pelo bilinear e pelo vizinho mais próximo. Os resultados corroboram com o que foi dito anteriormente, em que o algoritmo do tipo convolução cúbica é mais preciso espacialmente quando se realiza trabalhos com imagens com resoluções espaciais diferentes (BRYs, 2008).

Apesar disso, enquanto que para o algoritmo vizinho mais próximo o melhor resultado foi obtido pelo tamanho do pixel de 30m os algoritmos bilinear e convolução cúbica tiveram melhor desempenho nos tamanhos de pixels de 125m. Em suma, o melhor resultado de mapeamento foi obtido pela combinação entre o tamanho de pixel de 125m e o algoritmo de reamostragem por convolução cúbica, em que os valores

de acerto soja e de exatidão global ficaram em 71,57 e 93,02%, respectivamente. Apesar de implicar em um aumento de apenas 1,63% (1,49pp) na exatidão global, isto provocou um aumento de 6,73% (4,51pp) no acerto soja, na comparação com o pixel do MODIS em 250 m e a reamostragem vizinho mais próximo.

Na figura 13 pode-se perceber uma área de soja (amarelo alaranjada) utilizada na elaboração do mapa de referência, que consta também na Figura 14. Na figura 14 observam-se os diferentes tamanhos de pixels para cada tipo de algoritmo de reamostragem, bem como as imagens originais dos sensores MODIS (250m) e o mapa de erros e acertos para um talhão de soja, em uma composição colorida. Tais imagens correspondem aos dias 6 e 8 de março de 2014 para o sensor MODIS (Figura 14) e OLI/Landsat-8 (Figura 13), respectivamente.

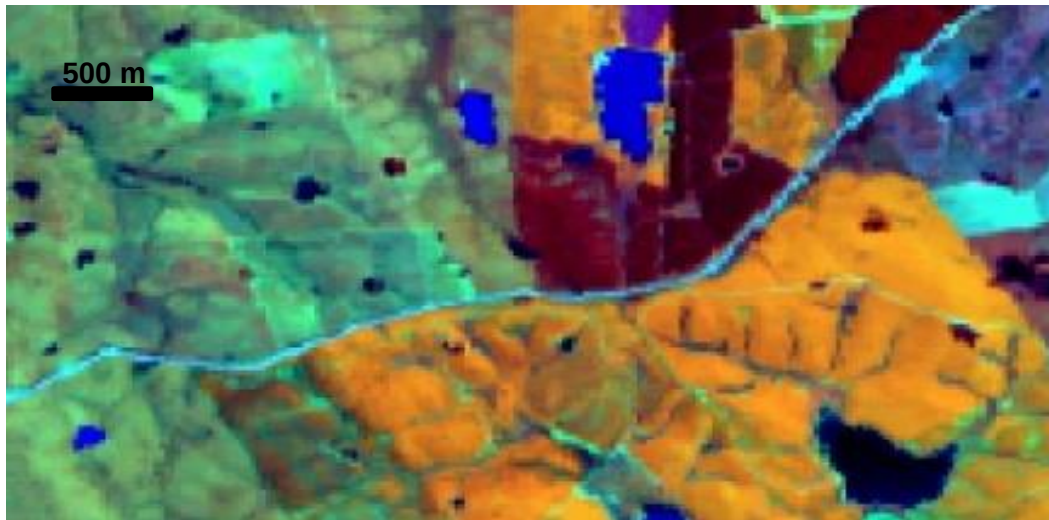


Figura 13: Imagem Landsat-8 (OLI), RGB 564 (08/03/2014) usada na elaboração do mapa de referência.

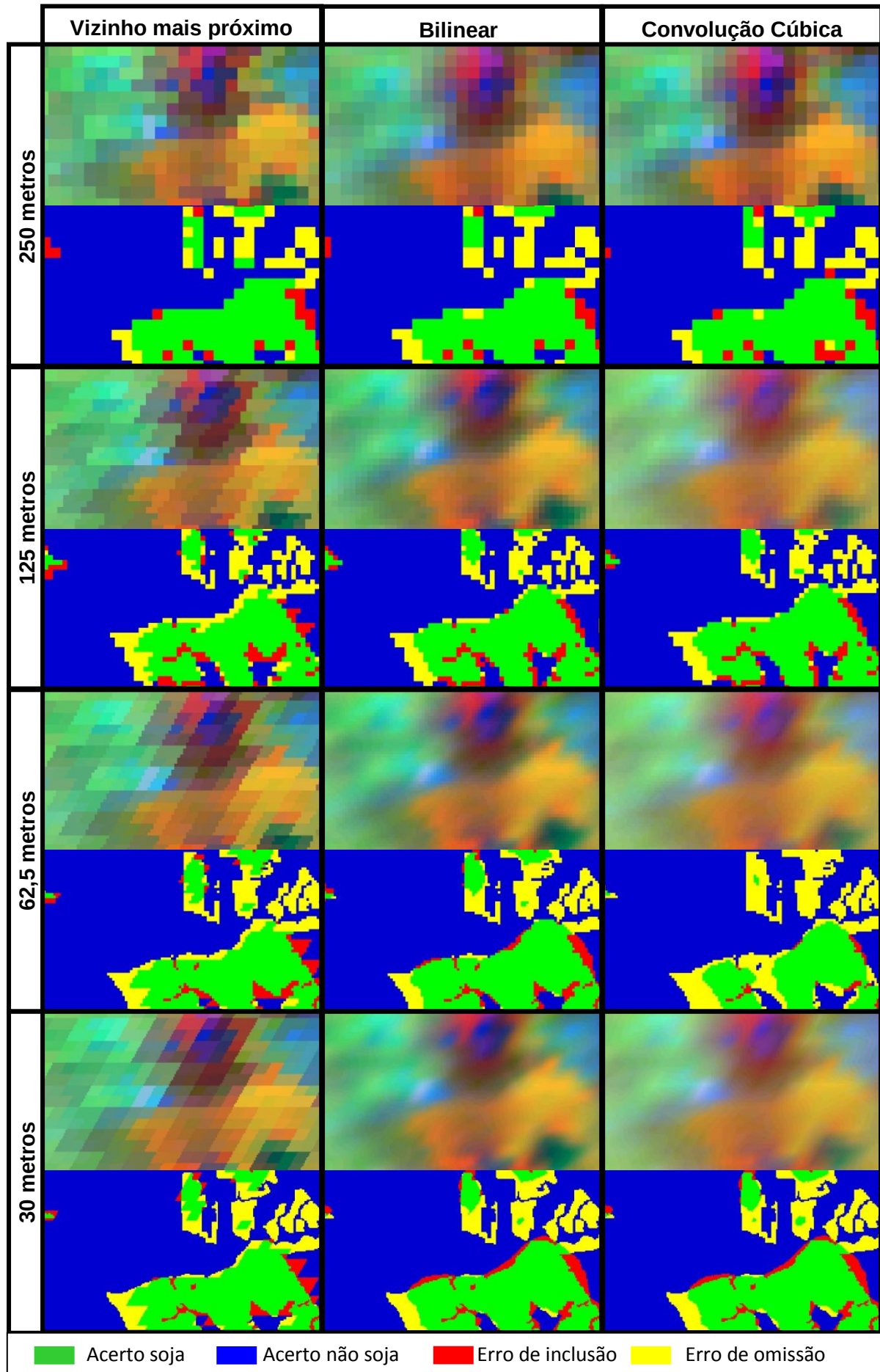


Figura 14: Imagem MODIS (06/03/2014) original e reamostrada e os respectivos mapas de erros e acertos com o tamanho de pixel de 250m, 125m, 62,5m e 30m e os algoritmos de reamostragem vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica.

