



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/04.12.16.23-TDI

DETECÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS EM ÁREAS DESFLORESTADAS PARA AUXILIAR A MORATÓRIA DA SOJA

Pedro Valle de Carvalho e Oliveira

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff, aprovada em 27 de abril
de 2011.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39G6DHE>>

INPE
São José dos Campos
2011

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivêca Sant'Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
Ciência e Tecnologia



sid.inpe.br/mtc-m19/2011/04.12.16.23-TDI

DETECÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS EM ÁREAS DESFLORESTADAS PARA AUXILIAR A MORATÓRIA DA SOJA

Pedro Valle de Carvalho e Oliveira

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelo Dr. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff, aprovada em 27 de abril
de 2011.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39G6DHE>>

INPE
São José dos Campos
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Oliveira, Pedro Valle de Carvalho e.
Ol4d Detecção de culturas agrícolas em áreas desflorestadas para
auxiliar a moratória da soja / Pedro Valle de Carvalho e Oliveira.
– São José dos Campos : INPE, 2011.
xxiv+85 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/04.12.16.23-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto
Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.
Orientador : Dr. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff.

1. Moratória da soja. 2. Séries temporais. 3. MODIS. 4. Índice
de Vegetação Realçado (EVI). 5. Taxa de variação de EVI. 6. Mato
Grosso (Estado) . I.Título.

CDU 528.87 (812.2)

Copyright © 2011 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro



Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff



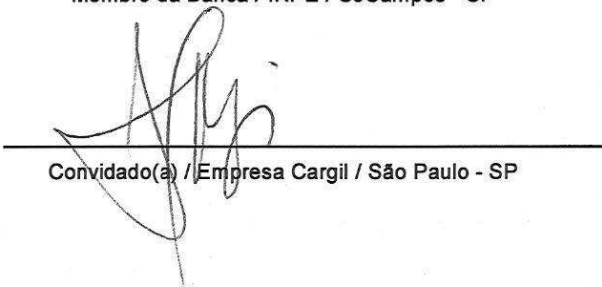
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Maurício Alves Moreira



Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. José Luis Rodriguez Yi



Convidado(a) / Empresa Cargil / São Paulo - SP

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

☒ unanimidade

Aluno (a): Pedro Valle de Carvalho e Oliveira

São José dos Campos, 27 de abril de 2011

“O desejo do saber é natural aos homens bons”.
Leonardo da Vinci

A meus pais, João e Odila, e a meu irmão, Matheus.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Bernardo F. T. Rudorff, pela oportunidade, motivação e, principalmente, orientação entre os anos de 2009 e 2011.

Ao Dr. Marcos Adami, por toda a ajuda prestada no desenvolvimento deste trabalho.

Ao M.Sc. Ramon M. Freitas ao Dr. Arley F. de Souza, pela filtragem dos dados e pela elaboração da ferramenta *Web* para análise dos dados.

Aos M.Sc.s. Márcio P. Mello e Daniel A. Aguiar, por todo apoio, ideias e bate-papos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Ao INPE, pelo ambiente propício para o desenvolvimento deste trabalho.

A meus pais, pela existência, criação e por me transformarem no que sou.

Aos irmãos André A. Gavlak e Hiran Zani, pelas conversas diárias agradáveis ao longo dos últimos anos.

Aos grandes amigos “diretores”, Kleber Trabaquini, Enrique M. Castillo, Cesar E. Garcia, Rogério Marinho, Thiago C. Bertani, Moisés P. G. Salgado, Raian Maretto, Giovanni Boggione. Aos amigos de LTID Verônica F. Gama, Darcy C. Jimenez e Luciana Arasato, Jansen Poças. E aos outros amigos da turma de 2009.

À Cibeles, pela amizade, pelo carinho e pela compreensão.

RESUMO

A Moratória da Soja foi estabelecida com a finalidade de diminuir o desflorestamento causado pela expansão da sojicultura no bioma amazônico. Ela expressa o comprometimento da Associação Brasileira da Indústria de óleos Vegetais (ABIOVE) e da Associação dos Exportadores de Cereais (ANEC) de não comercializarem soja originária de áreas desflorestadas a partir de 24 de julho de 2006. Atualmente, a presença de soja nestas áreas é identificada em duas etapas: 1) por meio de imagens de satélite do sensor MODIS para identificação de culturas agrícolas; e 2) por meio de um sobrevôo para identificação da cultura da soja. O presente trabalho tem por objetivo aperfeiçoar o processo de detecção de culturas agrícolas em áreas desflorestadas para auxiliar a Moratória da Soja no estado do Mato Grosso. Para realizar tal tarefa, foi necessário, primeiramente, classificar as áreas desflorestadas quanto a sua forma e dimensão; avaliar o comportamento espectro-temporal do índice de vegetação realçado (EVI) em áreas de uso agrícola e não-agrícola, a fim de identificar padrões que facilitem a distinção desses usos; calcular diferentes Taxas de Variação do EVI (TVE) em todas as imagens composição do produto MOD09Q1, entre julho de 2009 e fevereiro de 2010 e identificar a TVE que apresenta melhores resultados na detecção de culturas agrícolas. Na sequência, cada uma das 127 áreas sobrevoadas no Mato Grosso foi classificada como “pequena”, “estreita”, “pequena e estreita” ou “normal”. A análise das séries temporais de EVI2 calculadas pelo produto MOD09Q1 para os 127 polígonos detectados no Mato Grosso, permitiu identificar um padrão para culturas anuais e padrões distintos para áreas de não-cultura. Com base nessas informações, calculou-se a TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias com três diferentes datas limites para cada um destes intervalos. Foi observado que para valores de TVE maior que 0,4 há indício de presença de cultura agrícola no polígono. Percebeu-se ainda que, apesar de a TVE com intervalo de 48 dias, estimada em 11/02/10, ter apresentado a maior precisão (80,3%) na identificação de cultura e não-cultura, ela detectou menos áreas de soja em comparação com as TVEs dos intervalos de 32 e 40 dias. A TVE com intervalo de 32 dias, estimada em 25/12/09 e 10/01/10, detectou um número maior de polígonos com soja (42 e 53 do total de 56 polígonos, respectivamente). A omissão de polígonos de uso agrícola ocorreu somente nos classificados como “pequenos” e “pequenos e estreitos”. Dessa forma, foi possível concluir que o processo de detecção de culturas agrícolas para auxiliar a Moratória da Soja no estado do Mato Grosso pode ser aperfeiçoado através da aplicação da TVE.

CROP DETECTION IN DEFORESTED AREAS TO ASSIST THE SOY MORATORIUM

ABSTRACT

The Soy Moratorium was established in order to reduce deforestation caused by soybean expansion in the Amazon biome. It expresses the commitment of the Brazilian Association of Vegetable Oil Industries (ABIOVE) and the Brazilian Association of Grain Exporters (ANEC) not to trade soy produced in deforested areas after July 24th, 2006. Currently, the presence of soybean in these areas is identified in two steps: 1) through satellite images from the MODIS sensor to identify crop areas; and 2) through an air survey to detect soy plantation. This study aims to improve the crop detection processes in deforested areas in order to assist the Soy Moratorium in Mato Grosso state. To accomplish this task it was first necessary to classify the deforested areas according to their shape and size; to evaluate the Enhanced Vegetation Index (EVI) spectral-temporal behavior for crop and non-crop sites, in order to identify patterns that facilitate the distinction among those land uses; to calculate different Rates of Change in EVI (TVE) in all MOD09Q1 composed images product, between July 2009 and February 2010 and to identify the TVE that presents best result for crop detection. Afterwards, each of the 127 polygons that were flown in Mato Grosso were classified as "small", "narrow", "small and narrow" and "normal". The EVI2 time-series analysis, calculated from the MOD09Q1 product for the 127 detected polygons in Mato Grosso, allowed identifying a crop pattern and several non-crop patterns. Based on this information, the TVE was calculated with 32, 40 and 48-day intervals with three different limit dates for each interval. It was observed that for rates greater than 0.4 the presence of agricultural crop was evident. It was noticed that, although the TVE with a 48-day interval, estimated on 11/02/10, presented the greatest accuracy (80.3%) to identify crop and non-crop, it detected less soybean areas when compared to the 32 and 40-day TVE. The 32-day interval of TVE, estimated at 25/12/09 and 10/01/10, detected most of the number of polygons with soybean (42 and 53 of 56 polygons, respectively). The omission of agricultural polygons occurred only in those classified as "small" and "small and narrow". Thus, it is possible to conclude that, the crop detection process to assist the Soy Moratorium in the state of Mato Grosso can be improved using TVE.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág</u>
Figura 3.1 - Área de estudo e distribuição espacial dos polígonos desflorestados.	24
Figura 3.2 - Demonstração gráfica da formação da equação da TVE.....	28
Figura 3.3 - Janela móvel para cálculo da TVE a partir da série de dados EVI2- MOD09.	30
Figura 4.1 - Variação temporal dos valores de EVI para uma área de floresta entre 2000 e final de 2006, convertida, gradualmente, em cultura agrícola, a partir de setembro de 2008.....	36
Figura 4.2 - Evolução após desmate, EVI típico para regeneração.....	37
Figura 4.3 - Evolução após desmate, EVI típico para pastagem.....	37
Figura 4.4 - EVI para a classe regeneração natural.....	38
Figura 4.5 - EVI para a classe reflorestamento.	39
Figura 4.6 - EVI para a classe pastagem.	40
Figura 4.7 - EVI para a classe arroz.....	41
Figura 4.8 - EVI para a classe milho.	42
Figura 4.9 - EVI para a classe soja.	42
Figura 4.10 - (a) EVI e (b) TVE com intervalo de 48 dias para série temporal de pixel coberto por soja.	44
Figura 4.11 - (a) EVI e (b) TVE com intervalo de 48 dias para série temporal de pixel coberto por arroz.....	45
Figura 4.12 - TVE com intervalo de 48 dias de pixels cobertos por regeneração natural para os polígonos intitulados por 6368, 7265 e 6926 de acordo com a ABIOVE.	46
Figura 4.13 - TVE com intervalo de 48 dias de pixels cobertos por pastagem para os polígonos intitulados por 5589 e 7706 de acordo com a ABIOVE.....	47

Figura 4.14 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 5589.....	51
Fugura 4.15 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 8526.....	52
Figura 4.16 – Fotografia aérea do polígono 6240	53
Figura 4.17 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 6240.....	54
Figura 4.18 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 7774.....	55
Figura 4.19 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 7757.....	56
Figura 4.20 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 6357.....	61
Figura 4.21 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 8164.....	62
Figura 4.22 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 8407.....	63
Figura 4.23 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 8950.....	64
Figura 4.24 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 9044.....	65

Figura 4.25 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 8562.....	66
Figura 4.26 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 7568.....	67
Figura 4.27 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 7265.....	72
Figura 4.28 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 7706.....	73
Figura 4.29 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 6926.....	74
Figura 4.30 TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 9071.....	75
Figura 4.31 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 6328.....	76

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 - Área (mil ha) de cultivo de soja ao longo da última década (*Previsão)	6
Tabela 2.2 - Calendário agrícola da soja para as regiões brasileiras.....	10
Tabela 3.1 - Dados dos produtos do sensor MODIS.....	25
Tabela 3.2 - Relação entre a data de identificação da cultura agrícola (provável aquisição do dado do produto MOD09) e a data limite de plantio passível de identificação.	31
Tabela 4.1- Polígonos visitados em campo e seu agrupamento por classes de forma de dimensão.....	34
Tabela 4.2 - Resultado da classificação das áreas de Cultura e Não-Cultura agrícola através da TVE com intervalo de 32 dias.	48
Tabela 4.3 - Polígonos não classificados pela TVE com intervalo de 32 dias em relação às suas classes de forma e dimensão.	49
Tabela 4.4 - Resultado da classificação das áreas de Cultura e Não-Cultura agrícola através da TVE com intervalo de 40 dias.	57
Tabela 4.5 - Polígonos não classificados pela TVE com intervalo de 40 dias em relação às suas classes de forma e dimensão.	58
Tabela 4.6 - Resultado da classificação das áreas de Cultura e Não-Cultura agrícola através da TVE com intervalo de 48 dias.	68
Tabela 4.7 - Polígonos não classificados pela TVE com intervalo de 48 dias em relação às suas classes de forma e dimensão.	69
Tabela 4.8 - Precisão da classificação através da TVE.	78

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
LP DAAC	Land Processes Distributed Active Archive Center
USGS	United States Geological Survey
MOD09A1	Composição temporal do produto Reflectância de Superfície com 500 m de resolução espacial
MOD09Q1	Composição temporal do produto Reflectância de Superfície com 250 m de resolução espacial
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
EVI	Enhanced Vegetation Index
NDSI	Normalized Difference Snow Index
LSWI	Land Surface Water Index
CEI	Crop Enhancement Index
MRT	MODIS Reprojection Tool
TVE	Taxa de Variação do EVI
EVI2-MOD09	Índice de Vegetação Realçado Calculado a Partir do Produto MOD09Q1
IAF	Índice de Área Foliar

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Hipótese	3
1.2. Objetivo Geral	3
1.3. Objetivos Específicos	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1 A Cultura da Soja	5
2.1.1 História e Atualidades.....	5
2.1.2. Influências Ambientais.....	6
2.1.3. Estádios de Desenvolvimento	8
2.1.4. Calendário Agrícola	9
2.2. O Projeto PRODES	10
2.3. O Sensor MODIS	11
2.3.1. Produtos Terrestres.....	12
2.3.2. O Produto Reflectância de Superfície - MOD09.....	13
2.4. Sensoriamento Remoto da Vegetação.....	14
2.4.1. Índices de Vegetação do Sensor MODIS nos Estudos de Uso e Cobertura da Terra na Amazônia.....	16
2.4.2. Índices de Vegetação do MODIS nos Estudos de Fenologia e Crescimento de Culturas Agrícolas	17
2.4.3. Índices de Vegetação do MODIS para o Mapeamento e Classificação de Culturas Agrícolas	18
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Área de Estudo.....	23
3.2. Imagens do Sensor MODIS/Terra	25
3.3. Os Polígonos Monitorados e Dados de Sobrevoos.....	25
3.4. Formação da Série Temporal de Dados EVI2-MOD09 Original e Filtrada para os Polígonos em Estudo	26
3.5. Taxa de variação do EVI para Identificação dos Alvos Cultura e Não-Cultura.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33

4.1. Classificação dos Polígonos Quanto à Forma e Dimensão nos Dados de Referência da ABIOVE.....	33
4.2. O EVI na Área de Estudo	35
4.3. Valores Máximos de TVE e Detecção de Culturas Agrícolas.....	43
4.4. Detecção de Áreas Agrícolas a Partir da TVE com Intervalos de 32, 40 e 48 dias.....	47
4.4.1. Classificação de Áreas Agrícolas Através da TVE de 32 Dias	47
4.4.2. Classificação de Áreas Agrícolas Através da TVE de 40 Dias	57
4.4.3. Classificação de Áreas Agrícolas Através da TVE de 48 Dias	68
4.4.4. Análise Geral da Classificação Através da TVE.....	77
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1 INTRODUÇÃO

O bioma amazônico vem passando por um processo intenso de mudança de uso e cobertura da terra, no qual as florestas são convertidas principalmente em áreas de pastagem e de cultivo da soja (FEARNSIDE, 2005; NEPSTAD *et al.*, 2006). A expansão da fronteira agrícola tem sido impulsionada pela maior demanda de soja no mercado internacional e por estímulos governamentais através de investimentos em infraestrutura para facilitar o escoamento da produção (FEARNSIDE, 2002; FEARNSIDE, 2005; NEPSTAD *et al.*, 2006). Apesar de não encontrarem evidências de que a variação no preço da soja esteja correlacionada com as taxas de desflorestamento, em um estudo que abrange os anos de 1990 a 2006, Ewers *et al.* (2008) observaram que, entre 2001 e 2006, o aumento do desflorestamento coincidiu com o aumento do preço da soja provocado pela maior demanda no mercado internacional. De fato, o cultivo da soja anteriormente circunscrito às áreas de cerrado expandiu-se nos últimos anos, estendendo sua ocupação no bioma amazônico (EWERS *et al.*, 2008).

Já há algum tempo a sociedade civil vem denunciando o desflorestamento para expansão da sojicultura no bioma amazônico, como pode ser visto, por exemplo, no filme documentário "We Feed the World", feito em 2005, pelo diretor Erwin Wagenhofer. O desflorestamento pode mudar o regime hidrológico, provocar perdas de biodiversidade e contribuir para o aquecimento global com a emissão de gases estufa (FEARNSIDE, 2005). Kiihl e Calvo (2008) também mencionam a preocupação relativa ao impacto socioambiental decorrente do avanço da produção de soja na Amazônia e mesmo no Cerrado, e destacam a carência de estudos detalhados sobre estes impactos.

Como consequência dos protestos contra a expansão do cultivo da soja no bioma amazônico foi formado o Grupo de Trabalho da Soja (GTS)¹ que estabeleceu a Moratória da Soja, concebida como um instrumento de controle desse cultivo no bioma amazônico. A Moratória da Soja foi acordada em 24 de julho de 2006 e expressa o comprometimento da Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais (ABIOVE) e da Associação Brasileira dos Exportadores de Cereais (ANEC) de não comercializarem soja originária de áreas desflorestadas dentro do bioma amazônico, a partir dessa data. Para monitorar e detectar esse cultivo em áreas desflorestadas posteriormente à data da Moratória da Soja, o GTS firmou uma parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (ABIOVE, 2010; RUDORFF *et al*, 2011).

Uma série de critérios foi estabelecida por Rudorff *et al.* (2011) para detectar áreas agrícolas em desflorestamentos identificados pelo projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite - www.obt.inpe.br/prodes/) (Shimabukuro *et al.*, 1998) a fim de fazer valerem as regras impostas pela Moratória da Soja. Os autores avaliaram uma série de imagens do sensor *MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) para verificar a presença agrícola. Processo similar de identificação de culturas, através de séries temporais de imagens do sensor MODIS, já havia sido também executado com resultados interessantes por Wardlow *et al.* (2007) nas planícies centrais do estado do Kansas, EUA; por Brown *et al.* (2007), no município de Vilhena, Rondônia; por Rizzi *et al.* (2009), no estado do Mato Grosso.

O presente trabalho busca contribuir com os estudos iniciados por Rudorff *et al.* (2011) para identificar e monitorar o cultivo da soja com o auxílio de dados orbitais. Motivou-o a intenção de acatar a proposta implícita nas sugestões

¹ O Grupo de Trabalho da Soja é formado pela Associação Brasileira da Indústria de Óleos Vegetais (ABIOVE), a Associação Brasileira dos Exportadores de Cereais (ANEC), a Conservação Internacional (IC), o *Greenpeace*, o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), *The Nature Conservancy* (TNC) e o *World Wide Fund for Nature* (WWF).

dadas por Rudorff *et al.* (2011), que citaram dois possíveis ajustes para a melhoria da metodologia em futuros monitoramentos. O primeiro refere-se à melhor detecção das datas de plantio da soja, considerando o fato de elas ocorrerem em momentos diferentes nas diversas regiões produtoras no bioma amazônico. O segundo refere-se à diminuição da falsa detecção de áreas com culturas anuais, a fim de diminuir aquelas a serem sobrevoadas. Rudorff *et al.* (2011) propõem o uso de redes bayesianas para estabelecer a probabilidade de se encontrar cultura anual nas áreas desflorestadas.

1.1. Hipótese

Estudos anteriores constataram que séries temporais de índices de vegetação carregam as informações necessárias para a identificação de culturas agrícolas (WARDLOW *et al.*, 2007; WARDLOW e EGBERT, 2008). Levando em consideração a importância desse aporte, este trabalho propôs como hipótese que uma análise periódica e sistemática de dados multitemporais de índices de vegetação do sensor MODIS é capaz de aprimorar o método de seleção de polígonos de uso agrícola nas áreas desflorestadas no bioma amazônico.

1.2. Objetivo Geral

Aprimorar o processo de detecção de culturas agrícolas em áreas desflorestadas para auxiliar a Moratória da Soja no estado do Mato Grosso, visando diminuir o erro de inclusão sem, contudo, aumentar o erro de omissão.

1.3. Objetivos Específicos

- 1) Classificar as áreas desflorestadas quanto a sua forma e dimensão;
- 2) Avaliar o comportamento espectro-temporal do índice de vegetação realçado (EVI) em áreas de uso agrícola e não-agrícola;

- 3) Calcular a Taxa de Variação do EVI (TVE), com diferentes intervalos de tempo, em todas as imagens composição do produto MOD09Q1 entre julho de 2009 e fevereiro de 2010;
- 4) Identificar o intervalo de tempo que apresenta melhores resultados na detecção de culturas agrícolas, de modo a auxiliar a Moratória da Soja.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A Cultura da Soja

Há concordância na constatação do fato de que a soja cultivada teve origem no leste da Ásia, mais precisamente na China (BONETTI, 1981). Trata-se de planta herbácea que, devido a seus numerosos cultivares, apresenta uma elevada diversificação genética e morfológica, adaptando-se a diferentes ambientes. Seu desenvolvimento é rápido. Pode durar de 75 dias para variedades precoces a, aproximadamente, 200 dias para variedades tardias. Os cultivares mais plantados têm ciclos que variam entre 100 e 150 dias (MÜLLER, 1981a).

2.1.1 História e Atualidades

No Brasil, os primeiros cultivos de soja (*Glycine max* (L.) Merril) foram feitos no estado da Bahia, em 1882. Dez anos depois, ela foi plantada na Estação Agronômica de Campinas, atual Instituto Agronômico de Campinas (IAC), e seguiu rumo à região sul do país, onde se tornou economicamente viável e ganhou importância no contexto agrícola nacional (KIIHL e CALVO, 2008; EMBRAPA, 1981).

Nas últimas três décadas, a sojicultura impulsionou a agricultura de vários estados brasileiros. Hoje, mais de 50% de sua produção provém de áreas ocupadas no cerrado, região cujo clima, topografia e estrutura fundiária favoreceram sua consolidação. Cabe destacar que a facilidade para se corrigirem os solos de baixa fertilidade e o surgimento de novos cultivares, após melhoramentos genéticos, também contribuíram para o grande aumento da produção de soja no Brasil (KIIHL e CALVO, 2008).

Por outro lado, pode-se observar, através da série histórica da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (Tabela 2.1), que aproximadamente 25% da área de cultivo de soja no Brasil na última década provém de estados situados na Amazônia Legal, onde hoje a cultura se encontra em expansão. É interessante notar que, na safra 2005/06, a área ocupada por soja no Brasil começou a diminuir, mas continuou a expandir-se nos estados que se encontram no arco do desmatamento. Cerca de 7,5% (1,7 Mha) da área de soja plantada no Brasil (23,5 Mha) se encontra no bioma amazônico, estando 99% dela concentrados nos estados do Mato Grosso (na parte correspondente ao bioma amazônico), Pará e Rondônia (RUDORFF et al., 2011).

Tabela 2.1 - Área (mil ha) de cultivo de soja ao longo da última década (*Previsão)

Ano/Safra	UF			BRASIL
	RO	PA	MT	
2000/01	25,00	0,70	3.120,00	13.969,80
2001/02	28,60	2,90	3.853,20	16.386,20
2002/03	41,00	15,50	4.419,60	18.474,80
2003/04	59,50	35,20	5.240,50	21.375,80
2004/05	74,40	69,00	6.105,20	23.301,10
2005/06	106,40	79,70	6.196,80	22.749,40
2006/07	90,40	47,00	5.124,80	20.686,80
2007/08	99,80	71,10	5.675,00	21.313,10
2008/09	106,00	72,20	5.828,20	21.743,10
2009/10*	122,30	86,90	6.224,50	23.467,90

Fonte: CONAB (2011)

2.1.2 Influências Ambientais

2.1.2.1 Disponibilidade de Água

A presença adequada de água no solo é imprescindível em dois períodos do desenvolvimento da soja: no de germinação-emergência e durante a floração-enchimento de grãos. Quanto ao primeiro, a soja não deve ser semeada em solos com pouca umidade, uma vez que a semente precisa de 50% de seu

peso em água para ter uma germinação adequada (MÜLLER, 1981a). Contudo, solos muito úmidos podem prejudicar seu desenvolvimento, pelo fato de restringirem a disponibilidade de oxigênio (MÜLLER, 1981a; EMBRAPA 2008).

No período de floração-enchimento de grãos, a escassez de água causa fechamento estomático e enrolamento de folhas, levando a uma queda prematura de folhas e flores, além do abortamento de vagens. Assim, sua carência leva a planta a ter um baixo rendimento de grãos. Por ciclo, estima-se que a quantidade ideal de água para se alcançar o rendimento desejável varia em torno de 450 a 800 mm (EMBRAPA, 2008).

2.1.2.2 Temperatura

Ainda de acordo com a Embrapa (2008), a soja adapta-se melhor a áreas cujas temperaturas ficam em torno de 20 a 30°C, podendo chegar, no plantio, como citado por Müller (1981b), a 30°C. Ainda segundo a Embrapa (2008), a temperatura ideal é a intermediária entre esses dois extremos, isto é, 25°C.

A temperatura mínima para o desenvolvimento vegetativo da soja é de 10°C, sendo que, se inferior a isso, ocasiona crescimento pequeno ou nulo. Caso a temperatura seja superior a 40°C, provoca uma redução da atividade fotossintética. Essa situação pode também levar à queda de flores, diminuição da quantidade de grãos, alterando inclusive as concentrações de óleo (EMBRAPA, 2008; MÜLLER, 1981b). Os problemas da temperatura são acentuados se houver déficit hídrico (EMBRAPA, 2008).

2.1.2.3 Fotoperíodo

Outro fator ambiental que influencia no desenvolvimento de uma planta é o comprimento luminoso do dia, também chamado de fotoperíodo. As fases de

floração e frutificação podem não ocorrer ou ocorrer de maneira inadequada, se o fotoperíodo não for o mais apropriado para os cultivares (GANDOLFI e MÜLLER, 1981). Os mesmo autores comentam ainda o fato da soja ser uma planta de dia curto, esclarecendo, contudo, que seus diversos cultivares podem apresentar fotoperiodismo de exigências diferentes, isto é, alguns cultivares são mais e outros menos sensíveis ao comprimento do dia. Câmara *et al.* (1997) dizem que, no caso da soja, se o fotoperíodo é mais longo (13 e 14 horas), há uma antecipação da floração. Isto pode também acontecer quando há temperaturas elevadas. Outra consequência seria o aumento da altura da planta (CÂMARA *et al.*, 1997).

