

RAFAEL COLL DELGADO

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS LAVOURAS  
NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

D352a  
2010

Delgado, Rafael Coll, 1978-

Análise da evolução espaço-temporal das lavouras no estado de Minas Gerais / Rafael Coll Delgado. – Viçosa, MG, 2010.

xviii, 132 f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 111-117

1. Meteorologia agrícola. 2. Sensoriamento remoto.  
3. Café - Minas Gerais. I. Universidade Federal de Viçosa.  
II. Título.

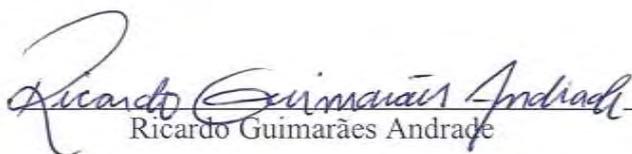
CDD 22. ed. 630.2515

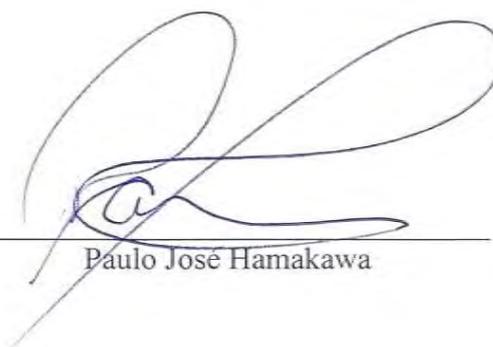
RAFAEL COLL DELGADO

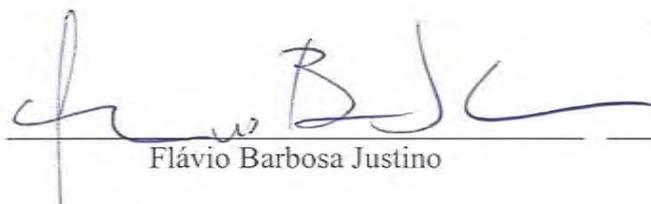
**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DAS LAVOURAS  
NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

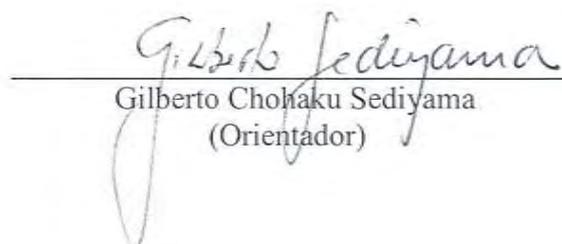
APROVADA: 29 de novembro de 2010.

  
Ricardo Guimarães Andrade

  
Paulo José Hamakawa

  
Flávio Barbosa Justino

  
Vicente Paulo Soares  
(Coorientador)

  
Gilberto Chohaku Sedyama  
(Orientador)

À minha esposa, Clênia.

Ao meu filho, Mateus.

Aos meus pais, Paulo Roberto (*in memoriam*) e Ana Maria.

Aos meus irmãos.

Aos meus amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que está sobre todas as coisas.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade e pelos ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À minha família, principalmente minha mãe, pelo amor e pelo apoio e estímulo constantes.

Ao professor Gilberto C. Sedyama, pela valiosa orientação e pela amizade.

Aos professores Vicente Paulo Soares, Marcos Heil Costa, pelas sugestões e pelos ensinamentos.

Aos demais professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola.

A Evaldo, Ricardo, Vinícius, Mariana, Thomé, Evandro, André e demais colegas, pela ajuda e pela convivência amigável.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

RAFAEL COLL DELGADO, filho de Paulo Roberto da Silva Delgado e Ana Maria Coll Delgado, nasceu em 22 de maio de 1978, na cidade de Pelotas, RS.

Em 2001, iniciou o curso de Meteorologia na Universidade Federal de Pelotas, graduando-se em agosto de 2005.

No mesmo mês e ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em nível de Mestrado, com área de concentração em Agrometeorologia, em Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2007.

Em agosto de 2007, iniciou o nível de Doutorado na mesma área e instituição, submetendo-se à defesa de tese em novembro de 2010.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xii
RESUMO .....	xv
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	5
2.1. Objetivo geral.....	5
2.2. Objetivos específicos .....	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
3.1. A cultura do café .....	7
3.2. A cultura da cana-de-açúcar.....	9
3.3. A cultura do feijão.....	10
3.4. A cultura do milho .....	12
3.5. A cultura da soja.....	13
3.6. Sensoriamento remoto.....	15
3.6.1. Comportamento espectral dos alvos .....	16

3.6.2. Sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat-5 .....	18
3.6.3. Árvore de decisão .....	19
3.6.4. Algoritmo de poda .....	22
3.6.5. Uso de árvore de decisão em sensores remotos.....	23
3.7. Técnicas de geoprocessamento e sistemas de informações geográficas.....	26
3.8. Classificação climática para o Estado de Minas Gerais segundo o indicador climático de Thorthwaite e Mather (1955) .....	27
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	30
4.1. Localização da área de estudo.....	30
4.2. Base de dados para classificação espectral por intermédio da árvore de decisão.....	30
4.3. Algoritmo árvore de decisão .....	35
4.4. Análises estatísticas.....	38
4.5. Espacialização dos dados .....	39
4.6. Zoneamento edafoclimático do café arábica para Minas Gerais associado ao potencial produtivo .....	40
4.7. Índice de substituição das culturas agrícolas .....	42
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1. Classificação espectral por árvore de decisão.....	46
5.2. NDVI e a influência climática na classificação espectral das áreas plantadas em Minas Gerais .....	68
5.3. Análise da influência do clima, relevo e solo na alteração da área plantada do café arábica no estado de Minas Gerais .....	74
5.4. Potencial produtivo da cultura do café no estado de Minas Gerais .....	80
5.5. Mudança na composição agrícola e alteração de área plantada no estado de Minas Gerais no período de 1990 a 2008 .....	84
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	108
REFERÊNCIAS.....	111
APÊNDICE.....	118

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características orbitais do satélite Landsat-5 .....	18
Tabela 2 - Aplicações das bandas do sensor TM.....	20
Tabela 3 - Descrição das bandas do sensor TM, apresentando os coeficientes de calibração ( $L_{\min}$ e $L_{\max}$ ) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera, no período 1.º de março de 1984 a 4 de maio de 2003 e após 4 de maio de 2003.....	37
Tabela 4 - Áreas aptas, inaptas e restritas para a cultura do café .....	43
Tabela 5 - Raiz do erro quadrático médio (REQM), erro absoluto médio (EAM) e o viés médio (VM), área total plantada segundo IBGE e árvore de decisão (AD).....	67
Tabela 6 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Campo das Vertentes, durante o período de 1990 a 2008 .....	85
Tabela 7 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Central Mineira, durante o período de 1990 a 2008 .....	86
Tabela 8 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Jequitinhonha, durante o período de 1990 a 2008 .....	87
Tabela 9 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, durante o período de 1990 a 2008.....	88
Tabela 10 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Noroeste de Minas, durante o período de 1990 a 2008 .....	89
Tabela 11 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Norte de Minas, durante o período de 1990 a 2008.....	90

Tabela 12 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Oeste de Minas, durante o período de 1990 a 2008.....	91
Tabela 13 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Sul/Sudoeste de Minas, durante o período de 1990 a 2008.....	92
Tabela 14 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, durante o período de 1990 a 2008.....	93
Tabela 15 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Vale do Mucuri, durante o período de 1990 a 2008.....	94
Tabela 16 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Vale do Rio Doce, durante o período de 1990 a 2008.....	95
Tabela 17 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Zona da Mata, durante o período de 1990 a 2008.....	96
Tabela 1A - Órbita, ponto, dia da passagem do satélite Landsat-5 e o censo agrícola nas respectivas mesorregiões de Minas Gerais para o ano de 1990.....	107
Tabela 2A - Órbita, ponto, dia da passagem do satélite Landsat-5 e o censo agrícola nas respectivas mesorregiões de Minas Gerais para o ano de 1995.....	110
Tabela 3A - Órbita, ponto, dia da passagem do satélite Landsat-5 e o censo agrícola nas respectivas mesorregiões de Minas Gerais para o ano de 2000.....	113
Tabela 4A - Órbita, ponto, dia da passagem do satélite Landsat-5 e o censo agrícola nas respectivas mesorregiões de Minas Gerais para o ano de 2005.....	116
Tabela 5A - Estações com dados pluviométricos, temperatura, umidade relativa do ar e o período estudado de cada estação climatológica.....	118

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área plantada com café na safra 2010. ....	8
Figura 2 - Área plantada com cana-de-açúcar nas safras 2009/10 e 2010/11.....	10
Figura 3 - Área plantada com feijão nas safras 2008/2009 e 2009/2010.....	12
Figura 4 - Área plantada com feijão nas safras 2008/2009 e 2009/2010.....	13
Figura 5 - Área plantada com soja nas safras 2008/2009 e 2009/2010. ....	15
Figura 6 - Propriedades radiométricas dos objetos: absortância (A), refletância (R) e transmitância (T). ....	17
Figura 7 - Zoneamento climático com base no índice de umidade de Thornthwaite e Mather para o Estado de Minas Gerais. ....	28
Figura 8 - Mosaico de imagem do sensor TM com a composição RGB (1, 2 e 3) e a localização geográfica da área de estudo. ....	31
Figura 9 - Modelo digital de elevação (MDE) para o Estado de Minas Gerais.....	32
Figura 10 - Distribuição geográfica das estações climatológicas utilizadas neste trabalho. ....	33
Figura 11 - Distribuição geográfica dos municípios em que foi utilizada a análise de regressão múltipla para o mapeamento dos campos homogêneos de temperatura do ar a partir das estações convencionais do INMET.....	34
Figura 12 - Classificação de solo para Minas Gerais.....	35
Figura 13 - Fluxograma do sistema de processamento das imagens do sensor TM e a classificação de área por árvore de decisão. ....	38

Figura 14 - Fluxograma das etapas necessárias à obtenção do mapa de regionalização edafoclimática e altimétrica do cafeeiro para o Estado de Minas Gerais .....	42
Figura 15 - Mapa de uso e ocupação do solo pelas culturas café (a), cana-de-açúcar (b), milho (c), soja (d) e feijão (e) para o ano de 1990.....	49
Figura 16 - Mapa temático resultante da classificação das culturas para o ano de 1990. ....	50
Figura 17 - Mapa de uso e ocupação do solo pelas culturas café (a), cana-de-açúcar (b), milho (c), soja (d) e feijão (e) para o ano de 1995.....	53
Figura 18 - Mapa temático da classificação das culturas para o ano de 1995.....	54
Figura 19 - Mapa de uso e ocupação do solo pelas culturas café (a), cana-de-açúcar (b), milho (c), soja (d) e feijão (e) para o ano de 2000.....	57
Figura 20 - Mapa temático da classificação das culturas para o ano de 2000. ....	58
Figura 21 - Mapa de uso e ocupação do solo pelas culturas café (a), cana-de-açúcar (b), milho (c), soja (d) e feijão (e) para o ano de 2005.....	61
Figura 22 - Mapa temático da classificação das culturas para o ano de 2005.....	62
Figura 23 - Regras para a classificação dos dados na árvore de decisão.....	63
Figura 24 - Regressão linear entre as áreas (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão) medida (IBGE) e estimada por árvore de decisão (AD) para os anos 1990 (a), 1995 (b), 2000 (c) e 2005 (d).....	66
Figura 25 - Valores de NDVI mínimo, máximo e médios obtidos de imagens do sensor TM do Landsat-5, para as mesorregiões em determinadas datas dos anos de 1990 (a), 1995 (b), 2000 (c) e 2005 (d).....	70
Figura 26 - Valores de área plantada (AD) subtraídos dos valores observados (IBGE) versus precipitação para as culturas (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão), para as mesorregiões em determinadas datas dos anos de 1990 (a), 1995 (b), 2000 (c) e 2005 (d).....	73
Figura 27 - Mapa representado como campo contínuo de temperatura média anual (°C) para o Estado de Minas Gerais. ....	76
Figura 28 - Mapa representado como campo contínuo de deficiência hídrica total anual (mm) para o Estado de Minas Gerais.....	76
Figura 29 - Mapa representado como campo contínuo a precipitação anual (mm) para o Estado de Minas Gerais. ....	77
Figura 30 - Zoneamento climático das faixas (0 e 1) do café arábica para o Estado de Minas Gerais. ....	78

Figura 31 - Zoneamento climático das faixas (2 a 8) do café arábica para o Estado de Minas Gerais .....	79
Figura 32 - Zoneamento climático da aptidão ao cultivo do café arábica para o Estado de Minas Gerais. ....	80
Figura 33 - Produtividade de café (kg ha <sup>-1</sup> ) no Estado de Minas Gerais.....	81
Figura 34 - Produtividades da cultura do café (kg ha <sup>-1</sup> ) no Estado de Minas Gerais, separadas por regiões, segundo o zoneamento climático. ....	83
Figura 35 - Efeito substituição para as culturas café (a), cana-de-açúcar (b), milho (c), soja (d) e feijão (e) para o estado de Minas Gerais.....	107

## LISTA DE SÍMBOLOS

- AAE – Amostragem Aleatória Estratificada.
- AAS – Amostragem Aleatória Simples.
- AD – Árvore de Decisão.
- AH1 – Média de Acumulação Hídrica.
- AH2 – Mediana de Acumulação Hídrica.
- ANA – Agência Nacional de Águas.
- ASTER – *Advanced Spacebone Thermal Emission and Reflection Radiometer.*
- AVHRR – *Advanced Very High Resolution Radiometer.*
- CAD – Capacidade de Água Disponível (mm).
- CCRS – *Canada Centre for Remote Sensing.*
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento.
- CP – Componentes Principais.
- $D_{ha}$  – Deficiência hídrica anual (mm).
- DJ – Dia Juliano.
- $d_r$  – Distância relativa terra-sol (em unidade astronômica – UA).
- EAM – Erro Absoluto Médio (ha).
- ENVI – *Environment for Visualizing Images.*
- EOSAT – *Earth Observation Satellite Company.*
- ETM+ – *Enhanced Thematic Mapper*, Mapeador Temático Ajustado.
- EVI – *Enhanced Vegetation Index*, Índice de Vegetação Melhorado (adimensional).
- $E_{\lambda_i}$  – Irradiância solar espectral no topo da atmosfera ( $Wm^{-2} \cdot \mu m^{-1}$ ).

GEOMINAS – Programa Integrado de Uso da Tecnologia de Geoprocessamento pelos Órgãos do Estado de Minas Gerais.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IS – Índice de Substituição (%).

$L_{\max}$  e  $L_{\min}$  – Radiância espectrais máximas e mínimas ( $\text{Wm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ).

$L_{\lambda}$  – Radiância espectral.

MaxVer – Máxima Verossimilhança.

MDE – Modelo Digital de Elevação.

MDT – Modelo Digital do Terreno.

MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*.

N – Número de dados analisados.

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*.

ND – Número Digital.

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (adimensional).

NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*.

O – Valor médio observado (ha).

$O_i$  – Valor observado (ha).

$P_i$  – Valor estimado (ha).

$r^2$  – Coeficiente de determinação.

REM – Radiação Eletromagnética.

REQM – Raiz do Erro Quadrático Médio (ha).

SAVI – *Soil Adjusted Vegetation Index* (índice de vegetação ajustado para os efeitos do solo – adimensional);

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

Sol<sup>1</sup> – Apta.

Sol<sup>2</sup> – Restrita.

Sol<sup>3</sup> – Inapta.

SR – Sensoriamento Remoto.

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*.

TM – *Thematic Mapper*, Mapeador Temático.

$T_{\text{ma}}$  – Temperatura média anual (°C).

TOA – Refletância no Topo da Atmosfera.

$T_s$  – Temperatura da Superfície (K).

USGS – *United States Geological Survey*.

VM – Viés Médio (ha).

WEKA – *Waikato Environment for Knowledge Analysis*.

$\theta_z$  – Ângulo Zenital.

$\rho_{IV}$  – Refletividade do infravermelho próximo.

$\rho_V$  – Refletividade do vermelho;

$\rho_{\lambda_i}$  - Refletância monocromática.

## RESUMO

DELGADO, Rafael Coll, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2010.  
**Análise da evolução espaço-temporal das lavouras no Estado de Minas Gerais.**  
Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama. Coorientadores: Marcos Heil Costa e Vicente Paulo Soares.

Neste trabalho realizou-se a classificação espectral das áreas plantadas (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão) por meio do classificador árvore de decisão (AD), analisou-se a influência do clima, solo e relevo para o café arábica e a mudança na composição agrícola por intermédio do índice de substituição das culturas (IS). Para classificação espectral das áreas plantadas, empregou-se o algoritmo (AD) e produtos do sensor TM, a bordo do satélite Landsat-5. No zoneamento climático atualizado do café arábica, utilizaram-se dados climáticos de 1941 a 2009. Para a análise da mudança na composição agrícola, utilizaram-se dados de censo de 1990 a 2008, fornecidos pelo IBGE. A classificação espectral por meio do algoritmo AD, mostrou que as imagens de sensoriamento remoto obtida pelo satélite Landsat-5, em quatro diferentes anos e específicas épocas, permitem mapear as áreas ocupadas com as culturas (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão) para o estado de Minas Gerais. Os valores das áreas plantadas, estimadas pelo algoritmo AD, apresentaram boa correlação com os valores observados pelo IBGE, porém houve uma tendência de superestimativa. Ao comparar as áreas plantadas estimadas via AD com o IBGE, verificou-se coerência nos resultados encontrados, com respaldo na literatura. A atualização dos dados para o zoneamento

climático do café arábica mostrou-se eficiente na delimitação das regiões climaticamente homogêneas, quanto à capacidade produtiva da cultura do café no estado de Minas Gerais. As metodologias para a obtenção do banco de dados atualizado e processamento para a formação da aptidão climática, produtividade e aptidão geral mostraram-se tecnicamente aceitáveis em relação a zoneamentos já realizados no estado de Minas Gerais. Verificou-se que as culturas que mais se destacaram em termos de expansão de área foram cana-de-açúcar, café, soja e feijão, indicando que o estado de Minas Gerais apresentou dinamismo econômico importante e relativamente homogêneo, não dependendo exclusivamente do desempenho de um único produto. Recomenda-se assim que ocorra a difusão das metodologias e técnicas desenvolvidas para o monitoramento de áreas plantadas no estado de Minas Gerais.