4.6. ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DAS IMAGENS MODIS DE 16 PARA 8 BITS DE DADOS

A avaliação da metodologia com o uso das imagens na sua quantização de armazenamento original (16 bits), mostraram-se ligeiramente superiores em relação às imagens quantizadas em 8 bits (Tabela 12). As imagens de 16 bits tiveram uma pequena melhora de 0,14%, 0,02% e 0,03% para acerto soja, acerto não soja e exatidão global, respectivamente.

Tabela 12: Acertos soja e não soja e exatidão global para avaliação da quantização de armazenamentos para 16 e 8 bits.

Quantização	Acerto Soja (%)	Acerto Não Soja (%)	Exatidão Global (%)
16 bits	71,67	96,04	93,05
8 bits	71,57	96,02	93,02

4.7. ANÁLISE DA MÉDIA DO CEI EM TALHÕES DE SOJA

Ao realizar-se a média de valores da imagem CEI dos talhões de soja, obteve-se um valor de 0,356354. Este passou então a ser utilizado como novo limiar de fatiamento para o mapeamento. Na figura 15, visualiza-se a frequência de pixels em cada valor na imagem CEI para as classes “soja” e “não soja”.

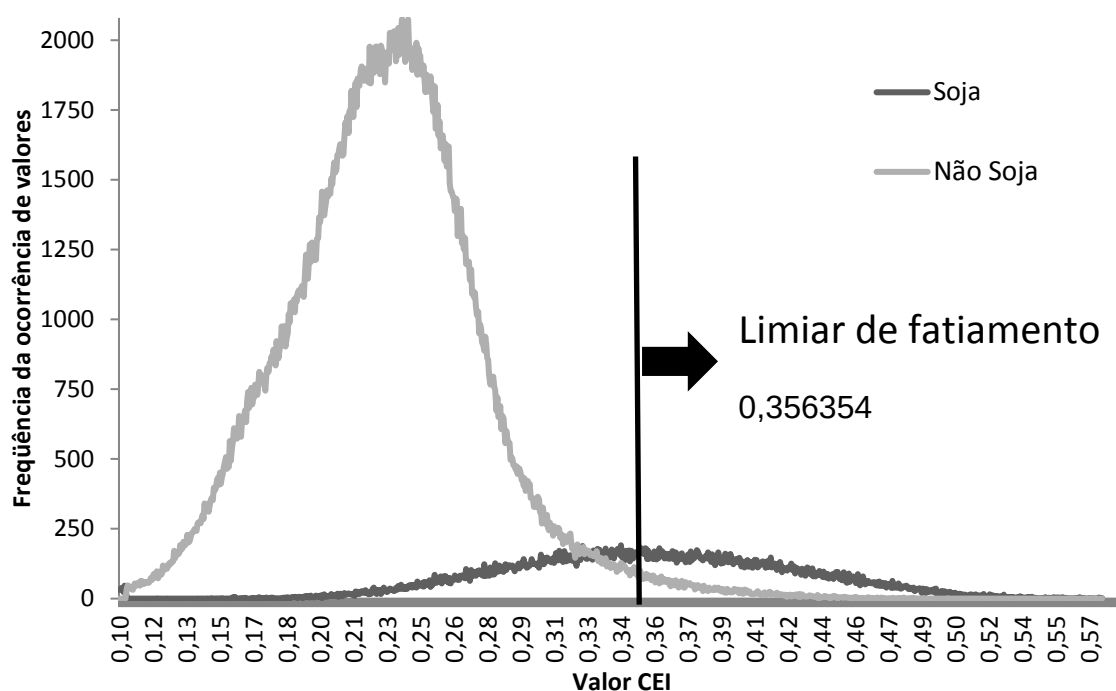


Figura 15: Frequência de valores dos pixels da imagem CEI nas classes “soja” e “não soja” e o limiar de fatiamento acima do qual os pixels foram considerados como representativos das áreas de soja.

Pela figura 15, pode-se identificar que não é possível separar toda a soja dos demais alvos na área de estudo por meio da metodologia CEI utilizada. Isto é observado uma vez que existe a intersecção das curvas de frequência dos pixels das classes “soja” e “não soja”. Valores de CEI idênticos em ambas as classes podem tratar-se de talhões de soja que não tiveram as melhores condições para o desenvolvimento na lavoura. Tais talhões têm valores de CEI mais baixos que o normal para a soja, assemelhando-se a outras culturas, como o arroz, que normalmente tem valores de CEI mais baixos em relação à soja.

Ao utilizar-se o valor de 0,356354 como limiar para o fatiamento chegou-se aos seguintes resultados: acerto soja: 49,07%, acerto não soja 98,72% e a exatidão global 92,63%. Resultado semelhante ao encontrado em outros trabalhos como em Klering (2012) que encontrou exatidão global a partir de 89,3% para municípios do RS ou em Rizzi et al. (2009), que obtiveram uma exatidão global de 91% no estado do MT.

Neste caso, como os valores de omissão e inclusão para a classe “soja” não se equivalem, em área, encontraram-se exatidões do consumidor (84,31%) e do produtor (49,07%) distintas para tal classe. A exatidão do consumidor indica que 84,31% das áreas mapeadas como soja realmente tratam-se de soja, na comparação com o mapa

de referência. A exatidão do produtor indica que a área de soja corretamente mapeada (acerto soja) equivale a quase a metade da área de existente no campo.

Para a classe “não soja”, encontraram-se exatidões do consumidor de (93,27%) e do produtor (98,72%). A exatidão do consumidor indica que 93,27% da classe “não soja” realmente tratam-se de não soja no mapa de referência. A exatidão do produtor indica que a área de não soja corretamente mapeada (acerto não soja) equivale a quase 99% da área de existente no campo. Estes resultados indicam que praticamente não há erro no mapa na classe “não soja”, e mais de 85% das áreas de soja mapeadas realmente são soja, segundo o mapa de referência. Isto dá uma confiabilidade muito alta ao mapa, embora praticamente a metade da soja não tenha sido mapeada quando aplicado este limiar de fatiamento.

4.8. ANÁLISE DO PERFIL TEMPORAL DO EVI2 E MÉDIA DO VALOR CEI EM DIFERENTES ALVOS

O perfil temporal do EVI2 das classes “soja”, “não soja” e erros de inclusão e omissão são apresentados na Figura 16.