2.1.3 Estádios de Desenvolvimento

Fehr *et al.* (1971) propuseram um sistema de identificação dos estádios de desenvolvimento da soja, dividindo-os em estádios vegetativos e estádios reprodutivos. Os estádios vegetativos têm relação com número de nós produzidos após a emergência e abertura dos cotilédones. O primeiro nó é o que apresenta folhas primárias. Os nós subsequentes têm folhas trifoliadas. Os estádios reprodutivos agregam as fases do florescimento, desenvolvimento da vagem, desenvolvimento do grão e maturação da planta (MÜLLER, 1981a; NEUMAIER *et al.*, 2000). O sistema de identificação pode ser assim descrito:

Estádios Vegetativos (V)

- VE; emergência do cotilédone,
- VC; abertura do cotilédone,
- V1; folha totalmente desenrolada do nó unifoliado e desenvolvida,
- V2; folha trifoliada totalmente desenrolada no nó acima do nó unifoliado,
- V3; segundo nó com folha trifoliada totalmente desenrolada no nó acima do segundo nó,

- V(n); é igual a (n – 1) folhas trifoliadas mais o nó unifoliado com as folhas completamente desenroladas.

Estádios Reprodutivos (R)

- R1; uma flor em qualquer nó, indicando o início do florescimento,
- R2; flor imediatamente abaixo do nó mais alto com folha completamente desenrolada ou do nó abaixo,
- R3; legume com 0,5 cm de comprimento em qualquer dos quatro nós superiores cujas folhas estejam inteiramente desenroladas, determinando o início do desenvolvimento da vagem,
- R4; legume com 2 cm de comprimento em qualquer dos quatro nós superiores cujas folhas estejam inteiramente desenroladas,
- R5; início do desenvolvimento dos grãos em vagem que se encontra em qualquer dos quatro nós superiores cujas folhas estejam inteiramente desenroladas,
- R6; legume contendo sementes verdes de tamanho máximo em vagem que se encontra em qualquer dos quatro nós superiores cujas folhas estejam inteiramente desenroladas,
- R7; início da maturação da planta, legumes começando a amarelar, 50% das folhas amareladas, maturidade fisiológica,
- R8; 95% dos legumes com cor amarronzada, apresentando maturidade para colheita.

2.1.4 Calendário Agrícola

A Tabela 2.2 mostra o calendário agrícola da soja elaborado pela CONAB para as regiões brasileiras, através do décimo primeiro levantamento do Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2009/2010, em agosto de 2010. São indicados os momentos para efetuar o plantio e a colheita de maneira geral. Os períodos de concentração das atividades de plantio (P) e de concentração da colheita (C) receberam destaque.

Tabela 2.2 - Calendário agrícola da soja para as regiões brasileiras.

SOJA		2009				2010					
		Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Centro – Sul	Plantio			P	P	P	P				
	Colheita							C	C	C	
Norte – Nordeste	Plantio				P	P	P	P			
	Colheita								C	C	C

Fonte: adaptado de CONAB (2010)

2.2 O Projeto PRODES

O monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite é realizado pelo INPE desde 1988. Através do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) são produzidas as taxas anuais do desflorestamento na Amazônia Legal (INPE, 2011).

Inicialmente as taxas eram calculadas de forma analógica (PRODES Analógico), ou seja, fazia-se a interpretação visual de imagens impressas em papel fotográfico (CÂMARA *et al.* 2006). A partir de 2003, o cálculo passou a ser feito com o auxílio de computador, que realiza uma classificação digital de imagens (INPE, 2011; CÂMARA *et al.* 2006).

Para se chegar aos polígonos de incremento anuais do PRODES, primeiramente são selecionadas as imagens com menor cobertura de nuvens e mais próximas ao dia 1º de agosto, data de referência para o cálculo da taxa de desmatamento. Essas imagens passam por correções de sistema, correção geométrica e são colocadas em projeção UTM, dando origem a um produto com erro interno correspondente a 50 m. Posteriormente, as bandas TM3, TM4 e TM5 (região do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, respectivamente) são gravadas em formato Geotiff. O segundo passo é o georreferenciamento das imagens TM. Elas são registradas com cartas topográficas de escala 1:100.000. Caso não haja disponibilidade dessas cartas,

são utilizadas cartas 1:250.000 de órgãos responsáveis pela cartografia nacional. Posteriormente, é executado um modelo linear de mistura espectral (MLME), utilizando as bandas TM3, TM4 e TM5. Esse processo gera três bandas sintéticas, que representam proporções de vegetação, solo e sombra existente em cada pixel da imagem (CÂMARA *et al.* 2006).

Outro processo necessário nesse cálculo do desmatamento se refere à segmentação pelo método de crescimento de regiões com limiar de similaridade de 8 e limiar de área de 16. Em alguns casos da segmentação, utiliza-se a fração solo e, em outros, a fração sombra, ou seja, toma-se a que apresentar-se mais contrastante. A partir da imagem segmentada é feita uma classificação não-supervisionada ISOSEG. Por fim há uma edição matricial das classes provenientes da classificação por um fotointérprete e há a elaboração das cartas temáticas para cada unidade da federação (CÂMARA *et al.* 2006).

Recentemente a metodologia de classificação das imagens passou a ser feita visualmente na tela do computador com as imagens na resolução espacial de 30 m. Os dados do PRODES são disponibilizados anualmente através do *site* <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>.

2.3 O Sensor MODIS

O sensor MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) está a bordo dos satélites TERRA e AQUA. Ele foi concebido para fornecer informações da superfície terrestre, oceanos e atmosfera nas regiões do visível e infravermelho do espectro eletromagnético. Está a uma altitude de 705 km em relação à superfície terrestre. A órbita dos satélites é sol-síncrona, circular, quase polar e cruzam o Equador às 10:30 na plataforma TERRA e às 13:30 na AQUA. A visada do sensor é de 110°, de que resulta uma faixa de imageamento de 2330 km na superfície fazendo com que o planeta seja imageado quase que diariamente. Sua varredura é em modo *whiskbroom*,

utilizando um espelho rotativo de dupla face movimentado por um motor. O sistema óptico é composto de um telescópio com dois espelhos fora do eixo focal, que fazem convergir a radiação incidente para um conjunto de matrizes de detectores lineares com filtros de interferência espectral, localizados em quatro planos focais, captando a radiância nas regiões do visível, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e infravermelho termal, simultaneamente (JENSEN, 2007; NASA MODIS, 2011; SOARES *et al.*, 2007).

O sensor MODIS opera em 36 bandas espectrais dentro do intervalo de 0,4 a 14,4 micrometros do espectro eletromagnético. Os dados são quantificados em 12 bits. As bandas 1 e 2 (faixas do vermelho e infravermelho próximo, respectivamente) possuem resolução espacial de 250 x 250 m; as bandas 3 a 7 possuem resolução espacial de 500 x 500 m e as bandas 8 a 36 possuem resolução espacial de 1 x 1 km (SOARES *et al.*, 2007).

O MODIS tem ainda quatro sistemas de calibração interna, consistindo em um difusor solar, um monitor de estabilidade do difusor solar, um instrumento de calibração espectro radiométrica e um corpo negro para calibração termal (JENSEN, 2007; SOARES *et al.*, 2007).

Em função de suas características sofisticadas, esse sensor permitiu que se desenvolvessem inicialmente 44 produtos para uso em várias disciplinas. Suas aplicações incluem: calibração; atmosfera; continente; criosfera e oceano (SOARES *et al.*, 2007). Como o enfoque deste trabalho é uma aplicação para estudo de uso e cobertura da terra, o aprofundamento feito se restringe aos produtos terrestres.

2.3.1 Produtos Terrestres

Os produtos terrestres são explicitados no Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) do United States Geological Survey (USGS), cujo

site é <https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table>. As imagens das bandas espectrais do MODIS passam por correção geométrica, atmosférica e radiométrica e são transformados em produtos como: *burned area* (área queimada); *surface reflectance* (reflectância de superfície); *vegetation indices* (índices de vegetação); *vegetation cover conversion* (mudança de cobertura vegetal); *land surface temperature and emissivity* (temperatura de superfície e emissividade); *thermal anomalies and fire* (anomalias termais e fogo); *leaf area index and fraction of photosynthetically active radiation* (índice de área foliar e fração de radiação fotossinteticamente ativa); *gross primary productivity* (produtividade primária bruta); BRDF/albedo (função da distribuição da reflectância bidirecional/albedo); *land cover and land cover change* (cobertura da terra e mudança da cobertura da terra) (LATORRE *et al.*, 2007; USGS LP DAAC, 2011).

Os nomes dos arquivos têm um padrão cujo objetivo é facilitar a compreensão. A primeira parte do nome identifica a plataforma em que o dado é obtido, isto é, MOD para Terra, MYD para AQUA e MCD para a combinação dos dois. A parte do meio – ou seja, o número – refere-se ao tipo do produto. A parte final tem diferentes formas de ser traduzida, sendo que, nos produtos diários, G corresponde à projeção geográfica e as letras seqüentes HK, QK e ST expressam a resolução do dado (*Half Kilometer* - 500 m; *Quarter Kilometer* - 250 m; *State* - 1 km, respectivamente). As imagens compostas de 8 ou 16 dias têm denominações distintas quanto à resolução espacial, sendo Q1 para 250 m e A1 para 500 m (LATORRE *et al.*, 2007).

2.3.2 O Produto Reflectância de Superfície - MOD09

O produto reflectância de superfície MOD09 é um produto de sete bandas, computado a partir do nível 1B nas bandas 1 (620-670 nm), 2 (841-876 nm), 3 (459-479), 4 (545-565 nm), 5 (1230-1250 nm), 6 (1628-1652 nm) e 7 (2105-2155 nm). O produto é uma estimativa da reflectância espectral para cada

banda ao nível do solo. Seu nível de processamento é 3 (L3), o que significa que seus dados foram calibrados radiometricamente, passaram por correção atmosférica e ganharam informações de referência espacial (VERMOTE *et al.*, 2008).

MOD09A1 fornece uma composição de oito dias das bandas 1 a 7 com 500 m de resolução espacial em uma grade na projeção Sinusoidal. Cada pixel contém a melhor observação possível durante um período de oito dias. Os pixels são selecionados considerando seus menores ângulos zenitais solares, ausência de nuvens ou sombras de nuvens e densidade de aerossóis (VERMOTE *et al.*, 2008).

MOD09Q1 é também uma composição de oito dias, porém somente das bandas 1 e 2. A resolução espacial de 250 m é o diferencial deste produto em relação ao MOD09A1. Sua projeção também é Sinusoidal. Cada pixel é a melhor observação possível durante um período de oito dias, seguindo as mesmas especificações do MOD09A1 (VERMOTE *et al.*, 2008).

A versão 5 dos produtos de reflectância de superfície do sensor MODIS tem validação de estágio 2, o que significa que a precisão foi avaliada em um conjunto de locais amplamente distribuídos pelo globo, em diferentes períodos de tempo, através de várias verdades terrestres (VERMOTE *et al.*, 2008).

2.4 Sensoriamento Remoto da Vegetação

Dados de sensores remotos contribuem para diferentes estudos em ambientes de predomínio florestal e agrícola (MORAN *et al.*, 1997; PINTER *et al.*, 2003). Entre eles cabe mencionar os de mudança de uso e cobertura da terra (MORTON *et al.* 2006; BROWN *et al.*, 2007); os estudos de fenologia e crescimento de culturas (ADAMI, 2010; GALFORD *et al.*, 2008; SAKAMOTO *et*

al., 2005; ZHANG *et al.*, 2003), mapeamento e classificação (RIZZI *et al.*, 2009; XAVIER *et al.*, 2006; XIAO *et al.*, 2005; WARDLOW e EGBERT, 2008).

No estudo de culturas agrícolas, muitas vezes é necessário utilizar dados multitemporais para se obter uma melhor compreensão sobre a dinâmica de uma espécie específica (XIAO *et al.*, 2005); ou a diferenciação entre espécies (WARDLOW *et al.* 2007; WARDLOW e EGBERT, 2008), devido às diferentes características de cada cultura em seus estádios de desenvolvimento e às diferentes condições ambientais que podem influenciá-las. Para isso, costuma-se ainda agregar dados de índices de vegetação.

Os índices de vegetação são amplamente aplicados em sensoriamento remoto para avaliar biomassa, uso de água, estresse de plantas, fitossanidade e produção da cultura. Na literatura, encontram-se diversos índices relacionados com vigor vegetativo (JACKSON e HUETE, 1991); conteúdo de água na planta (GAO, 1996) e clorofila (XUE e YANG, 2009).

É de fundamental importância saber analisar o índice de vegetação, uma vez que a resposta é influenciada por elementos que compõem o ambiente (JACKSON e HUETE, 1991). O mais comumente visto na literatura é o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), elaborado por ROUSE *et al.* (1973) e que consiste na razão entre a diferença da reflectância das bandas na região do infravermelho próximo (ρ_{IVP}) e vermelho (ρ_V) pela soma das mesmas reflectâncias, conforme apresentado na Equação 2.1:

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (2.1)$$

Quanto mais vigorosa a vegetação, mais próximo de 1 fica o valor de NDVI, sendo que esse varia entre -1 e 1. O NDVI costuma saturar em regiões de índice de área foliar elevados, como na floresta amazônica, mas Huete *et al.*

(2002) comentaram que, com o uso do índice de vegetação realçado (EVI), o sinal da vegetação é otimizado, minimizando a influência da atmosfera e do solo na resposta espectral. A Equação 2.2, vista em Huete *et al.* (2002), mostra como é calculado o EVI.

$$EVI = \frac{G * (\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{(\rho_{NIR} + C_1 * \rho_{Red} - C_2 * \rho_{Blue} + L)} \quad (2.2)$$

ρ_{NIR} , ρ_{Red} e ρ_{Blue} são as reflectâncias bidirecionais de superfície corrigidas atmosféricamente (Rayleigh e absorção de ozônio) na região do infravermelho próximo, vermelho e azul, respectivamente; G é um fator de ganho igual a “2,5”; C_1 e C_2 são coeficientes de resistência a aerossol com valores iguais a “6” e “7,5”, respectivamente; L é um ajuste de fundo de dossel de valor igual a “1”. Outras informações sobre o EVI estão apresentadas na seção 3.5 deste trabalho.

2.4.1 Índices de Vegetação do Sensor MODIS nos Estudos de Uso e Cobertura da Terra na Amazônia

Os dados de índice de vegetação do MODIS têm sido utilizados para avaliar as mudanças de uso e cobertura da terra na região amazônica, em especial no arco do desflorestamento. Morton *et al.* (2006) obtiveram resultados com exatidão global de 89%, ao analisarem a conversão de floresta ou cerrado para área agrícola, pastagem ou sem produção, em locais recém desflorestados no estado do Mato Grosso, a partir da análise do NDVI e do EVI (mínimo, máximo, média, mediana, amplitude e desvio padrão) integrados a uma árvore de decisão.

Brown *et al.* (2007) fizeram um estudo no município de Vilhena, Rondônia, usando uma série temporal de EVI e NDVI ao longo do período entre setembro de 2000 a agosto de 2005, em polígonos de uso agrícola. Tais polígonos foram

obtidos a partir de duas cenas, dos anos de 1996 e 2000, do sensor Landsat/TM. Eles usaram quatro classificadores para distinguir áreas de 1ª e 2ª safra com soja e milho, e uma classe “outros”. Para validar a classificação, utilizaram dados de campo. Os autores obtiveram resultados com uma precisão aproximada de 80% para todos os classificadores. Assim, conseguiram observar a dinâmica de intensificação agrícola no município, deixando claras as potencialidades de se trabalhar agregando esses conjuntos de dados.

2.4.2 Índices de Vegetação do MODIS nos Estudos de Fenologia e Crescimento de Culturas Agrícolas

Zhang *et al.* (2003) buscaram, através de funções logísticas de tempo, identificar datas de transição entre as fases fenológicas de ecossistemas cujo comportamento era complexo, ou seja, de áreas com diversos tipos de cobertura. Eles calcularam os índices EVI e Normalized Difference Snow Index (NDSI), a partir da reflectância do produto NBAR, que consiste em valores com BRDF ajustado e no nadir, gerado a cada 16 dias, com base no produto BRDF/Albedo diário do sensor MODIS. Por fim, concluíram que, por se tratar de um método que avalia cada pixel individualmente, sem a definição de limiares e constantes empíricas, ele poderia ser aplicado em qualquer área de estudo. O método identificou diferentes estádios fenológicos, mas não apresentou comparações com dados coletados em campo.

Sakamoto *et al.* (2005) utilizaram dados de EVI com 500 m de resolução espacial para identificar os diferentes estádios fenológicos da cultura do arroz em distintas localidades do Japão. Eles avaliaram, primeiramente, qual seria um filtro mais adequado para eliminar ruídos da série-temporal de EVI e, para isso, propuseram o uso de filtros *wavelet* (Daubechies, na ordem de 2 – 24; Coiflet, ordem 1 – 5; Symlet, ordem 4 – 15) e *Fourier*. Os melhores resultados foram obtidos quando a série temporal de imagens EVI foi filtrada pelo *wavelet* (*coiflet*=4) e, com base nos cálculos de máximo e mínimo da primeira derivada

e nos estudos dos pontos de inflexão (derivada segunda=0), determinaram as prováveis datas do plantio, do máximo vigor vegetativo e da época da colheita. Também utilizando metodologia semelhante, Galford *et al.* (2008) avaliaram os diferentes comportamentos fenológicos de áreas cobertas por cultura agrícola, cerrado, floresta e áreas de pastagem no sudoeste do Mato Grosso. A partir dessa análise, perceberam que maiores variações anuais nos valores de desvios padrões nas séries temporais de EVI correspondiam à presença de cultura agrícola. Posteriormente, buscaram identificar se o cultivo era simples ou duplo, por meio da análise do número de picos observados na curva de EVI. Obtiveram resultados consistentes, com baixos erros de omissão e comissão em relação à referência.

Adami (2010) utilizou dados MOD09, com resolução espacial de 250 m e resolução temporal de oito dias para estimar a data de plantio da cultura da soja na região de Castro, no Paraná. Nesse estudo, o autor também comparou diversos tipos de filtragem e chegou à conclusão de que a filtragem por *wavelet* (Daubechies=6) foi a que gerou melhores resultados para estimar as datas de plantio. Seus resultados corroboram os obtidos por Sakamoto *et al.* (2005), que indicam a relação entre os pontos de inflexão da curva e as datas de plantio, de máximo vigor vegetativo e de época de colheita.

2.4.3 Índices de Vegetação do MODIS para o Mapeamento e Classificação de Culturas Agrícolas

Diversos trabalhos seguiram a linha de mapeamento e classificação a partir de dados de índices de vegetação. Xiao *et al.* (2005) propuseram o uso de um algoritmo para identificar campos de arroz na China, baseado em séries temporais de Land Surface Water Index (LSWI), NDVI, EVI e NDSI calculadas a partir da reflectância do produto MOD09A1. Para isso, estipularam limiares para criar uma máscara de nuvem (reflectância na banda azul maior que 0,2); uma máscara de neve (NDSI>0,4); uma máscara para corpos de água

($NDVI < 0,1$ e $NDVI < LSWI$) e máscaras de florestas ($NDVI > 0,7$ em ao menos 20 datas da série temporal). Somando-se a essas máscaras, foi aplicado um modelo digital de elevação para excluir áreas com declividade maior que 2° e/ou altitude maior que 2000 m. Como resultado, os analistas encontraram uma forte correlação entre o produto e a referência para áreas plantada com arroz no âmbito das províncias (pequeno número de amostras), sendo um $r^2 = 0,88$ para as províncias mais planas e outro $r^2 = 0,80$ para as mais íngremes. Quando observaram a correlação no nível do pixel, em regiões planas, verificaram um $r^2 = 0,65$ e em regiões íngremes um $r^2 = 0,49$. O baixo valor do coeficiente de determinação pode estar ligado às diferentes resoluções entre produto e referência, respectivamente de 500 m e 1 km.

Em um mapeamento das áreas de soja no estado do Mato Grosso, Rizzi *et al.* (2009) aplicaram o índice de vegetação Crop Enhancement Index (CEI) em dados de EVI MOD13Q1. O índice leva em conta os valores de mínimo e máximo EVI, adquiridos na fase que antecede à semeadura ou fase da emergência e na fase em que a soja se encontra em seu máximo vigor vegetativo, respectivamente. Com a imagem CEI calculada, os pixels cujos valores se apresentavam acima de 0,28 foram classificados como soja. As classes soja e não-soja tiveram 91% de acerto em relação à referência e o erro de omissão foi de 6,1% e inclusão 2,9%. A omissão foi explicada pela resolução mais grosseira do produto, enquanto a referência foi extraída de um dado com resolução de 30 m.

Já Xavier *et al.* (2006) analisaram a viabilidade do uso de séries temporais de EVI do produto MOD13Q1 para classificação de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Com tal objetivo, realizaram uma caracterização temporal dos diferentes tipos de uso e cobertura na região de produção canavieira para posteriormente, através de uma análise de *clusters*, executarem uma classificação não supervisionada com amostras de perfis espectro-temporais das classes cana e não-cana. Foram estudados oito *clusters* de amostras de

cana e oito com amostras de não-cana. Um dendrograma para separar cada *cluster* por distância euclidiana mostrou o quão difícil é distinguir cana e não-cana em imagens EVI, principalmente pela similaridade que os alvos de cana apresentam em relação a áreas de pastagem. Por fim, concluíram que a cana-de-açúcar pode ser mais bem discriminada de outros alvos principalmente vegetação natural, culturas anuais, corpos d'água e em alguns tipos de pastagem.

Wardlow e Egbert (2008) investigaram a aplicabilidade de séries temporais de NDVI do sensor MODIS para um mapeamento de culturas agrícolas no estado do Kansas, EUA. Foi feito um esquema de classificação hierárquico em quatro fases, no qual, em primeiro lugar, tentaram identificar áreas de cultura e não-cultura; posteriormente, culturas gerais (alfafa, culturas de verão, trigo de inverno e pousio); culturas de verão específicas (milho, sorgo e soja) e, por fim, se as culturas eram ou não irrigadas. Para chegarem ao mapa de cultura e não-cultura, aplicaram o método de classificação não-supervisionado ISODATA com auxílio de *clusters*, semelhante ao que fizeram Xavier *et al.* (2006). Diferentemente desses, porém, definiram seis “eco-regiões”, buscando obter uma menor diversidade espectro-temporal, considerando as diferenças ambientais ao longo do estado. Em cada “eco-região” foram gerados 100 *clusters*, incluídos nas classes de cultura, não-cultura e confuso. A análise permitiu observar que 294 dos 600 *clusters* eram tidos como confusos. Cada um desses foi então subdividido em 10 adicionais e, assim, os analistas processaram novamente o ISODATA, obtendo uma exatidão global de 90,9 e um Kappa de 0,89 na classificação, num conjunto de 465 amostras de cultura e 393 de não-cultura, com um mapa de referência feito por terceiros, a partir de fotografias aéreas e interpretação visual da série-temporal do NDVI. Em relação aos mapas do governo, nos quais observaram uma concordância de 78%, os erros de omissão da classe cultura foram atribuídos às pequenas dimensões das áreas agrícolas e aos sinais ruidosos dos pixels de borda.

Para destacar as áreas com presença de cultura de verão no início da safra, Rudorff *et al.* (2011) aplicaram a índice CEI. O CEI consiste numa razão normalizada entre os valores de EVI mínimo e máximo das épocas de plantio e de máximo vigor vegetativo, conforme se observa pela Equação 3.2 descrita por Rizzi *et al.* (2009) como:

$$CEI = G * \frac{(MaxEVI+S)-(MinEVI+S)}{(MaxEVI+S)+(MinEVI+S)} \quad (2.3)$$

em que, MaxEVI é o valor máximo de EVI; MinEVI é o valor mínimo de EVI; S corresponde a um coeficiente de realce (10^2); G é um fator de ganho (10^2). Os valores do CEI variam entre -1 e 1.

Rudorff *et al.* (2011) levaram em conta que, para ser cultura de verão, os valores de mínimo EVI devem variar entre 0,05 e 0,36 e o valor de amplitude não pode ser menor do que 0,18. Tais limiares foram escolhidos para diminuir possíveis erros de omissão. Por fim, integraram os dados CEI com interpretação visual de imagens Landsat5/TM, com o intuito de refinar a escolha de polígonos a serem monitorados na moratória da soja referente à safra 2009/2010. O estudo chegou a um total de 194 polígonos. Entretanto, de acordo com o relatório da ABIOVE (2011), apenas 103 apresentaram cultura de verão.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Antes de por em prática o que se propôs nesta metodologia, foi necessário colocar os dados dos produtos MOD09A1 e MOD09Q1 em projeção Latitude-Longitude, datum WGS84 e integrar os *tiles* em uma única imagem, ou seja, fazer um mosaico para cada data. Para isso, foi usado o aplicativo gratuito *MODIS Reprojection Tool* (MRT). Todas as imagens passaram a ter a extensão .tif (GeoTIFF).

O banco de dados foi inteiramente projetado em Latitude-Longitude com o datum WGS84. Todos os arquivos que estavam em projeção diferente foram adequados ao banco.

3.1 Área de Estudo

No monitoramento dos polígonos desflorestados dentro da Moratória da Soja, Rudorff *et al.* (2011) indicaram 194 áreas de um total de 2.955 onde supostamente haveria sojicultura (safra 2009-2010) no bioma amazônico. Tais áreas foram sobrevoadas e visitadas em campo para comprovar a existência desse cultivo. As informações de erros e acertos, assim como fotografias das aéreas, constam no *site* da ABIOVE - < http://www.abiove.com.br/ss_relatoriouso09_br.asp >. Devido à disponibilidade de todo esse conjunto de dados, tomaram-se como área de estudo 127 áreas desflorestadas mapeadas pelo PRODES entre 2007 e 2009 no estado do Mato Grosso e que se encontram distribuídas em 28 municípios, situados entre os paralelos 10° 00' 00" S e 17° 00' 00" S e entre os meridianos 50° 00' 00" W e 61° 00' 00" W, aproximadamente, conforme se observa na Figura 3.1.