## ABSTRACT

DELGADO, Rafael Coll, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2010.  
**Time-space evolution analysis of Minas Gerais crops.** Adviser: Gilberto Chohaku Sedyama. Co-advisers: Marcos Heil Costa and Vicente Paulo Soares.

This work aimed to carry out the spectral classification of planted areas (coffee, sugarcane, corn, soybean and dry bean crops) by means of the decision tree classifier (DT), to analyze influence of the climate, soil and terrain relief on *Coffea arabica* plantations and change in the agricultural composition by means of the crops substitution index (SI). For the spectral classification of the planted areas, the algorithm (DT) and products of the TM sensor, aboard of the Landsat-5 satellite, were used. For an updated climatic zoning of *Coffea arabica* plantations, 1941-2009 climatic data sets were used. To analyze agricultural composition change, 1990-2008 census data, provided by the IBGE, were also used. Spectral classification by means of DT algorithm showed that the remote sensing image obtained by the Landsat-5 satellite, in four different years and specific times, allowed to map the areas occupied by the crops (coffee, sugarcane, corn, soybean, and dry bean) in the state of Minas Gerais. The planted areas, estimated by DT algorithm, presented a good correlation with the values observed by the IBGE, but there was a tendency to overestimate. When comparing the planted areas estimated via DT algorithm with those observed IBGE data coherence was verified in the results found and also supported by the literature. The *Coffea arabica* climatic zoning update was found to be very efficient in delimiting the climatically homogenous regions, for the potential coffee yield in the state of Minas Gerais. The

methodologies to obtain an updated data set and processing of climatic zoning for *Coffea arabica* productivity and its suitability were shown to be technically acceptable compared to the zonings previously carried out in the state of Minas Gerais. The most outstanding crops in terms of area expansion were found to be sugarcane, coffee, soybean and dry bean, indicating that the state of Minas Gerais presented an important economic and relatively homogenous dynamism, not dependent exclusively on the performance of a single product. Thus, dissemination of the methodologies and technologies developed is recommended in order to monitor planted areas in the state of Minas Gerais.

## 1. INTRODUÇÃO

O levantamento da área agrícola é uma informação fundamental no planejamento agrícola e no planejamento do território como um todo, seja na questão econômica, agrária, ambiental, ou social. A extensão da área agrícola, além de ser uma componente no cálculo da produção agrícola do território, é uma variável no cálculo de impostos, por exemplo.

No Brasil, as estimativas oficiais de produtividade agrícola e área plantada são realizadas predominantemente de forma subjetiva, por meio de entrevistas aplicadas aos produtores, informações sobre a venda de insumos, análise de safras passadas, observação das condições meteorológicas, entre outros, o que não permite uma análise apurada dos erros envolvidos e dá margem a especulações (RIZZI et al., 2007).

A amostragem tem sido a maneira mais utilizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) para a estimativa nacional de área agrícola, sendo a forma não-probabilística a mais utilizada. Contudo, a abordagem amostral probabilística pode ser uma alternativa para tais estimativas, pois oferece possibilidade de quantificação de erros e variâncias associadas, além de atender à crescente demanda por resultados menos subjetivos (EPIPHANIO et al., 2002; ADAMI et al., 2004). Neste sentido, o uso do sensoriamento remoto (SR) e o sistema de informação geográfica (SIG) permitem a aplicação de técnicas probabilísticas, amostrais e de mapeamento, e pode oferecer maior operacionalidade e menor custo de execução para as estimativas de área (GONZÁLEZ-

ALONSO et al., 1991; FOOD AGRICULTURE AND ORGANIZATION – FAO, 1996).

As estimativas de áreas agrícolas, por amostragem probabilística, podem ser realizadas indiscriminadamente para toda a população (Amostragem Aleatória Simples – AAS) ou de forma separada em subpopulações, que possuem características comuns entre si (Amostragem Aleatória Estratificada – AAE) (FAO, 1996; LUIZ, 2003). A AAE tem o propósito de redução da variância da estimativa e, portanto, melhorar a estimativa como um todo (FAO, 1996). Também, Cochran (1977) justifica as AAE porque as estimativas geralmente cobrem uma população grande e, portanto, o conjunto de amostras pode não tender ao requisito de ser normalmente distribuída. Além desses pressupostos estatísticos, a AAE também pode contribuir na otimização de recursos humanos, econômicos e de logística, aja vista que a verificação da amostragem é dirigida em sub-populações.

Segundo Luiz (2003), pode haver duas possibilidades de estratificação no cenário brasileiro, para estimativas de área agrícola: uma dentro do município e outra entre os municípios. A primeira é essencialmente do tipo espacial e varia de acordo com o aspecto da paisagem; a segunda varia segundo o histórico da área agrícola municipal. No que concerne à estratificação, baseada na paisagem, é reconhecido o potencial que as imagens de SR têm para a detecção de áreas com maior probabilidade de ocorrência de culturas agrícolas (FAO, 1996) e, também, com em relação à aplicação de técnicas probabilísticas, amostrais, e de mapeamento (GONZÁLEZ-ALONSO et al., 1991). No entanto, dependendo da paisagem, estratificações espaciais, em pequenas áreas, podem apresentar-se, com padrão fragmentado, dificultando o desempenho da AAE (TSILIGIRIDES, 1998).

Existem diferentes técnicas de reconhecimento de padrões no SIG e SR, que podem auxiliar na identificação de áreas, com maior probabilidade de ocorrência e auxiliar em estratificações espaciais. O uso de multi-atributos, também, pode ser uma alternativa quando não se dispõe de um adequado número de imagens de SR, ou quando não é possível obter imagens do período de desenvolvimento vegetativo da cultura agrícola em questão quando há cobertura de nuvens. Para o tratamento e processamento de multi-atributos, são aconselháveis técnicas de mineração de dados.

Sob o ponto de vista fisiológico, cada cultura necessita que as condições climáticas sejam favoráveis durante todo o ciclo vegetativo, isto é, exige determinadas temperaturas nas várias fases deste ciclo, assim como adequadas quantidades de água,

ou de um período seco nas fases de maturação e colheita. O atendimento ou não destas exigências faz com que uma região seja considerada, em princípio, apta ou inapta para determinada cultura.

O crescimento de plantas depende da sua constituição genética e das condições do meio ambiente. Monteith, em 1958, já afirmava que a agricultura é a exploração racional das condições de clima, especialmente da radiação solar associada com o suprimento de água e nutrientes para manter o crescimento dessas plantas. Portanto, para um desenvolvimento racional da agricultura é necessário a escolha do local de produção para uma dada cultura ou a escolha da cultura para um dado local. Isto é, devem ser escolhidas as culturas que melhor se adaptem às condições ecológicas do meio físico, ou conhecer a aptidão agrícola da região para as principais culturas.

Sob esse ponto de vista, a regionalização edafoclimática das culturas agrícolas é de extrema importância, tanto na implantação quanto no planejamento de atividades agrícolas, porque a delimitação das regiões edafoclimaticamente homogêneas significa, não só estabelecer os indicadores do potencial do meio físico e biológico para a região em estudo, mas também delimitar e registrar as áreas de padrões homogêneos de atividades agrícolas e dos recursos naturais nela existentes.

A delimitação ou a regionalização de culturas agrícolas em diferentes áreas climaticamente homogêneas deve ser constantemente atualizada visando obter maiores informações sobre as condições climáticas das culturas e, sobretudo, proporcionar maior retorno dos investimentos a médio e longo prazos para os produtores. Há necessidade, portanto, de estabelecer limites agroclimáticos para o atendimento à adaptabilidade de novas variedades, bem como a utilização de novas metodologias no delineamento dos limites climáticos, para atendimento de novas condições de produção e financiamento (SEDIYAMA et al., 2001).

A regionalização agrícola permite, a partir do conhecimento das variabilidades climáticas locais (como por exemplo: precipitação e evapotranspiração), definir regiões de aptidão climática e épocas mais adequadas de semeadura como forma de diminuir os efeitos causados pela adversidade climática (TEIXEIRA; AZEVEDO, 1996; ZULLO JÚNIOR et al., 1999; SILVA; AZEVEDO, 2000). É um instrumento valioso, porque permite aos órgãos de planejamento definir as políticas e programas de atividades agrícolas.

A proposta de um estudo agroclimático georreferenciado, com a desagregação e refinamento de dados de clima, no tempo e no espaço, e a sua transformação em

informação por meio de modelos matemáticos que consideram as condições edafoclimáticas e a evolução da produção no espaço e no tempo, fornecem mais uma gama de subsídios aos formuladores de política pública, na esfera regional, estadual ou mesmo federal, e também aos tomadores de decisão no âmbito privado.

O georreferenciamento da evolução da agricultura, no tempo e no espaço, possibilita sustentar, com maior segurança, a assistência técnica e extensão rural, os programas de pesquisas agrícolas, a instalação de agroindústrias, abertura de novas áreas para ampliação da fronteira agrícola e, principalmente, servirá como base científica para operações incluindo crédito rural e seguro agrícola. Possibilita, ainda, verificar a sustentabilidade da produção em diferentes zonas climáticas.

A utilização do georreferenciamento das áreas agrícolas do Estado de Minas Gerais, para o estudo da evolução espaço-temporal da agricultura, pode ser muito eficiente, produzindo resultados de grande utilidade e de boa qualidade. Dessa forma a utilização de um sistema de informações geográficas (SIG) para elaboração de mapas temáticos de regionalização edafoclimática das principais culturas agrícolas no Estado de Minas Gerais pode se revelar de grande utilidade, uma vez que se podem executar procedimentos diversos a partir de dados básicos e gerar informações georreferenciadas na definição de áreas propícias ao cultivo de determinadas culturas e a sua evolução espaço-temporal (ASSAD et al., 1998).

A técnica de sensoriamento remoto aplicada à agricultura é também uma ferramenta que oferece grandes vantagens, conforme destaca Bastiaanssen et al. (2000), na obtenção de informações que possibilitam a geração de séries temporais representados em mapas temáticos da região em estudo, facilitando a comparação entre elas, isto é, como uma cultura ocupa novas áreas em expansão ou são substituídas por outras, caso ela esteja ganhando em competitividade.

De acordo com Chuvieco (1996), a identificação das áreas agrícolas nas imagens de sensoriamento remoto permite quantificar a área e fornecer estimativas precisas da área plantada em determinada região. Exemplos recentes do uso de imagens de satélites integradas a um SIG são os trabalhos de mapeamento e estimativa da área de soja no Estado do Rio Grande do Sul (RIZZI; RUDORFF, 2005) e de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (RUDORFF et al., 2005).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Considerando a importância da agricultura na economia mineira, este estudo teve como objetivos principais avaliar a adequação do algoritmo classificador árvore de decisão na discriminação e mapeamento do uso do solo de diferentes culturas por meio de imagens do satélite Landsat-5, analisar a evolução temporal das lavouras no espaço geográfico do Estado de Minas Gerais e avaliar a sustentabilidade da produção em diferentes zonas edafoclimáticas homogêneas do Estado.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Analisar as principais mudanças ocorridas na distribuição da área plantada na região de estudo, por meio da técnica árvore de decisão para a classificação do uso do solo, com ênfase em culturas agrícolas;
- Estudar as mudanças na paisagem promovidas pela expansão da cultura da soja, cana-de-açúcar, café, milho e feijão, por meio da técnica árvore de decisão, das variáveis climáticas e do NDVI;
- Elaborar cartas climáticas básicas para delimitação de áreas edafoclimáticas homogêneas, incluindo os limites municipais, para as regiões do Estado de Minas Gerais.

- Definir as áreas aptas ao cultivo do café arábica, considerando o tipo de solo, altimétricas, condições climáticas e a característica da cultura;
- Estudar as mudanças na paisagem agrícola no Estado de Minas Gerais, pela análise da decomposição da variação da área plantada no efeito escala e no efeito substituição de diferentes culturas.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. A cultura do café**

A cafeicultura é uma atividade de grande importância para o cenário internacional e contribui, em larga escala, para a geração de emprego e de divisas no país. Os Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Paraná são os maiores produtores de café no Brasil; o Espírito Santo é o maior produtor de café conilon, e Minas Gerais, de café arábica.

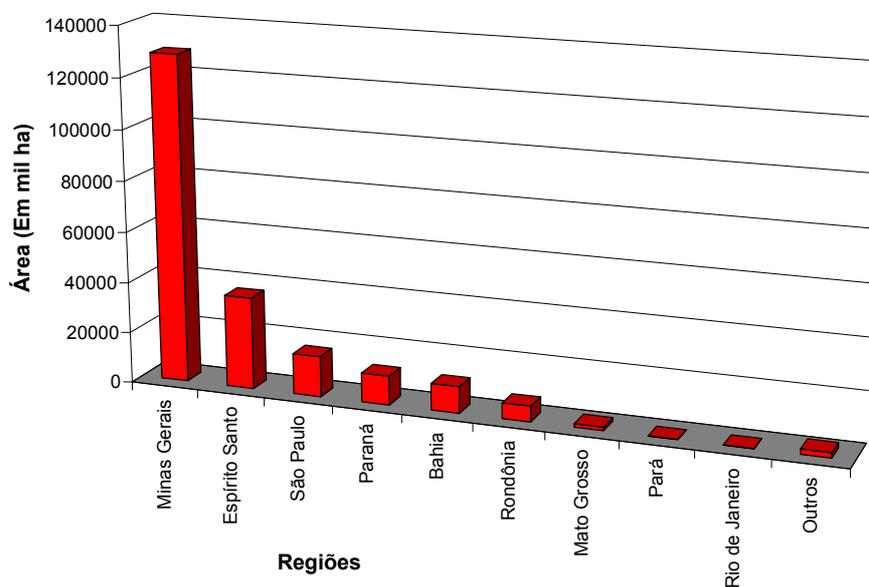
Em Minas Gerais, Estado que abrange um território de 586.528 km<sup>2</sup> de área, a cafeicultura cresceu, principalmente depois da década de 1970, quando intempéries climáticas prejudicaram as lavouras paulista e paranaense, direcionando ainda mais a produção de café para este estado. Atualmente, a cafeicultura é o principal produto da agropecuária mineira, tendo grande importância no cenário econômico, político e social do Estado, sendo grande geradora de empregos diretos e indiretos, fixando o homem ao campo e evitando o êxodo rural (SOUZA et al., 2009).

Segundo a Conab (CONAB, 2009), a área total cultivada com café (arábica e conilon) está estimada em 2.350.779 hectares, 0,5% inferior à safra passada, o que corresponde a uma redução de 11.903 hectares. Desse total, 9,7% (228,2 mil hectares) estão em formação e 90,3% (2.122,6 mil hectares) estão em produção.

A área total ocupada com a cultura de café totaliza 2.359.124 ha. A área destinada à colheita em 2010 é de 2.142.346 ha, ligeiramente inferior à estimativa anterior, de 2.142.541 ha (IBGE, 2010).

O café, em início de colheita da safra 2010, tem sua produção nacional estimada em 2.745.893 t, ou 45,8 milhões de sacas de 60 kg do produto em grãos beneficiados, contra 40,5 milhões de sacas produzidas em 2009. O percentual de acréscimo da produção em relação a 2009 é de 12,9%. A área destinada à colheita é de 2.142.346 ha. A área total ocupada com a cultura no País decresce 0,3%, constatação verificada nos Estados de Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. O rendimento médio esperado é 1.282kg/ha, 12,5% maior que o obtido em 2009 (IBGE, 2010).

Segundo IBGE (2010), o acréscimo previsto na produção, em relação à safra colhida em 2009, é consequência, principalmente, da particularidade que apresenta o café arábica, espécie predominante no País (70%), de alternar anos de altas e baixas produtividades. O café conilon, por ser mais rústico e cultivado em regiões baixas e quentes, cada vez mais é plantado sob irrigação, o que faz com que esta característica, já quase ausente na espécie, passe despercebida. Na Figura 1 é apresentado por regiões, o comparativo das áreas plantadas com café na safra 2010.



Fonte: Conab (2010).

Figura 1 - Área plantada com café na safra 2010.

### **3.2. A cultura da cana-de-açúcar**

A demanda crescente nos mercados interno e externo por combustíveis renováveis, especialmente o álcool, atrai novos investimentos para a formação de novas áreas de cultivo da cana-de-açúcar para indústria. A maioria desses investimentos é nacional, formada de grupos com larga experiência no setor e que já possuem outras usinas no Brasil, o que confirma a tendência concentradora do setor canavieira.

Segundo a Conab (CONAB, 2010), a lavoura de cana-de-açúcar continua em expansão no Brasil. Os maiores índices de aumento de área são encontrados nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais. Nesses Estados além do aumento da área cultivada, novas usinas entraram em funcionamento nesta safra, ficando assim distribuídas: três em Minas Gerais, duas em São Paulo, duas em Goiás e nos Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Rio de Janeiro, uma cada.

A área de cana colhida destinada à atividade sucroalcooleira, na presente safra, está estimada em 8.091,5 mil hectares, distribuída em todos estados produtores. O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 54,35% (4.397,5 mil hectares) seguido pelos Estados de Minas Gerais com 8% (647,7 mil hectares), Paraná com 7,5% (607,9 mil hectares), Goiás com 7,4% (601,2 mil hectares), Alagoas com 5,74% (464,6 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 4,2% (339,7 mil hectares) e Pernambuco com 4,1% (334,2 mil hectares). Nos demais Estados produtores as áreas são menores, mas, com bons índices de produtividade (CONAB, 2010).