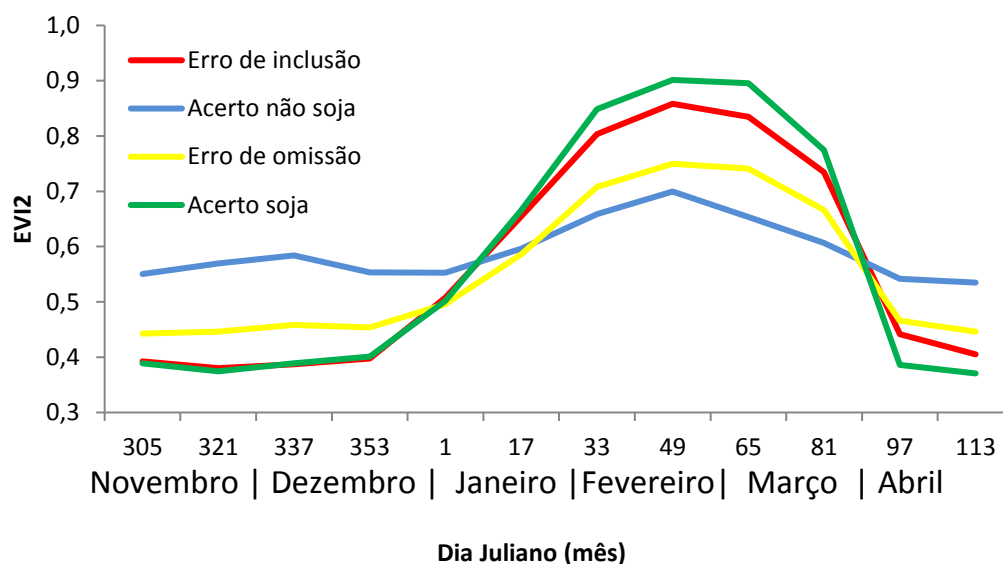


Figura 16: Perfil temporal médio do EVI2 nas classes “soja”, “não soja”, erro de inclusão e erro de omissão.

A metodologia CEI é baseada na diferença entre o mínimo e máximo IV. Percebe-se pelo perfil temporal médio das áreas de erro de inclusão, que este possui

valores semelhantes ao acerto soja no período de MinIV e valores abaixo desses no período de MaxIV. Entretanto, se comparados ao erro de omissão, tais valores são menores no período de MinIV e maiores no período de MaxIV. O que resulta em um valor maior de CEI, para os erros de inclusão em relação a algumas áreas de soja. Este é o motivo pelo qual a metodologia CEI, no limiar de fatiamento utilizado, classifica algumas áreas que não são soja como área de soja, causando os erros de inclusão.

A Figura 17 contém uma área classificada como erro de inclusão pela metodologia CEI e o seu respectivo perfil temporal de EVI2 em comparação ao médio do acerto soja.

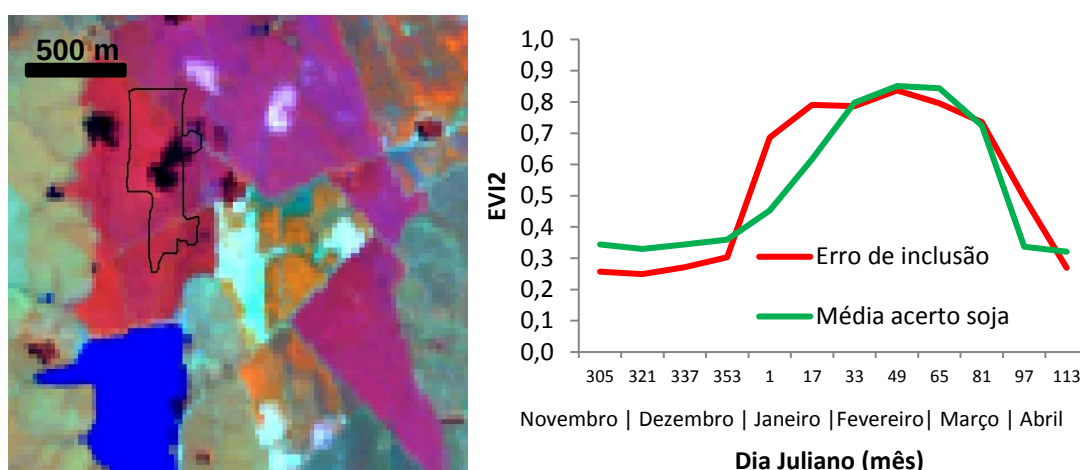


Figura 17: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 de 08 de março de 2014, com destaque ao alvo classificado como erro de inclusão, com seu perfil temporal de EVI2 em comparação com o perfil temporal médio de EVI2 para acerto soja.

Ao analisar-se o alvo pelas imagens do Landsat durante o processo de interpretação visual, percebe-se que se trata de um talhão de arroz. Porém, no seu perfil temporal do EVI2, as características se assemelham aquelas esperadas para áreas de soja. A média dos valores de CEI para o alvo foi de 0,378773, ou seja, acima do limiar de fatiamento. Porém, pelas imagens Landsat nota-se que é uma área de arroz erroneamente classificada como soja pela metodologia CEI (erro de inclusão).

Para os erros de omissão (áreas de soja não assim classificadas), o perfil temporal tem o mesmo comportamento da soja. Porém, os valores de EVI2 são maiores que os da soja no período de MinIV e menores que os da soja no período de MaxIV. Isto faz com que seu valor de CEI fique menor em relação aos da classe “soja”

e da média dos erros de inclusão, tornando difícil a aplicação de um limiar que classifique essa área como soja sem aumentar o erro de inclusão.

Já o erro de omissão refere-se a áreas de soja que não foram assim classificadas pela metodologia, ou seja, o valor do mapa CEI para estas áreas ficou abaixo do limiar. Na Figura 18, visualizam-se erros de omissão em uma imagem Landsat, com os respectivos perfis temporais de EVI2.

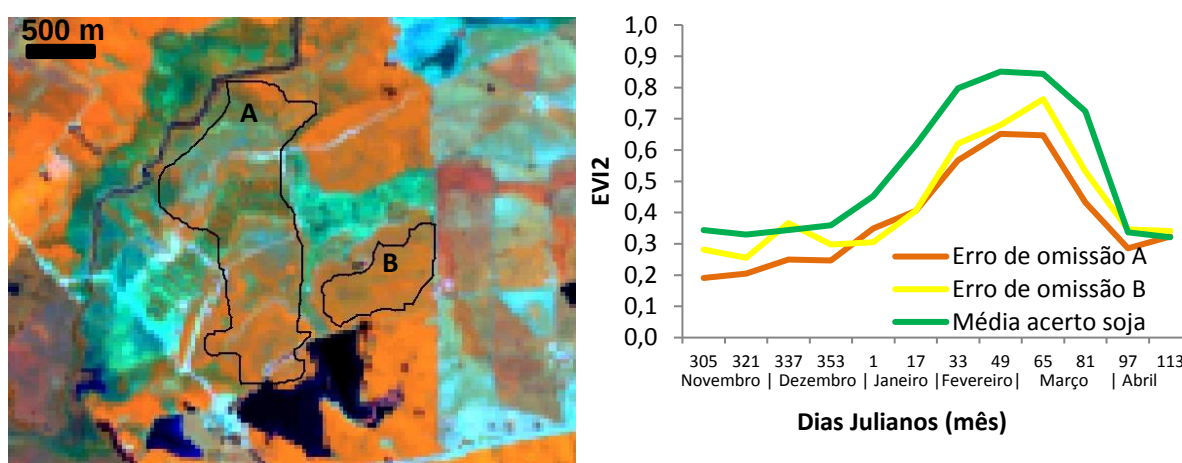


Figura 18: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 de 08 de março de 2014, com dois alvos classificados como erro de omissão, com seus respectivos perfis temporais de EVI2, bem como o perfil temporal médio de EVI2 para acerto soja.