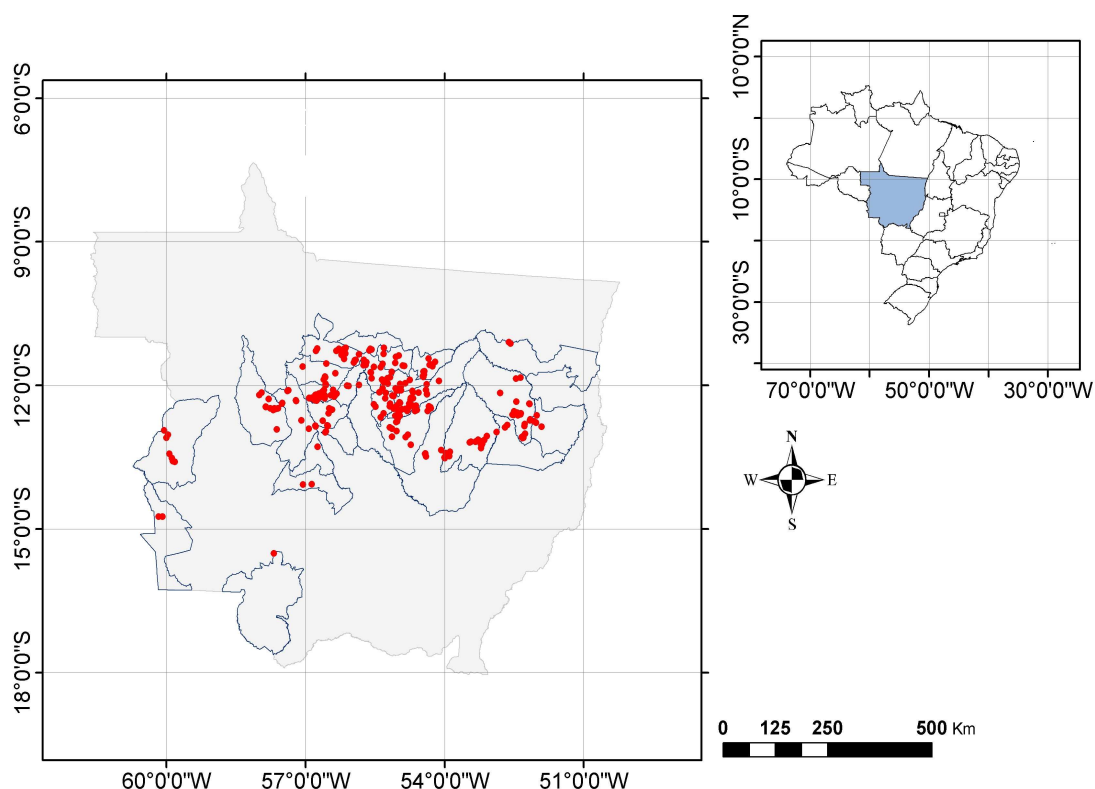


Figura 3.1 - Área de estudo e distribuição espacial dos polígonos desflorestados.

O estado do Mato Grosso tem definidas três grandes macrounidades climáticas: Clima Equatorial Continental Úmido com Estação Seca Definida da Depressão Sul Amazônica, ocupando a área entre os paralelos 7° 30' 00" S e 12° 00' 00" S e entre os meridianos 51° 00' 00" W e 61° 50' 00" W; Clima Sub-Equatorial Continental Úmido com Estação Seca Definida do Planalto dos Parecis, ocupando área entre os paralelos 10° 00' 00" S e 14° 00' 00" S e entre os meridianos 51° 30' 00" W e 60° 00' 00" W; Clima Tropical Continental Alternadamente Úmido e Seco das Chapadas, Planaltos e Depressões do Mato Grosso abrangendo a área entre os paralelos 11° 00' 00" S e 16° 00' 00" S e entre os meridianos 51° 00' 00" W e 61° 00' 00" W (ZSEE SEPLAN – MT, 2001).

3.2 Imagens do Sensor MODIS/Terra

Para este estudo, gerou-se uma série temporal de dados com o produto MOD09Q1. Seu intervalo de tempo abrangeu o período entre 02/07/2009 e 11/02/2010, conforme se pode verificar na Tabela 3.1, que identifica, além disso, os tiles da região em estudo. Utilizaram-se composições de oito dias de imagens, resultando em 29 imagens ao longo da série. Dados do produto MOD09A1 foram usados para uma filtragem prévia.

Tabela 3.1 - Dados dos produtos do sensor MODIS.

Produto	Bandas	Tiles	Datas
MOD09Q1	1 e 2	H12V09	02/07/2009 até 11/02/2010
		H12V10	
		H13V09	
MOD09A1	3	H13V10	

3.3 Os Polígonos Monitorados e Dados de Sobrevoos

Para o ano-safra analisado neste trabalho e que se estende de julho de 2009 a julho de 2010, foram observados os 127 polígonos no Mato Grosso resultantes dos desflorestamentos de 2007, 2008 e 2009 e da classificação de cultura e não-cultura de Rudorff *et al.* (2011).

Todos eles foram sobrevoados e visitados em campo. Pareceres a respeito de área e sobre os usos do solo observados, fornecendo fotografias que auxiliam em suas identificações, estão disponibilizadas pelo *site* da ABIOVE em < http://www.abiove.com.br/ss_relatorio09_br.asp >. *A priori*, esses dados contribuíram para a classificação dos polígonos quanto a seu formato e sua dimensão. Foram chamados de “pequenos” aqueles que possuíam área inferior a 50 ha; de “estreitos” aqueles que eram achatados e cujos pixels internos de

250 m de resolução do produto MOD09 não são capazes de resolvê-los; de “pequenos e estreitos”, os que apresentavam as características das duas classes já descritas; e, por fim, os demais polígonos que foram tratados como “normais”.

A *posteriori*, os dados da ABIOVE subsidiaram a interpretação visual da série temporal e serviram de referência para avaliar a seleção de polígonos que provavelmente apresentam culturas agrícolas a partir da TVE.

3.4 Formação da Série Temporal de Dados EVI2-MOD09 Original e Filtrada para os Polígonos em Estudo

Adotou-se neste trabalho a nomenclatura EVI2-MOD09 para o índice de vegetação realçado, criado a partir do produto MOD09Q1. Seus valores foram obtidos com base no EVI2 (Equação 3.1) descrito por JIANG *et al.* (2008),

$$EVI2 = 2,5 * \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + 2,4 * \rho_{Red} + 1} \quad (3.1)$$

no qual, ρ_{NIR} e ρ_{Red} são as reflectâncias bidirecionais de superfície na região do infravermelho próximo e vermelho, respectivamente. Essa equação foi aplicada nos valores de reflectância de superfície do produto MOD09Q1 de resolução espacial de 250 m, que agrega as bandas 1 e 2, correspondendo às porções do espectro eletromagnético do vermelho e infravermelho próximo, respectivamente.

Foi utilizada também a banda 3 do produto MOD09A1, de resolução 500 m, que se encontra na região do azul do espectro eletromagnético, para retirar pixels cujas reflectâncias eram maiores que 10%. Esta banda teve sua resolução espacial reamostrada para 250 m, utilizando o interpolador denominado vizinho mais próximo, de maneira a deixá-la com a mesma resolução espacial das demais bandas. Os pixels que apresentavam ângulo

zenital solar superior a 32,5° também foram excluídos da série temporal. Para suprir essas lacunas nas séries, os dados filtrados foram interpolados com base na data do pixel da imagem composição (FREITAS *et al*, 2011).

Gerou-se, assim, a série temporal de dados EVI2-MOD09 original desde julho de 2009 a fevereiro de 2010, com intervalo de oito dias, conforme a disponibilidade dos produtos MOD09Q1. O EVI2-MOD09 filtrado foi gerado a partir do filtro *Wavelet Daubechies Db8*, considerado por Freitas *et al*. (2011) como adequado para a suavização da curva espectro-temporal na região amazônica, por mostrar melhores resultados, sem deteriorar as características da curva original.

Com o intuito de se extraírem dados somente dos polígonos sobrevoados e visitados em campo, minimizando, assim, o tempo de processamento, utilizaram-se tais polígonos como máscara para recorte das imagens da série temporal. Entretanto, para não perder informações e observar as influências de borda, criou-se um *buffer* de 500 m. Desta maneira, todos os centróides dos pixels que faziam intercessão com a área do polígono adicionada ao *buffer* foram selecionados.

A partir dessa seleção, foi possível calcular a taxa de variação do EVI em todos os polígonos sobrevoados, fundamentais para identificar culturas agrícolas. Além disso, é possível indicar períodos de sobrevoo para se encontrarem culturas agrícolas em desenvolvimento, entre as quais a soja ainda em seu estágio de desenvolvimento vegetativo.

3.5 Taxa de variação do EVI para Identificação dos Alvos Cultura e Não-Cultura

Visando a ressaltar áreas com cultivo de verão, foi calculada neste trabalho a taxa de variação do EVI (TVE) para os pixels dos polígonos PRODES. Os

valores de TVE foram extraídos das imagens filtradas que compõem a série temporal e que correspondem à época do plantio da soja. Para obter a taxa, elaborou-se a Equação 3.2 que leva em conta os valores de EVI2-MOD09 de diferentes datas:

$$(3.2)$$

na qual, p é uma das datas das composições EVI2-MOD09 que formam a série temporal e cujo valor no eixo das abscissas é um número natural (e.g. data 1, data 2); n é uma data posterior a p ; EVI_n é o valor de EVI2-MOD09 para a data n e EVI_p é o valor de EVI2-MOD09 na data p . Os valores de TVE podem variar, em teoria, de - 2 a 2. A Figura 3.2 auxilia na compreensão.

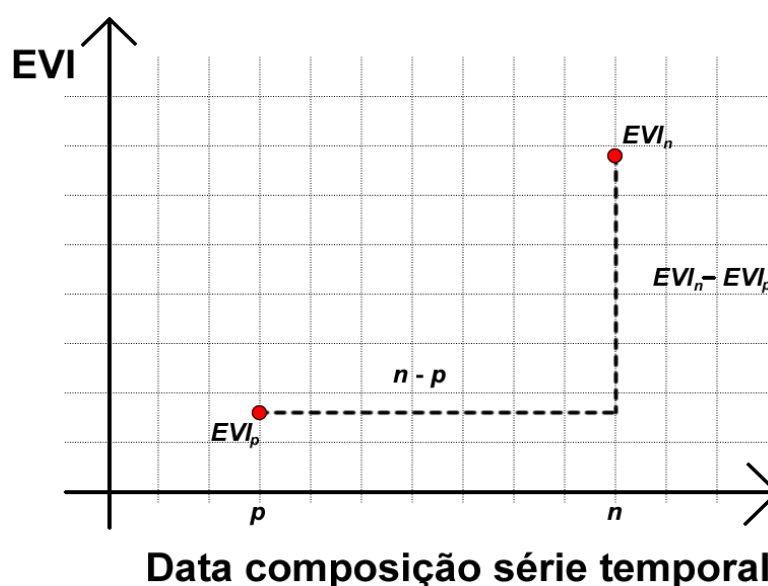


Figura 3.2 - Demonstração gráfica da formação da equação da TVE.

A equação da TVE foi aplicada no software ENVI 4.6, através de seu processo de *Band Math*, em todas as composições da série temporal entre outubro de 2009 e abril de 2010. Nesse intervalo, foram observados os valores de EVI na época do plantio e na época de elevado ou máximo vigor vegetativo.

Conforme mencionado no item 2.1, Müller (1981a) explica que o ciclo da soja pode variar entre 75 e 200 dias. De forma mais específica, Farias *et al.* (2000) comentam que cultivares precoces têm um ciclo de até 115 dias; semi-precoces, de 116 a 125 dias; médio, de 126 a 137 dias; semi-tardio, de 138 a 150 dias e tardio, maior que 150 dias. Aproximadamente na metade do ciclo ocorre o máximo vigor vegetativo, podendo-se concluir, portanto, que, entre 45 e 60 dias de ciclo, todos os cultivares aptos a serem plantados na área de estudo estariam neste estágio de desenvolvimento ou próximo a ele.

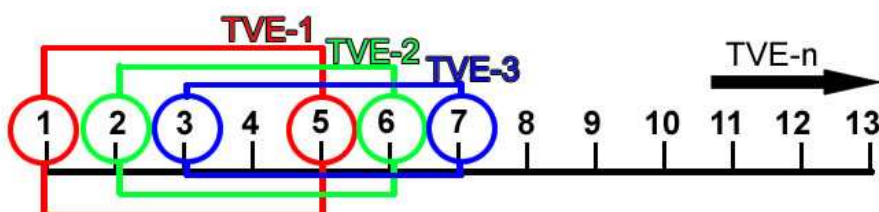
Definiu-se então que a diferença ($n - p$) no denominador da Equação 3.2 deveria variar entre os valores 4, 5 e 6, ou seja, em composições EVI2-MOD09, corresponderiam a intervalos de 32, 40 e 48 dias (Figura 3.3). Sendo assim, a idéia foi avaliar o intervalo de dias que poderia se adequar às exigências da Moratória da Soja, uma vez que é necessário fornecer dados de presença agrícola para auxiliar os sobrevoos de monitoramento o mais cedo possível, omitindo o menor número de polígonos com a presença de soja. Para fazer tal análise, extraiu-se da série de dados TVE, seus valores máximos em cada pixel que compõem o *buffer* de 500 m dos 147 polígonos em três diferentes momentos da série temporal, conforme se observa na Tabela 3.2.

Por fim, buscou-se classificar visualmente áreas de cultura agrícola através dos diferentes intervalos de TVE. Essa classificação obedeceu aos seguintes critérios:

- Para atribuir uso agrícola ao polígono “normal”, mais de um pixel interno desse polígono deve apresentar valor de TVE superior a 0,4;
- a presença de um pixel interno, mais pixels de borda vizinhos a ele com TVE superior a 0,4, atribui uso agrícola a polígonos “pequenos”;
- para atribuir uso agrícola a polígonos “estreitos”, basta a presença de pixels de borda com TVE superior a 0,4, levando em consideração os dois lados do *buffer* no eixo maior do polígono.

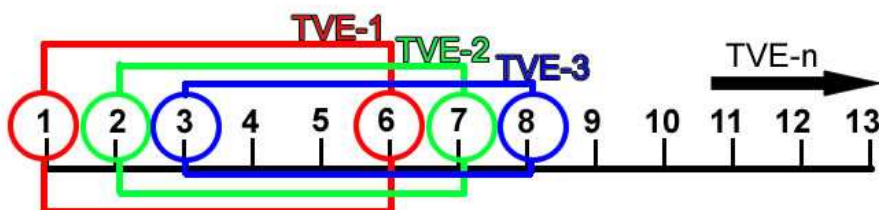
Posteriormente avaliou-se o desempenho da classificação com os dados de sobrevoo e visita em campo.

TVE - 32 dias



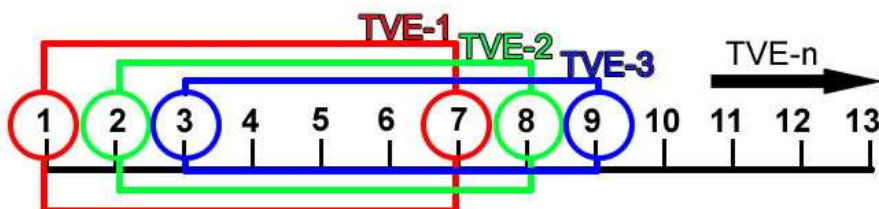
Número da imagem composição EVI2-MOD09 na série de dados

TVE - 40 dias



Número da imagem composição EVI2-MOD09 na série de dados

TVE - 48 dias



Número da imagem composição EVI2-MOD09 na série de dados

Figura 3.3 - Janela móvel para cálculo da TVE a partir da série de dados EVI2-MOD09.

Tabela 3.2 - Relação entre a data de identificação da cultura agrícola (provável aquisição do dado do produto MOD09) e a data limite de plantio passível de identificação.

	32 dias ⁽¹⁾	40 dias ⁽²⁾	48 dias ⁽³⁾
Identificação da cultura agrícola (Provável aquisição do dado)	Data limite de plantio identificável	Data limite de plantio identificável	Data limite de plantio identificável
25/12/2009 (10/01/2010)	23/11/2009	15/11/2009	7/11/2009
10/01/2010 (26/01/2010)	9/12/2009	1/12/2009	23/11/2009
26/01/2010 (11/02/2010) ⁽¹⁾ 03/02/2010 (19/02/2010) ⁽²⁾ 11/02/2010 (27/02/2010) ⁽³⁾	Data da última aquisição de dados antes do encerramento da fase do plantio no calendário agrícola (25/12/2009)		

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Classificação dos Polígonos Quanto à Forma e Dimensão nos Dados de Referência da ABIOVE

Os 127 polígonos em estudo apresentam diferentes classes de formatos e áreas. Assim entende-se que o desflorestamento não ocorre sob um único padrão. Conforme se observa na Tabela 4.1, de um total de 77 polígonos que apresentavam algum uso agrícola, 14 são “pequenos”, nove são “estreitos”, 16 são “pequenos e estreitos” e 38 se apresentaram “normais”.

Quanto às áreas de soja, observa-se a existência de 27 polígonos “normais”; nove polígonos “estreitos”, 11 “pequenos” e nove “pequenos e estreitos”. Diante desse quadro, espera-se a existência de erros de classificação por meio do TVE. Os resultados desta análise são apresentados nas seções 4.4.1, 4.4.2 e 4.4.3 deste trabalho.

Tabela 4.1- Polígonos visitados em campo e seu agrupamento por classes de forma e dimensão.

CLASSES DE ÁREA DOS POLÍGONOS					
CLASSIFICAÇÃO EM CAMPO	ESTREITO	NORMAL	PEQUENO	PEQUENO E ESTREITO	Total
Arroz		7	1	5	13
Arroz / Desmate		3	2	2	7
Arroz / Pastagem		1			1
Desmate	3	3	1	4	11
Desmate / Regeneração natural	2	1			3
Pastagem		5	8	8	21
Pastagem / Desmate		1		3	4
Regeneração natural		1	2	8	11
Soja	2	9	8	8	27
Soja / Arroz	1	2			3
Soja / Arroz / Desmate		3			3
Soja / Arroz / Desmate / Regeneração natural		1			1
Soja / Desmate	5	5	1		11
Soja / Pastagem		1			1
Soja / Pastagem / Desmate		1			1
Soja / Regeneração natural	1	5	2	1	9
Total geral	14	49	25	39	127

4.2 O EVI na Área de Estudo

Após analisar o comportamento das curvas da série temporal de EVI2-MOD09, em todos os pixels dos 127 polígonos monitorados neste trabalho, foi possível identificar diferentes padrões para as classes de uso e cobertura da terra ao longo da área de estudo, corroborando os trabalhos de Morton *et al.* (2006), Brown *et al.* (2007), Wardlow *et al.* (2007) e Galford *et al.* (2008), nos quais se observaram padrões típicos para culturas agrícolas, florestas e pastagens.

As áreas de floresta podem ser distinguidas com facilidade, através da curva do EVI2-MOD09. Seus valores de índice oscilam entre 0,4 e 0,6. O desflorestamento, conforme conceituado pelo PRODES, isto é, de corte raso da floresta, é facilmente identificado pelas curvas de EVI. Nesse caso, há uma queda brusca no valor do índice. O desflorestamento é normalmente um processo gradual de antropização. A Figura 4.1 ilustra um perfil espectro-temporal com as transformações de uso e cobertura da terra.

No relatório da ABIOVE, foram definidas as classes "desmate", "limpeza", "regeneração", "pastagem", "arroz", "milho", "soja" e "reflorestamento" (ABIOVE, 2011). Ao se visualizar a série temporal, nota-se que algumas dessas classes podem-se confundir. Tal confusão possivelmente relaciona-se ao fato de que os dados de campo são observações em um determinado instante no tempo. Para melhor atribuir classes de uso por meio de séries temporais, convém avaliar um intervalo de tempo.

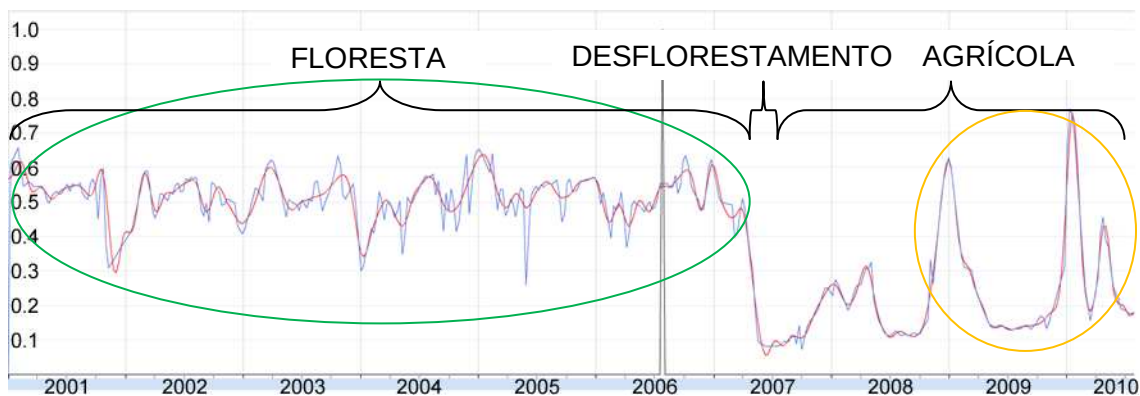


Figura 4.1 - Variação temporal dos valores de EVI para uma área de floresta entre 2000 e final de 2006, convertida, gradualmente, em cultura agrícola, a partir de setembro de 2008.
Fonte: Adaptado de INPE.LAF (2011).

As Figuras 4.2 e 4.3 correspondem a pixels classificados como desmate. Ao se comparar a classificação em campo com a série temporal, percebem-se algumas deficiências na primeira, que são superadas através do acompanhamento da segunda. Em alguns casos de visita a campo, onde o solo se encontrava exposto ou coberto por troncos de árvores, podem ocorrer classificações precipitadas como "desmate". A razão disto se deve ao fato de o desmatamento causar uma queda abrupta do valor do EVI2. Sendo assim, ele se apresenta de forma pontual na curva espectro-temporal. Dessa forma, o desmate poderia ser considerado um marco divisor entre o uso floresta e o que vier a se configurar no futuro (e.g. regeneração, pastagem ou culturas). A classe "limpeza" também pode ser considerada pontual, uma vez que, na continuidade do processo de transformação do polígono, instalam-se culturas ou há regeneração natural.

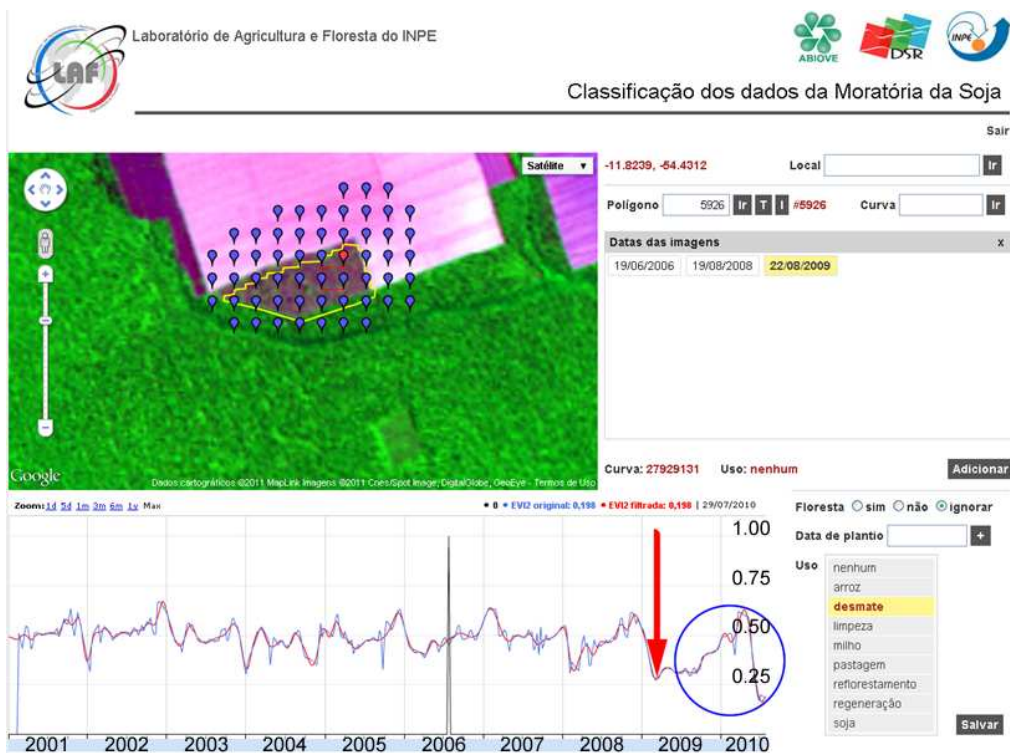


Figura 4.2 - Evolução após desmate, EVI típico para regeneração.
Fonte: Adaptado de INPE.LAF (2011).