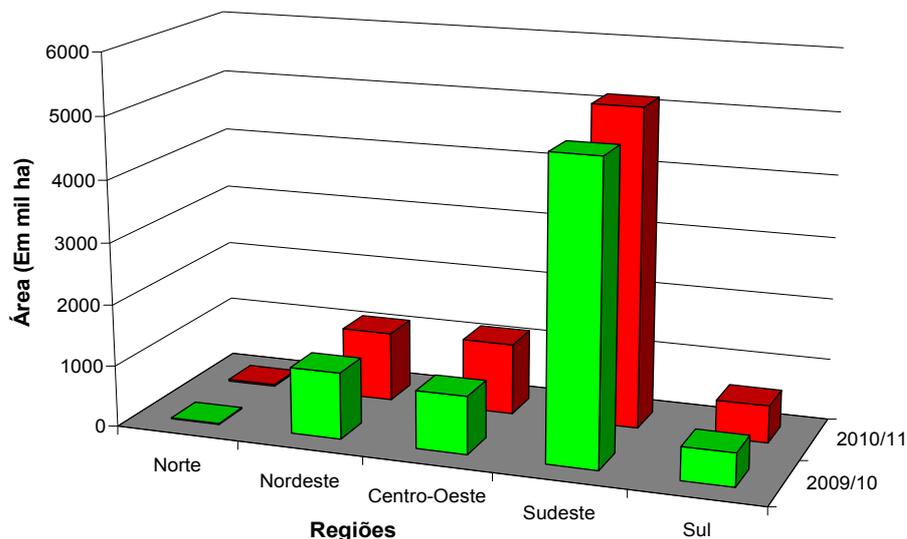
De acordo com Veiga Filho (2008), produtos derivados da cana-de-açúcar já são a segunda maior fonte de energia do Brasil. Segundo o autor, 16% do total de energia consumido no País são de produtos derivados da cana-de-açúcar, superando a energia hidráulica e ficando atrás somente do petróleo. O consumo do etanol é um dos principais responsáveis por esse crescimento, alavancado pelas vendas de veículos bicompostíveis, que passaram a ser vendidos no país a partir de março de 2003.

Para atender a demanda crescente de etanol é necessário aumentar a produção de cana-de-açúcar, tanto pelo aumento da área cultivada quanto pelo aumento da produtividade. Assim, a geração de informações sobre o setor sucroenergético, tais como o crescimento anual da área cultivada, é importante para as tomadas de decisões do setor e a consolidação do País na liderança da produção de biocombustíveis.

A safra 2010/11 traz perspectivas otimistas para o setor sucroalcooleiro no que diz respeito à comercialização dos seus produtos. O mercado para o açúcar continua

assegurado já que um dos principais exportadores, a Índia, ainda não recuperou a sua produção. Deste modo, com as exportações aquecidas, os preços do produto encontram sustentação em uma demanda mundial latente e um mercado ofertado, principalmente, pelo produto brasileiro que exporta cerca de 40% da sua produção. Quanto ao etanol, o Brasil seguirá buscando novos mercados pelo mundo dentro da filosofia de que é um combustível limpo e renovável. No entanto, o grande foco da produção brasileira continuará sendo o mercado doméstico. A frota brasileira de veículos flex-fuel conta com mais de 10 milhões de unidades em circulação, sendo que as vendas mensais destes veículos respondem por 90% do total comercializado (CONAB, 2010).

Na Figura 2 é apresentado por regiões, comparativo das áreas plantadas com cana-de-açúcar nas safras 2009/10 e 2010/11.



Fonte: Conab (2010).

Figura 2 - Área plantada com cana-de-açúcar nas safras 2009/10 e 2010/11.

### 3.3. A cultura do feijão

O cultivo do feijão tem grande importância econômica e social para o Brasil. O país é o maior produtor mundial do grão que é cultivado predominantemente nas pequenas propriedades rurais. Além disso, o feijão destaca-se como fonte alimentar,

pela presença de proteínas, carboidratos, vitaminas, minerais e fibras (ANTUNES; SILVEIRA, 2000).

Segundo a Conab (CONAB, 2010), a cultura do feijão vem enfrentando altos e baixos nos últimos anos. Na safra 2007/08, os preços altíssimos praticados levaram os produtores a aumentar a área de cultivo e por consequência a produção. Com o excesso do produto colocado no mercado, os preços despencaram levando junto a lucratividade dos produtores e o desestímulo chegou rapidamente.

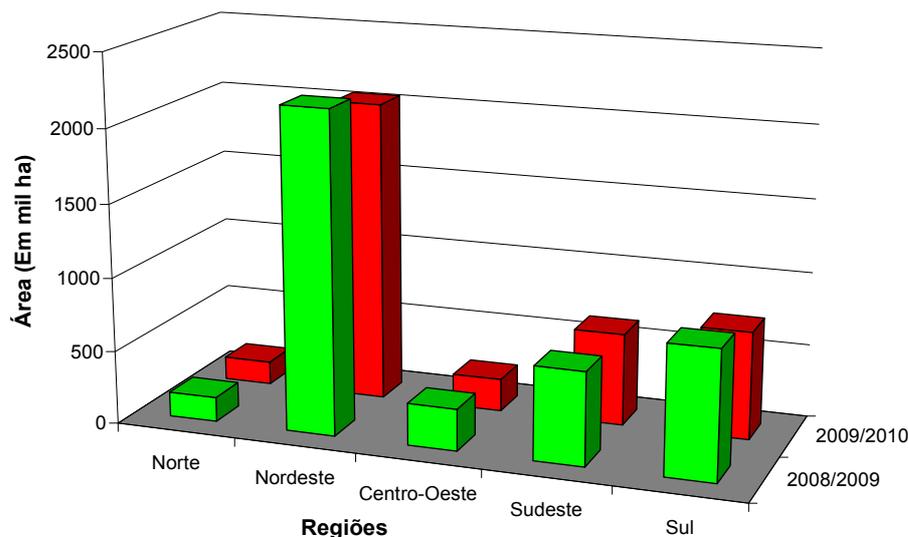
Os anos subsequentes foram de redução de plantio na maioria dos estados, somente a partir do mês de fevereiro de 2010 é que começou a reação do mercado e o preço do feijão subiu consideravelmente. A área cultivada com feijão primeira safra foi de 1.365,4 mil hectares, 3,0% menor do que a safra anterior. Com exceção do Estado de São Paulo, todos os demais Estados produtores apresentaram redução de área.

Minas Gerais, segundo maior produtor de feijão primeira safra (18,1% do volume total produzido na safra anterior), teve uma redução de 12,6% em relação à safra 2008/09. A escassez de chuvas e as altas temperaturas nas fases de floração e frutificação contribuíram para a redução na produtividade no Noroeste do Estado, região de maior produção de feijão. Em contrapartida, o excesso de chuvas no Sul de Minas Gerais, região Central e Zona da Mata, no período de colheita, comprometeu a qualidade do produto (CONAB, 2010).

Os principais Estados produtores do feijão segunda safra são: Paraná, com 23,79%; Minas Gerais, com 16,83%; Ceará, com 12,42% e Paraíba, com 5,39%. Estima-se uma área de plantio de 1,7 milhão de hectares, inferior à safra passada em 13,6%, com redução de 268,1 mil hectares. No Estado de Minas Gerais, estima-se redução de 2,6% na área plantada em relação a safra anterior (CONAB, 2010).

Para o feijão terceira safra, em razão do calendário de plantio e da metodologia aplicada nas estimativas, foi mantida a área da safra anterior e aplicada a produtividade média dos últimos cinco anos, descartando-se os anos atípicos e agregando-se um ganho tecnológico. A produção total do feijão, juntando-se as três safras previstas, está estimada em 3.838,1 mil hectares, 7,5% menor do que a safra anterior (CONAB, 2010).

Na Figura 3 é apresentado por regiões, o comparativo das áreas plantadas com feijão total (1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> safra) 2008/2009 e 2009/2010.



Fonte: Conab (2010).

Figura 3 - Área plantada com feijão nas safras 2008/2009 e 2009/2010.

### 3.4. A cultura do milho

O milho é o principal cereal cultivado no Brasil e no Estado de Minas Gerais, tanto em área plantada, quanto em produção. O milho tem esse destaque pela sua grande versatilidade de uso na alimentação humana e animal e na indústria. Do milho obtêm-se mais de 160 produtos diferentes para aproveitamentos distintos.

A área cultivada com milho primeira safra de 2009/2010 é de 8.036,6 mil hectares, com redução de 13,3%, em relação à área cultivada na primeira safra 2008/2009, que foi de 9.270,5 mil hectares. Para o milho segunda safra (safrinha), a área estimada é de 5.050,5 ha (3,0%) maior do que a área cultivada na safra 2008/2009. A área total cultivada, em todo país, deve ficar em 13.087,1 mil hectares (7,7%) inferior a área cultivada na safra anterior (CONAB, 2010).

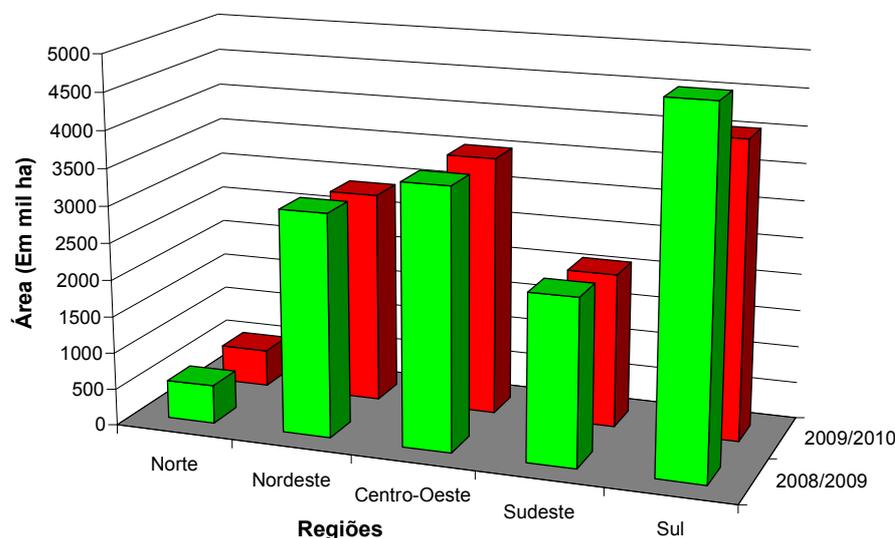
A redução da área cultivada com milho na primeira safra, a nível nacional, ficou em 1.233,9 mil hectares (13,3%). A diminuição está relacionada com o volume de produto no mercado e preços praticados abaixo do esperado pelos produtores.

Já a produção do milho deve ficar muito próxima da obtida na safra anterior devido a recuperação da produtividade do Paraná que até o momento apresenta uma

produtividade média de 7.987 kg/hectare e deve fechar com aproximadamente 7.500 kg/hectare.

A redução prevista de área do milho segunda safra (safrinha), não se verificou, ao contrário, deve ocorrer um incremento de aproximadamente 3%. A recuperação se deu no Estado do Mato Grosso que aumentou sua área de plantio em quase 25% em relação ao mesmo tipo de safra, cultivados em 2008/09. A produção deve aumentar em 1.398,5 mil toneladas (19,5%) (CONAB, 2010).

Na Figura 4 é apresentado por regiões, o comparativo das áreas plantadas com milho total (1ª e 2ª safra) 2008/2009 e 2009/2010 para as regiões produtoras desta cultura.



Fonte: Conab (2010).

Figura 4 - Área plantada com feijão nas safras 2008/2009 e 2009/2010.

### 3.5. A cultura da soja

A soja é uma das culturas que apresenta maior crescimento em área plantada no segmento agroindustrial brasileiro. Sua expansão e o estabelecimento de fronteiras agrícolas somente foi possível devido ao desenvolvimento de cultivares com alta produtividade, ampla adaptação às diferentes condições edafoclimáticas e resistentes a

pragas e doenças (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2008).

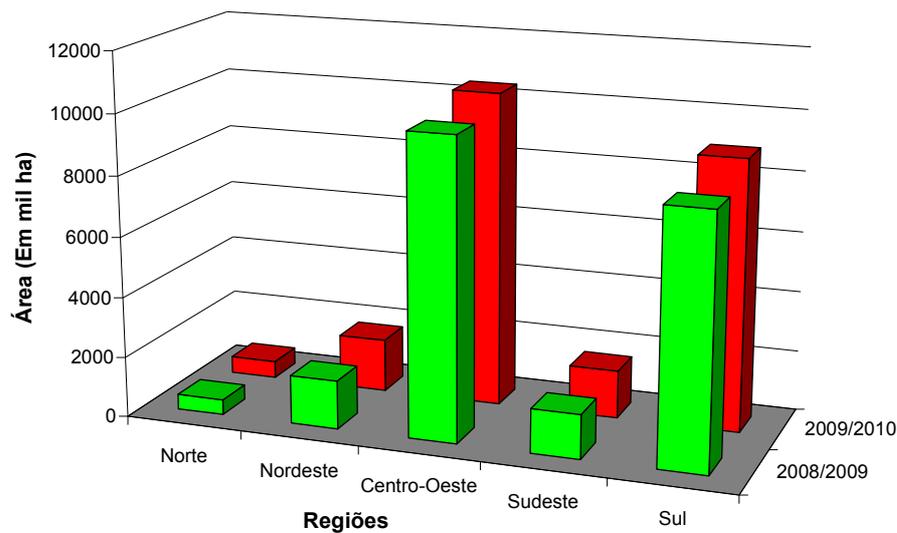
A área cultivada para safra 2009/2010 com a oleaginosa apresentou crescimento de 6,9%, correspondendo a um ganho de 1,5 milhão de hectares em relação, a safra anterior, passando para 23,24 milhões de hectares. O maior crescimento é observado na região Sul, 643,4 mil hectares, sobressaindo-se o Estado do Paraná, com 435,4 mil hectares a mais que a cultivada em 2008/09, seguido do Estado do Rio Grande do Sul, com aumento de 153,7 mil hectares. A região Centro Oeste apresenta crescimento de 510,6 mil hectares, com destaque para o Estado de Mato Grosso, com aumento de 357,3 mil hectares sobre a safra anterior, seguido do Estado de Goiás, com 152,8 mil hectares à maior. Na região Nordeste, a área cresceu 150,0 mil hectares (CONAB, 2010).

O maior crescimento é observado no Estado da Bahia, com 69,2 mil hectares, seguido do Estado do Piauí, com a área superior em 63,4 mil hectares. Na região Centro-Sul, o Estado de Mato Grosso do Sul é a única Unidade da Federação que apresenta redução na área, justificada pela ampliação dos canais para atender a instalação de novas usinas (CONAB, 2010).

Nesta safra, o comportamento climático vem contribuindo para o bom desenvolvimento das lavouras. Mesmo com excesso de chuvas e em consequência a alta umidade em algumas regiões, sobretudo nos Estados do Paraná e Mato Grosso, a produtividade está estimada em 2.920 quilos por hectare, a maior média já obtida em nível de País.

Na Figura 5 é apresentado por regiões, o comparativo das áreas plantadas com soja para as safras 2008/2009 e 2009/2010.

Fonte: Conab (2010).



Fonte: Conab (2010).

Figura 5 - Área plantada com soja nas safras 2008/2009 e 2009/2010.

### 3.6. Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é a ciência e arte de obter informações sobre um objeto, área, ou fenômeno através da análise de dados adquiridos a partir de um sistema que não está em contato com esse objeto, área ou fenômeno sob investigação (LILLESAND et al., 2007). De acordo com Novo (2008), sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, entre outros, com o objeto de estudar o ambiente terrestre por meio do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as diversas coberturas que compõem a superfície terrestre.

Com o objetivo de estudar o ambiente terrestre, o sensoriamento remoto utiliza sensores e equipamentos para registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem a superfície terrestre (NOVO, 2008), entre elas, as culturas agrícolas. Para tanto, torna-se essencial o conhecimento e a disponibilização de dados de respostas espectrais de culturas agrícolas, visando alcançar a compreensão das interações entre a energia eletromagnética solar e a matéria.

Portillo et al. (2003) afirmam que o sensoriamento remoto fornece um amplo conjunto de técnicas úteis para caracterizar fenômenos dinâmicos que acontecem nas áreas agrícolas. Por isso, o progresso e a validação de técnicas de análise multitemporal são importantes para conduzir conhecimentos necessários à melhoria da utilização do sensoriamento remoto na área estudada.

Novo (2008) destaca, ainda, que o comportamento espectral dos alvos é de fundamental importância para extrair informações a partir de dados obtidos pelo sensoriamento remoto, além da definição de novos sensores, do tipo de processamento a que devem ser submetidas os dados brutos coletados pelos sensores, ou mesmo na definição da forma de aquisição desses dados, tais como, frequência, altura do imageamento, resolução limite, entre outros. Price (1994) afirma que uma das dificuldades em estudar o comportamento espectral de espécies agrícola é, ainda, a pouca disponibilidade de exemplares de cada espécie nas bibliotecas espectrais disponíveis.

O monitoramento da paisagem de uma dada região é fator primordial no planejamento racional de utilização das terras, devido, principalmente, à velocidade da ocupação do espaço físico e ao pouco conhecimento dos seus recursos naturais. Diante deste quadro, os produtos de sensoriamento remoto orbital têm sido importantes não só na aquisição primária de informações, como nos inventários e gerenciamento da paisagem agroflorestal em países de dimensões continentais, como o Brasil (VENTURIERI; SANTOS, 1998). Com o advento de novos sensores e com a intensificação da utilização desta tecnologia na agricultura, o desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo dos recursos naturais torna-se cada vez mais importante (DEMATTE; GARCIA, 1999). Existem diversas técnicas de classificação digital em imagens de satélite, para a finalidade de levantamentos terrestres, análise e monitoramento da paisagem agroflorestal, todas procurando extrair o máximo de informações temáticas das imagens, em um menor tempo, quando comparado aos métodos tradicionais (VENTURIERI; SANTOS, 1998).