Os valores médios de CEI das áreas em destaque na Figura 18 são de 0,313862 e 0,320341 para as áreas A e B, respectivamente. Esses valores estão abaixo do limiar de fatiamento (0,356354), motivo pelo qual essas áreas não foram corretamente classificadas como soja. Contudo, percebe-se na imagem Landsat que as áreas são de soja aparentemente não totalmente desenvolvidas, principal motivo pelo qual provavelmente ocorreu o erro de omissão.

A área em destaque na Figura 19 foi corretamente classificada como soja pela metodologia. As áreas de soja têm por característica a cor amarelo alaranjada nas imagens do Landsat-8 (RGB 564). A média dos valores de tal área no mapa CEI foi de 0,456766, valor acima do limiar de fatiamento, assim, classificando-a como soja. Esta área está bem definida e seu desenvolvimento é homogêneo.

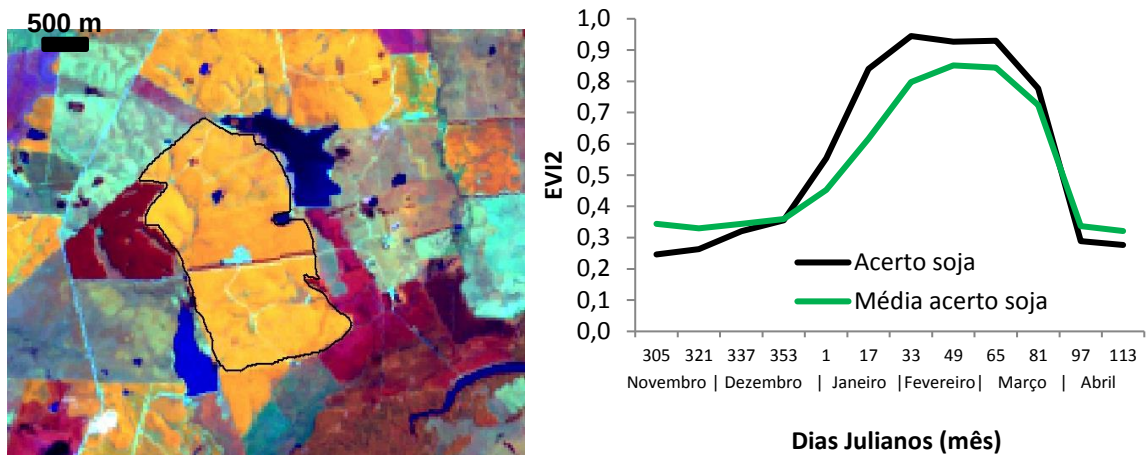


Figura 19: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB564 de 08 de março de 2014, com destaque ao alvo classificado como acerto soja, com o respectivo perfil temporal de EVI2, em comparação com perfil temporal médio de EVI2 para acerto soja.

As áreas da classe “não soja” não têm apenas uma característica, pois contemplam tudo o que não é soja. Na Figura 20 seguem exemplos de três áreas distintas desta classe.

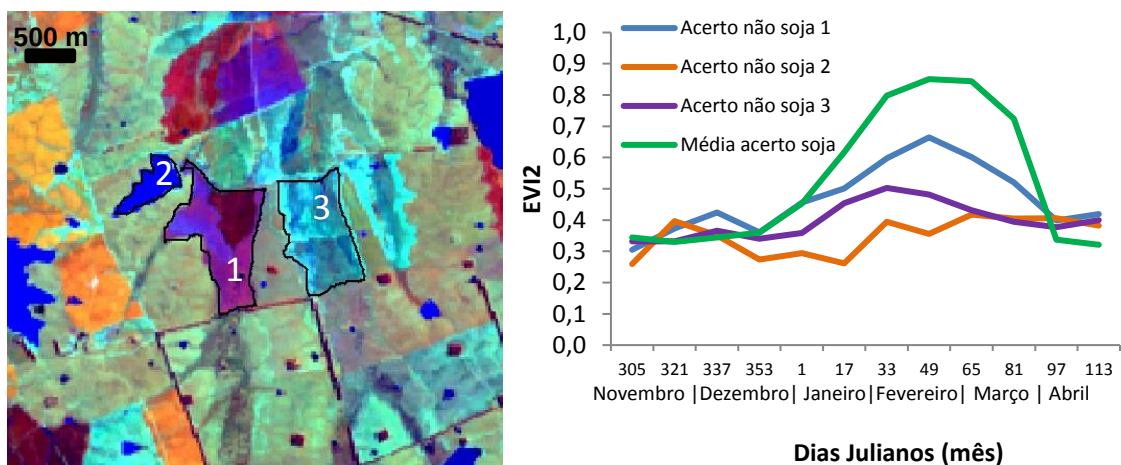


Figura 20: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 de 08 de março de 2014, com destaque a alvos classificados como acerto não soja, com os respectivos perfis temporais de EVI2, e em comparação ao perfil temporal médio de EVI2 para acerto soja.

A área 1 refere-se a uma lavoura de arroz irrigado. Tais áreas têm por característica a presença de água durante uma fase do seu ciclo. Isto faz com que seus valores de EVI2 fiquem baixos nesta fase. Todavia, seu perfil temporal tem o formato característico de uma área de cultura agrícola. Essa área não foi classificada como soja, pois o IV não aumentou tanto quanto aquelas de soja durante a safra. Além disso, os valores do IV por ocasião do período de MaxIV são menores do que os das

áreas corretamente classificadas como soja. Neste caso, o seu valor médio na imagem CEI foi de 0,253482. A área 2 é uma área com água, tendo seus valores de EVI2 baixos e variando pouco ao longo do tempo. O valor médio dessa área na imagem CEI é de 0,164743. A área 3 apresenta características de ausência de biomassa nas imagens do Landsat. Tal área não apresentou perfil espectro-temporal característico de culturas agrícolas no período em análise, podendo tratar-se de uma área de repouso ou para semeadura de culturas de inverno. O valor médio da imagem CEI dessa área foi de 0,225034, ou seja, corretamente classificada como não soja.

Na figura 21 têm-se em destaque áreas de arroz irrigado. Neste caso, mesmo que muito próximas espacialmente, tais áreas possuem perfis espectro-temporais diferentes, em que os valores na imagem CEI se encontram acima e abaixo do limiar de fatiamento, causando erros de inclusão quando acima do limiar.