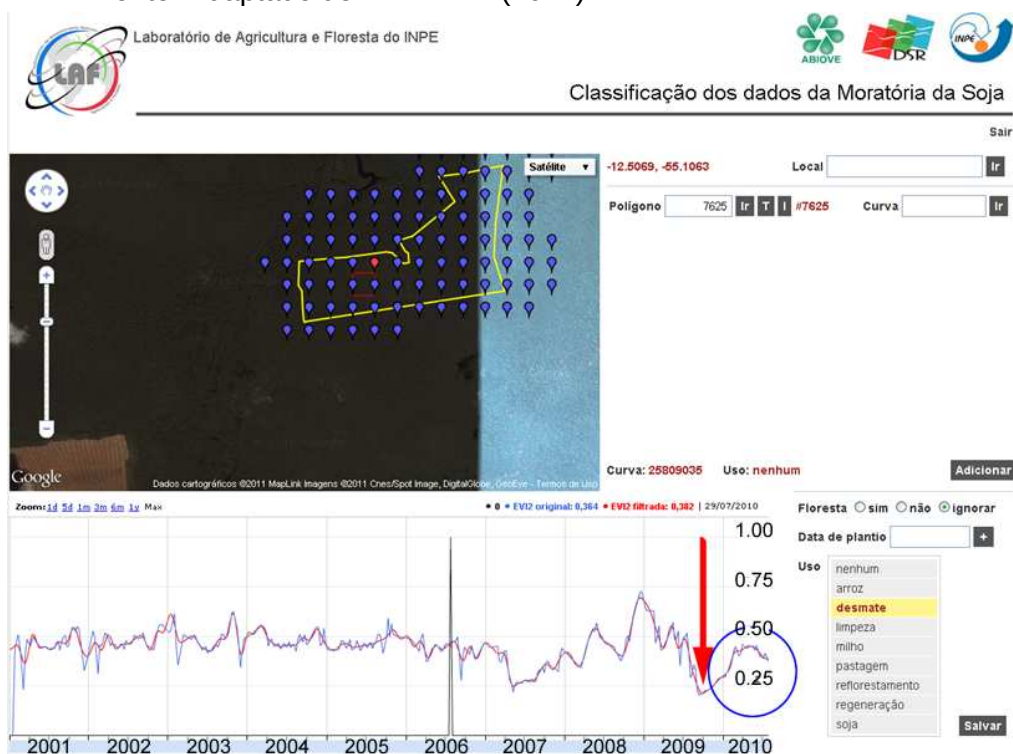


Figura 4.3 - Evolução após desmate, EVI típico para pastagem.
Fonte: Adaptado de INPE.LAF (2011).

A classe "regeneração" normalmente se mostra com um marco inicial de baixo EVI, ou seja, um eventual desmatamento com um posterior aumento progressivo do valor do índice. Seus valores de EVI costumam ultrapassar a média que se observa em dosséis florestais. A classe "reflorestamento" mostra um EVI que se assemelha ao de regeneração, ou seja, muito facilmente ocorrem confusões de classificação. Somente em campo é possível conseguir diferenciar as duas classes. As Figuras 4.4 e 4.5 comprovam tal confusão.

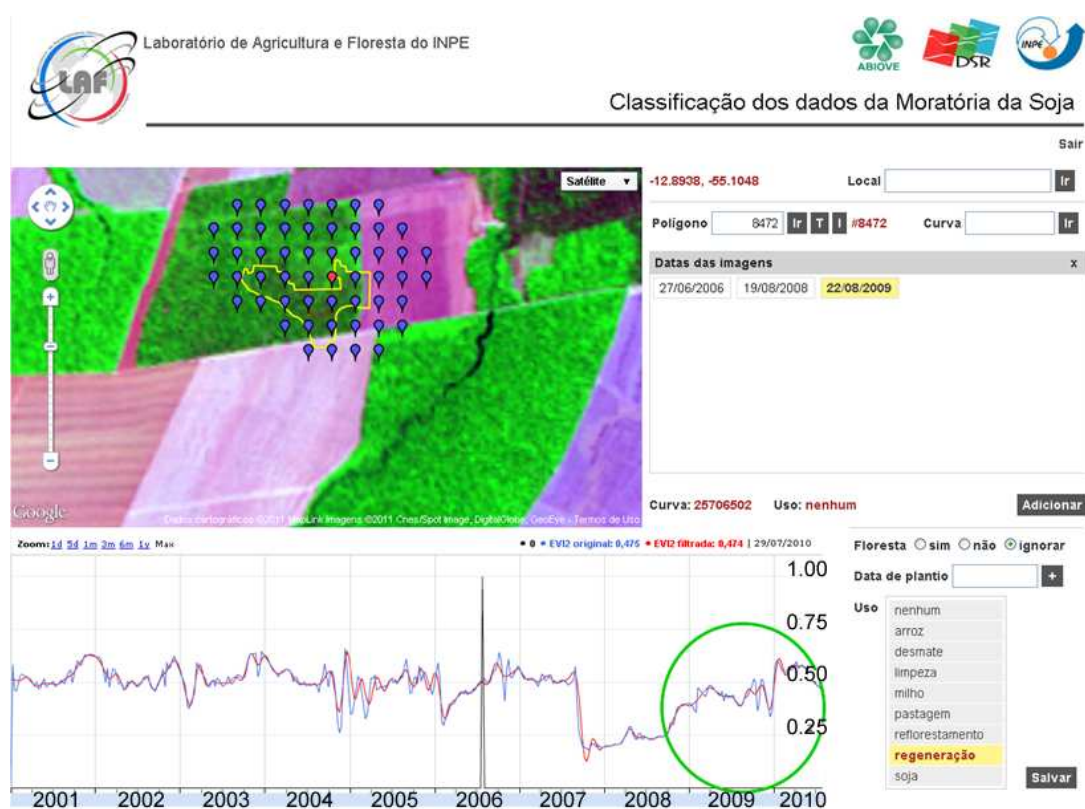


Figura 4.4 - EVI para a classe regeneração natural.
Fonte: Adaptado de INPE.LAF (2011).

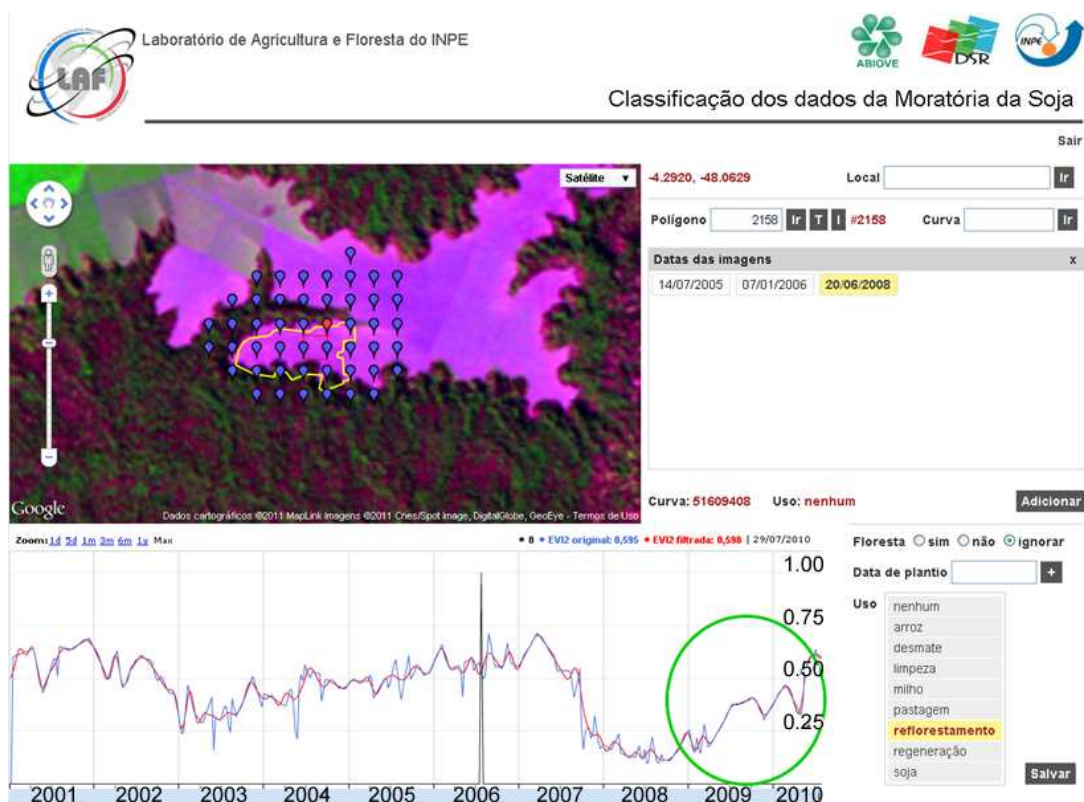


Figura 4.5 - EVI para a classe reflorestamento.
Fonte: Adaptado de INPE.LAF (2011).

A classe "pastagem" (Figura 4.6) apresenta um comportamento de EVI que varia de acordo com a alternância das estações seca e úmida. O EVI aumenta com a chegada da estação chuvosa e diminui com a estação seca. Pode-se confundir essa classe com a fase inicial da classe "regeneração", que também tem sua resposta de EVI influenciada pela chegada do período de chuvas.

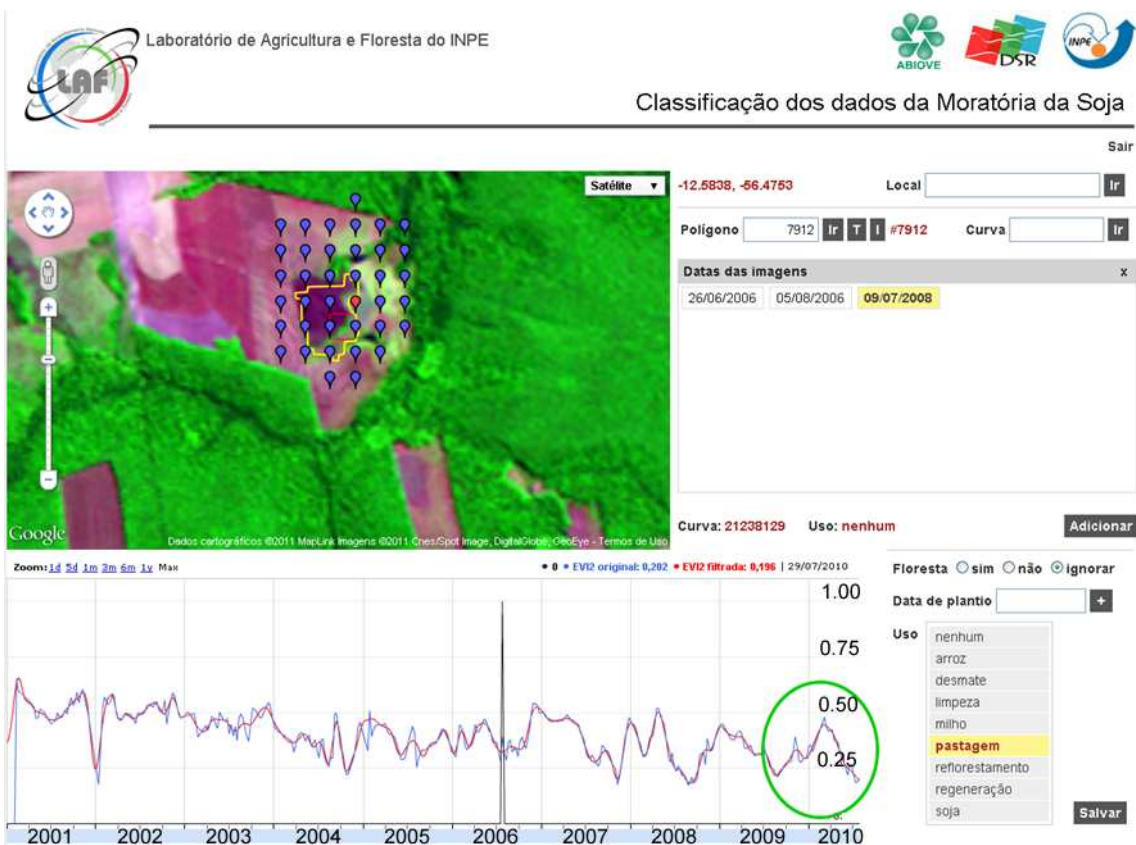


Figura 4.6 - EVI para a classe pastagem.
Fonte: Adaptado de INPE.LAF (2011).

As classes "arroz", "milho" e "soja" (Figuras 4.7, 4.8 e 4.9) são semelhantes quanto ao comportamento do EVI. Essas culturas agrícolas de verão apresentam um baixo valor de EVI na época do plantio, pelo fato de o solo se encontrar exposto ou devido ao baixo Índice de Área Foliar (IAF). O aumento do IAF faz com que o EVI se eleve e atinja seu valor máximo quando as culturas estão em máximo vigor vegetativo. Ao fim do crescimento vegetativo começa a se verificar uma queda sutil no EVI e, na época da colheita, ocorre uma queda acentuada do índice. Em resumo, seus ciclos são curtos e suas curvas se assemelham a uma distribuição gaussiana. Todas elas se instalam no início do período das chuvas. Observou-se que os valores do EVI para uma mesma classe podem apresentar variações devidas às diferentes condições climáticas, estresses hídricos, pragas, entre outros fatores que dificultam a identificação das culturas agrícolas de verão.

Foi constatado também que, dentro de um mesmo polígono, os pixels apresentam diversos valores, particularmente nas bordas. Polígonos com mais de uma classe de uso e cobertura ou cujas áreas vizinhas não apresentam o mesmo tipo de uso e cobertura podem não apresentar padrões agrícolas bem definidos, ou seja, que se assemelhem a uma distribuição normal.

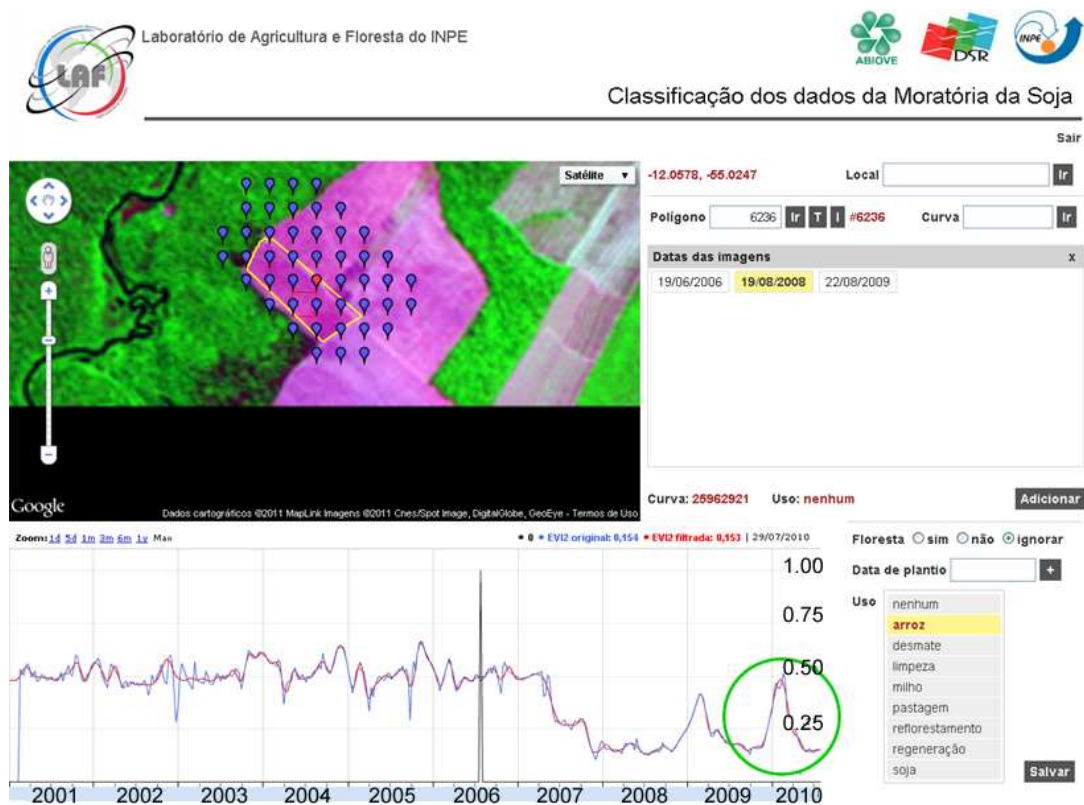


Figura 4.7 - EVI para a classe arroz.
Fonte: Adaptado de INPE.LAF (2011).

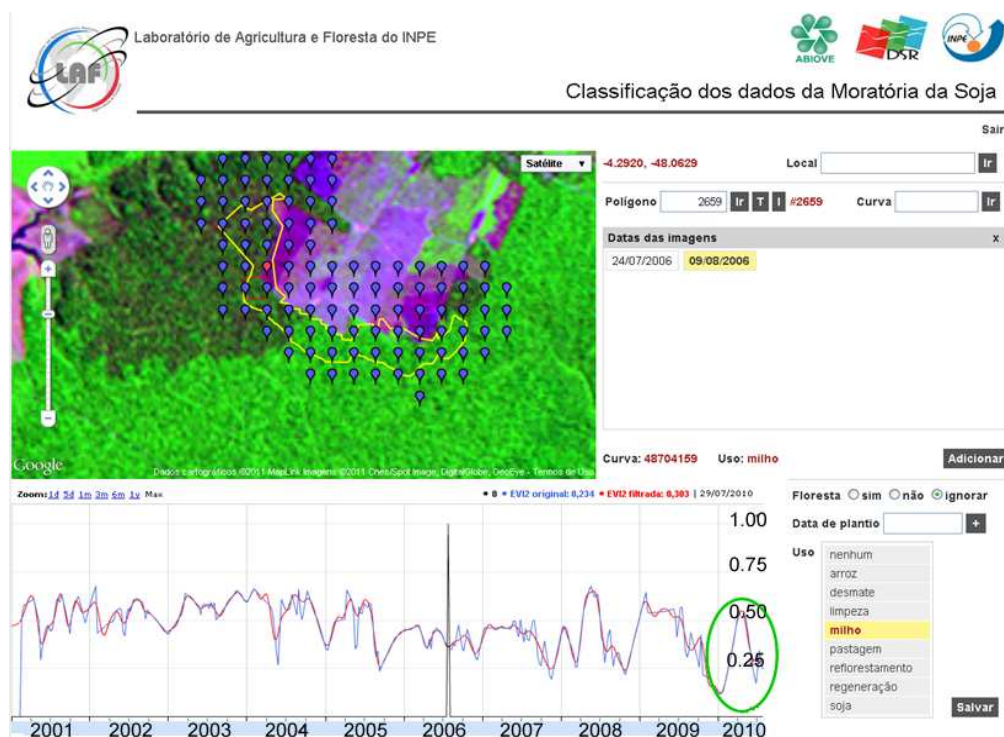


Figura 4.8 - EVI para a classe milho.
Fonte: Adaptado de INPE.LAF (2011).

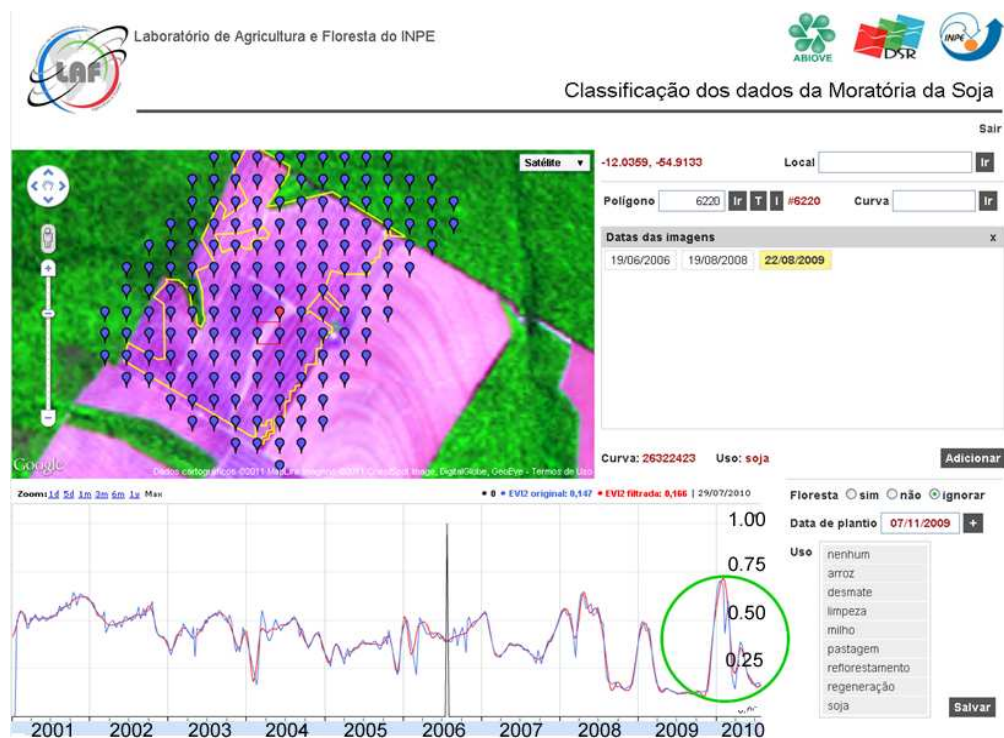


Figura 4.9 - EVI para a classe soja.
Fonte: Adaptado de INPE.LAF (2011).

4.3 Valores Máximos de TVE e Detecção de Culturas Agrícolas

No que se refere às culturas agrícolas anuais, os valores de TVE são positivos quando o vigor vegetativo aumenta (todos os estádios vegetativos – VE até Vn e todos os estádios reprodutivos até o R6) e são negativos quando esse vigor diminui por ocasião da senescência (a partir do estádio reprodutivo R7). No fim do ciclo da cultura, a TVE normalmente se estabelece próximo de 0.

Com isso, é possível identificar, em cada polígono, se ele apresenta indícios de ser cultura agrícola (e.g. $TVE > 0,5$). Porém, há casos de cultura de verão que apresentam uma taxa inferior a 0,5, especialmente quando se trata da cultura de arroz. O pico de EVI de uma cultura de arroz normalmente é menor do que o da cultura de soja e milho. As Figuras 4.10 e 4.11 demonstram casos comumente encontrados de EVI e TVE em pixels cobertos por soja e arroz na série temporal de imagens compostas EVI2-MOD09. Todavia, isto se apresenta como uma vantagem, pois a não inclusão de polígonos com a cultura do arroz é positivo uma vez que se está procurando as áreas de soja.

Comparando a TVE dos dois alvos nas Figuras 4.10 e 4.11, vê-se que ambos apresentam um comportamento temporal semelhante, com valores positivos de taxa na fase de desenvolvimento da cultura e com valores negativos nas fases reprodutivas e na colheita. Entretanto, no caso da soja, os valores de TVE são maiores, reflexo de uma série temporal com EVI cujos valores também são maiores.

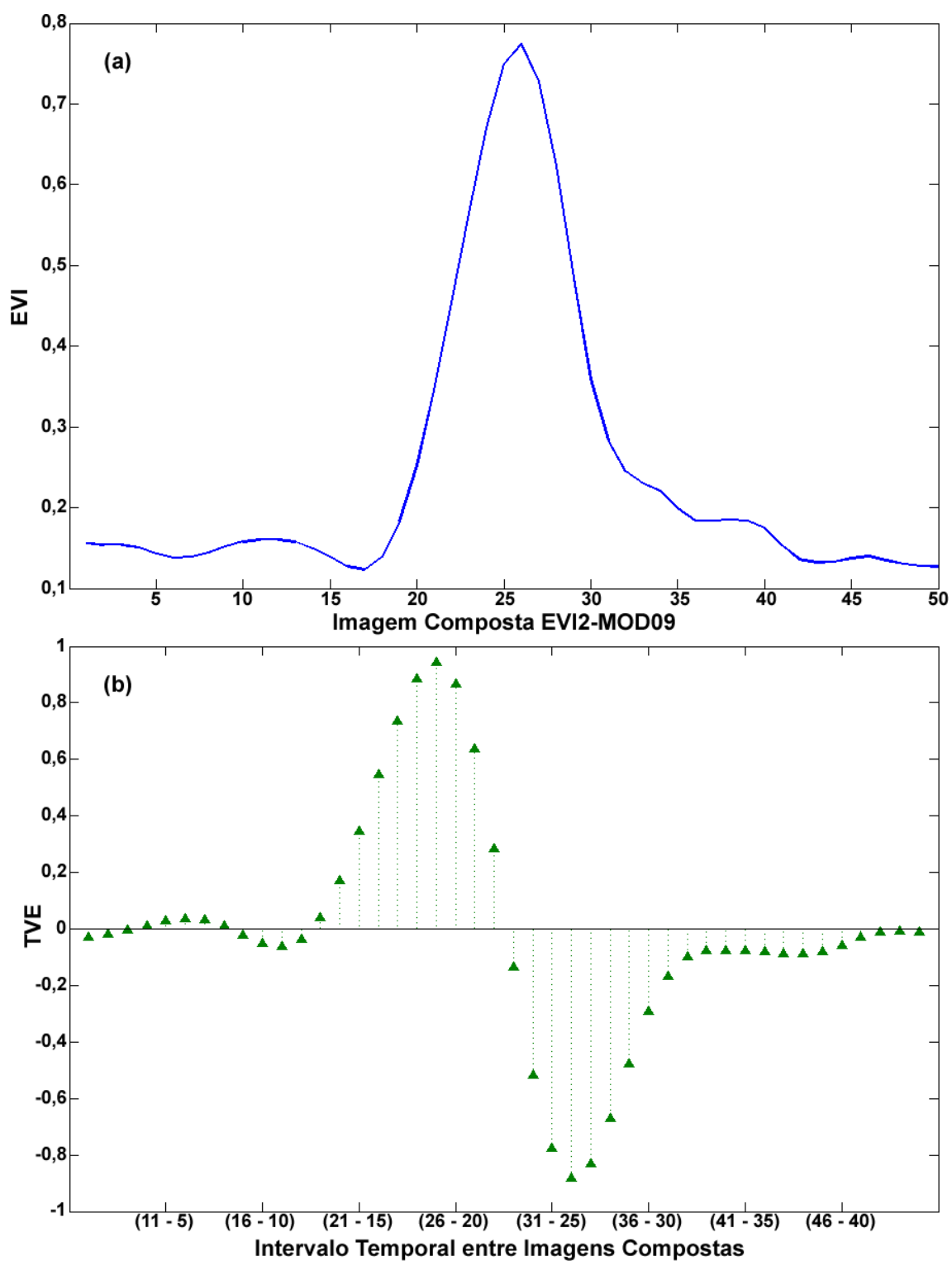


Figura 4.10 - (a) EVI e (b) TVE com intervalo de 48 dias para série temporal de pixel coberto por soja.