### **3.6.1. Comportamento espectral dos alvos**

Existe interação entre a radiação eletromagnética (REM) e os diferentes alvos (objetos) da superfície da Terra. Esta energia é emitida por ou refletida de feições no solo e transmitida sob a forma de ondas (Robinson et al., 1995). A radiometria espectral

é uma das mais importantes ferramentas do sensoriamento remoto, pois é através de medidas radiométricas de laboratório ou campo se detecta com qual intensidade cada material (solo, rocha, vegetação, água) reflete a radiação eletromagnética nos diferentes comprimentos de onda permitindo explicar e entender como cada um desses objetos irá aparecer em uma imagem satelitária. Portanto, é necessário entender como interage a energia contida na radiação eletromagnética com a energia contida nos átomos e moléculas dos diferentes materiais (alvos) ao incidirem sobre eles (MENESES, 2001). Quando a energia eletromagnética incide sobre alguma feição da superfície da Terra três interações fundamentais da energia com essas feições são possíveis. Várias frações da energia incidente são refletidas, absorvidas e/ou transmitidas. As proporções dessas interações podem variar para as diferentes feições ou alvos, dependendo do tipo de material e de condições específicas, como tipo de sensor, condições atmosféricas etc. Essas diferenças nos permitem distinguir as muitas feições presentes em uma imagem (LILLESAND et al., 2007).

Devido a essa interação, a energia pode ser absorvida, refletida ou transmitida, total ou parcialmente e, conseqüentemente, a absorção, reflexão e transmissão (Figura 6) são as três propriedades radiométricas dos objetos (HOWARD, 1991).



Fonte: CCRS (1999).

Figura 6 - Propriedades radiométricas dos objetos: absortância (A), refletância (R) e transmitância (T).

### 3.6.2. Sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat-5

A série Landsat iniciou-se no final dos anos 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. O primeiro satélite da série começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999 com o lançamento do Landsat-7. Contudo, a partir de 2003 o Landsat-7 passou a apresentar problemas, assim, o Landsat-5 tornou-se o único satélite regularmente em operação (ANDRADE, 2008).

O Landsat-5 foi desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e lançado em março de 1984. Foi operado inicialmente pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Em setembro de 1985, a operação do Landsat-5 foi passada para uma companhia privada, a EOSAT (Earth Observation Satellite Company), agora conhecida como “Space Imaging”. Em julho de 2001, o Landsat-5 foi devolvido com seus arquivos de imagem completos ao Governo dos Estados Unidos para ser operado pela USGS (United States Geological Survey) (ANDRADE, 2008). Na Tabela 1 são apresentadas as características orbitais do Landsat-5.

Tabela 1 - Características orbitais do satélite Landsat-5

---

Órbita	705 km, síncrona com o sol, quase polar o que permite cobertura entre 81°N e 81°S.
Velocidade	7,7 km/s
Peso	2 toneladas
Largura da faixa imageada	185 km
Resolução espacial	30 m (6 bandas), 120 m (1 banda) no nadir.
Cobertura de repetição	16 dias
Resolução radiométrica	8 bits
Tempo de obtenção de uma cena	24 segundos

---

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2010).

Chander e Markham (2003) relatam que depois de mais de 22 anos de serviço, o sensor TM do Landsat-5 continua operando bem. Entretanto, o método de calibração foi degradado com o tempo, com isso, estes pesquisadores apresentam os coeficientes de calibração atualizados. Além disso, disponibilizaram aos usuários dos dados TM do Landsat-5, métodos e parâmetros para converter os números digitais (NDs) dos dados da imagem para informações úteis como: radiância espectral ( $L_\lambda$ ), refletância planetária ou refletância no topo da atmosfera (TOA) e estimativa da temperatura da superfície ( $T_s$ ). A Tabela 2 apresenta as principais aplicações das bandas do sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat-5.

### 3.6.3. Árvore de decisão

Existem diferentes técnicas de reconhecimento de padrões em imagens de SR que podem auxiliar na identificação de áreas com maior probabilidade de ocorrência e auxiliar em estratificações espaciais. Para abastecer tais técnicas de reconhecimento de padrão em imagens de SR, o uso da extração de diferentes atributos que vão além do simples valor do pixel, tais como textura e forma (multi-atributos), tem agregado maior informação e assim melhorado tais técnicas em imagens de SR (LOCK; KIRCHNER, 1997; OLIVEIRA, 2004). O uso de multi-atributos também pode ser uma alternativa quando não se dispõe de um adequado número de imagens de SR, ou quando não é possível obter imagens do período de desenvolvimento vegetativo da cultura agrícola em questão quando há cobertura de nuvens. Para o tratamento e processamento de multi-atributos, são aconselháveis técnicas de mineração de dados.

A mineração de dados por árvore de decisão, apesar de ser uma técnica relativamente nova, é relatada como promissora na análise de dados de sensoriamento remoto e o interesse pelo uso de métodos de construção e uso de árvores de decisão tem crescido nos últimos anos (CARVALHO et al., 2004; TSO; MATHER, 2001). A árvore de decisão utiliza mecanismos de categorização usando divisão hierárquica dos dados, em que um padrão desconhecido é rotulado usando-se uma seqüência de decisões. Na aplicação em dados multiespectrais, o desenho da árvore de decisão é baseado no conhecimento das propriedades espectrais de cada classe e na relação entre as classes (TSO; MATHER, 2001). Algoritmos de geração de árvores de decisão são considerados como de mineração de dados (WITTEN; FRANK, 2005a).

Tabela 2 - Aplicações das bandas do sensor TM

Bandas	Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ )	Principais características e aplicações das bandas TM do satélite Landsat-5
1	0,45 a 0,52	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, tornando possíveis os estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	0,52 a 0,60	Sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	0,63 a 0,69	Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal, favorecendo a diferenciação de espécies vegetais. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	0,76 a 0,90	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, favorecendo o mapeamento da rede de drenagem e o delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Possui sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal) à morfologia do terreno, possibilitando a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	1,55 a 1,75	Sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Possui também sensibilidade à rugosidade do dossel florestal. Permite o mapeamento de áreas com vegetação queimada e a identificação de áreas agrícolas. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	10,4 a 12,5	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	2,08 a 2,35	Sensibilidade à morfologia do terreno, o que propicia a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve também para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: INPE (2010).

A árvore de decisão é um procedimento de classificação, que particiona um conjunto de dados em subdivisões menores com base em um conjunto de testes definidos em cada ramo (ou nó) da árvore (FRIEDL; BRODLEY, 1997; PAL; MATHER, 2003). Assim, uma decisão complexa é dividida em diversas decisões mais simples, que podem conduzir a uma solução que seja mais fácil de interpretar (XU et al., 2005). As árvores de decisão são estruturas semelhantes a diagramas de fluxo em forma de árvore, onde cada nó representa uma decisão sobre um atributo e cada folha representa uma classe de distribuição (HAN; KAMBER, 2006).

A árvore é composta por um nó raiz (formado por todos os dados), um conjunto de nós internos (divisões) e um conjunto de nós terminais (folhas) (XU et al., 2005). Cada nó, em uma árvore de decisão, tem somente um nó “pai” e dois ou mais nós “descendentes” (FRIEDL; BRODLEY, 1997). Os nós, em uma árvore de decisão, representam o teste de um atributo em particular. Geralmente este teste compara um valor de atributo com uma constante, podendo, entretanto existir algumas árvores que comparam dois atributos entre si ou utilizam alguma fração com um ou mais atributos. Se um atributo testado é nominal, o número de nós “filhos” é geralmente o número dos valores possíveis desse atributo. Se for numérico, o teste em um nó geralmente determina se o seu valor é maior ou menor do que uma constante pré-determinada, gerando uma divisão em dois sentidos (WITTEN; FRANK, 2005).

Na escolha de um critério de divisão que melhor separa os dados em classes individuais é utilizada uma “medida de seleção de atributo”, que tem como princípio obter classes mais puras possíveis. Estas medidas são também conhecidas como “regras de divisão” porque determinam como os dados, em um determinado nó, serão particionados. Elas fornecem uma posição para cada atributo descrevendo os dados de treinamento. O atributo que tiver a melhor pontuação para a medição é escolhido como o “atributo de divisão” e será o nó raiz da árvore. Este nó é classificado, então, com o critério de divisão e os “galhos” da árvore são produzidos para cada resultado do critério, dividindo os dados. Algumas medidas de seleção de atributos conhecidas são *ganho de informação*, *razão de ganho* e índice de Gini (HAN; KAMBER, 2006).

A medida *ganho de informação* é baseada na teoria da informação de Claude Shannon, na qual se estuda o valor ou o conteúdo de informação das mensagens. O atributo com o maior ganho de informação é escolhido como o atributo de divisão do nó raiz. Este método minimiza a informação necessária para classificar os dados resultando

nas divisões dos mesmos e reflete a “impureza” dessas divisões (HAN; KAMBER, 2006).

A *razão de ganho* é a medida utilizada no algoritmo C4.5, que aplica um tipo de normalização no *ganho de informação* usando um valor de “divisão da informação”. Este valor representa a informação potencial gerada a partir da divisão dos dados de treinamento. O atributo, com a maior razão de ganho, é selecionado como atributo de divisão (HAN; KAMBER, 2006).

E, finalmente, o índice de Gini também pode ser utilizado como critério de divisão. É definido como uma medida da impureza dos dados. Este índice considera uma divisão binária para cada atributo. O atributo que maximiza a redução da impureza (ou, de forma equivalente, tem o mínimo índice de Gini) é selecionado como a divisão desse atributo (HAN; KAMBER, 2006).

A árvore de decisão não assume nenhum modelo estatístico *a priori*, sendo a divisão do espaço de atributos feita de acordo com as amostras provenientes do treinamento (SHIBA et al., 2005). Por possuírem uma estrutura hierárquica, os métodos de classificação por árvore de decisão são considerados mais simples, porém mais robustos na interpretação, testes e análise dos resultados (FRIEDL; BRODLEY, 1997).

Para se construir uma árvore de decisão precisa, é necessário obter amostras representativas das classes desejadas (FRIEDL; BRODLEY, 1997). Após a sua construção, é importante avaliá-la, o que pode ser realizado por meio da utilização de dados, que não tenham sido usados no treinamento. Esta estratégia permite estimar como a árvore generaliza os dados e se adapta a novas situações, podendo, também, estimar a proporção de erros e acertos ocorridos na construção da árvore.

#### **3.6.4. Algoritmo de poda**

Os algoritmos de “poda” (remoção de partes) são geralmente usados para eliminar os nós “folhas” que foram ajustados por erros nos dados de treinamento (FRIEDL; BRODLEY, 1997). Árvores “podadas” tendem a ser menores e menos complexas e, assim, mais fáceis de compreender. São geralmente mais rápidas e melhores na correta classificação dos dados de treinamento do que as árvores não podadas (HAN; KAMBER, 2006). A simplificação da árvore envolve a remoção de partes que não contribuem na acurácia da classificação (PAL; MATHER, 2003).

Existem dois caminhos para efetuar a poda da árvore, a pré-poda e pós-poda. Na primeira opção a árvore é podada descontinuando-se sua construção previamente, ou seja, não dividindo mais o conjunto de dados (HAN; KAMBER, 2006; WITTEN; FRANK, 2005). Esta parece ser uma perspectiva atrativa, pois evitaria que todo o trabalho de desenvolvimento da sub-árvore fosse descartado (WITTEN; FRANK, 2005), além de não desperdiçar tempo na montagem de uma estrutura que não será usada posteriormente. Este método procura o melhor caminho para dividir o conjunto de dados com base em critérios como *ganho de informação*, redução do erro (PAL; MATHER, 2003) índice de Gini entre outros.

A segunda opção é a abordagem mais comum, a pós-poda, que remove as sub-árvores a partir de uma árvore completamente “crescida” (HAN; KAMBER, 2006). Os galhos da sub-árvore selecionada são substituídos por uma “folha” que é nomeada de acordo com a classe mais freqüente da sub-árvore substituída (WITTEN; FRANK, 2005). O tempo requerido para realizar esta operação é maior, mas este custo é compensado com os benefícios resultantes de uma maior exploração através de possíveis partições (PAL; MATHER, 2003).

### **3.6.5. Uso de árvore de decisão em sensores remotos**

A árvore de decisão pode ser utilizada em diversas áreas do conhecimento quando o objetivo é classificar dados. Na sequência são apresentados alguns trabalhos que utilizaram esta técnica em dados de sensores remotos.

Friedl e Brodley (1997) utilizaram três tipos de algoritmos de classificação por árvore de decisão e os avaliaram em três tipos diferentes de dados de sensoriamento remoto, para mapeamento da cobertura da terra. Os dados utilizados foram: uma série temporal mensal de imagens NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) do satélite AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) de 1987, uma série temporal de imagens NDVI do mesmo satélite para o ano de 1990 e uma imagem *Landsat Thematic Mapper* (TM), com resolução de 30m. Os resultados dessa análise mostraram que os algoritmos árvore de decisão obtiveram melhor desempenho em relação aos algoritmos máxima verossimilhança e função discriminante linear com relação à acuracidade.

Para a predição do risco de infestação por esquistossomose no Estado de Minas Gerais, Martins et al. (2007) também trabalharam com árvore de decisão. Foram

utilizadas 22 variáveis de sensoriamento remoto derivadas do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) em duas épocas, uma no verão e uma no inverno, listadas a seguir: bandas azul, vermelho, infravermelho próximo e médio, índice de vegetação melhorado (EVI), NDVI, índices derivados do modelo espectral de mistura (vegetação, solo e sombra), variáveis derivadas do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) como o Modelo Digital de Elevação (MDE) e a declividade e outras duas com informações hidrográficas, a média de acumulação hídrica (AH1) e a mediana de acumulação hídrica (AH2), obtidas através de um mapa de acumulação hídrica. Além dessas variáveis de sensoriamento remoto foram utilizadas mais seis variáveis climáticas e 16 sócio-econômicas, totalizando 44 variáveis. Para o processamento dos dados os autores utilizaram o *software* WEKA. Como resultado dessa classificação, o coeficiente Kappa apresentou um valor de 51% observando que a maior confusão foi entre as classes média e baixa, alta e média e muito alta e alta.

Figueiredo e Carvalho (2006) também avaliaram o uso do algoritmo árvore de decisão para o mapeamento da cobertura da terra em Capixaba, Acre. Foram utilizadas 11 variáveis de sensoriamento remoto obtidas a partir de dados do satélite Landsat-5 sensor TM. As variáveis foram as seguintes: bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, imagens fração solo, vegetação, sombra, erro e NDVI. As imagens foram corrigidas geometricamente e convertidas radiometricamente para refletância. Como resultado, o coeficiente Kappa apresentou um valor de 0,90, considerado excelente. Em comparação com outros métodos de classificação, o de máxima verossimilhança apresentou valor semelhante (0,89). Já, pelo método de classificação não supervisionada Isodata o valor foi inferior (0,79). Os maiores erros de classificação pela árvore de decisão foram nas classes pasto alto, pasto baixo e capoeira.

Carvalho et al. (2008) mapearam a Floresta Atlântica da Serra dos Órgãos, RJ com o algoritmo árvore de decisão para que pudessem integrar de dados de sensoriamento remoto e modelo digital do terreno (MDT). Utilizaram para esse estudo imagens do satélite ASTER e fotografias aéreas da região. A imagem ASTER foi primeiramente classificada e aprimorada com a ajuda da fotografia e posteriormente essa classificação foi usada como informação junto com o MDT para a árvore de decisão. As classes delimitadas foram: Agropecuária, Campos de Altitude, Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana, Floresta Ombrófila Densa Montana, Floresta Ombrófila Densa Sub-Montana, Floresta Secundária e áreas sem vegetação. A imagem distinguiu ambientes florestais e não florestais e o MDT distinguiu áreas de campos. Os

autores afirmaram que a árvore de decisão foi extremamente eficiente para a classificação de dados oriundos de diferentes sensores. Outro trabalho que também utilizou a árvore de decisão para a classificação de imagens de sensoriamento foi realizado por Shiba et al. (2005). Os autores tinham como objetivo testar essa técnica em comparação com a Máxima Verossimilhança (MaxVer). Os resultados mostraram que a árvore de decisão teve um tempo de processamento menor (30s) em comparação com MaxVer (150s). A diferença entre os classificadores foi de 2,21% ou 9841 pixels.

Zagaglia et al. (2007) fizeram o mapeamento de manguezais utilizando árvore de decisão como método de classificação. Como variáveis utilizaram as seguintes imagens derivadas do satélite Landsat ETM+: radiância, reflectância, componentes principais da reflectância, componentes principais da radiância, índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) e frações solo, vegetação e sombra do modelo de mistura para a imagem reflectância. As classes definidas foram mangue, apicum e outros. Como resultado dessa classificação o índice de exatidão global e coeficiente Kappa foram de 84,88% e 0,70 respectivamente.

Dutra et al. (2007) tinham como objetivo definir um modelo de estratos ambientais visando à recuperação da vegetação ciliar na área marginal do reservatório da Usina Hidrelétrica do Funil baseado nas características ambientais locais. Utilizaram como variáveis mapas de uso e ocupação do solo, mapa de declividade e mapa de classe de solos. Para a modelagem dos estratos de recuperação foi utilizado o algoritmo árvore de decisão. O coeficiente Kappa obtido foi de 0,94, mostrando a importância dos três atributos para a modelagem dos estratos.

Silva et al. (2008) procuraram identificar fatores ambientais que contribuíssem significativamente para a ocorrência de incêndios em áreas de risco. Além de uma imagem proveniente do satélite Landsat-7 ETM+ os autores utilizaram dados de focos diários de calor, teores de umidade do material combustível e dados altimétricos. A árvore de decisão serviu para identificar o grau de importância de cada fator ambiental. Empregaram-se como indicadores: número e focos de calor, vias de acesso e relevo e umidade do material combustível. Os autores concluíram que o emprego da árvore de decisão na hierarquização da importância dos fatores ambientais constituiu um avanço em relação a procedimentos empíricos adotados na avaliação de áreas sob risco de incêndios.