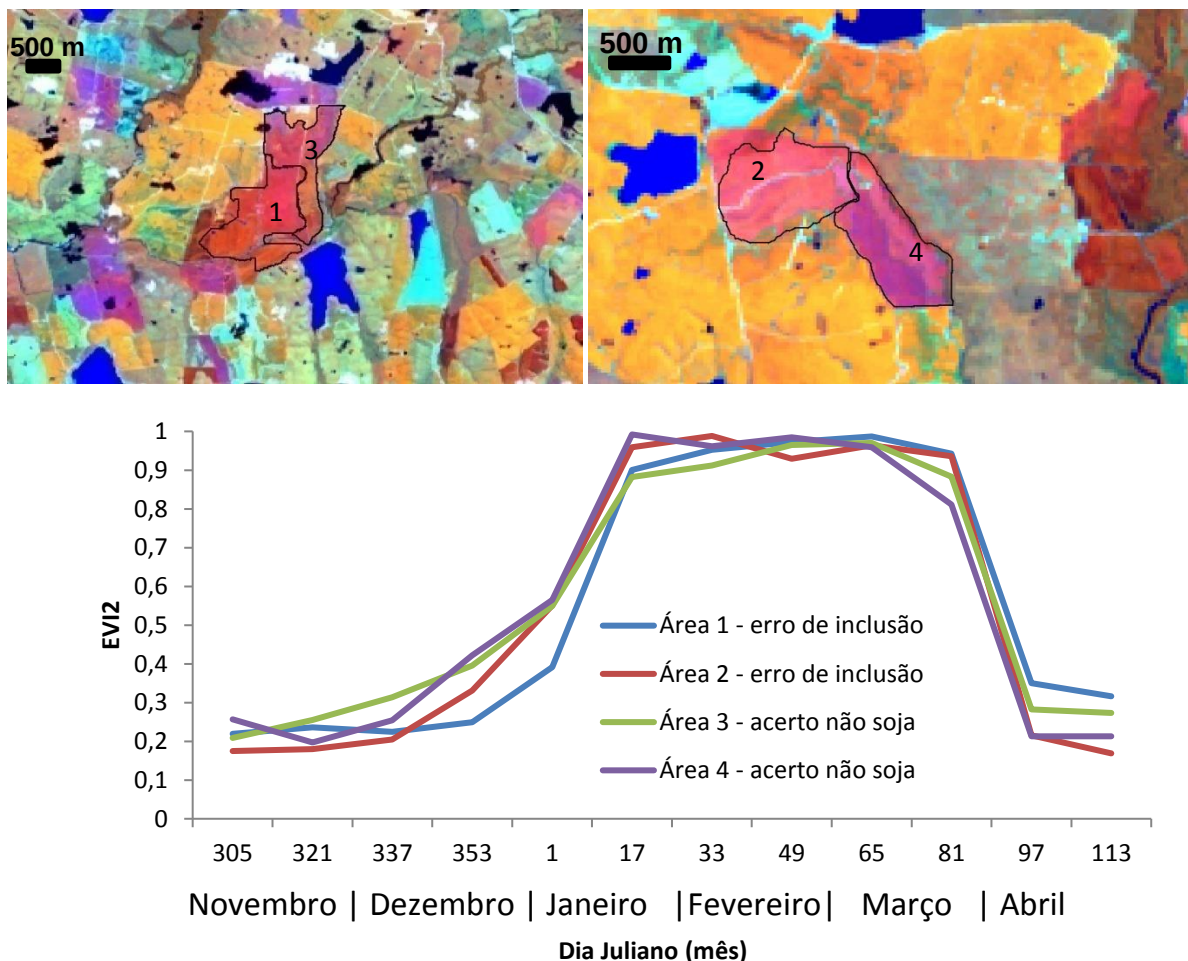


Figura 21: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 de 08 de março de 2014 com destaque para áreas de arroz irrigado e os respectivos perfis temporais de EVI2. As áreas 1 e 2 foram erroneamente classificadas como soja (erro de inclusão) e as áreas 3 e 4 corretamente classificadas como não soja (acerto não soja) pela metodologia CEI.

Os valores médios na imagem CEI nas áreas em destaque são 0,403267, 0,391829, 0,320943 e 0,328845 para áreas 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Os valores acima do limiar de fatiamento nas áreas 1 e 2 fizeram com que estas fossem erroneamente classificadas como soja pela metodologia CEI, resultando em erros de inclusão. Essa é a maior dificuldade no mapeamento da soja na região via imagens MODIS, separar as áreas de arroz irrigado das de soja. Já as áreas 3 e 4, que se encontram ao lado das áreas 1 e 2, tiveram valores de CEI abaixo do limiar (provavelmente pelos valores de EVI2 no período de MinIV não serem muito baixos), sendo corretamente classificadas como não soja (acerto não soja).

Na figura 22 estão em destaque áreas de soja, as quais foram consideradas como acerto soja e erro de omissão. Os valores médios de CEI dessas áreas são 0,410207, 0,389316, 0,3313368 e 0,320341 para áreas 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Os valores de CEI acima do limiar de fatiamento nas áreas 1 e 2 fizeram com que estas fossem corretamente classificadas como soja (acerto soja). Contudo, as áreas 3 e 4, que se encontram próximas das áreas 1 e 2, tiveram valores de CEI abaixo do limiar, fazendo com que as áreas não fossem classificadas como soja (erro de omissão)