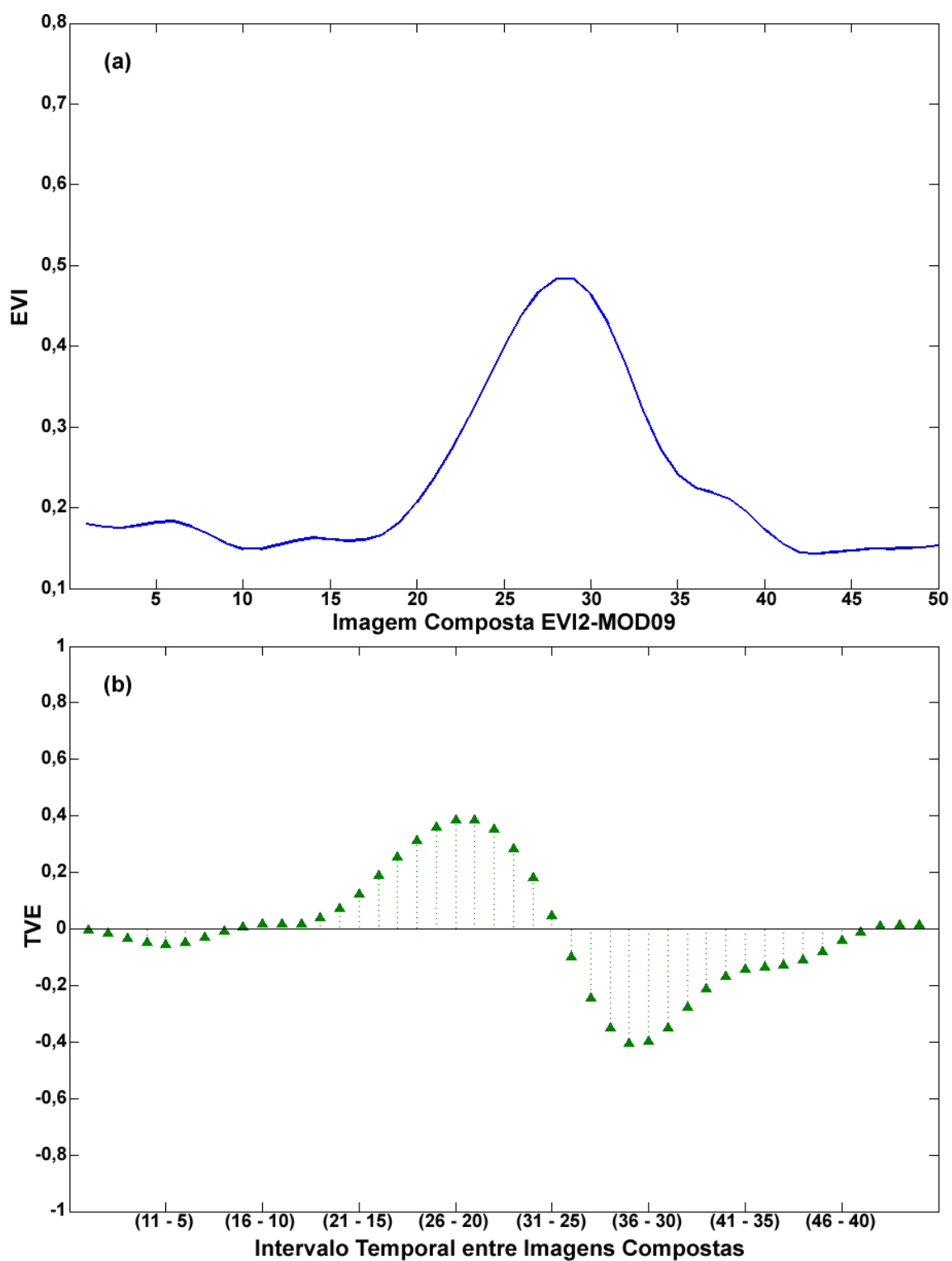


Figura 4.11 - (a) EVI e (b) TVE com intervalo de 48 dias para série temporal de pixel coberto por arroz.

Arrozais com baixo valor de TVE podem dificultar a distinção dos alvos de cultura e não-cultura agrícola. Valores de TVE positivos, porém baixos, são também encontrados em áreas de regeneração natural e de pastagem, conforme mostram as Figuras 4.12 e 4.13. Caso se assuma que um limiar adequado para distinguir cultura e não-cultura seja inferior a 0,4, provavelmente aparecerá um maior número de pixels de usos não-agrícolas. Dessa forma, como o foco é a identificação de soja, e o importante é não omitir nenhum polígono coberto por sojicultura, assumir que valores mais baixos de TVE representam cultura agrícola seria uma alternativa. No entanto, foi observado que eles não precisam ser menores que 0,4, pois abaixo deste valor não se encontraram pixels de soja.

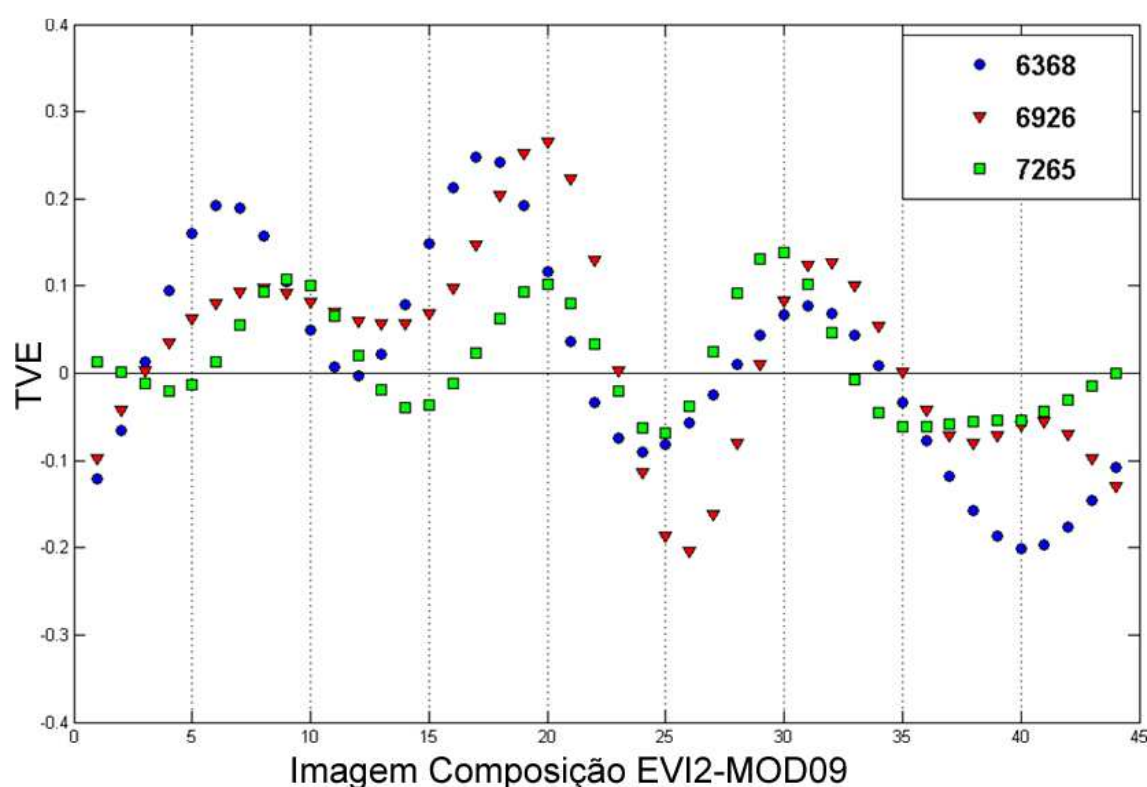


Figura 4.12 - TVE com intervalo de 48 dias de pixels cobertos por regeneração natural para os polígonos intitulados por 6368, 7265 e 6926 de acordo com a ABIOVE.

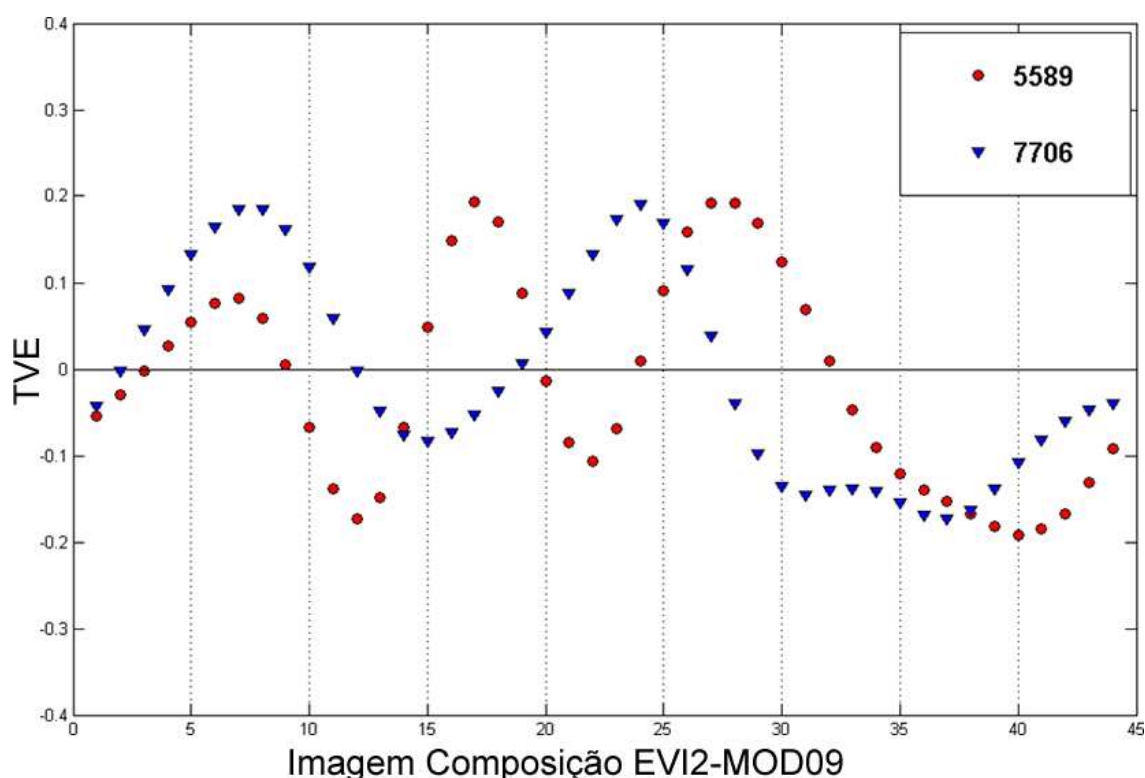


Figura 4.13 - TVE com intervalo de 48 dias de pixels cobertos por pastagem para os polígonos intitulados por 5589 e 7706 de acordo com a ABIOVE.

4.4 Detecção de Áreas Agrícolas a Partir da TVE com Intervalos de 32, 40 e 48 dias

Valores de TVE superiores a 0,4 foram tratados como cultura agrícola nas análises que se seguirão.

4.4.1 Classificação de Áreas Agrícolas Através da TVE de 32 Dias

A classificação através da TVE com intervalo de 32 dias para detecção de culturas agrícolas foi executada até o dia 25 de dezembro de 2009, 10 de janeiro de 2010 e 26 de janeiro de 2010 (última data “P” da Equação 3.2 dentro do calendário agrícola), conforme se observa na Tabela 4.2. A Tabela 4.3 corresponde aos polígonos não classificados que foram avaliados quanto a suas classes de forma e dimensão.

Tabela 4.2 - Resultado da classificação das áreas de Cultura e Não-Cultura agrícola através da TVE com intervalo de 32 dias.

32 DIAS			
Classificação	Referência		
	25/12/2009		
	CULTURA (SOJA)	NÃO-CULTURA	TOTAL
	CULTURA 45 (42)	9	54
	NÃO-CULTURA 32 (14)	41	73
	TOTAL 77 (56)	50	127
	10/01/2010		
	CULTURA (SOJA)	NÃO-CULTURA	TOTAL
	CULTURA 58 (53)	14	72
	NÃO-CULTURA 19 (3)	36	55
	TOTAL 77 (56)	50	127
	26/01/2010		
	CULTURA (SOJA)	NÃO-CULTURA	TOTAL
	CULTURA 61 (54)	17	78
	NÃO-CULTURA 16 (2)	33	49
	TOTAL 77 (56)	50	127

A partir da análise das duas tabelas pode-se ver que no cálculo até o dia 25 de dezembro de 2009, 25% dos polígonos de soja foram omitidos. Dentre eles, quatro são polígonos “estreitos”, quatro são “pequenos”, quatro são “pequenos e estreitos” e apenas dois apresentavam classe de forma e dimensão “normal”.

No calculo da TVE até o dia 10 de janeiro de 2010, somente 5,35% (três) dos polígonos de soja foram omitidos, sendo todos da classe “pequeno”. Os dois polígonos “normais” passaram a ser classificados como cultura. A não classificação deles na primeira data se deveu ao baixo valor da TVE nos pixels internos dos polígonos intitulados 5589 (Figura 4.14) e 8526 (Figura 4.15). Nos dois polígonos, o plantio ocorreu mais para o final do calendário agrícola.

Tabela 4.3 - Polígonos não classificados pela TVE com intervalo de 32 dias em relação às suas classes de forma e dimensão.

25/12/2009					
Classes de Forma e Dimensão dos Polígonos					
Classificação em Campo	ESTREITO	NORMAL	PEQUENO	PEQUENO E ESTREITO	Total
Arroz		5	1	5	11
Arroz / Desmate		3	2	2	7
Desmate	1	3		2	6
Desmate / Regeneração natural	2				2
Pastagem		3	8	8	19
Pastagem / Desmate		1		3	4
Regeneração natural		1	1	8	10
Soja	2		3	3	8
Soja / Arroz / Desmate		1			1
Soja / Desmate	1	1	1		3
Soja / Regeneração natural	1			1	2
Total	7	18	16	32	73
10/01/10					
CLASSES DE FORMA E DIMENSÃO DOS POLÍGONOS					
CLASSIFICAÇÃO EM CAMPO	ESTREITO	NORMAL	PEQUENO	PEQUENO E ESTREITO	Total
Arroz		4	1	5	10
Arroz / Desmate		2	2	2	6
Desmate	1	3		2	6
Desmate / Regeneração natural	2				2
Pastagem		1	7	8	16
Pastagem / Desmate		1		3	4
Regeneração natural		1		7	8
Soja			2		2
Soja / Desmate			1		1
Total	3	12	13	27	55

(Continuação)

26/01/10					
Classes de Forma e Dimensão dos Polígonos					
Classificação em Campo	ESTREITO	NORMAL	PEQUENO	PEQUENO E ESTREITO	Total
Arroz		4	1	4	9
Arroz / Desmate		2	1	2	5
Desmate	1	2		2	5
Desmate / Regeneração natural	2				2
Pastagem		1	7	6	14
Pastagem / Desmate		1		3	4
Regeneração natural		1		7	8
Soja			2		2
Total	3	11	11	24	49

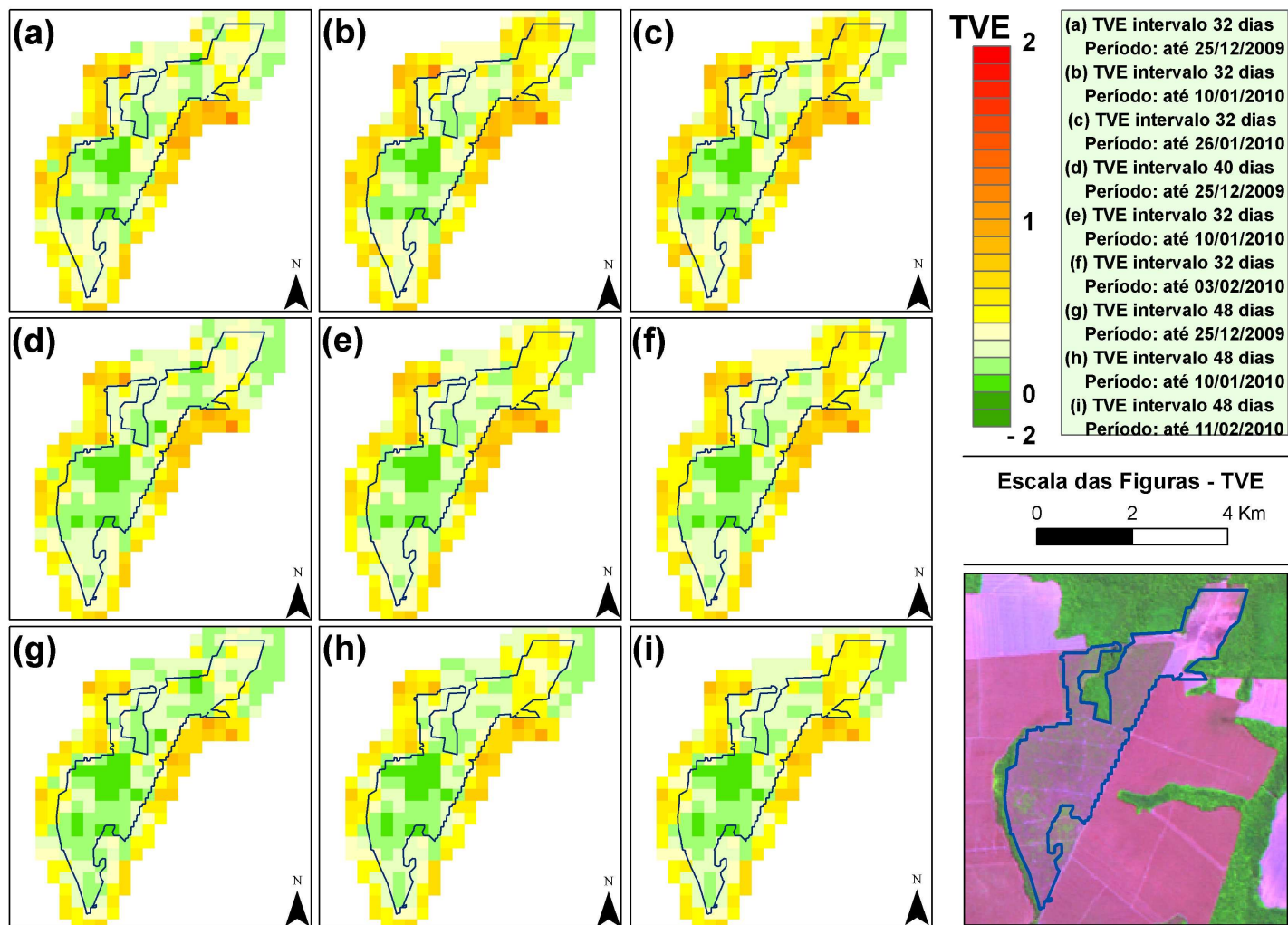


Figura 4.14 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 5589.

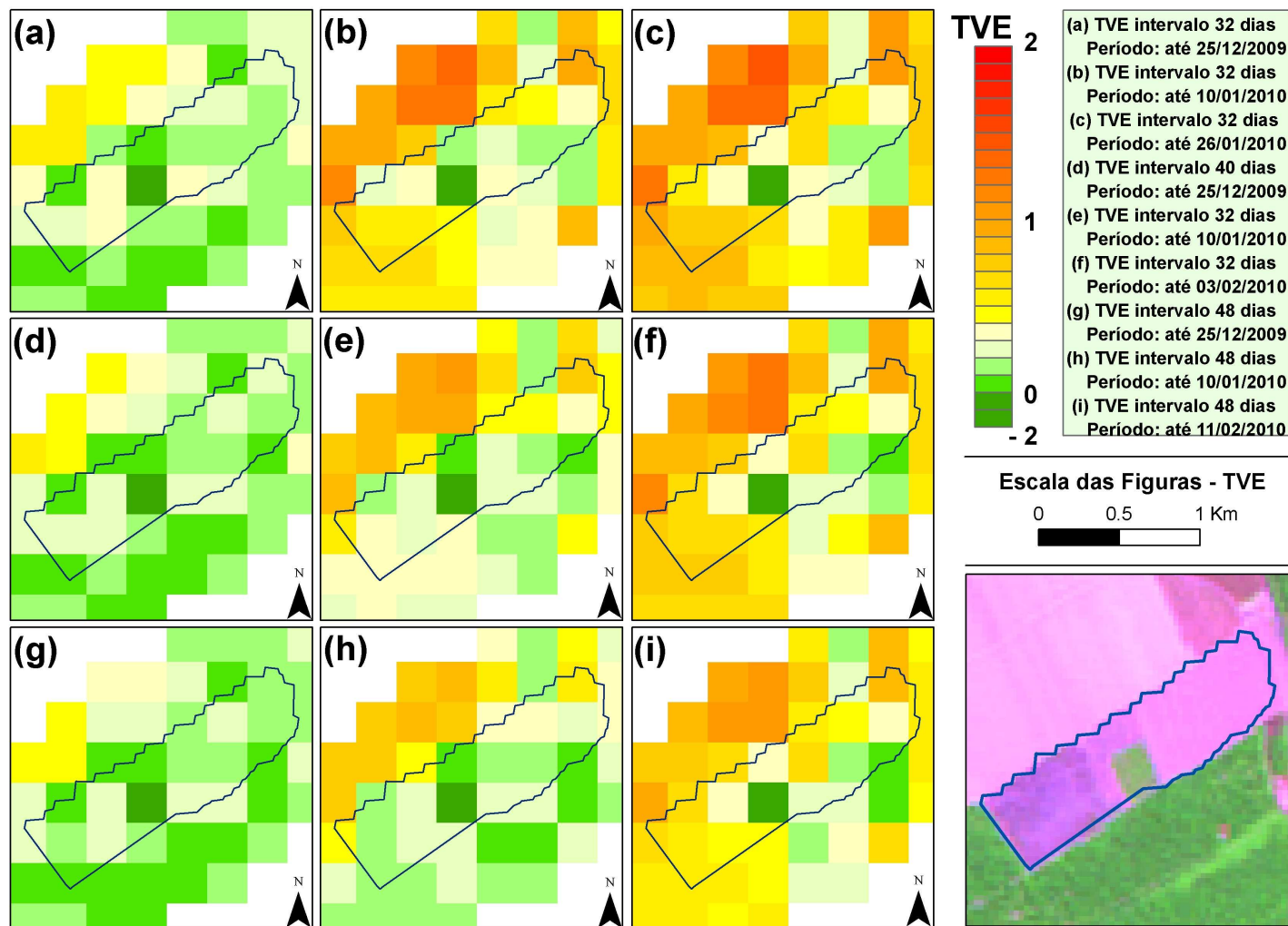


Figura 4.15 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 8526.

O caso da classificação pela TVE que leva em consideração a última data prevista no calendário agrícola, isto é, 25/12/2009, não mostrou grandes melhorias em relação ao do dia 10/01/10. Dos três polígonos “pequenos” de soja anteriormente omitidos e intitulados como 6240 (Figura 4.17), 7774 (figura 4.18) e 7757 (Figura 4.19), apenas no 7757 foi detectada a presença de cultura agrícola.

O polígono 6240 não apresentou TVE característico para cultura agrícola em nenhuma data estudada, mantendo-se com um valor sempre abaixo de 0,3. Apesar de sua borda ter valores de TVE de uso agrícola, em nenhum momento um único pixel interno modificou sua classe de não-cultura, diferentemente do polígono 7757. Ao se observar a Figura 4.16, vê-se que não há o preenchimento total de um dossel de soja no polígono 6240, demonstrando que não houve ineficiência da classificação via TVE. Os pixels do polígono 7774 também não têm valores de TVE que possam qualificá-lo como cultura.



Figura 4.16 – Fotografia aérea do polígono 6240.

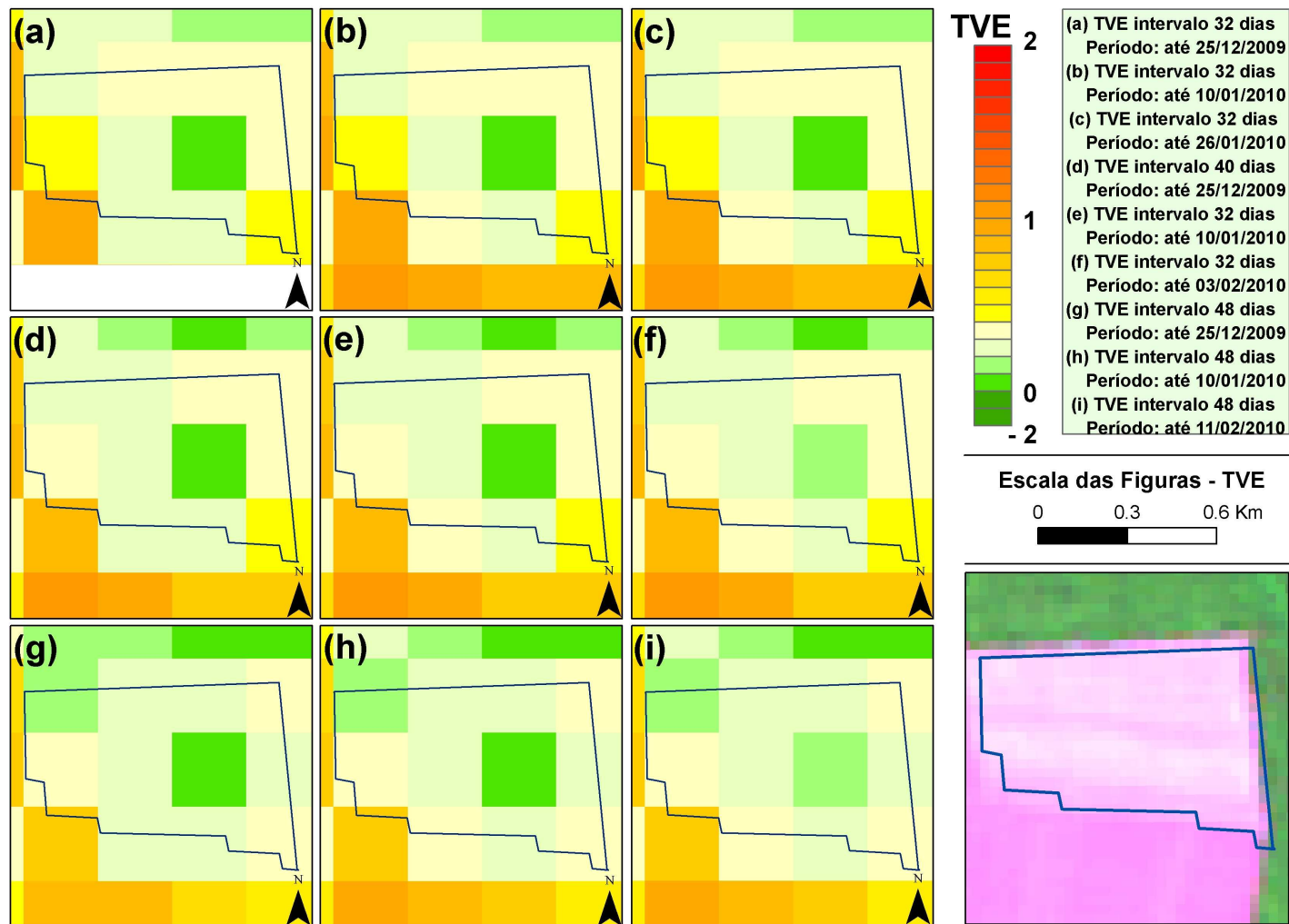


Figura 4.17 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 6240.