Sampaio (2007) utilizou dados temporais de imagens MODIS e índices de vegetação NDVI e EVI para classificar a cobertura vegetal do Parque Nacional da

Chapada dos Veadeiros, testando os algoritmos ISODATA e árvore de decisão. Com os resultados alcançados a autora conseguiu separar as fitofisionomias mais contrastantes, cerrado denso e campo.

As Árvores de Decisão têm fornecido melhores acurácias em relação a outros classificadores mais tradicionais. Apesar disso o uso desta técnica com dados de alta resolução espacial, como Landsat por exemplo, não tem sido explorado completamente (COLSTOUN et al., 2003).

### **3.7. Técnicas de geoprocessamento e sistemas de informações geográficas**

Para o manuseio e análise dos dados provenientes de sensores remotos, os aplicativos mais usados atualmente são os de processamento digital de imagens e os denominados Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). Estes aplicativos são capazes de armazenar, analisar e localizar espacialmente dados já analisados e tratados (PIROLI et al., 2002).

O geoprocessamento engloba diversas técnicas de tratamento e manipulação de dados geográficos, por meio de programas computacionais, do sensoriamento remoto, digitalização de dados, automação de tarefas cartográficas e pelos SIG's (CARVALHO et al., 2000).

Os SIG's são, conforme (LIU, 2006; CARVALHO et al., 2000), um modelo matemático dinâmico, construído com um banco de dados geográficos gerenciados, para facilitar a atualização e a aplicação de dados georeferenciados de camadas de informações espaciais no planejamento e na otimização de determinada tarefa. Dados gerados num SIG podem ser úteis no planejamento e gerenciamento dos recursos ambientais. Yang (1999), por exemplo, produziu o mapa geomorfológico de parte do rio Amarelo na China, utilizando imagens Landsat TM (Thematic Mapper) e um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado em SIG, e concluiu que o modelo poderia ser usado para o monitoramento da evolução dinâmica do ambiente do delta desse rio.

Modelos digitais de elevação têm sido aplicados na atualização de mapas, tanto planimétricos como altimétricos, e isto ocorre há muito tempo, como no trabalho de Masry e McLaren (1979). Miller et al. (1978) também acompanharam as alterações ocorridas com o tempo em florestas por meio da análise de modelos digitais. Da década de 70 do século passado até 2010 muito se evoluiu, sendo grande parte dessa evolução nos modelos digitais de elevação, em especial suas aplicações, devida a evolução do

sensoriamento remoto, uma vez que tanto os modelos como as imagens orbitais constituem dados digitais. Com a idéia de combinar, via superposição, essas duas fontes de dados, Fleming e Hoffer (1979) procuraram resolver dificuldades na interpretação de imagens orbitais causadas pelo relevo no mapeamento de tipos de cobertura florestal. Eles combinaram imagens MSS Landsat com dados topográficos referentes à elevação, inclinação e orientação direcional (aspecto). Nessa mesma época, Tesche e Bergstrom (1978), ao lidarem com modelos digitais, recomendaram a combinação desses com dados relacionados com a cobertura do solo, para facilitar estudos semelhantes de avaliação de cobertura do solo.

### **3.8. Classificação climática para o Estado de Minas Gerais segundo o indicador climático de Thorthwaite e Mather (1955)**

Segundo a metodologia proposta por Carvalho et al. (2008), utilizando o critério preconizado por Thorthwaite e Mather (1955), são apresentadas as descrições climáticas para o Estado de Minas Gerais (Figura 7).

A região Sul do Estado de Minas Gerais apresenta caracterizações climáticas do tipo B<sub>2</sub> e B<sub>3</sub> (tipos climáticos úmidos) são as que predominam em grande parte da região Sul. O clima B<sub>2</sub> ocorre mais ao norte desta região em continuidade com partes da região do Triângulo Mineiro, Alto São Francisco, Central e Zona da Mata. Fazendo parte desta região, verifica-se no extremo sul do Estado os tipos climáticos B<sub>4</sub> (Úmido) e A (Superúmido), onde o clima sofre influência da Serra da Mantiqueira.

Na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em extensão territorial um pouco superior, há a ocorrência do clima caracterizado como B<sub>1</sub> (Úmido). Em segundo na ordem de extensão territorial, aparece o tipo climático classificado como B<sub>2</sub> (Úmido), concentrando-se mais ao centro desta região delimitando-se com as regiões do Alto São Francisco e Sul. Há a ocorrência também do tipo climático C<sub>2</sub> (Subúmido) em estreita faixa a nordeste desta região e ainda uma pequena área do clima tipo B<sub>3</sub> (Úmido) ao extremo sudeste desta região.



Para a Zona da Mata, seguindo de sudoeste a nordeste, ocorrem pequenas áreas com o tipo climático B<sub>4</sub> (Úmido), seguindo com o tipo B<sub>3</sub> (Úmido) e depois com a caracterização climática B<sub>2</sub> (Úmido) abrangendo faixa central da região indo da divisa com a região Central até a divisa com o Estado do Rio de Janeiro. Seguindo o mesmo sentido anterior e atingindo maior extensão territorial, predomina o tipo climático B<sub>1</sub> (Úmido), limitando-se com as regiões Central, Leste e Estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro. Em áreas isoladas e em menor extensão, fazendo divisa com os Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo e região Leste de Minas Gerais, ocorre o tipo C<sub>2</sub> (Subúmido). Por fim em transição com a região Leste, começa a ocorrer uma pequena área do tipo C<sub>1</sub> (Subúmido seco).

De norte a sul na região Noroeste, abrangendo extensa área central, predomina o tipo climático C<sub>2</sub> (Subúmido). A oeste, fazendo divisa com o Estado de Goiás ocorre uma faixa de tipo climático B<sub>1</sub> (Úmido), assim como no extremo sul desta região. Ao norte, nordeste e leste ocorre o tipo climático classificado como C<sub>1</sub> (Subúmido seco).

Ao extremo norte da região Norte e do Estado de Minas Gerais verifica-se a ocorrência do tipo climático D (Semi-árido). Em maior extensão territorial, em toda esta região, indo de oeste a leste, predomina o tipo climático C<sub>1</sub> (Subúmido seco). Ao longo da faixa sul desta região, nota-se a ocorrência de clima C<sub>2</sub> (Subúmido) e em três pequenas áreas isoladas no extremo sul ocorre o tipo climático B<sub>1</sub> (Úmido).

O Vale do Jequitinhonha é uma região de grande diversidade climática sofrendo influência geográfica do Serra do Espinhaço até o Baixo Jequitinhonha em divisa com o Estado da Bahia. Mais ao sul desta região encontra-se o tipo climático B<sub>2</sub> (Úmido). Logo acima, abrangendo a região do município de Diamantina, verifica-se o tipo B<sub>1</sub> (Úmido), seguindo com o clima C<sub>2</sub> (Subúmido) em proporções de áreas semelhantes. Da região central a nordeste desta região predomina o tipo caracterizado como clima C<sub>1</sub> (Subúmido seco) abrangendo cerca de 50 % ou mais em área total nesta região. E, ainda, no extremo nordeste, nota-se a ocorrência do clima D (Semi-árido), envolvendo municípios como Almenara, Jacinto, Jordânia e Salto da Divisa. Nas imediações dos municípios de Itaobim, Itinga e Medina, em área menor de ocorrência, também se verifica esta última condição climática (clima D - Semi-árido).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Localização da área de estudo**

A área de estudo compreende o Estado de Minas, situado na Região Sudeste do Brasil, entre os paralelos 14°13'57" e 22°55'22" de latitudes Sul e os meridianos 39°51'23" e 51°02'45" de longitudes Oeste de Greenwich (Figura 8). Na Figura 8 a mesorregião Jequitinhonha foi a única região não considerada na classificação de área plantada por árvore de decisão, devido a influência de nuvens e ausência de imagens para o período de 1990 a 2005.

### **4.2. Base de dados para classificação espectral por intermédio da árvore de decisão**

Os dados de imageamento orbital utilizados para determinar as áreas plantadas (café, cana-de-açúcar, feijão, milho e soja) compreendem imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat-5 de 1990 a 2005.

As imagens Landsat são em grande maioria do período seco, em que se verifica pouca cobertura de nuvens e também foram utilizadas imagens tomadas em outras estações dos anos em estudo para aferição de eventuais dúvidas quanto à caracterização das culturas agrícolas em cenários dinâmicos, como também para prover uma base de dados histórica sobre as culturas existentes na área de estudo.

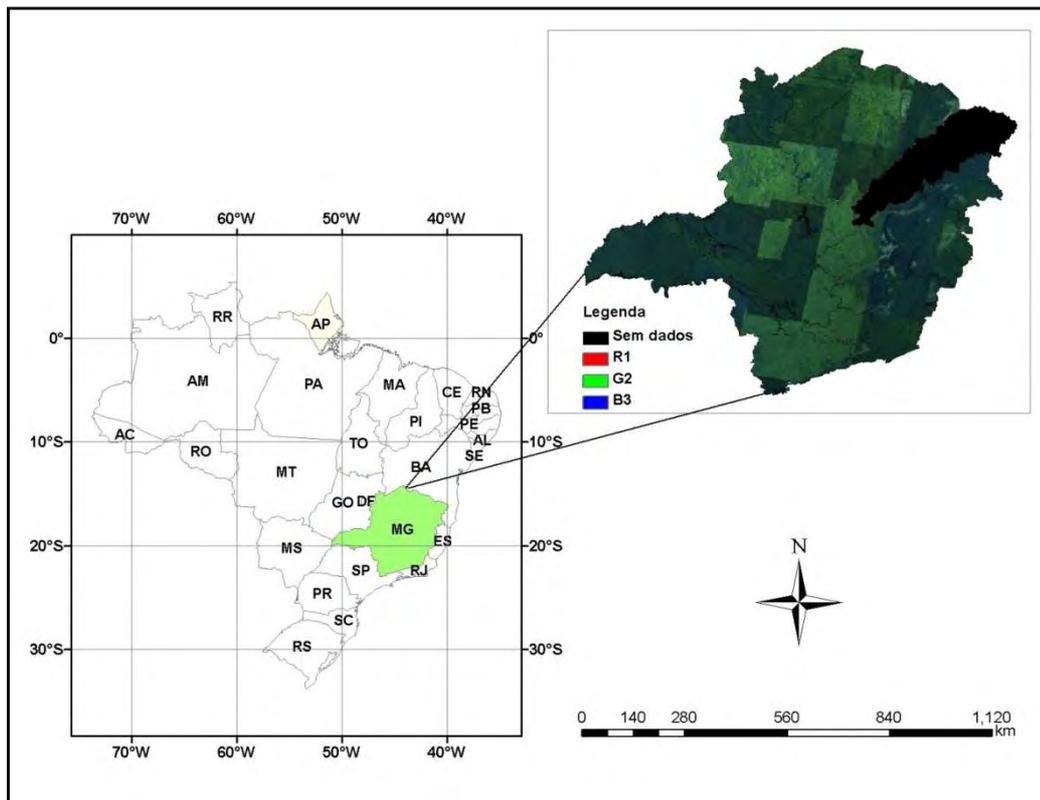


Figura 8 - Mosaico de imagem do sensor TM com a composição RGB (1, 2 e 3) e a localização geográfica da área de estudo

Quanto ao relevo, utilizaram-se dados gerados a partir de dados de radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM ([Shuttle Radar Topography Mission](#)) (Figura 9). Como suporte à interpretação dessas imagens, foram utilizados dados de censo agrícola de 1990 a 2005, disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, referente à área plantada das culturas estudadas neste trabalho. Para o processamento dos dados foram utilizados os softwares ENVI© (RSI) versão 4.3, ERDAS IMAGINE 9.1 e ArcGIS 9.2.

Nas Tabelas 1A a 4A do Apêndice encontram-se a órbita, o ponto, o dia da passagem do satélite e o censo agrícola nas respectivas mesorregiões do Estado de Minas Gerais para os anos de 1990 a 2005.

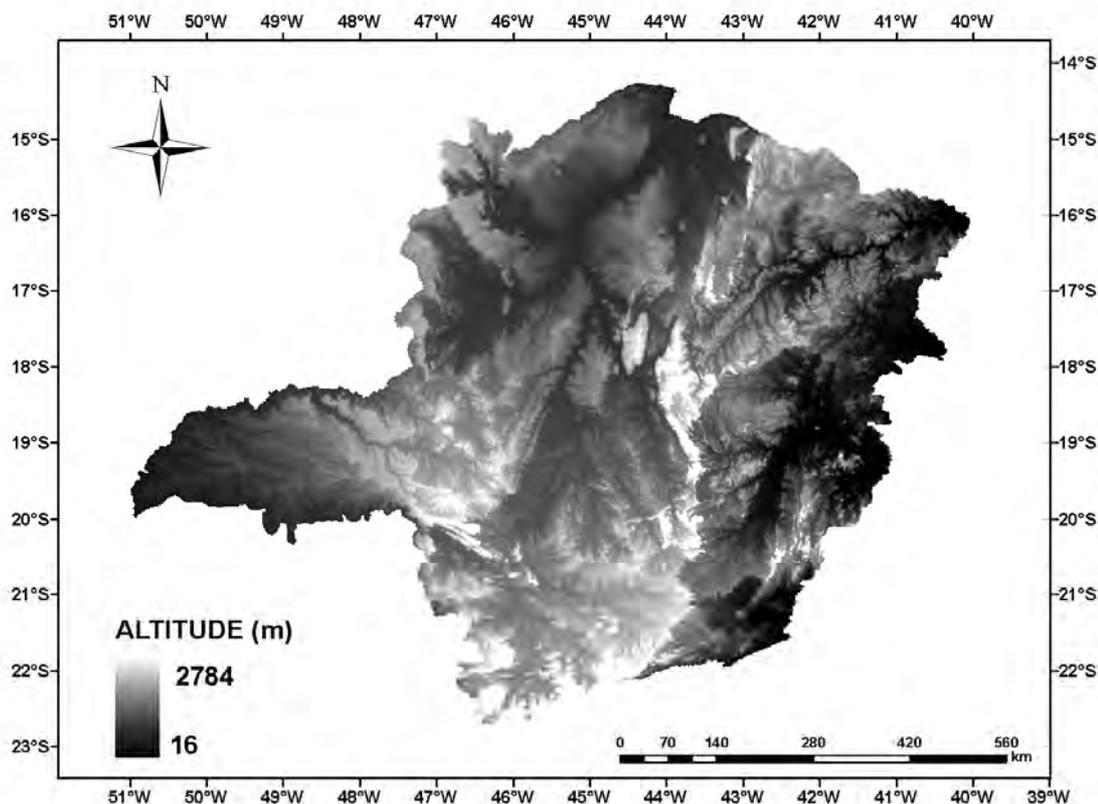


Figura 9 - Modelo digital de elevação (MDE) para o Estado de Minas Gerais.

#### 4.1.3. Base de dados para comparação da influência climática e solo na alteração da área plantada (café, cana-de-açúcar, feijão, milho e soja) no Estado de Minas Gerais

Foram utilizados dados mensais de precipitação, umidade relativa do ar e temperatura do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dados de precipitação da Agência Nacional de Águas (ANA) (Figura 10). A série de dados utilizados refere-se ao período de 1941 a 2009. Na Tabela 5A do Apêndice, encontram-se o ano e o período estudado de cada estação climatológica.

Nos mapeamentos de campos homogêneos das temperaturas médias, para os locais desprovidos de dados de temperatura, especialmente com referência aos municípios de Minas Gerais, utilizaram-se as análises de regressão múltipla, segundo Sedyama et al. (1998), cujas variáveis envolveram os fatores geográficos, para possibilitar os traçados das delimitações de áreas homogêneas de temperaturas (Figura 11).

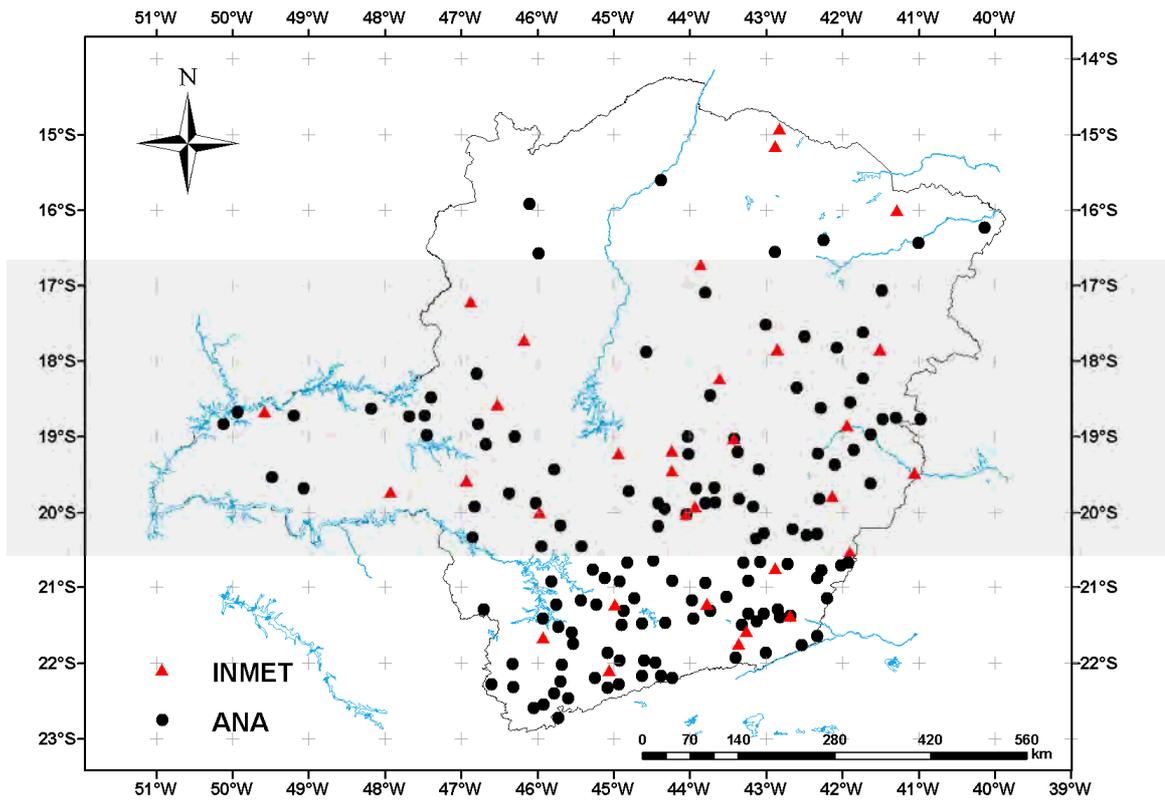


Figura 10 - Distribuição geográfica das estações climatológicas utilizadas neste trabalho.