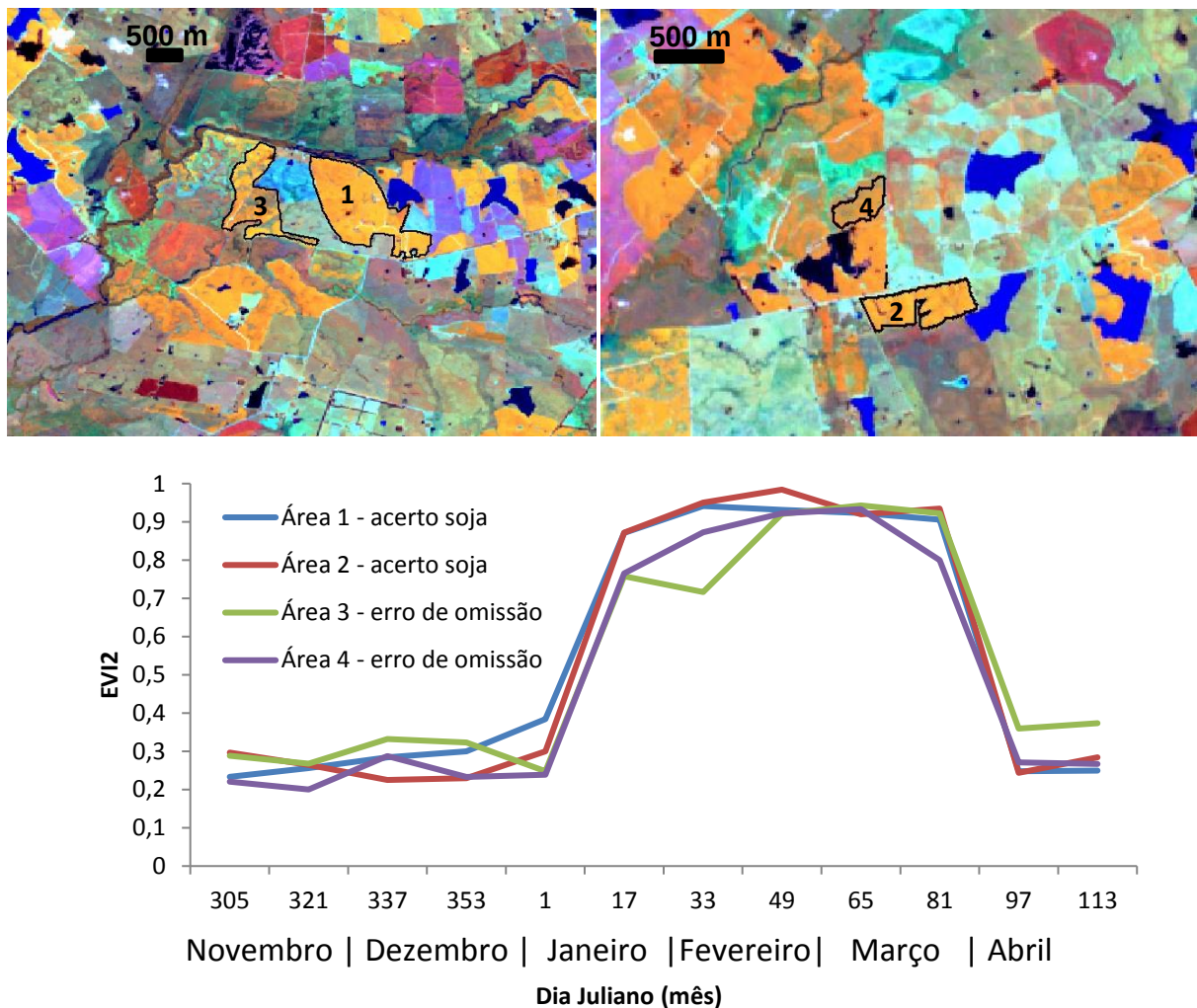


Figura 22: Imagem Landsat 8 (OLI), RGB 564 de 08 de março de 2014 com destaque para as lavouras de soja e os respectivos perfis temporais de EVI2. As áreas 1 e 2 foram corretamente classificadas como soja (acerto soja) e as áreas 3 e 4 erroneamente classificadas como não soja (erro de omissão) pela metodologia CEI.

4.9. EXCLUSÃO DE PIXELS ISOLADOS

Os resultados da análise realizada aplicando a exclusão de pixels isolados no mapa CEI final constam na Tabela 13. Embora a exclusão de pixels isolados tenha aumentado ligeiramente o acerto do mapeamento da classe Não Soja, verificou-se o contrário tanto para a classe “soja”, principal objetivo deste trabalho, quanto para a exatidão global do mapeamento. Isto sugere que a metodologia CEI é capaz de detectar corretamente algumas das áreas de soja cujo tamanho seja da ordem de

alguns pixels das imagens do MODIS. Desta forma, optou-se por não utilizar tal exclusão na metodologia CEI, diferentemente do realizado por Rizzi et al. (2009).

Tabela 13: Resultados de exatidão global e acerto soja e não soja, para exclusão de 1, 2, 4, 8 e 16 pixels e sem a exclusão.

Área isolada excluída em pixels (ha)	Acerto soja (%)	Acerto não soja (%)	Exatidão global (%)
Sem exclusão	71,67	96,04	93,05
1 (1,5625)	71,49	96,03	93,02
2 (3,125)	71,41	96,04	93,02
4 (6,25)	71,32	96,07	93,03
8 (12,5)	70,92	96,11	93,02
16 (25)	69,93	96,21	92,98

4.10. ANÁLISE DO TAMANHO DOS TALHÕES IDENTIFICADOS

No que se refere à identificação dos talhões de soja, para aqueles de tamanho até 25 ha, foram identificados 7,98%, sendo que estes correspondem a apenas 6,7% de toda área de soja na região em estudo, segundo o mapeamento de referência. Entre >25 e 50 ha 32,77% dos talhões foram identificados e sua participação em relação a área total é de 8,0%. Na faixa de >50 até 100 ha, 53,99% dos talhões foram identificados, sendo essa faixa correspondente a 14,1% da área total de soja. Finalmente, 83,16% dos talhões acima de 100 ha foram identificados, essa faixa é a mais representativa em relação a área total de soja, perfazendo 71,2%.

Portanto, percebe-se que a metodologia CEI é mais eficiente na identificação de talhões de área maior (acima de 50 ha). Sendo que foi nos talhões acima de 100 ha que se obteve a melhor identificação. A dificuldade em identificar as áreas de soja menores possivelmente seja em virtude da resolução espacial grosseira das imagens MODIS utilizadas. Uma imagem MODIS nas bandas 1 e 2 tem um pixel equivalente a 6,25 ha. Este fato, além do formato irregular dos talhões, faz com que estes sejam representados por muitos pixels não puros de soja nas imagens do MODIS. A mistura espectral em tais pixels geralmente pode fazer com que seu perfil espectro-temporal

seja distinto em relação aos pixels puros, o que pode comprometer sua correta classificação.

4.11. RESULTADOS FINAIS

Os resultados de acerto soja e não soja e exatidão global, por município e para a área total, podem-se observar na Tabela 14. Os melhores resultados foram encontrados para o município de Bagé, que teve 53,57 e 93,88% para acerto soja e exatidão global, respectivamente. Os municípios de Aceguá e Hulha Negra apresentaram valores de acerto soja e exatidão global menores em relação à média da área total. Entretanto, o município de Hulha Negra apresentou o maior acerto não soja.

Tabela14: Acerto soja e não soja e a exatidão global por município e para a área total.

Município	Acerto Soja (%)	Acerto Não Soja (%)	Exatidão Global (%)
Aceguá	48,86	98,67	91,23
Bagé	53,57	98,68	93,88
Hulha Negra	35,69	98,89	89,10
Área total	49,07	98,72	92,63

Com relação à estimativa da área de soja, a metodologia CEI contabilizou 46.082 ha para a área total (Figura 23). Isto implica em uma subestimativa de 38% em relação ao dado de referência.