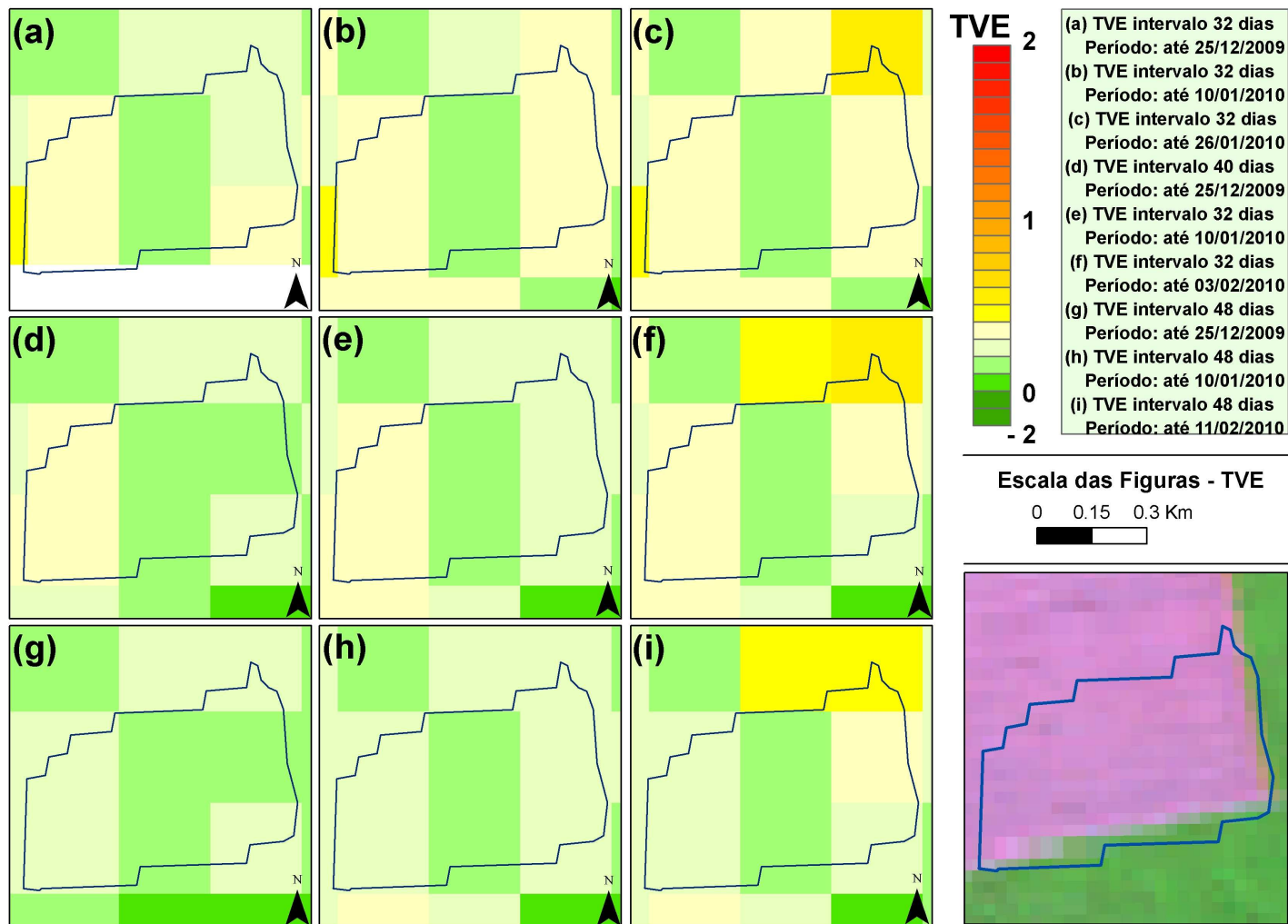


Figura 4.18 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 7774.

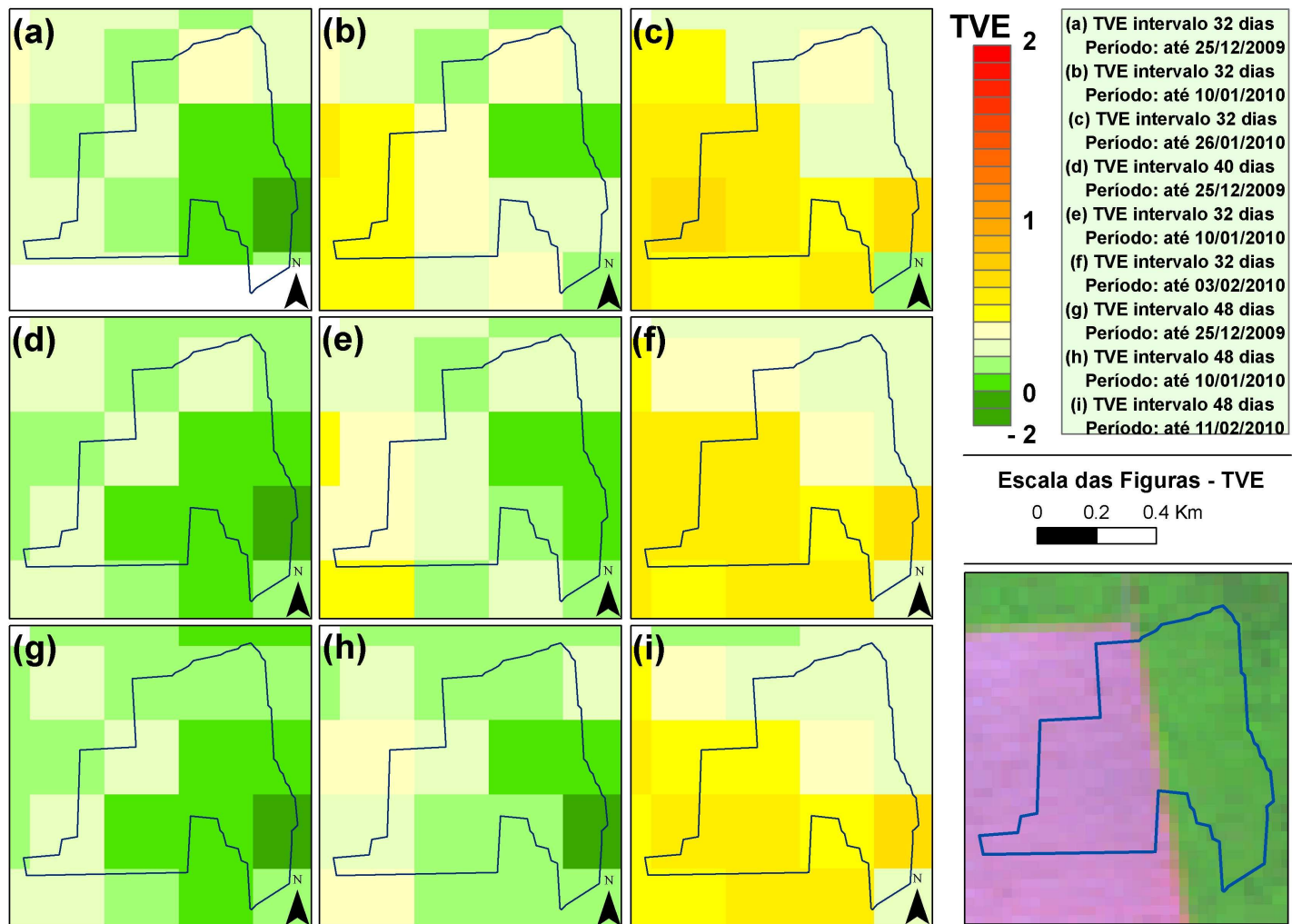


Figura 4.19 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 7757.

4.4.2 Classificação de Áreas Agrícolas Através da TVE de 40 Dias

A classificação através da TVE com intervalo de 40 dias para detecção de culturas agrícolas foi executada até o dia 25 de dezembro de 2009, 10 de janeiro de 2010 e 03 de fevereiro de 2010 (última data “P” da Equação 3.2 dentro do calendário agrícola), conforme se observa na Tabela 4.4. A Tabela 4.5 corresponde aos polígonos não classificados que foram avaliados quanto a suas classes de forma e dimensão.

Tabela 4.4 - Resultado da classificação das áreas de Cultura e Não-Cultura agrícola através da TVE com intervalo de 40 dias.

40 DIAS				
	Referência			
Classificação	25/12/2009			
	CULTURA (SOJA)	NÃO-CULTURA	TOTAL	
	CULTURA	39 (36)	7	46
	NÃO-CULTURA	38 (20)	43	81
	TOTAL	77 (56)	50	127
	10/01/2010			
	CULTURA (SOJA)	NÃO-CULTURA	TOTAL	
	CULTURA	52 (48)	9	61
	NÃO-CULTURA	25 (8)	41	66
	TOTAL	77 (56)	50	127
	03/02/2010			
	CULTURA (SOJA)	NÃO-CULTURA	TOTAL	
	CULTURA	60 (54)	16	76
	NÃO-CULTURA	17 (2)	34	51
	TOTAL	77 (56)	50	127

Tabela 4.5 - Polígonos não classificados pela TVE com intervalo de 40 dias em relação às suas classes de forma e dimensão.

25/12/09					
Classes de Forma e Dimensão dos Polígonos					
Classificação em Campo	ESTREITO	NORMAL	PEQUENO	PEQUENO E ESTREITO	Total
Arroz		5	1	5	11
Arroz / Desmate		3	2	2	7
Desmate	1	3		2	6
Desmate / Regeneração natural	2				2
Pastagem		4	8	8	20
Pastagem / Desmate		1		3	4
Regeneração natural		1	2	8	11
Soja	2	1	3	4	10
Soja / Arroz / Desmate		1			1
Soja / Desmate	2	1	1		4
Soja / Regeneração natural	1	2	1	1	5
Total	8	22	18	33	81

(Continua)

(Continuação)

10/01/10					
Classes de Forma e Dimensão dos Polígonos					
Classificação em Campo	ESTREITO	NORMAL	PEQUENO	PEQUENO E ESTREITO	Total
Arroz		5	1	5	11
Arroz / Desmate		2	2	2	6
Desmate	1	3		2	6
Desmate / Regeneração natural	2				2
Pastagem		4	7	8	19
Pastagem / Desmate		1		3	4
Regeneração natural		1	2	7	10
Soja			3	1	4
Soja / Desmate	1	1	1		3
Soja / Regeneração natural	1				1
Total	5	17	16	28	66
03/02/10					
Classes de Forma e Dimensão dos Polígonos					
Classificação em Campo	ESTREITO	NORMAL	PEQUENO	PEQUENO E ESTREITO	Total
Arroz		4	1	4	9
Arroz / Desmate		2	2	2	6
Desmate	1	2		2	5
Desmate / Regeneração natural	2				2
Pastagem		1	7	7	15
Pastagem / Desmate		1		3	4
Regeneração natural		1		7	8
Soja			2		2
Total	3	11	12	25	51

A partir da análise das duas tabelas, pode-se ver que no cálculo até o dia 25 de dezembro de 2009, 35,7% dos polígonos de soja foram omitidos. Dentre eles, cinco são “estreitos”; cinco são “pequenos”, cinco são “pequenos e estreitos” e cinco tiveram classe de forma e dimensão “normal”. Os “normais” são os polígonos intitulados 5589 (Figura 4.14) e 8526 (Figura 4.15), referidos na sessão 4.4.1, 6357 (Figura 4.20), 8164 (Figura 4.21) e 8407 (Figura 4.22).

No cálculo da TVE até o dia 10 de janeiro de 2010, 12 dos 20 polígonos de soja omitidos passaram a ser classificados como cultura. Dos oito que permaneceram omitidos, um era representante da classe de forma e dimensão “normal” (8526 – Figura 4.15). Sua exclusão se deveu ao baixo valor de TVE de seus pixels internos para a data em questão. Além desse, dois polígonos eram da classe de forma e dimensão “estrito”; quatro eram “pequenos” (os mesmos da TVE com intervalo de 32 dias mais o polígono 8562) e um era “pequeno e estrito”.

A classificação da TVE com intervalo de 40 dias na última data, 03/02/10, que levou em consideração até a última data prevista no calendário agrícola (25/12/09), mostrou melhorias semelhantes à última data da TVE com intervalo de 32 dias. Apenas os dois polígonos “pequenos”, 6240 (Figura 4.17) e 7774 (Figura 4.18), não tiveram cultura agrícola detectada, em função do que já foi discutido na sessão 4.4.1. Os dois polígonos “estreitos”, 8950 (Figura 4.23) e 9044 (Figura 4.24); os polígonos “pequenos”, 7757 (Figura 4.19) e 8562 (Figura 4.25); e o polígono “pequeno e estrito” 7568 (Figura 4.26) foram classificados na última data da TVE, com intervalo de 40 dias.

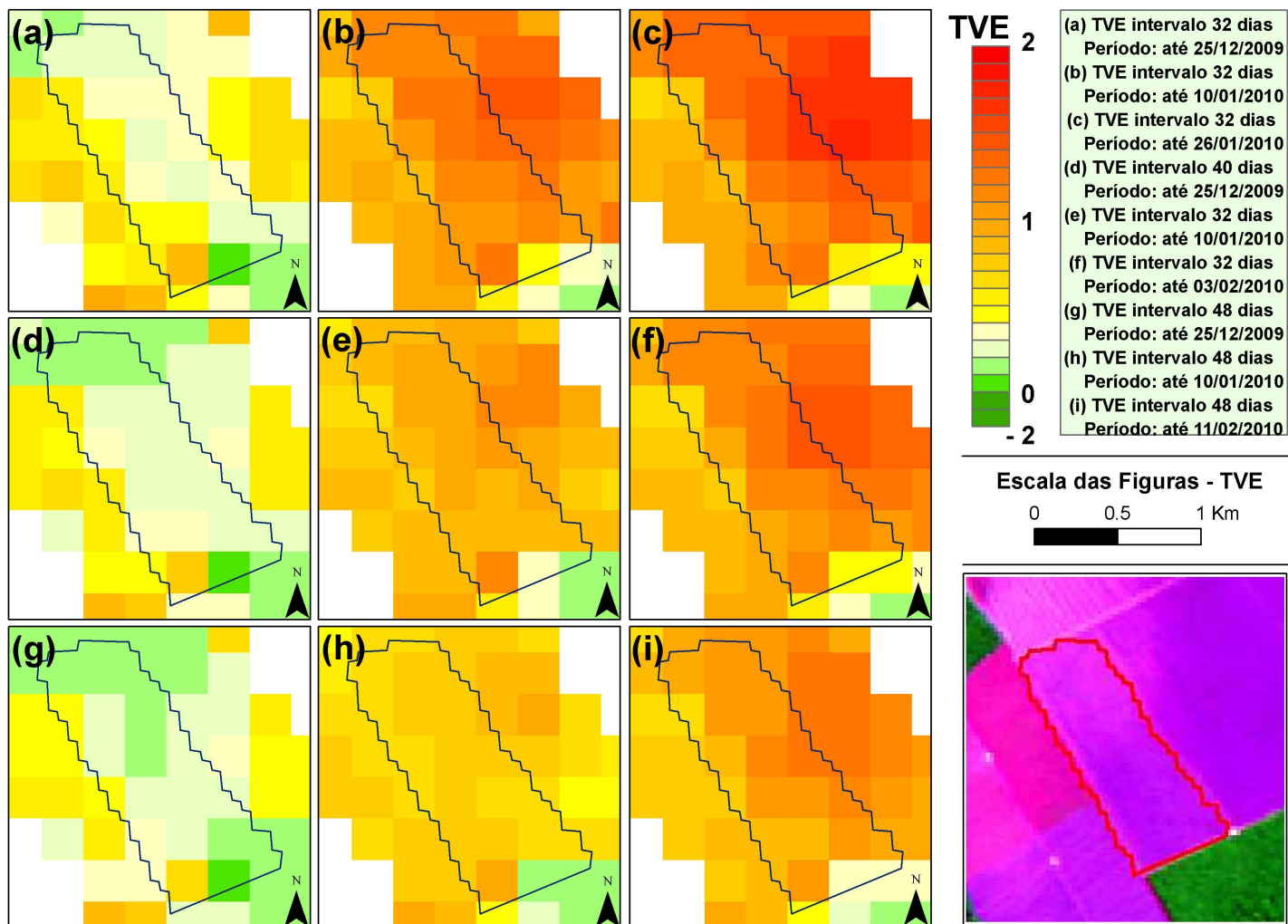


Figura 4.20 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 6357.

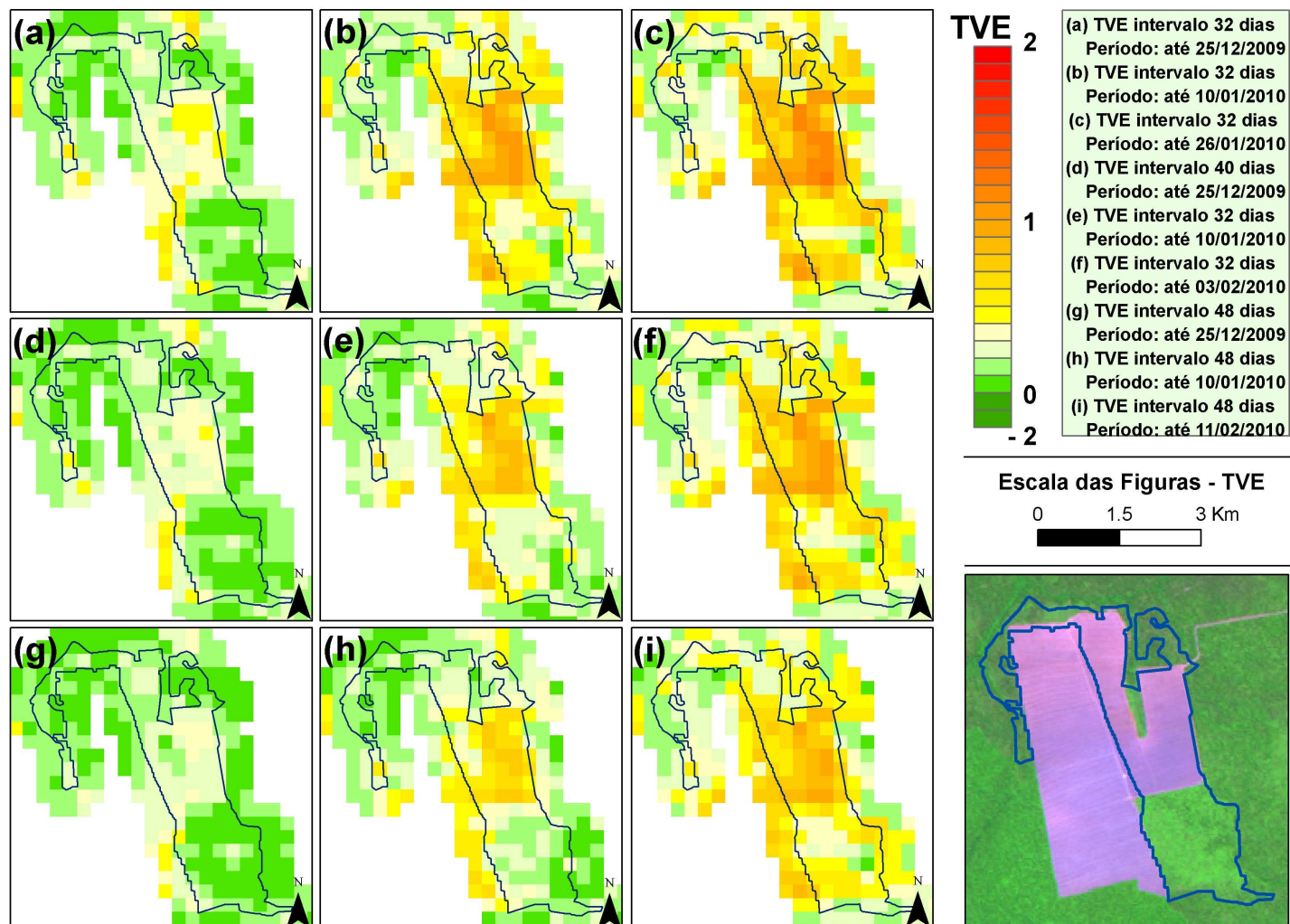


Figura 4.21 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 8164.

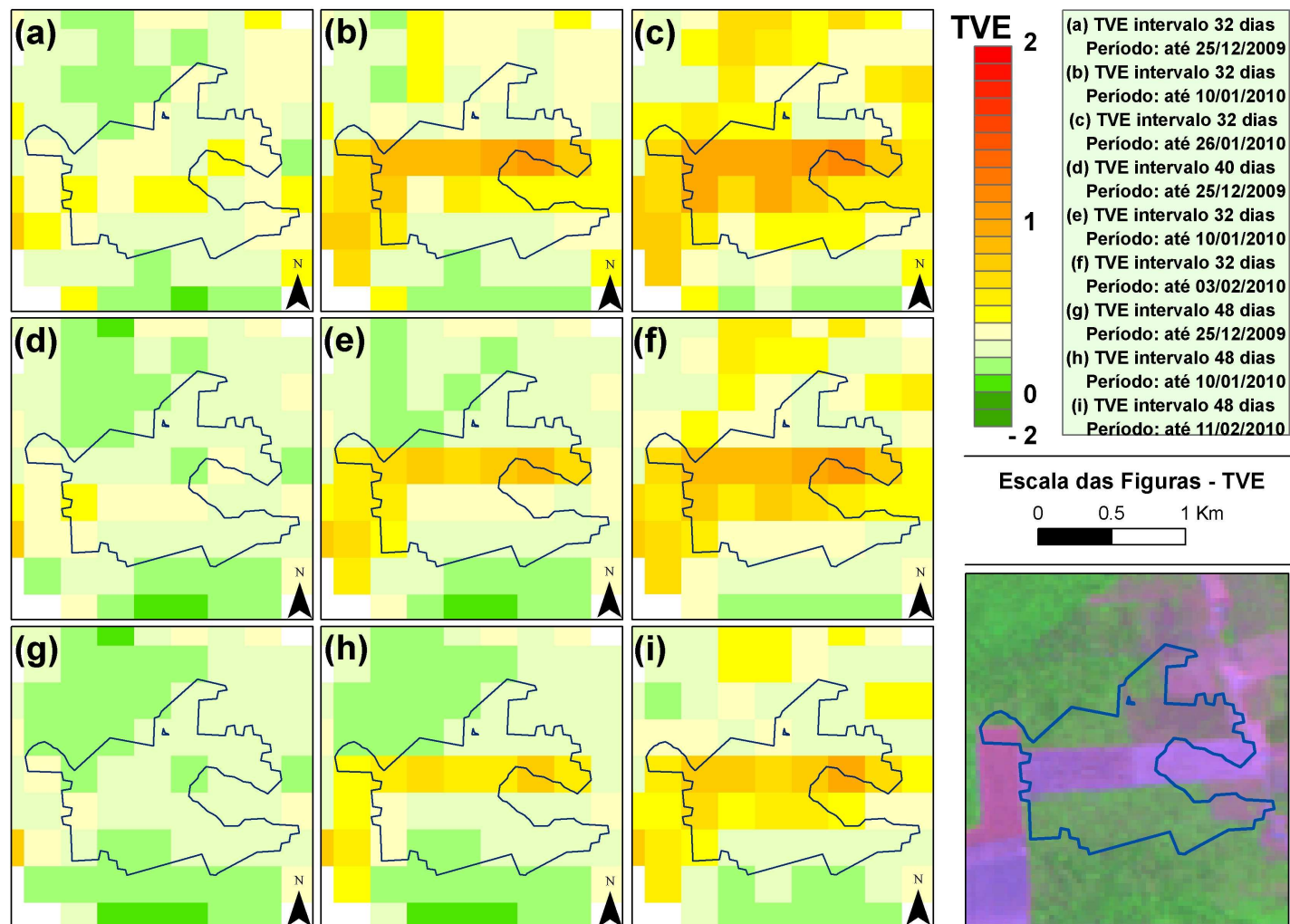


Figura 4.22 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 8407.