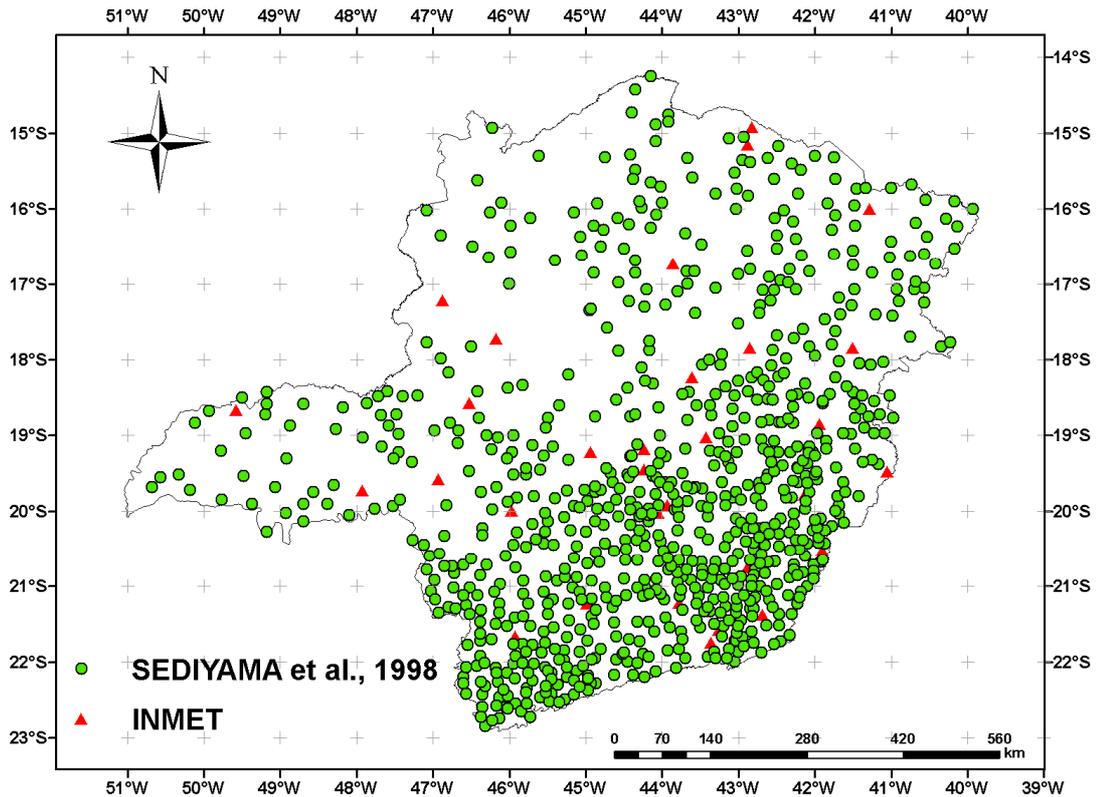
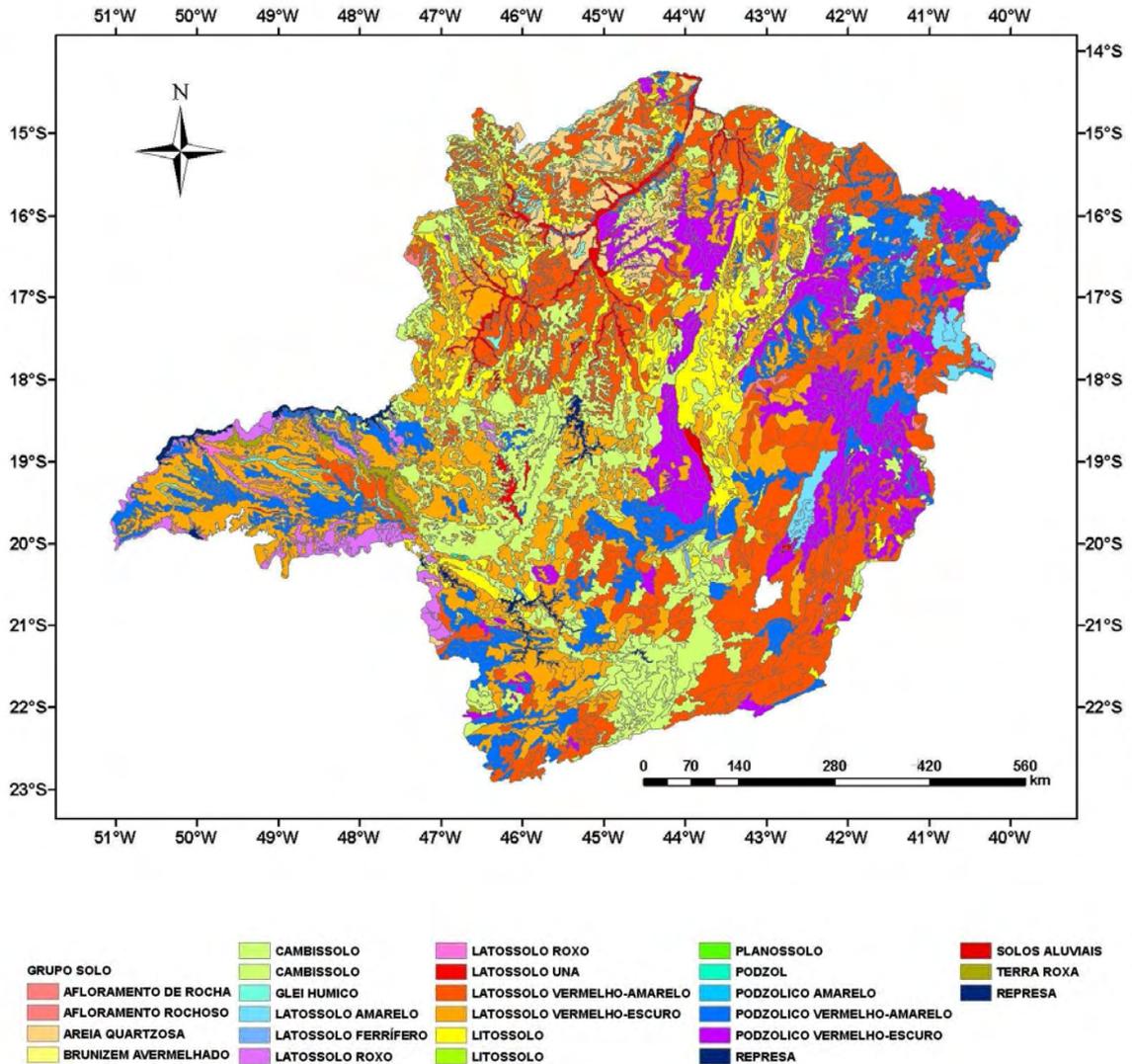


Figura 11 - Distribuição geográfica dos municípios em que foi utilizada a análise de regressão múltipla para o mapeamento dos campos homogêneos de temperatura do ar a partir das estações convencionais do INMET

A partir do cálculo das temperaturas médias do ar (máxima e mínima) segundo Sedyama et al. (1998), utilizou-se o modelo de umidade relativa do ar, proposto por Delgado et al. (2009), para o mapeamento da umidade relativa do ar.

Para obtenção do mapa temático de aptidão de solo, o mapa temático de classificação de solo para o estado de Minas Gerais (Figura 12) foi importado do sítio da Geominas (GEOMINAS, 2010).



Fonte: Geominas (2010).

Figura 12 - Classificação de solo para Minas Gerais.

### 4.3. Algoritmo árvore de decisão

Na classificação pelo algoritmo árvore de decisão foi utilizado um aplicativo de processamento de imagens, o ENVI©, para a classificação digital. Nesta técnica de classificação foram utilizadas imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat-5, as imagens TM são compostas de sete bandas espectrais, sendo que seis bandas são refletivas e uma termal (banda 6). Informações detalhadas de cada banda, juntamente com os coeficientes de calibração radiométrica, estão apresentadas na Tabela 3.

A radiância espectral dos alvos observados pelo sensor TM são armazenadas em níveis de cinza, ou número digital, os quais variam de 0 a 255 (resolução radiométrica de 8 bits) e tendo resolução espacial de 30 m nas bandas refletivas e 120 m na banda do termal (ANDRADE, 2008).

Nesse processo, uma série de seqüências foi efetuada (Figura 13), através da equação 1 foi calculado a radiância espectral de cada banda ( $L_{\lambda_i}$ ), dada por:

$$L_{\lambda_i} = L_{\min} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \times ND \quad (1)$$

em que ND é o número digital de cada pixel; e os coeficientes  $L_{\max}$  e  $L_{\min}$  são as radiâncias espectrais máximas e mínimas ( $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ), conforme apresentado na Tabela 3.

Conforme Chander e Markhan (2003), tratando-se de dados TM, as imagens cujas datas de aquisição estão compreendidas de 1.º de março de 1984 a 4 de maio de 2003, devem ser utilizados os valores de  $L_{\min}$  e  $L_{\max}$  apresentados na Tabela 3. Caso as imagens sejam datadas após 4 de maio de 2003, devem ser utilizados os valores de  $L_{\min}$  e  $L_{\max}$  apresentados na mesma Tabela 3.

Posteriormente, calculou-se a refletância monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ) com a equação 2 sugerida por Allen et al. (2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi L_{\lambda_i}}{E_{\lambda_i} \cos \theta_z d_r} \quad (2)$$

em que  $L_{\lambda_i}$  é a radiância espectral de cada banda;  $E_{\lambda_i}$ , irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $Wm^{-2} \mu m^{-1}$ );  $\theta_z$ , ângulo zenital solar retirado da informação do cabeçalho das imagens do sensor TM; e  $d_r$ , distância relativa terra-sol (em unidade astronômica – UA) (equação 3).

A distância relativa terra-sol foi calculada por meio da equação sugerida por Allen et al. (2002):

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left( DJ \times \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

em que DJ representa o dia Juliano.

Tabela 3 - Descrição das bandas do sensor TM, apresentando os coeficientes de calibração ( $L_{\min}$  e  $L_{\max}$ ) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera, no período 1.º de março de 1984 a 4 de maio de 2003 e após 4 de maio de 2003

Bandas TM	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	01/03/1984 a 04/05/2003			Após 04/05/2003		
		$L_{\min}$	$L_{\max}$	$E_{\lambda_i}$	$L_{\min}$	$L_{\max}$	$E_{\lambda_i}$
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	152,10	1957	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	296,81	1829	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	204,30	1557	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,90	-1,51	206,20	1047	-1,51	221,0	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	27,19	219,3	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-	1,2378	15,303	-
7 (IV-distante)	2,08 – 2,35	-0,15	14,38	74,52	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Chander e Markham (2003).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) foi obtido por meio da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ) e a soma das mesmas (ALLEN et al., 2002):

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (4)$$

Foi aplicada a técnica de classificação de imagens por textura no software ENVI ©, sendo uma característica importante usada na identificação de objetos ou regiões de interesse em uma imagem (LOCK; KIRCHNER, 1997). Depois dessa etapa, os dados da árvore foram utilizados para proceder a classificação digital da imagem no software ENVI ©. As variáveis foram então inseridas no software e a árvore executada. As variáveis utilizadas que tomaram parte do modelo foram: seis bandas originais do sensor TM (1, 2, 3, 4, 5 e 7), MDE, Componentes Principais (CP), medidas de ocorrência e co-ocorrência (texturas) e NDVI. Todas estas variáveis foram organizadas em um único arquivo de imagem.

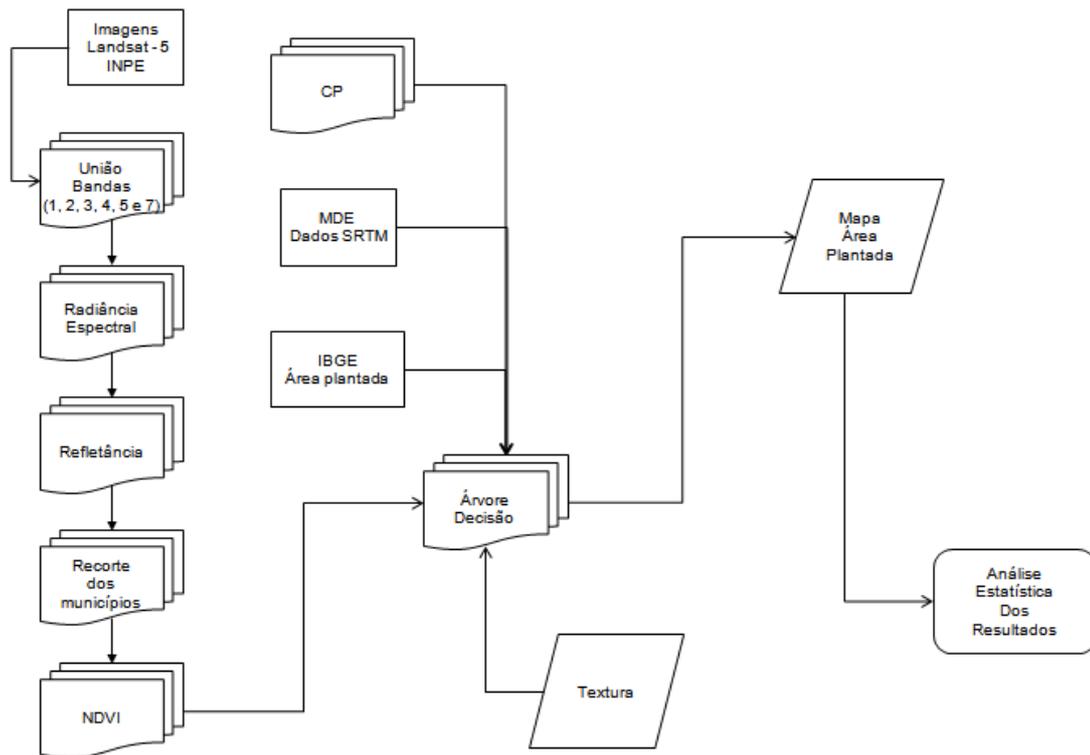


Figura 13 - Fluxograma do sistema de processamento das imagens do sensor TM e a classificação de área por árvore de decisão.

#### 4.4. Análises estatísticas

Objetivando avaliar o desempenho estatístico do método para identificar área plantada, foram realizadas análises comparativas entre as metodologias propostas com base nos valores efetivamente medidos (observados). Para o teste dos modelos, foi adotado o coeficiente de determinação ( $r^2$ ). Adicionalmente, foram estimados os seguintes erros estatísticos: raiz do erro quadrático médio (REQM), erro absoluto médio (EAM) e o viés médio (VM) (WILLMOTT et al., 2005). As expressões utilizadas para estimativa do coeficiente de determinação e erros foram:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (5)$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{N} \quad (6)$$

$$REQM = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$VM = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}_i)}{N} \quad (8)$$

em que  $P_i$  é o  $i$ ésimo valor estimado;  $O_i$ ,  $i$ ésimo valor observado;  $\bar{O}$ , valor médio observado; e  $N$ , número de pares de dados analisados.

#### 4.5. Espacialização dos dados

A interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos. A partir das coordenadas geográficas de cada estação meteorológica, foram alocadas as estações na área de estudo, no estado de Minas Gerais. Foram gerados mapas resultantes da interpolação de todas as estações, para cada ano.

A interpolação dos dados de precipitação foi feita através do método de krigagem ordinária, utilizando-se o software Sistema de Informações Geográficas ArcGis®, versão 9.2. Foram considerados 16 a 20 pontos mais próximos para interpolação, através da opção "nearest neighbors" (Caram, 2007). Para os dados de temperatura e umidade relativa do ar, empregou-se o interolador linear IDW, em que o peso da célula a ser interpolada é dado por uma média que utiliza o peso dos pontos de controle mais próximos, ponderados pelo inverso da distância, elevado a um expoente  $m$ . Foram considerados os 12 pontos mais próximos para interpolação, por meio da opção "nearest neighbors", e utilizou-se a quarta potência para o cálculo da distância euclidiana, na opção power (DELGADO, 2009).

#### **4.6. Zoneamento edafoclimático do café arábica para Minas Gerais associado ao potencial produtivo**

Para o zoneamento edafoclimático, foram utilizadas as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dados pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA), mapa de solos do sítio Geominas (GEOMINAS, 2010) e o Modelo Digital de Elevação (MDE), obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM ([Shuttle Radar Topography Mission](#)). A série de dados utilizada refere-se ao período de 1941 a 2009.

Os dados de produtividade da cultura do café foram obtidos no IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Utilizou-se uma série de dados correspondentes ao período 1990-2008. Calculou-se a média das produtividades ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) durante os 18 anos, para cada município.

Utilizando-se de recurso computacional e se tendo o tema (nível de formação de um plano) em formato vetorial dos municípios do Estado de Minas Gerais, em sua tabela de atributos (identificador qualitativo ou quantitativo do tema) foi acrescentado o campo produtividade e, neste, os valores médios de produtividade para cada município; depois, este tema foi convertido para o formato matricial (grid), selecionando-se o atributo produtividade como valor das células para a geração do mapa temático de produtividade, o qual foi renomeado para produtividade.

Utilizaram-se as análises de regressão múltipla, segundo Sedyama et al. (1998), cujas variáveis envolveram os fatores geográficos para os locais desprovidos de temperatura do ar.