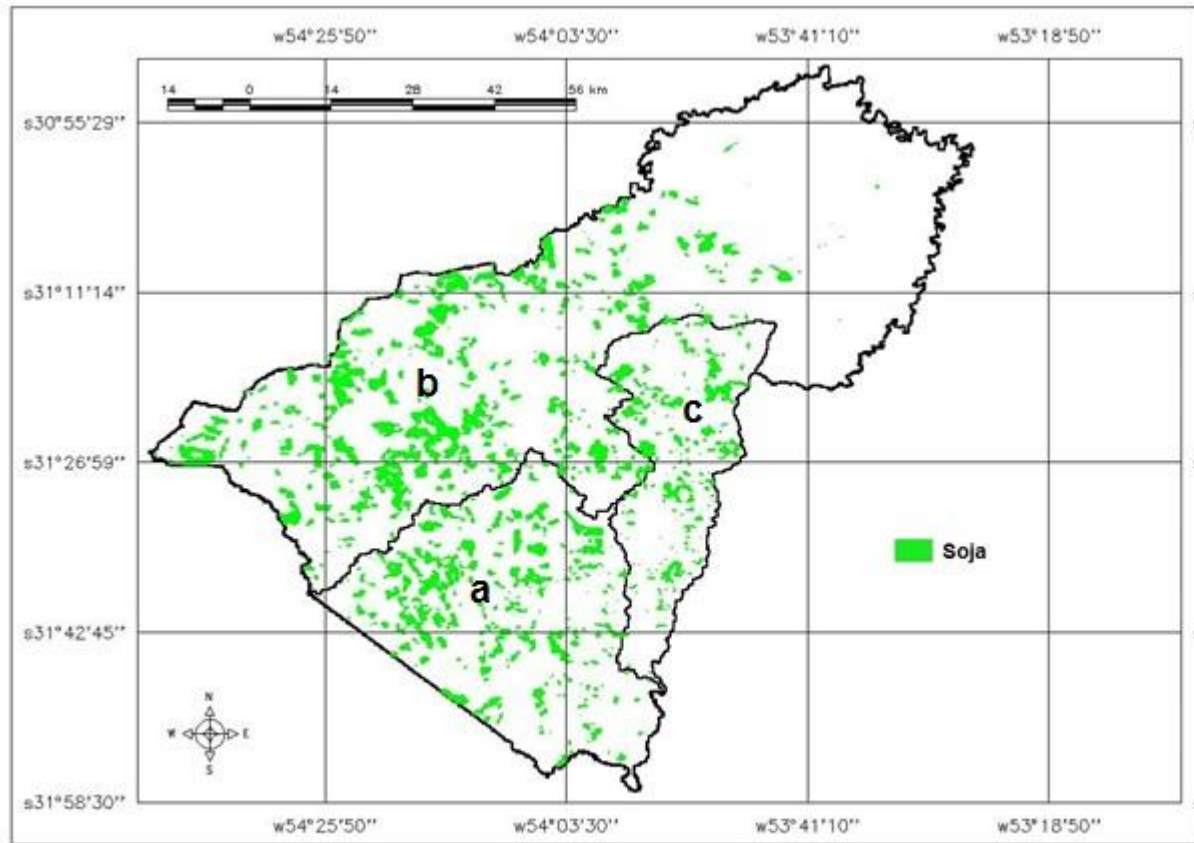


Figura 23: Mapa de soja da área de estudo gerado pela metodologia CEI, com o limite político dos municípios de Aceguá (a), Bagé (b) e Hulha Negra (c).

5. CONCLUSÕES

O mapa de referência mostrou um total de 79.151 ha para área de estudo, sendo 23.150 ha para o município de Aceguá.

Na adaptação temporal da metodologia CEI, os períodos que retornaram os melhores resultados na região em estudo foram os que vão de 17 de novembro a 1º de janeiro para a composição da imagem de MinIV e de 17 de janeiro a 22 de março para a composição da imagem de MaxIV.

Na adaptação espectral, a inserção da banda do SWIR na formulação que compõe a imagem de MaxIV aumentou 2,5% o desempenho da metodologia no mapeamento da classe Soja e 0,45% na exatidão global. Provavelmente minimizando os erros de inclusão provocados pela presença da cultura do arroz irrigado, cujo perfil espectro-temporal é similar ao da soja.

Na adaptação espacial, o melhor resultado foi obtido com o tamanho do pixel em 125 m reamostrado pelo algoritmo convolução cúbica. O que provocou um aumento de 6,73% no acerto do mapeamento da classe “soja” e de 1,63% na exatidão global.

A exatidão do produtor foi de 49,07 e 98,72% e a exatidão do consumidor foi de 84,31 e 93,97%, para as classes “soja” e “não soja”, respectivamente, com exatidão global de 92,63%.

Com relação à identificação da soja, foi possível identificar cerca de 54% e 83,16% dos talhões com área entre >50 e 100 e acima de 100 ha, respectivamente. Abaixo de 25 e entre >25 e 50 ha, foram identificados somente 7,98 e 32,77% dos talhões de soja, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Liana Oighenstein. et al. **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE, 2003. Disponível em: <<http://www.cvmn.com.br/HTML/Arquivos/Sensoriamento%20remoto/SENSOR%20MODIS%20UMA%20ABORDAGEM%20GERAL.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2016.
- ARTICULAÇÃO SOJA HOLANDA; AIDEnvironment. **Um outro olhar sobre a soja**. Amsterdã: Primavera Quint, 2006. Disponível em: <<http://141.105.120.208/dsc/wp-content/uploads/2014/04/Um-Outro-Olhar-sobre-a-soja.-Articula%C3%A7%C3%A3o-Soja-Holanda-vers%C3%A3o-revisada-2010.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.
- BALDI, C. Z.; RIZZI, R. Análise da expansão da área de soja em Pedro Osório-RS por meio de imagens Landsat: safras 2001/02 e 2013/14. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 24., 2015, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.
- BERKA, L. M. S.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa de área plantada com soja através de imagens Landsat em municípios do norte do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 27-31.
- BRYN, Leonardo Monteiro. **Página Dinâmica para Aprendizado do Sensoriamento Remoto**. 2008. 170 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto, na Área de Concentração Desenvolvimento de Metodologias em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento) – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/Dissert_LeonardoBrys.pdf>. Acesso em: 30 out. 2015.
- CÂMARA, G. et al. SPRING: integrating remote sensing and GIS byobject-oriented data modelling. **Computers&Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries Históricas de Área Plantada, Produtividade e Produção, Relativas às Safras 1976/77 a 2014/15 de Grãos, 2001 a 2014**. Soja.xls. Microsoft Office Excel 2007. Londrina, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 10 jan. 2016.

COSTA, José Antonio. **Cultura da Soja**. Porto Alegre: Evangraf, 1996.
 CUNHA, Gilberto Roccada. et al. Zoneamento agrícola e época de semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.446-459, dez. 2001.(Nº Especial: Zoneamento Agrícola). Disponível em:
<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/cap3.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2015.

CUNHA, G. R. da et al. **Zoneamento agrícola e época de semeadura para soja no Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 9, n. 3, p. 446-459, dez. 2001.

DEAGRO/FIESP. Departamento do Agronegócio. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Safra Mundial de Soja 2015/2016**: 9º levantamento do USDA. 2016. Informativo. Disponível em:
http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2016/01/boletim_soja_janeiro2016.pdf >. Acesso em: 15 jan. 2016.

EATON, John W.; BATEMAN, David; HAUBERG, Soren. **Gnu Octave Version 3.0.1 Manual**: a high-level interactive language for numerical computations. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2009.

EBERHARDT, I. D. R. et al. Mapeamento e estimativa prévia das áreas de soja no Mato Grosso a partir de imagens EVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 356-363.

ENGESAT. **Soluções em Imagens de satélite e geoprocessamento**. Landsat 8 [2016]. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>>. Acesso em: 16 maio 2016.

EMBRAPA SOJA. Exigências Climáticas. In: **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2004**. Disponível em: <
<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/exigencias.htm>>. Acesso em: 27 out. 2015.

FEDERIZZI, L. C. **A soja como fator de competitividade no MERCOSUL**: histórico, produção e perspectivas futuras.[2005]. Disponível em:
<http://cdn.fee.tche.br/jornadas/2/E13-10.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2015.