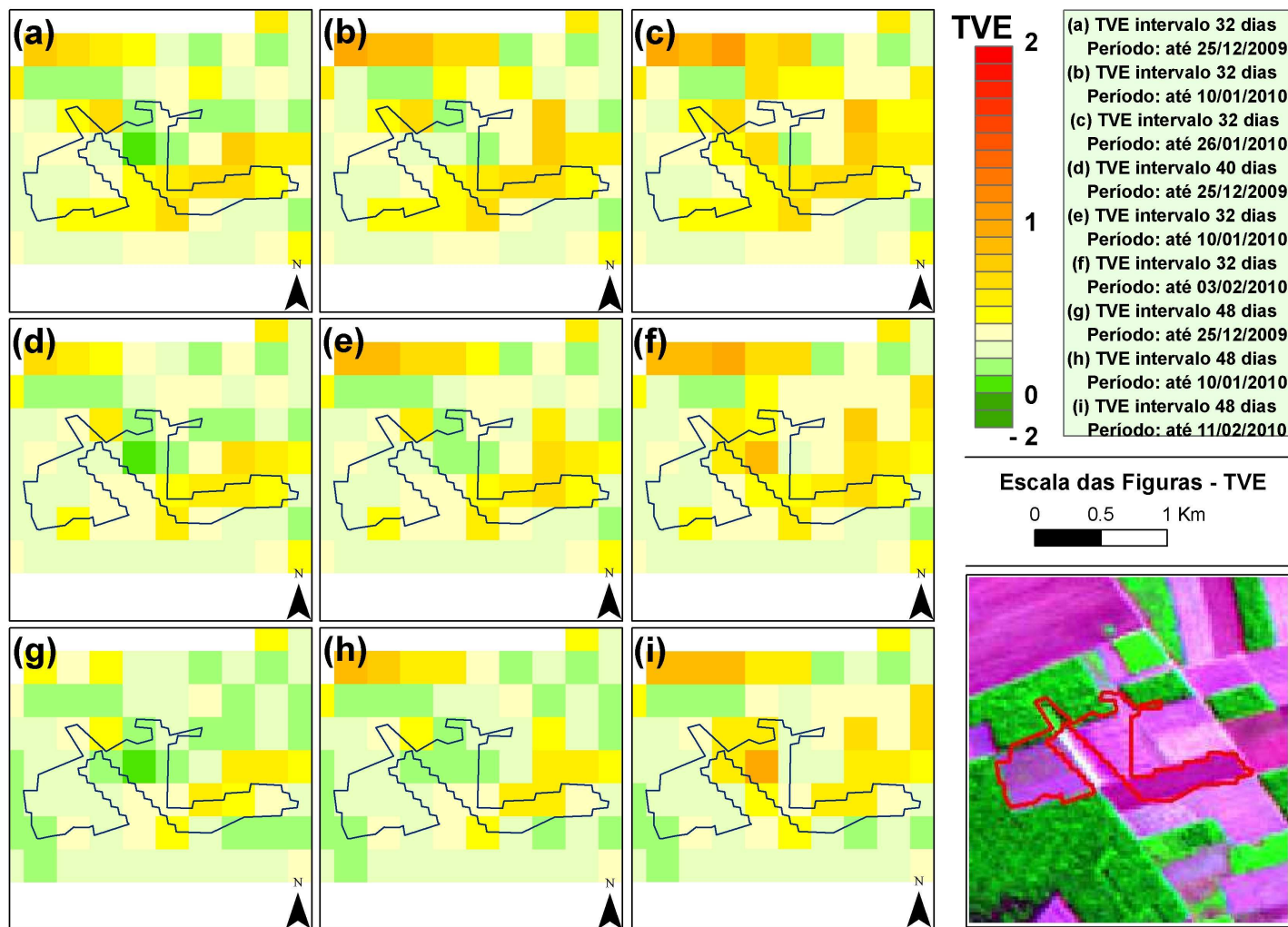


Figura 4.23 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 8950.

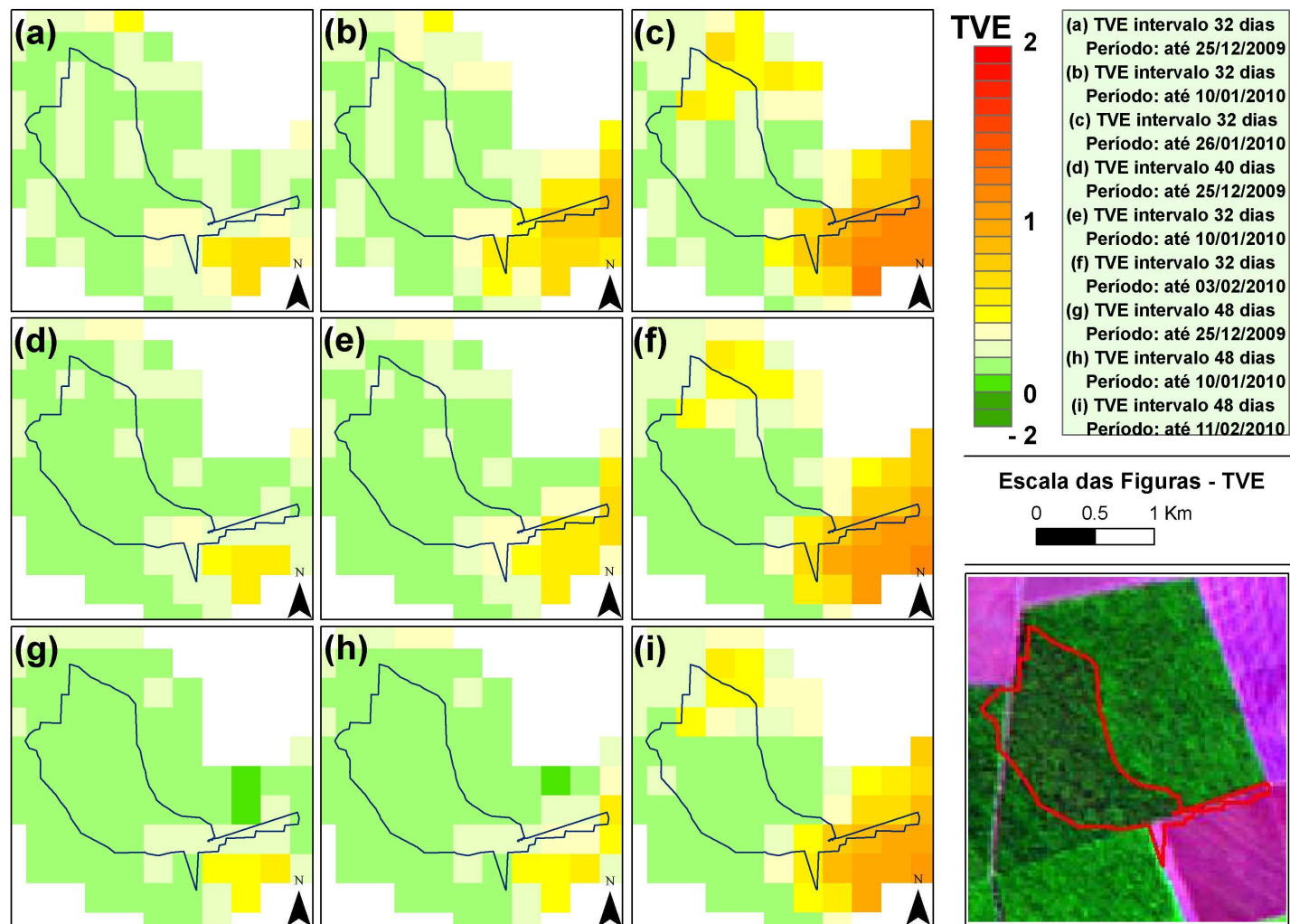


Figura 4.24 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 9044.

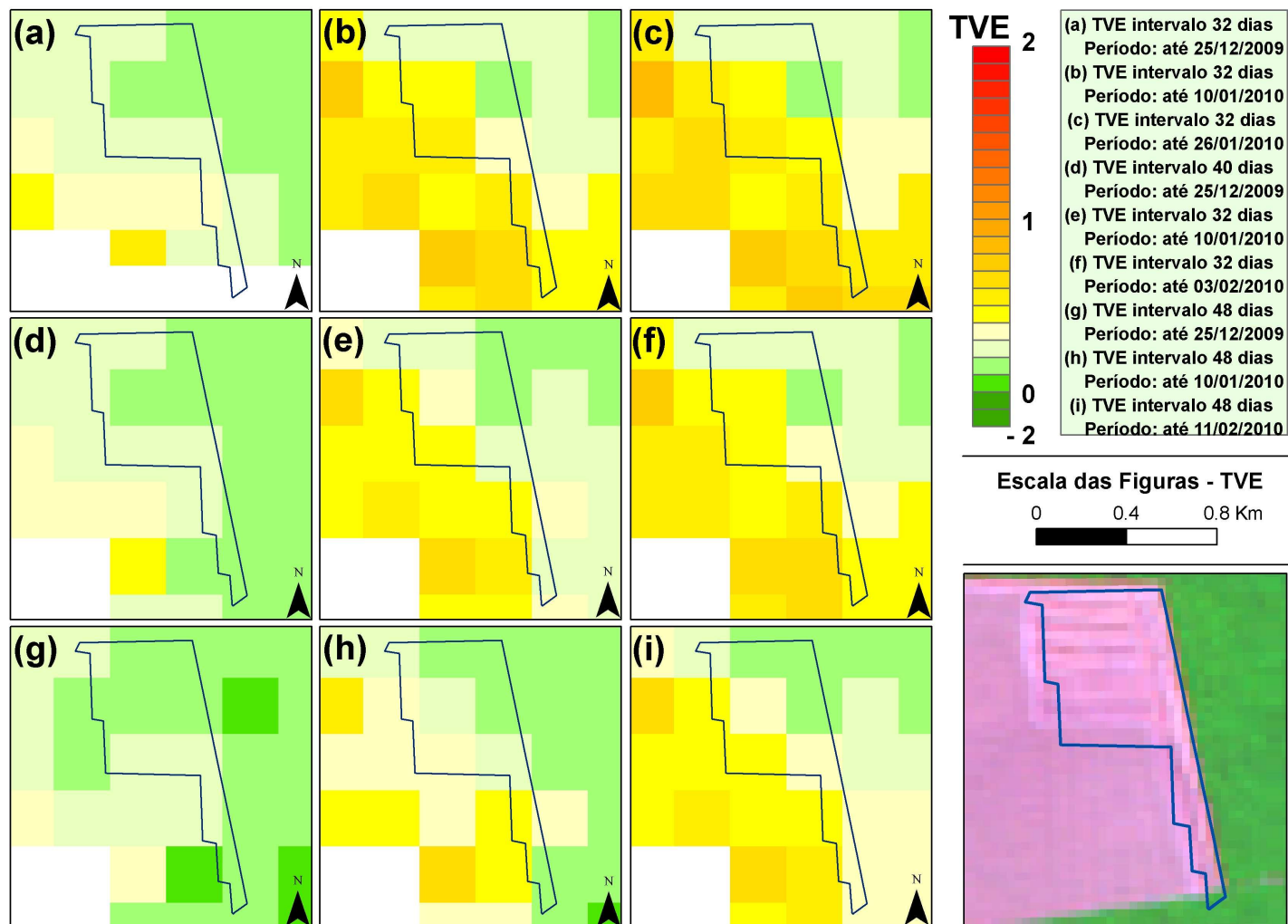


Figura 4.25 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 8562.

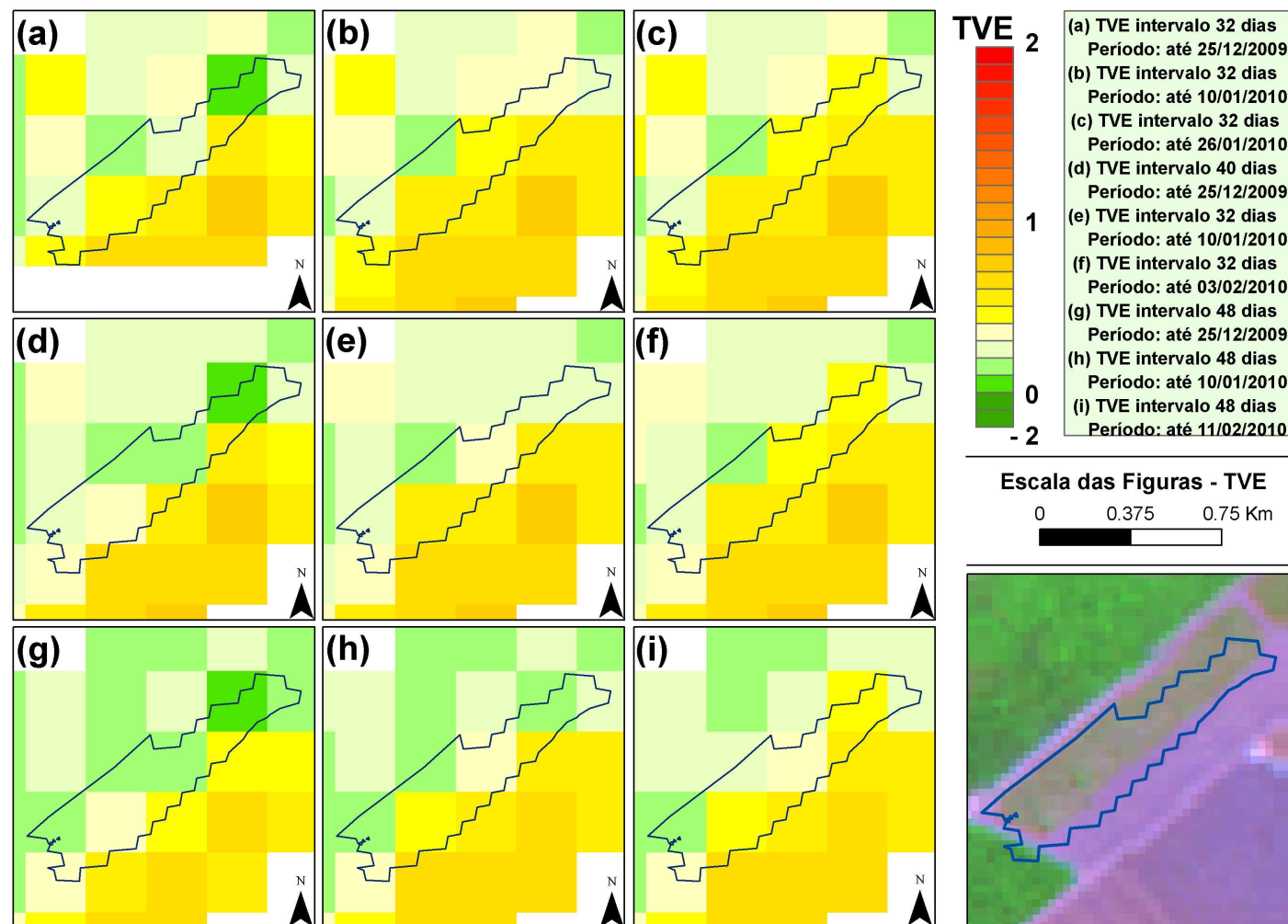


Figura 4.26 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 7568.

4.4.3 Classificação de Áreas Agrícolas Através da TVE de 48 Dias

A classificação através da TVE com intervalo de 48 dias para detecção de culturas agrícolas foi executada até o dia 25 de dezembro de 2009, 10 de janeiro de 2010 e 11 de fevereiro de 2010 (última data “P” da Equação 3.2 dentro do calendário agrícola), conforme se observa na Tabela 4.6. A Tabela 4.7 corresponde aos polígonos não classificados que foram avaliados quanto a suas classes de forma e dimensão.

Tabela 4.6 - Resultado da classificação das áreas de Cultura e Não-Cultura agrícola através da TVE com intervalo de 48 dias.

48 DIAS			
Classificação	Referência		
	25/12/2009		
	CULTURA (SOJA)	NÃO-CULTURA	TOTAL
	CULTURA 35 (32)	9	41
	NÃO-CULTURA 42 (24)	44	86
	TOTAL 77 (56)	50	127
	10/01/2010		
	CULTURA (SOJA)	NÃO-CULTURA	TOTAL
	CULTURA 48 (45)	7	55
	NÃO-CULTURA 29 (11)	43	72
	TOTAL 77 (56)	50	127
	11/02/2010		
	CULTURA (SOJA)	NÃO-CULTURA	TOTAL
	CULTURA 59 (52)	9	68
	NÃO-CULTURA 16 (4)	43	59
	TOTAL 77 (56)	50	127

Tabela 4.7 - Polígonos não classificados pela TVE com intervalo de 48 dias em relação às suas classes de forma e dimensão.

25/12/09					
Classes de Forma e Dimensão dos Polígonos					
Classificação em Campo	ESTREITO	NORMAL	PEQUENO	PEQUENO E ESTREITO	Total
Arroz		5	1	5	11
Arroz / Desmate		3	2	2	7
Desmate	1	3		3	7
Desmate / Regeneração natural	2				2
Pastagem		4	8	8	20
Pastagem / Desmate		1		3	4
Regeneração natural		1	2	8	11
Soja	2	1	3	4	10
Soja / Arroz / Desmate		1			1
Soja / Desmate	3	1	1		5
Soja / Pastagem		1			1
Soja / Regeneração natural	1	3	2	1	7
Total	9	24	19	34	86

(Continua)

(Continuação)

10/01/10					
Classes de Forma e Dimensão dos Polígonos					
Classificação em Campo	ESTREITO	NORMAL	PEQUENO	PEQUENO E ESTREITO	Total
Arroz		5	1	5	11
Arroz / Desmate		3	2	2	7
Desmate	1	3		3	7
Desmate / Regeneração natural	2				2
Pastagem		4	8	8	20
Pastagem / Desmate		1		3	4
Regeneração natural		1	2	7	10
Soja			3	2	5
Soja / Desmate	1	1	1		3
Soja / Regeneração natural	1		2		3
Total	5	18	19	30	72
11/02/10					
Classes de Forma e Dimensão dos Polígonos					
Classificação em campo	ESTREITO	NORMAL	PEQUENO	PEQUENO E ESTREITO	Total
Arroz		4	1	3	8
Arroz / Desmate		2	2	2	6
Desmate	1	3		3	7
Desmate / Regeneração natural	2				2
Pastagem		3	7	8	18
Pastagem / Desmate		1		3	4
Regeneração natural		1	2	7	10
Soja			3	1	4
Total	3	14	15	27	59

A partir da análise das duas tabelas, pode-se observar que a classificação através da TVE com intervalo de 48 dias até o dia 25 de dezembro de 2009, obteve o pior dos resultados na detecção de culturas agrícolas e em especial de soja. Os polígonos omitidos cobertos por soja chegaram a 42,8% do total dos que apresentam sojicultura, de acordo com os dados da referência da ABIOVE. Dentre eles, seis são “estreitos”; seis são “pequenos”, cinco são “pequenos e estreitos” e sete tiveram classe de forma e dimensão “normal”. Desses sete “normais” omitidos, os polígonos intitulados como 7265 (Figura 4.27) e 7706 (Figura 4.28) surgiram como novidade em relação ao que já havia sido apresentado para a mesma data na sessão 4.4.2. O polígono 7265 apresentou somente um pixel interno com TVE acima de 0,4 e por isso não foi selecionado até essa data. Já o polígono 7706 não teve TVE característico de cultura agrícola em nenhum de seus pixels internos. Ambos passaram a ser detectados nas datas posteriores.

Na segunda data analisada para a TVE de 48 dias, ou seja, até o dia 10/01/10, três polígonos a mais foram omitidos em relação ao que havia sido avaliado para o mesmo período na classificação pela TVE de 40 dias. Desses três polígonos, dois são de classe de forma e dimensão “pequenos” e foram intitulados de 6926 (Figura 4.29) e 9071 (Figura 4.30). O outro é um “pequeno e estreito”, intitulado de 6328 (Figura 4.31). Na data seguinte, que leva em consideração todo o calendário agrícola, esses três polígonos passam a ser classificados como cultura agrícola.

Entretanto, na última data, que na TVE com intervalo de 48 é 11/02/10, dois novos polígonos passam a ser omitidos junto dos polígonos 6240 e 7774 comentados anteriormente. São eles os polígonos 8562 (Figura 4.25) e 7568 (Figura 4.26). No caso do polígono 8562, sua não detecção se deveu ao fato de nenhum pixel interno apresentar TVE maior que 0,4. Somente os de borda apresentaram tal valor. Já o eixo maior do polígono 7568 não apresentou pixels de borda com TVE indicava de presença agrícola.

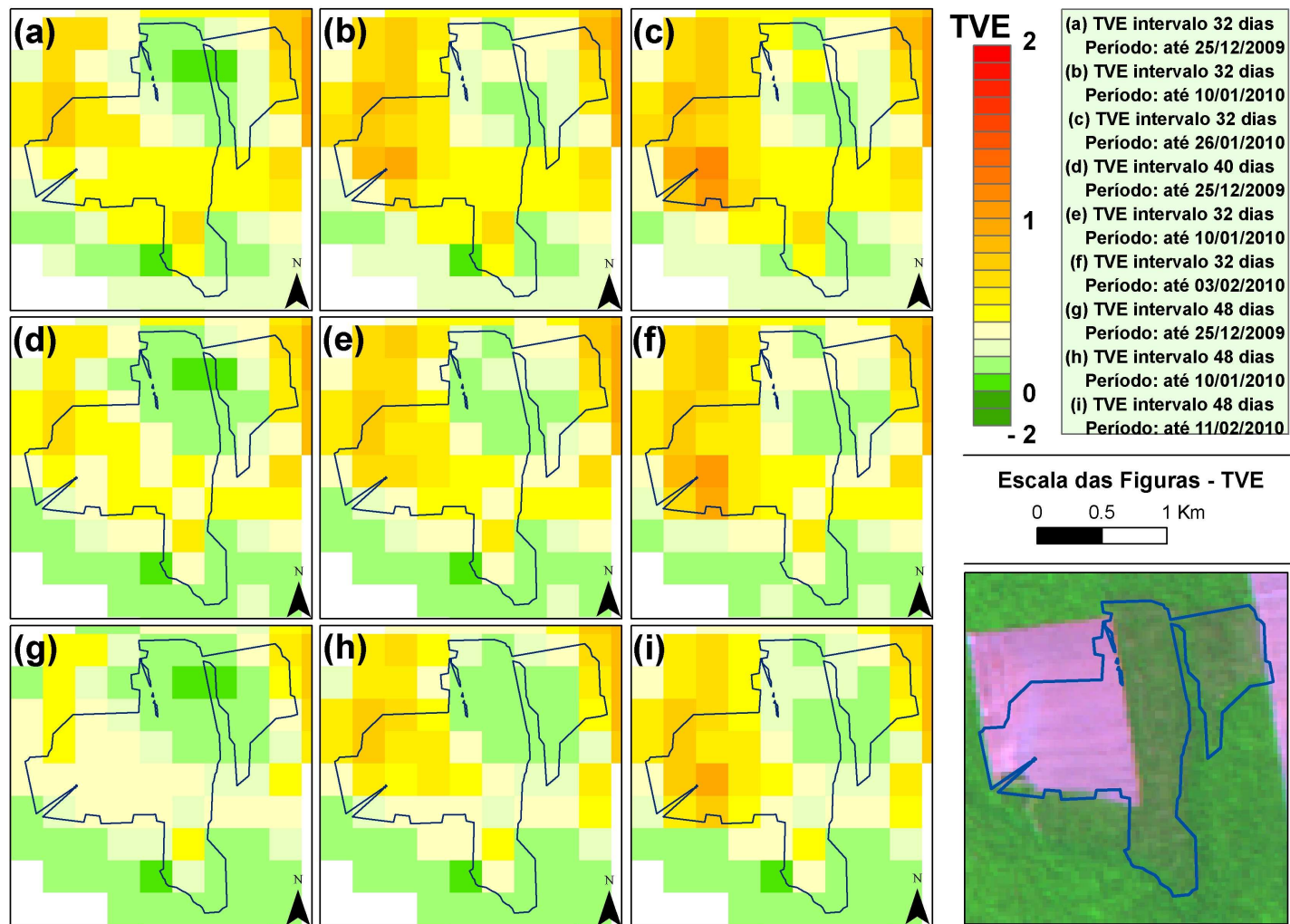


Figura 4.27 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 7265.

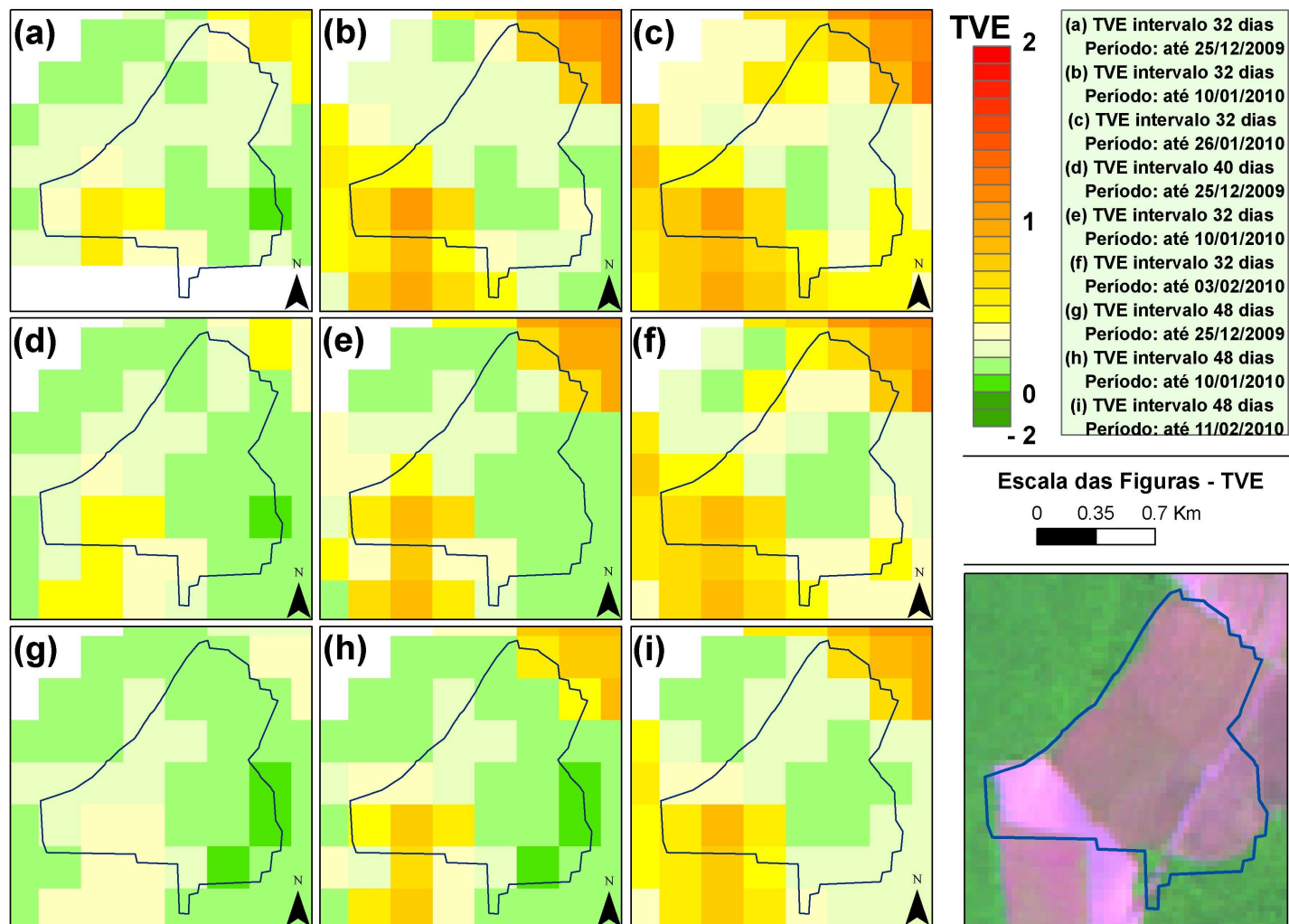


Figura 4.28 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 7706.