A partir da interpolação dos valores de temperatura, foi possível definir os limites das regiões climaticamente homogêneas, em forma de mapas georreferenciados. O mapa de temperatura gerado foi reclassificado, segundo os intervalos de classes de temperatura proposto por Faria (2002).

Para definir a aptidão do café arábica relativamente à deficiência hídrica, utilizou-se o balanço hídrico seriado, que resulta da análise conjunta dos dados de precipitação e temperatura média mensal. Para o cálculo do balanço hídrico seriado, adotou-se a metodologia segundo Thornthwaite e Mather (1955), para cada estação. Tomou-se o valor para a CAD (capacidade de água disponível) de 125 mm, por ser considerado um valor médio para a cultura devido à sua profundidade radicular efetiva.

O valor da evapotranspiração potencial climática mensal, em mm, foi estimado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), inicialmente calculando-se a evapotranspiração potencial climática não corrigida, isto é, para dias de 12 horas e mês padrão de 30 dias e, em seguida, multiplicando-se pelo fator de correção, que depende da latitude e dos meses do ano.

Com os valores de deficiência hídrica anual para cada estação, utilizou-se o mesmo procedimento para elaboração do mapa da temperatura, e reclassificou-se o resultado, segundo os intervalos de classes de deficiência hídrica propostos por Faria (2002).

Os parâmetros de aptidão, por classes de solos para o cafeeiro, utilizados neste trabalho, foram propostos por Faria (2002). Foram consideradas aptas as áreas que possuem as seguintes classes de solos: Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho Escuro, Latossolo Una, Latossolo Roxo, Latossolo Ferro, Latossolo Amarelo, Podzólico Vermelho Amarelo, Podzólico Vermelho Escuro, Podzólico Amarelo, Podzol, Planossolo, Glei Humico, Terra Roxa Estruturada e Brunizem Avermelhado. Foram consideradas restritas as áreas que possuem a classe de solo Cambissolo, enquanto foram consideradas inaptas as áreas que possuem as classes de solos Arenoquartzosos, Litólicos, Afloramento Rochoso, Aluviais e Represa (Obs.: Sol<sup>1</sup> = Apta, Sol<sup>2</sup> = Restrita e Sol<sup>3</sup> = Inapta).

O fluxograma de todas as operações envolvidas no processo de manipulação e execução, culminando nos mapas temáticos de regionalização edafoclimática, altimétrica e produtividade é apresentado na Figura 14 (Obs.: T<sub>ma</sub> = temperatura média anual, e D<sub>ha</sub> = deficiência hídrica anual).

Por meio da tabulação cruzada (módulo do Sistema de Informações Geográficas que gera o conjunto união dos mapas), executada nos mapas temáticos de temperatura média anual, deficiência hídrica anual, solo e altimetria foi obtido, como produto final, um mapa temático da regionalização edafoclimática e altimétrica do cafeeiro para todo Estado de Minas Gerais.

A Tabela 4 traz o mapeamento das faixas com as diferentes limitações e possibilidades para a cultura do café.

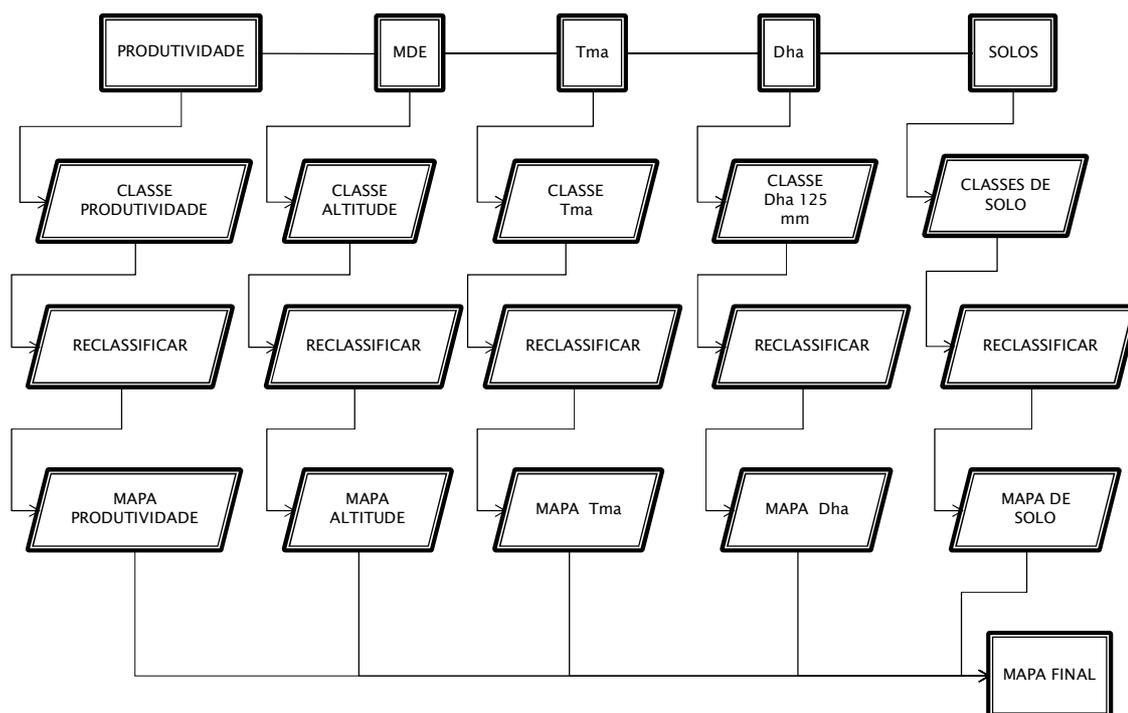


Figura 14 - Fluxograma das etapas necessárias à obtenção do mapa de regionalização edafoclimática e altimétrica do cafeeiro para o Estado de Minas Gerais

#### 4.7. Índice de substituição das culturas agrícolas

Com o objetivo de verificar a evolução geoespacial das culturas, no Estado de Minas Gerais, assim como a influência do zoneamento edafoclimático do café na mudança da composição agrícola, analisaram-se as alterações da área plantada mediante a decomposição nos efeitos escala e substituição e georreferenciaram-se os resultados, comparando-os com o mapa climático. Obtidos esses índices, foi possível verificar se a alteração na área ocupada com cada produto foi consequência da alteração na área total, ou se foi devida à substituição de uma atividade por outra.

O modelo permite decompor a alteração da área cultivada de um produto em relação a outro, em função da variação no tamanho do sistema de produção que corresponde ao somatório da área cultivada com os produtos plantados na região em análise (efeito-escala) ou da substituição de um produto por outro, dentro do sistema efeito-substituição.

Tabela 4 - Áreas aptas, inaptas e restritas para a cultura do café

Mapeamento das faixas	Limitações e possibilidades	$T_{ma}$ (°C)	$D_{ha}$ (mm)	Solo	Altitude (m)
0	Inapta	$18^{\circ}\text{C} > T_{ma} \geq 23^{\circ}\text{C}$	$D_{ha} \geq 200$ mm	Sol <sup>3</sup>	Altitude < 500 m
1	Apta	$19^{\circ}\text{C} \leq T_{ma} < 22^{\circ}\text{C}$	$D_{ha} < 150$ mm	Sol <sup>1</sup>	Altitude $\geq$ 500 m
2	Restrita pelo solo	$19^{\circ}\text{C} \leq T_{ma} < 22^{\circ}\text{C}$	$D_{ha} < 150$ mm	Sol <sup>2</sup>	Altitude $\geq$ 500 m
3	Restrita pela $D_{ha}$	$19^{\circ}\text{C} \leq T_{ma} < 22^{\circ}\text{C}$	$150 \text{ mm} \leq D_{ha} < 200$ mm	Sol <sup>1</sup>	Altitude $\geq$ 500 m
4	Restrita pela $T_{ma}$	$18^{\circ}\text{C} \leq T_{ma} < 19^{\circ}\text{C}$	$D_{ha} < 150$ mm	Sol <sup>1</sup>	Altitude $\geq$ 500 m
5	Restrita pela $T_{ma}$ e $D_{ha}$	$18^{\circ}\text{C} \leq T_{ma} < 19^{\circ}\text{C}$	$150 \text{ mm} \leq D_{ha} < 200$ mm	Sol <sup>1</sup>	Altitude $\geq$ 500 m
6	Restrita pela $T_{ma}$ e solo	$18^{\circ}\text{C} \leq T_{ma} < 19^{\circ}\text{C}$	$D_{ha} < 150$ mm	Sol <sup>2</sup>	Altitude $\geq$ 500 m
7	Restrita pela $D_{ha}$ e solo	$19^{\circ}\text{C} \leq T_{ma} < 22^{\circ}\text{C}$	$150 \text{ mm} \leq D_{ha} < 200$ mm	Sol <sup>2</sup>	Altitude $\geq$ 500 m
8	Restrita pela $T_{ma}$ , $D_{ha}$ e solo	$18^{\circ}\text{C} \leq T_{ma} < 19^{\circ}\text{C}$	$150 \text{ mm} \leq D_{ha} < 200$ mm	Sol <sup>2</sup>	Altitude $\geq$ 500 m

O modelo analítico utiliza a seguinte expressão:

$$A_{i1} = (\alpha A_{i1} - A_{i1}) + (A_{i2} - \alpha A_{i1}) \quad (9)$$

em que,  $A_{i2} - A_{i1}$  representa a variação da área cultivada com uma cultura específica "i", entre os períodos 2 e 1;  $\alpha A_{i1} - A_{i1}$ , efeito-escala; e  $A_{i2} - \alpha A_{i1}$ , efeito-substituição.

Sendo:

$$\alpha = \frac{A_{t2}}{A_{t1}} \quad (10)$$

$$A_{t1} = \sum_i A_{i1} \quad (11)$$

$$A_{t2} = \sum_i A_{i2} \quad (12)$$

em que,  $A_i$  corresponde à área cultivada com a i-ésima cultura;  $i = 1, 2, \dots, n$  culturas analisadas;  $A_{t1}$ , tamanho do sistema no período 1;  $A_{t2}$ , tamanho do sistema no período 2 e  $\alpha$  é a relação entre  $A_{t2}$  e  $A_{t1}$ , que mede a alteração no tamanho do sistema de produção, durante o período em estudo.

O efeito-escala é dado pela variação na área do produto, apenas pela alteração no tamanho do sistema, mantendo inalterada sua participação dentro deste. Se os valores forem positivos, representam tendência de expansão das culturas; se forem negativos, indicam tendência de contração na produção das culturas dentro do sistema.

Os valores encontrados no efeito-escala mostram, para cada produto, como seria o comportamento de cada cultura, se a ampliação ou a contração da área total fosse distribuída de modo uniforme entre elas.

O efeito-substituição mostra a variação da participação dentro do sistema, ou seja, refere-se à diferença entre a variação real da área cultivada entre os períodos em análise, e o efeito-escala; isto, quer dizer que, quando o efeito-substituição for negativo, por exemplo, não significará, necessariamente, que sua área cultivada tenha sido reduzida; ela pode, simplesmente, ter-se expandido, porém numa magnitude menor que à proporcional ao crescimento total da área na região em análise. Isto significa que, de modo geral, esta cultura teve suas áreas substituídas por outra cultura, que se expandiu mais que proporcionalmente ao crescimento da área total

dentro do sistema. Caso o efeito-substituição apresente sinal positivo, a situação é simétrica à supracitada. Portanto, as culturas que apresentarem efeito-substituição positivo, substituíram outras culturas, e aquelas que o apresentarem negativo, foram substituídas por outras.

O índice de substituição é definido como a razão entre o efeito-substituição e a variação total da área de cada microrregião em análise. Investiga-se, com esse índice, a importância do desempenho agrícola em relação à variação da área total do sistema de cada microrregião, dentro do período estudado.

O índice de substituição é expresso pela seguinte equação,

$$IS = \frac{A_2 - \left(\frac{A_{t2}}{A_{t1}}\right)A_1}{A_{t2} - A_{t1}} 100 \quad (13)$$

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

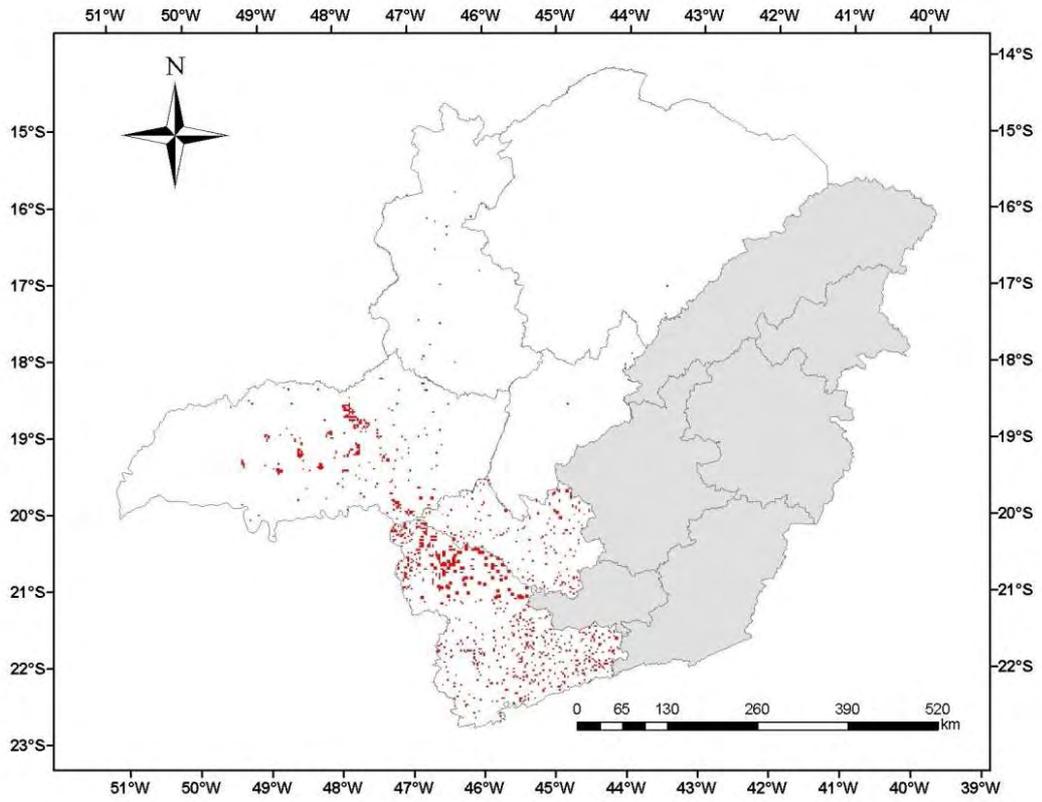
### **5.1. Classificação espectral por árvore de decisão**

A classificação por árvore de decisão, realizada pelo software ENVI©, apresentou resultados satisfatórios em termos de correta discriminação das cinco classes de uso do solo (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão) quando comparadas aos dados do censo agrícola do IBGE de 1990 a 2005. Os resultados para o mapeamento do uso e ocupação do solo foram obtidos com dados do sensor TM para o estado de Minas Gerais utilizando o software ArcGIS 9.2.

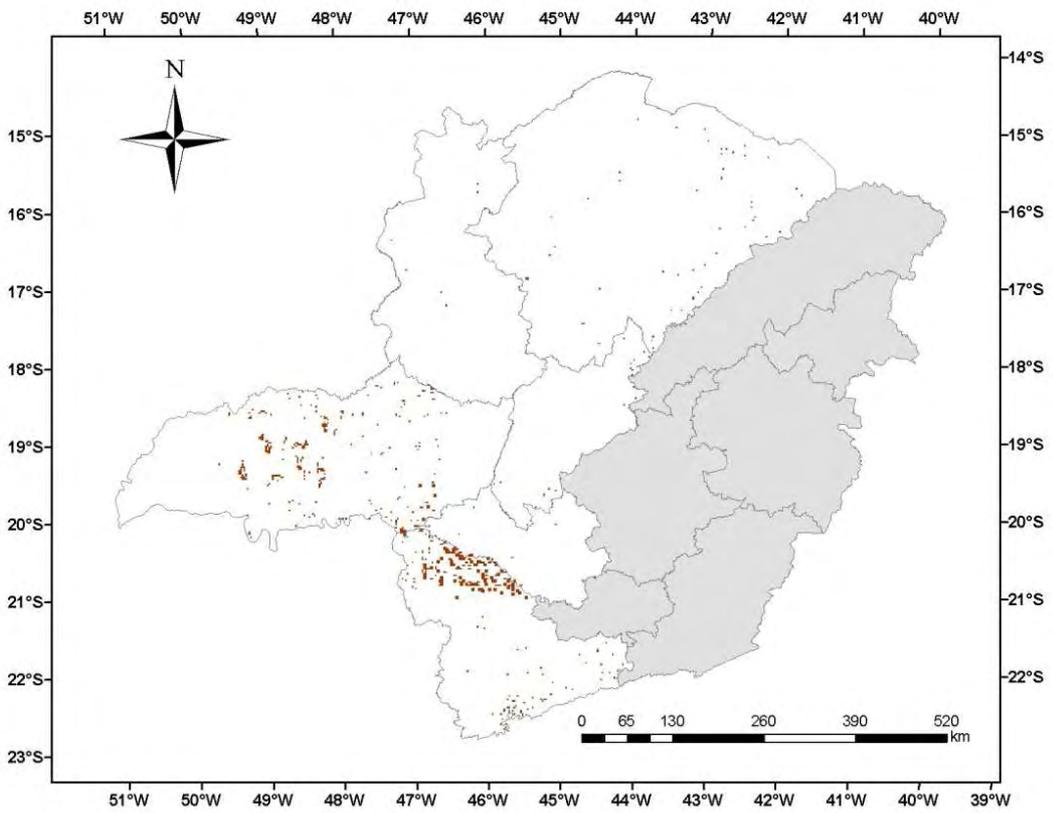
As variáveis foram então inseridas no software e a árvore executada, gerando a classificação para os anos de 1990 a 2005, conforme Figuras 15 a 22. A estrutura da árvore formada utilizando o software ENVI© está representada na Figura 23.