FRANÇA, Júnia Lessa; VASCONCELLOS, Ana Cristina de. **Manual de Normalização de Publicações Técnicos-Científicas**. 8. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2008.

HUETE, A.R.; JACKSON, R.D.; POST, D.F. Spectral response of a plant canopy with different soil background. **Remote Sensing of Environment**, v. 17. n. 1, p. 37-53, fev. 1985.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, ago. 1988.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. V. **Modis vegetation index (MOD 13) algorithm theoretical basis document**.1999. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2016.

HUETE, A. et al. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices**. Remote Sensing of the Environment, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, nov. 2002.

JACKSON, R. D.; HUETE, A. R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, n.11, p.185-200, 1991.

JENSEN, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2011.

JIANG, Z. et al. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v.112, n. 10, p. 3833-3845, 2008.

JUSTICE, Christopher O. et al. **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research**. NASA Publications, [1998a]. Paper 28.

JUSTICE, Christopher O. et al. **The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research**. NASA Publications , Lincoln, v.36, n. 4, 1228-1249, jul. [1998b]. Disponível em: <<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1027&context=nasapub>>. Acesso em: 10 jan. 2016

KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.30, n.2, mar. 1992.

KIMES, D. S. Dynamics of directional reflectance factor distributions for vegetation canopies. **Applied Optics**, v. 22, n. 9, p.1364-1372, may, 1983.

KLERING, E. V. **Mapeamento da área cultivada e estimativa do rendimento de grãos de arroz irrigado a partir de modelos agrometeorológicos - espectrais para o Rio Grande do Sul**. 2012. 163 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia com ênfase em Agrometeorologia)–Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

LEMOS, G. da S.; RIZZI, R. Análise da recente expansão da soja em Ulha Negra-RS a partir de dados do IBGE e imagens de sensoriamento remoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal/RN. **Anais...** Natal/RN: SBSCS, 2015.

LEMOS, G. da S.; RIZZI, R. Precisão do mapeamento de soja por sensoriamento remoto em uma metodologia multitemporal. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO (ENPOS), 17., 2015, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2015.

LEMOS, Gabriel da Silva. (gabriel.faem@gmail.com) **Mapeamento de soja do município de Bagé**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por lweymarjr@gmail.com em 08 jul. 2015.

LP DAAC. Land Process Distributed Active Archive Center. **Nadir BRDF-Adjusted Reflectance 16-Day L3 Global 500m**.2014. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mcd43a4>. Acesso em: 20 out. 2015.

MAÇORANO, R. P.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. de C.; LOEBMANN, D. G. dos S. W.; LORENSINI, C. L. Comparação entre classificação semiautomática e o método CEI utilizando dados MODIS para o mapeamento de áreas de soja no estado de Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2014, Campinas SP. **Anais...** Campinas SP: IAC, 2014.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2014/15 a 2024/25: projeções de longo prazo**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PROJECOS_DO_AGRONEGOCIO_2025_WEB.pdf>. Acesso em: 30 out. 2015.

MELO, Ivan Dornelas Falcone de.; PACHÊCO, Admilson P. **Aspectos da correção geométrica de imagens orbitais**. 2004. Disponível em:

<<https://www.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/html/Fotogrametria%20e%20Sensoriamento%20Remoto/Artigos/f048.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

MENDES, Priscilla. **Ministra apresenta potencial de crescimento do agronegócio ao Conselho**. Reunião do CDES, 44., 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2016/01/ministra-apresenta-potencial-de-crescimento-do-agronegocio-ao-conselhao>>. Acesso em: 03 fev. 2016.

NASA. National Aeronautics and Space Administration Terra. The EOS Flagship. **Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer**. [2015a]. Disponível em: <<http://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/modis>>. Acesso em: 20 out. 2015.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. **Specifications**. [2015b]. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>>. Acesso em: 20 out. 2015.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. Landsat Science **Landsat 8**. [2016]. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3186>>. Acesso em: 26 mar. 2016.

NUNES, José Luis da Silva. **Soja**: importância econômica. [2010]. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/culturas/soja/importancia.aspx>>. Acesso em: 25 out. 2015.

PONZONI, Flávio Jorge; YOSIO, Edemir Shimabukuro. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2010.

RISSE, J. **Diagnóstico espacialmente explícito da expansão da soja no mato grosso de 2000 a 2012**. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 212 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 3, n. 57, 2005.

RIZZI, R. et al. Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal/RN. **Anais...** Natal/RN: INPE, 2009. p 387 - 394.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington D.C. **Proceedings...** Washington: NASA, 1974. v.1, p. 309-317.

SEDIYAMA, Tuneo et al. **Cultura da Soja**. Viçosa: Ed. da UFV, 1996a.1 v.

SEDIYAMA, Tuneo et al. **Cultura da Soja**. Viçosa: Ed. da UFV, 1996b. 2 v.

SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Sistemas de Dados Agregados. **Tabela 1612**: área plantada, área colhida, quantidade produzida da lavoura temporária. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&c=1612>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

SILVA JUNIOR, C. A. da et al. Comparação de áreas de soja (*Glycinemax* (L) Merr.): obtidas por meio da interpretação de imagens TM/LANDSAT e MODIS/TERRA no município de Maracaju (MS). **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 30, p. 707-716, out. 2014. Supplement2.

SOUZA FILHO, C. R.DE. **O sensor MODIS a bordo das plataformas Terra e Aqua**. 2004. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2004/05/23/o-sensor-modis-a-bordo-das-plataformas-terra-e-acqua/>>. Acesso em: 02 dez. 2015.

STEINMETZ, Silvio et al. **Zoneamento Agroclimático do Arroz Irrigado por Épocas de Semeadura no Estado do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. (Documentos, 199).

SUGAWARA, L. M.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M. Viabilidade de uso de imagens do Landsat em mapeamento de área cultivada com soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.12, p. 1777-1783, dez. 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. Biblioteca Central. **Manual de Normalização de Teses, Dissertações e Trabalhos Acadêmicos da Universidade Federal de Pelotas**. 2015. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/ppgmacsa/files/2011/05/Manual-e-normas-da-UFPEL-para-trabalhos-acad%C3%AAmicos.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

USGS.U.S.Geological Survey. **SLC-off Products**: background. [2015a]. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/products_slcutoffbackground.php>. Acesso em: 20 out. 2015.

USGS.U.S.Geological Survey. **Landsat 8**. [2015b]. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>. Acesso em: 20 out. 2015.

USGS.U.S.Geological Survey. **Landsat 7 history**. [2015c]. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_landsat7.php>. Acesso em: 20 out. 2015.

USGS.U.S.Geological Survey. **Landsat 8 (L8)**: data users handbook. 2015d. Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/documents/Landsat8DataUsersHandbook.pdf>>. Acesso em: 11fev. 2016.

VERMOTE, E. F.; VERMEULEN, A. **Atmospheric correction algorithm**: spectral reflectances (MOD09). Version 4.0.University of Maryland, Dept. of Geography.1999. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod08.pdf> Acesso em: 12 jan. 2016.

WILLIAMS, D. L.; GOWARD, S.; ARVIDSON, T. Landsat: yesterday, today, and tomorrow. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 72, n. 10, p. 1171–1178, oct. 2006.