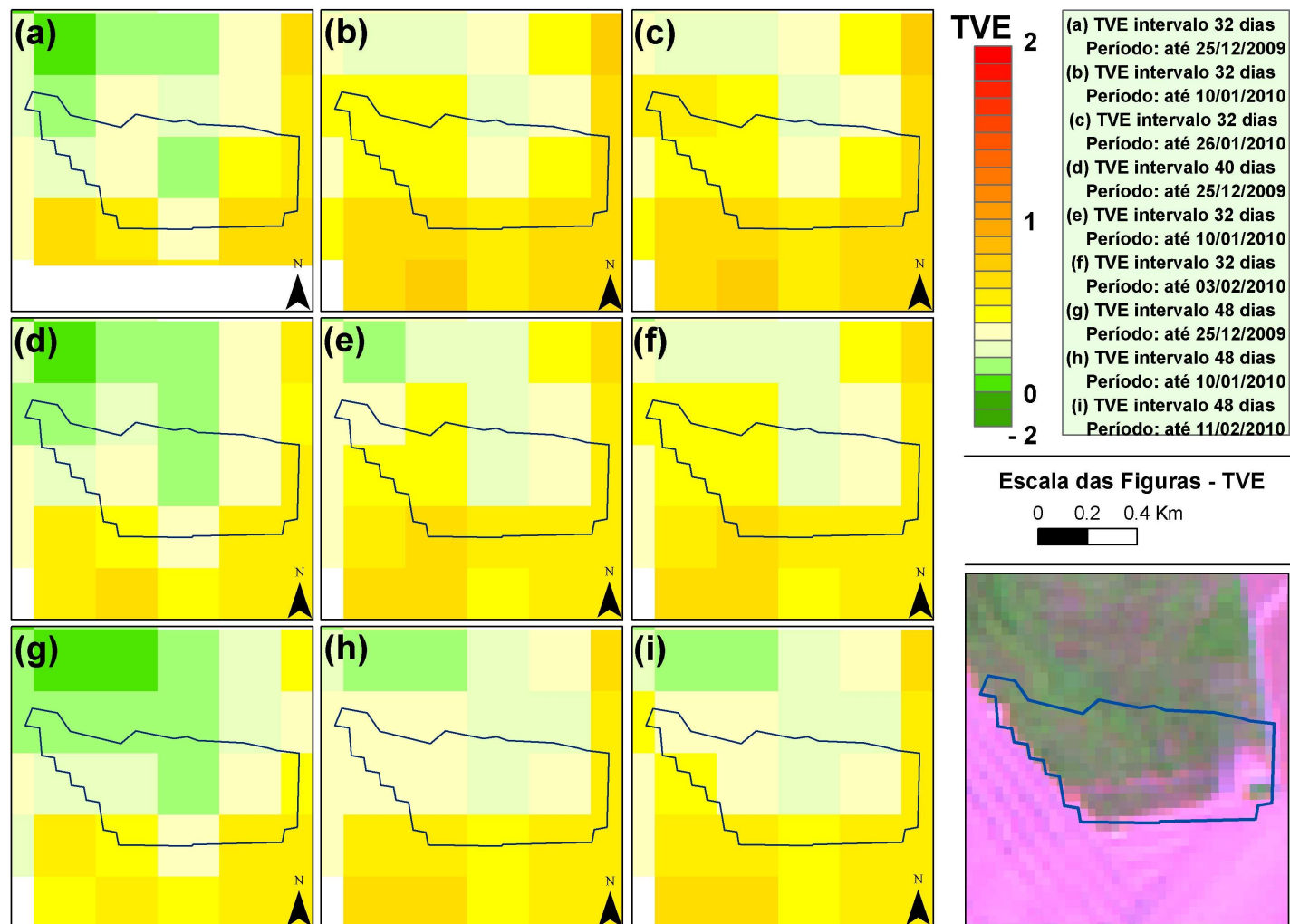


Figura 4.29 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 6926.

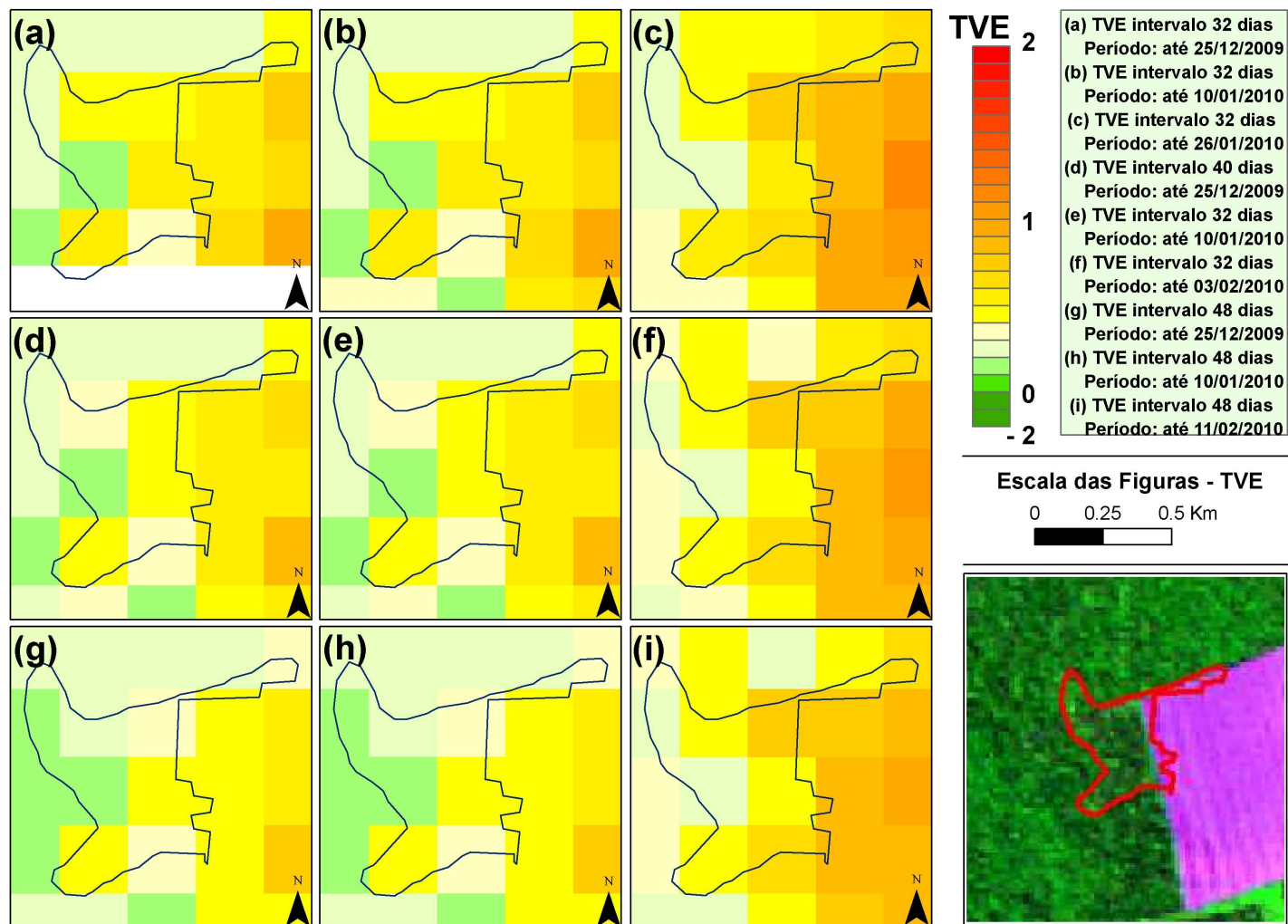


Figura 4.30 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 9071.

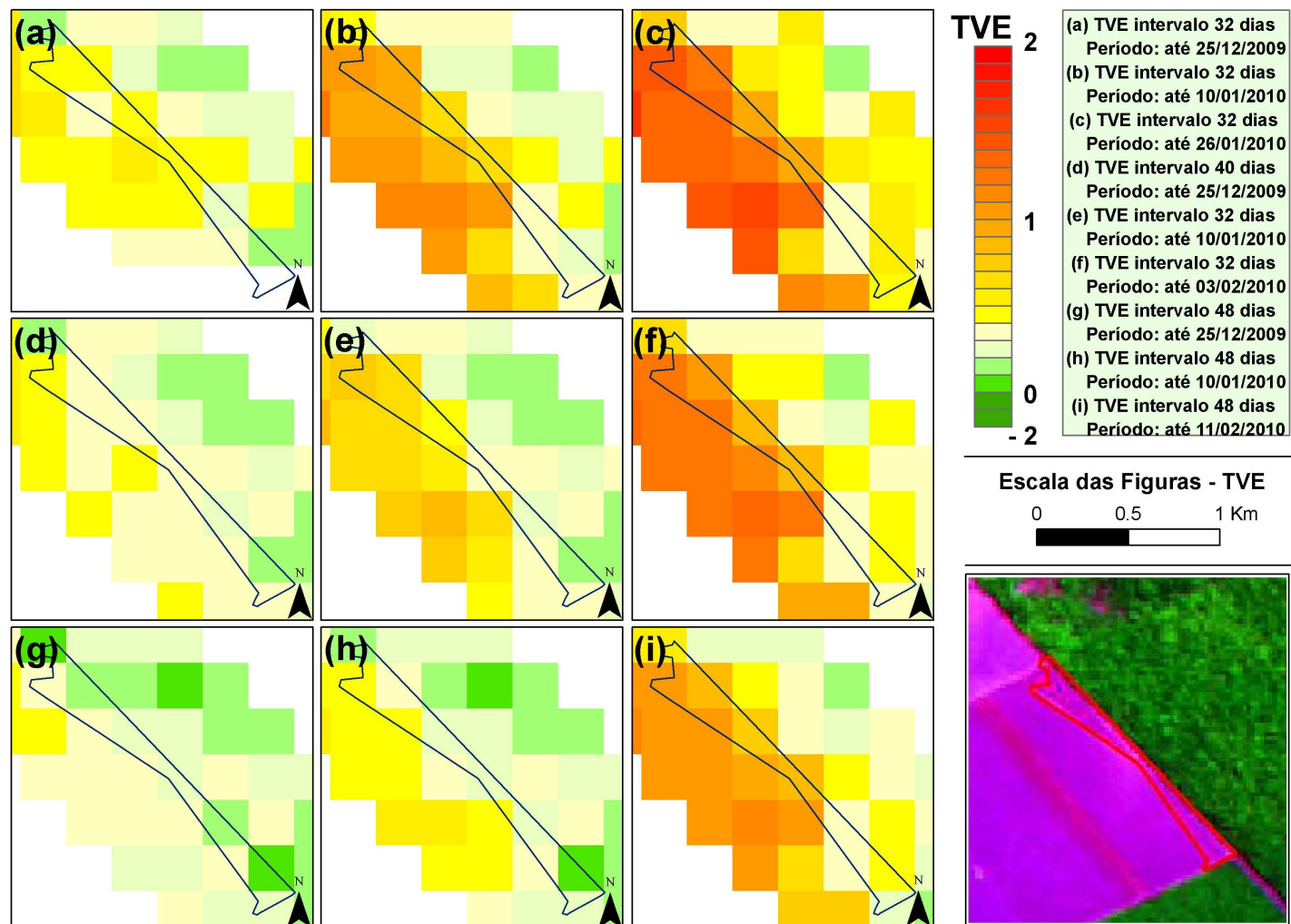


Figura 4.31 - TVE com intervalos de 32, 40 e 48 dias e recorte de imagem Landsat5/TM (composição R(5) G(4) B(3)) para o polígono intitulado 6328.

4.4.4 Análise Geral da Classificação Através da TVE

A aplicação da TVE com diferentes intervalos e em diferentes datas evidenciou dois fatos marcantes. O primeiro deles tem relação com a precisão da classificação da TVE com intervalo de 48 dias na data 11/02/10. Nessa data obteve-se o maior acerto na distinção dos alvos cultura e não-cultura agrícola, com 80,3% de acerto, segundo a Tabela 4.8. Ou seja, se o objetivo do trabalho envolvesse somente a detecção de culturas, então a opção por esta TVE, nessa data, seria apropriada.

Contudo, o enfoque do trabalho é a melhoria da seleção de polígonos onde provavelmente há a presença de sojicultura, a fim de indicá-los para sobrevoos de fiscalização. Sabe-se também da importância de não retardar o fornecimento desses dados. Dessa forma, o uso da TVE com intervalo de 32 dias na data 10/01/10 seria a melhor saída, uma vez que ele apresentou uma precisão de 94,64% na seleção de polígonos com sojicultura e obteve uma precisão no acerto de áreas agrícolas e não agrícolas de 74%.

Entretanto, caso não haja opção, sendo necessário sobrevoar antes as áreas, optar pelo uso da TVE com intervalo de 32 dias na data 25/12/09 seria indicado, devido à sua melhor precisão na classificação dos polígonos de cultura e não-cultura (67.7%) e à sua precisão de 75% para detectar polígonos de soja em relação às TVE com intervalo de 40 (64,56%) e 48 dias (62.2%) para a mesma data.

Tabela 4.8 - Precisão da classificação através da TVE.

Tabela 4.3 - Precisão da classificação através da TVE.			
Datas		Precisão na Classificação Cultura e Não-Cultura (%)	Precisão na Classificação das áreas de soja (%)
TVE 32	25/12/2009	67.7	75
	10/1/2010	74	94.64
	26/1/2010	74	96.43
TVE 40	25/12/2009	64.56	64.28
	10/1/2010	73.23	85.71
	3/2/2010	74	96.43
TVE 48	25/12/2009	62.2	57.14
	10/1/2010	71.65	80.36
	11/2/2010	80.3	92.86

O segundo fato tem relação com a importância de se fazer sobrevoo de auxílio da Moratória da Soja logo que se identifique a presença de cultura agrícola através da TVE. A razão para esse fato é que os dados do produto de Reflectância de Superfície (MOD09) são disponibilizados aproximadamente 16 dias após o imageamento do sensor MODIS. Assim, minimiza-se a probabilidade de se sobrevoar áreas já colhidas. Também é aconselhável fazer mais de um sobrevoo para identificar culturas agrícolas, pois em todas as regiões do estado do Mato Grosso são apresentadas diferentes datas de detecção através da TVE.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, foi observado que o processo de detecção de culturas agrícolas para auxiliar a Moratória da Soja no estado do Mato Grosso pode ser aperfeiçoado através da aplicação da TVE. Sua aplicação diminuiu o número de polígonos de não-cultura a serem sobrevoados e não comprometeu a seleção dos polígonos de cultura que, necessariamente, precisam ser sobrevoados.

Primeiramente, a classificação dos polígonos em estudo quanto a sua forma e dimensão facilitou a posterior análise da classificação das culturas agrícolas anuais através da TVE. Foi observada uma probabilidade maior de ocorrência de erros em áreas ditas “pequenas”, “estreitas” e “pequenas e estreitas” do que em áreas “normais”. Mesmo assim, obteve-se uma precisão final de detecção de culturas anuais entre 74 e 80%.

A avaliação do comportamento espectro-temporal do EVI2 possibilitou o encontro de um padrão único para identificação de culturas agrícolas anuais que as diferencie dos demais tipos de uso e cobertura. Entre os estádios de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (VE a R6), isto é, no período em que há um aumento do IAF, a taxa de variação da curva do EVI2 é maior e crescente. Assim, o cálculo da TVE com diferentes intervalos de tempo ao longo dos meses de julho de 2009 e fevereiro de 2010 mostrou que é possível refinar o método de seleção de polígonos, diminuindo a inclusão de áreas não agrícolas.

Foi possível concluir que as TVEs de diferentes intervalos, que levavam em consideração os dados de EVI2 até o final de janeiro e início de fevereiro, selecionaram um número maior de polígonos cobertos por soja. E, apesar de serem menos precisos na detecção de culturas agrícolas, tanto a TVE de 32

dias quanto a de 40 dias omitiram menos polígonos de soja do que a TVE de 48 dias.

Para detectar as áreas de culturas agrícolas a fim de auxiliar a Moratória da Soja no Mato Grosso, indica-se a utilização da TVE com intervalo de 32 dias que leva em conta medições de EVI2 de janeiro. Isso se deve ao fato de elas serem usadas para estimar sojicultura plantada até meados de dezembro, mês que determina o final do calendário agrícola dessa cultura no estado. Dados fornecidos às entidades fiscalizadoras até o final de dezembro podem fazer com que várias áreas agrícolas não sejam sobrevoadas.

Uma recomendação para trabalhos futuros seria a aplicação da TVE para estudar fenologia de soja. Seu cálculo sistemático gera novos valores da taxa na série de dados. Imagina-se que, a partir do momento em que se confirma presença agrícola em um polígono, pode-se estabelecer sua data do plantio. A fase de máximo desenvolvimento da cultura poderia ser indicada quando a TVE passasse a ter um valor próximo a zero. A colheita seria determinada quando a TVE tivesse valores negativos, semelhantes aos de identificação da data de plantio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Moratória da Soja: 3º ano do mapeamento e monitoramento do plantio da soja no Bioma Amazônia**. ABIOVE, 2010. p. 1-20. Disponível em: <http://www.abiove.com.br/sustent/relatorio09/moratoria09_relatorio_jul10_br.pdf>. Acesso em: <16/mar/11>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Monitoramento da Moratória da Soja 2009/10**. Disponível em: <http://www.abiove.com.br/ss_relatorio09_br.asp>. Acesso em: <28/fev/2011>.

ADAMI, M. **Estimativa da data de plantio da soja por meio de séries temporais de imagens MODIS**. 2010. 161 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2010/09.15.21.47-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3897URE>>. Acesso em: 01 mar. 2011.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A Soja no Brasil**. Campinas, SP: ITAL, 1981, p. 1-6.

BROWN, J. C.; JEPSON, W. E.; KASTENS, J. H.; WARDLOW, B. D.; LOMAS, J.; PRICE, K. P. Multitemporal, moderate-spatial-resolution remote sensing of modern agricultural production and land modification in the Brazilian Amazon, **GIScience & Remote Sensing**, v.44, n. 2, p.117-148, 2007.

CÂMARA, G. M. S.; SEDIYAMA, T.; DOURADO-NETO, D.; BERNARDES, M. S. Influence of photoperiod and air temperature of the growth, flowering and maturation of soybean (Glycine Max (L.) Merrill). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 149-154, 1997.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D.M.; SOARES, J.V. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. 2006. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia.pdf>>. Acesso em: <13/jan/2011>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Séries históricas**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>. Acesso em: <11/jan/2011>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Décimo primeiro levantamento do acompanhamento da safra brasileira de grãos 2009/2010**. p. 5-43, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Soja:** programa nacional de pesquisa. Brasília, DF: EMBRAPA, 1981, 115 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Tecnologias de produção da soja** – região central do Brasil 2009-2010. Londrina, PR: EMBRAPA, 2008, p. 11-13.

EWERS, R. M.; LAURANCE, W. F.; SOUZA JR; C. M. Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rates. **Environment Conservation**, v. 35, n. 4, p. 303-310, 2008.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A.F.; NEUMAIER, N.; OYA, T. **A cultura da soja no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja. 2000

FEARNSIDE, P. M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v. 28, n. 1, p. 23-38, 2002.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates and Consequences. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T.; PENNINGTON, J.S. Stage of development description for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, v.11, n. 6, p.929-931, 1971.

FREITAS, R. M.; ARAI, E.; ADAMI, M., FERREIRA, A. S.; SATO, F. Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSA, R. R.; ANDERSON, L. O.; RUDORFF, B. F. T. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**. 2011. (Artigo submetido)

GALFORD, G. L.; MUSTARD, J.F.; MELILLO, J.; GENDRIN, A.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v.112, n.2, p.576-587, 2008.

GANDOLFI, V. H.; MÜLLER, L. Fisiologia: fotoperiodismo. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A Soja no Brasil**. Campinas, SP: ITAL, 1981, p. 129-145.

GAO, B. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n.1-2, p.195-213. 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).

Produção agrícola municipal - Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: <20/out/2010>).

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto**

PRODES – monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite.

Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: <11/jan/2011>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Laboratório de

Agricultura e Floresta do INPE (INPE.LAF). **Classificação dos dados da**

moratória da soja. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/soja/class.php>>.

Acesso em: <15/jan/2011>. Acesso restrito.

JACKSON, R. D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v.11, n.3-4, p.185-200. 1991.

JENSEN, J. R. Multispectral Remote Sensing Systems. In: _____. **Remote sensing of the environment, an earth resource perspective**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, Second Edition, 2007. cap. 7, p. 193-248.

JIANG, Z.; HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 10, p.3833-3845, 2008.

KIIHL, R. A. S.; CALVO, E. S. A soja no Brasil: mais de 100 anos de história, quatro décadas de sucesso. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. **Agricultura tropical**. Brasília, DF: EMBRAPA, v. 1, 2008, cap. 5, p. 199-218.

LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O. Produtos para Ecossistemas Terrestres - MODLAND. In: Rudorff, B. F. T. et al. **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: Ed. Parêntese, 2007, p. 23-35.

MORAN, M. S.; INOUE, Y.; BARNES, E. M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, n. 3, p. 319-346, 1997.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; ARAI, E.; ESPIRITO-SANTO, F. del B.; FREITAS, R.; MORISETTE, J. Cropland expansions changes dynamics in the southern Brazilian Amazon. **PNAS**, v. 103, p.14637-14641, 2006.

MÜLLER, L. Taxonomia e morfologia: morfologia, anatomia e desenvolvimento. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas, SP: ITAL, 1981. p.73-108.

_____. Fisiologia: fotossíntese. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas, SP: ITAL, 1981b, p.109-129.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **MODIS Web** – design concept.. Disponível em:
<<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>>. Acesso em: <10/jan/2011>.

NEPSTAD, D. C.; STICKLER, C. M.; ALMEIDA, O. T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. **Conservation Biology**, v. 20, n. 6, p. 1595-1603, 2006.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B; OYA, T. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATO, E.R. **Estresses em soja**. Passo Fundo, RS: EMBRAPA-CNPT, 2000. p. 19-44.

PINTER, JR., P.J., J.L. HATFIELD, J.S. SCHEPERS, E.M. BARNES, M.S. MORAN, C.S.T. Daughtry, and D.R. Upchurch, 2003. Remote sensing for crop management. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 69, n. 6, p.647–664, 2003.

RIZZI, R.; RISSO, J; EPIPHANIO, R. D. V.; RUDORFF, B. F. T.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; FERNANDES, S. L. Estimativa da área de soja no Mato Grosso por meio de imagens MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal, RN. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5603-5610. CD-ROM.

ROUSE Jr., J. W., R. H. HASS, J. A. SCHELL e D. W. DEERING. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM. 3., 1973. Washington. **Proceedings...**Washington: NASA: 309-317 p. 1973.

RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; AGUIAR, D. A.; MOREIRA, M. A.; MELLO, M. P.; FABRINI, L.; AMARAL, D. F.; PIRES, B. M. The soy moratorium in the Amazon Biome monitored by remote sensing images. **Remote Sensing**, v. 3, p. 185-202, 2011.

SAKAMOTO, T., M. YOKOZAWA, H. TORITANI, M. SHIBAYAMA, N. ISHITSUKA e H. OHNO. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.96, p.366-374. 2005.

SHIMABUKURO, E.; BATISTA, G.T.; MELLO, E.M.K.; MOREIRA, J.C.; DUARTE, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon Region. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, p.535–541, 1998.

SOARES, J. V.; BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Histórico e Descrição. In: Rudorff, B. F. T. et al. **O Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: Ed. Parêntese, 2007, p. 3-21.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, Land Processes Distributed Active Archive Center (USGS LP DAAC). **MODIS products table**. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table>. Acesso em: <10/jan/2011>.

VERMOTE, E. F.; KOTCHENOVA, S. Y.; RAY, J. P. **MODIS surface reflectance user's guide**. 2008. Disponível em: <http://modis-sr.ltdri.org/products/MOD09_UserGuide_v1_2.pdf>. Acesso em: <10/jan/2011>.

XAVIER, A. C.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; BERKA, L. M. S. MOREIRA, M. A. Multi-temporal analysis of MODIS data to classify sugarcane crop. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 4, p. 755-768, 2006.

XIAO, X.; BOLES, S.; LIU, J.; ZHUANG, D.; FROLKING, S.; LI, C.; SALAS, W.; MOORE III, B. Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images. **Remote Sensing of Environment**, v. 95, n. 4, p. 480-492, 2005.

XUE, L.; YANG, L. Deriving leaf chlorophyll content of green-leafy vegetables from hyperspectral reflectance. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 1, p. 97-106, 2009.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L.; KASTENS, J. H. Analysis of Time-Series MODIS 250-m Vegetation Index Data for Crop Classification in the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, n. 3, p. 290-310, 2007.

WARDLOW, B. D.; EGBERT, S. L. Large-area crop mapping using time series MODIS 250 m NDVI data: an assessment for the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 3, p. 1096-1116, 2008.

WE FEED THE WORLD. Direção: Erwin Wagenhofen. Austria: Allegro Film, 2005.

ZHANG, X.; FRIEDL, M. A.; SCHAAF, C. B.; STRAHLER, A. H.; HODGES, J. C. F.; GAO, F.; REED, B. C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, n. 3, p. 471-475, 2003.