Nas Figuras 15a-e, 17a-e, 19a-e e 21a-e temos os mapas para as culturas do café, cana-de-açúcar, milho, soja, feijão e o mapa resultante das culturas classificadas para o ano de 1990, 1995, 2000 e 2005 (Figuras 16, 18, 20 e 22) respectivamente. As áreas em cinza foram as regiões não consideradas na classificação de área plantada por árvore de decisão, devido a influência de nuvens e ausência de imagens.

Na Tabela 5 têm-se as informações estatísticas relacionadas à estimativa da área plantada por meio do classificador árvore de decisão e IBGE. Os seguintes erros estatísticos: raiz do erro quadrático médio (REQM), erro absoluto médio (EAM) e o viés médio (VM) estão apresentados em hectares.

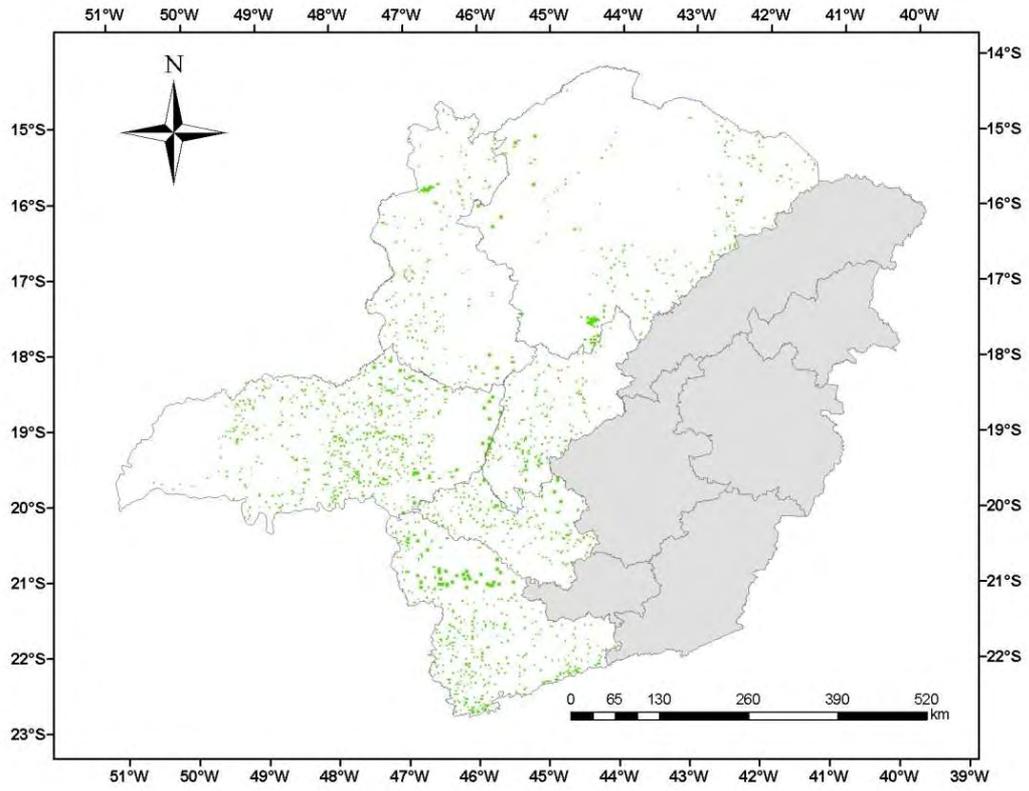


(a)

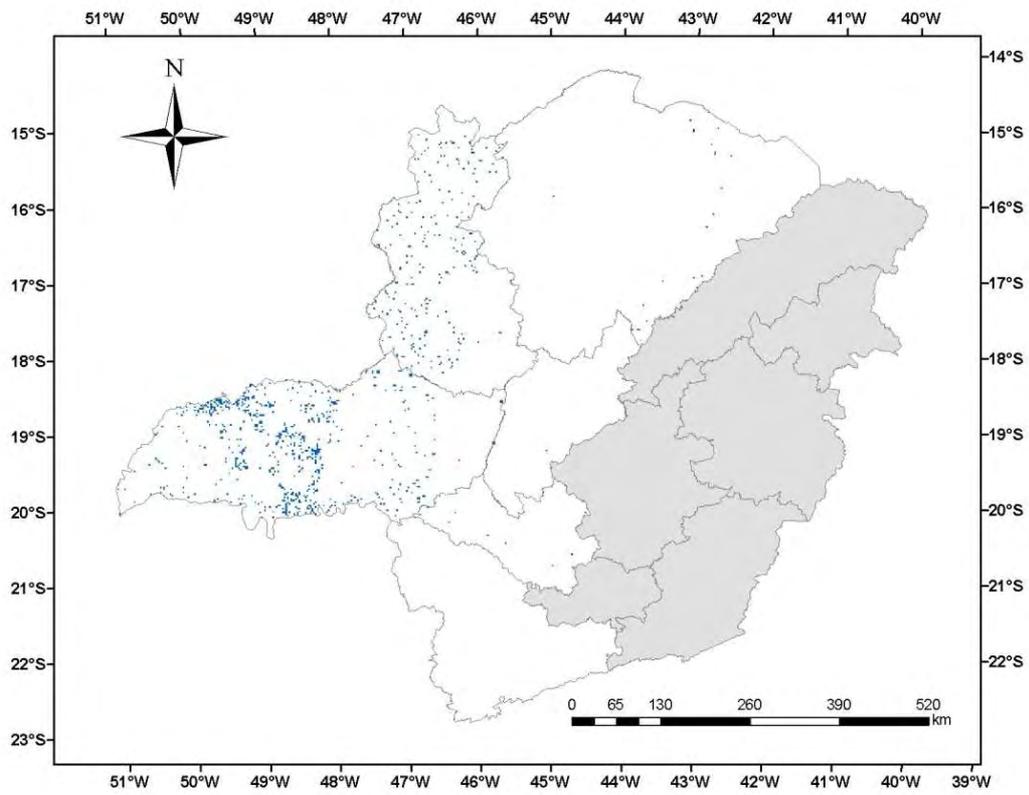


(b)

Continua...

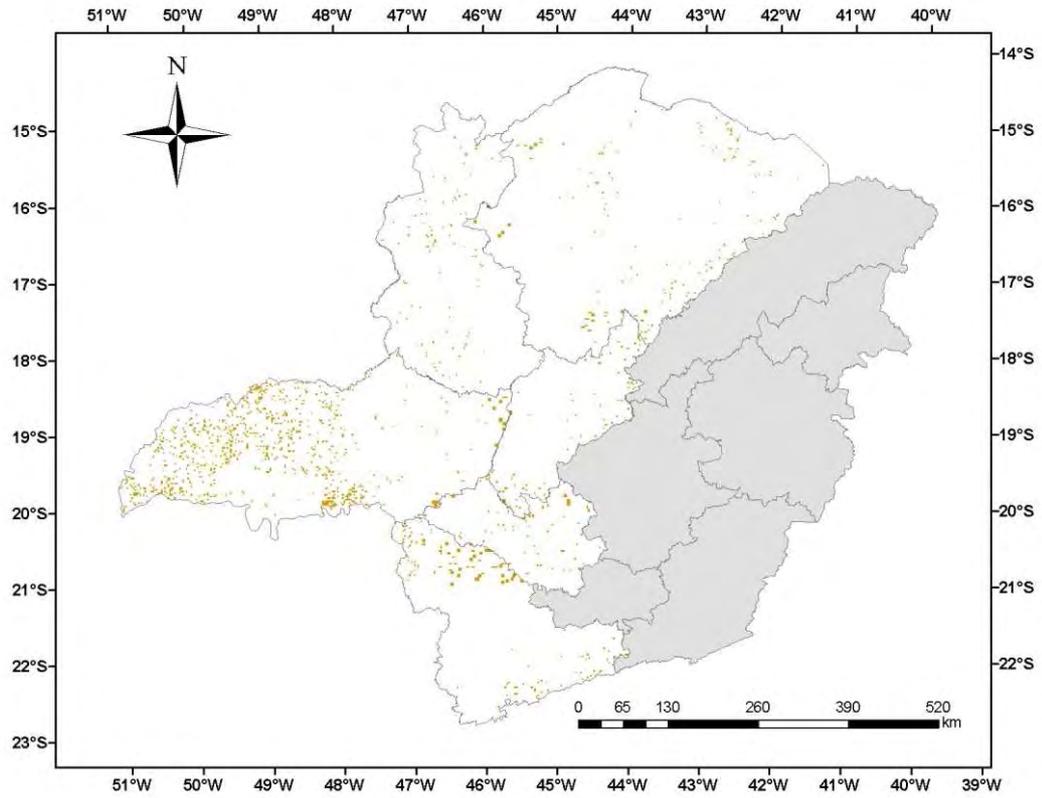


(c)



(d)

Continua...



(e)

**Legenda**



Figura 15 - Mapa de uso e ocupação do solo pelas culturas café (a), cana-de-açúcar (b), milho (c), soja (d) e feijão (e) para o ano de 1990.

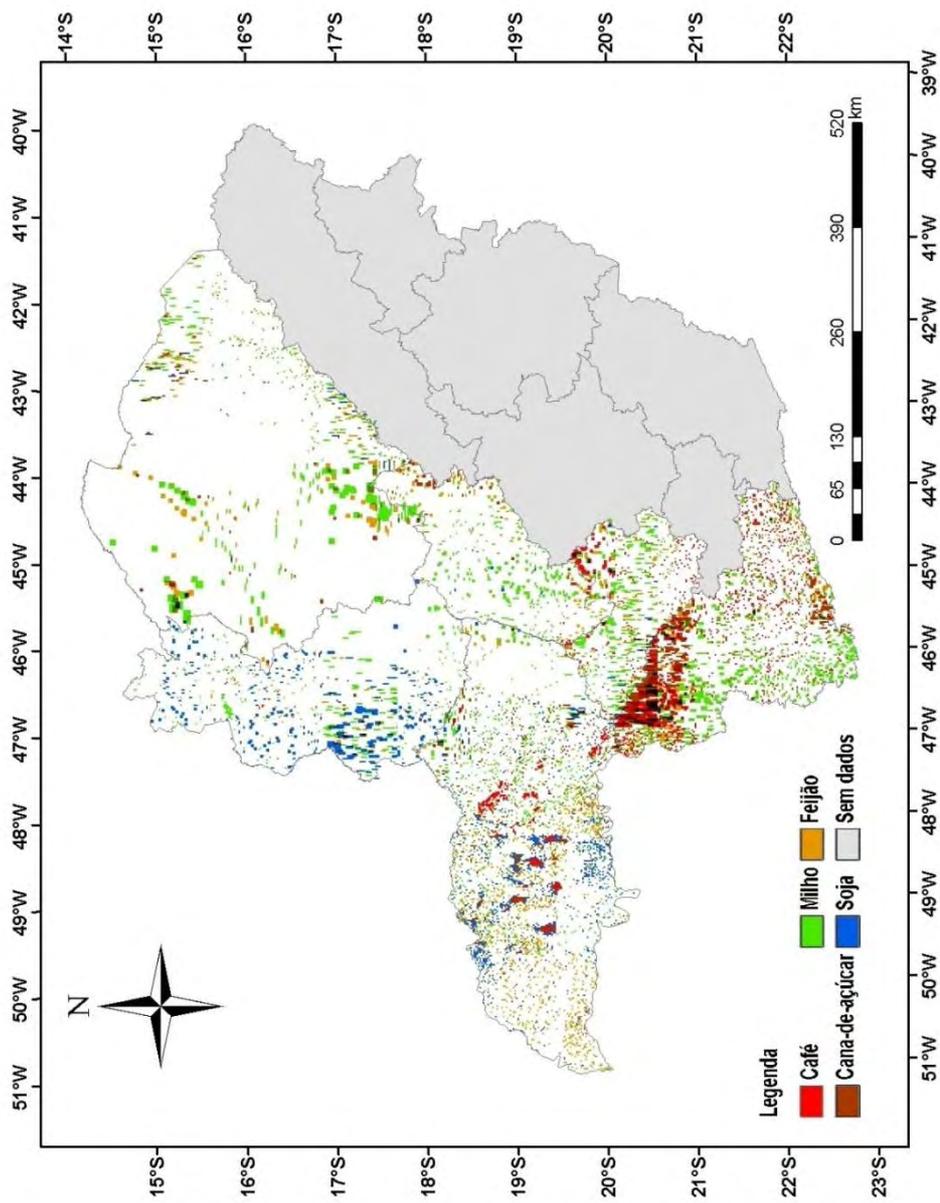
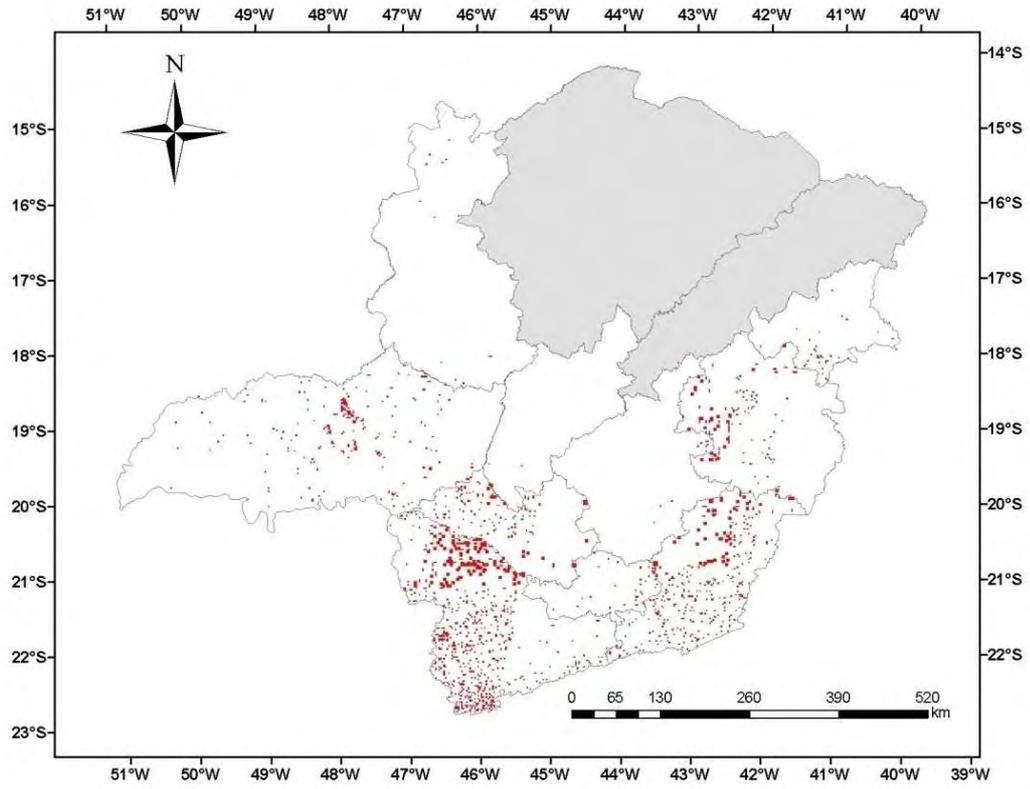
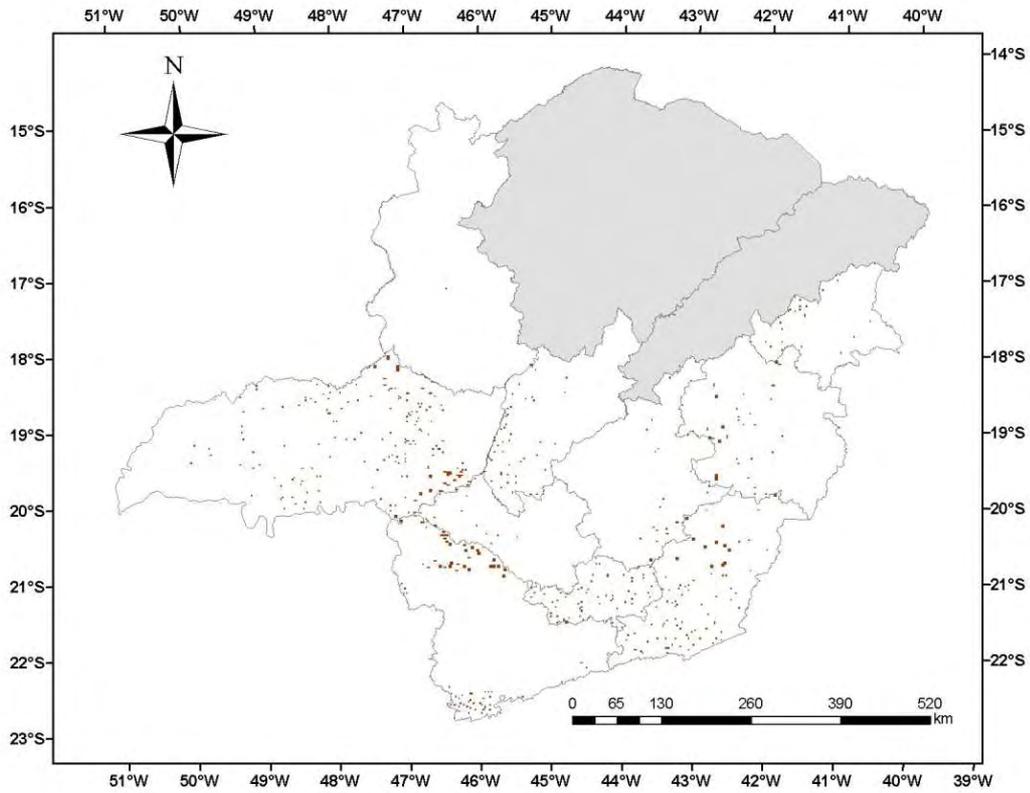


Figura 16 - Mapa temático resultante da classificação das culturas para o ano de 1990.

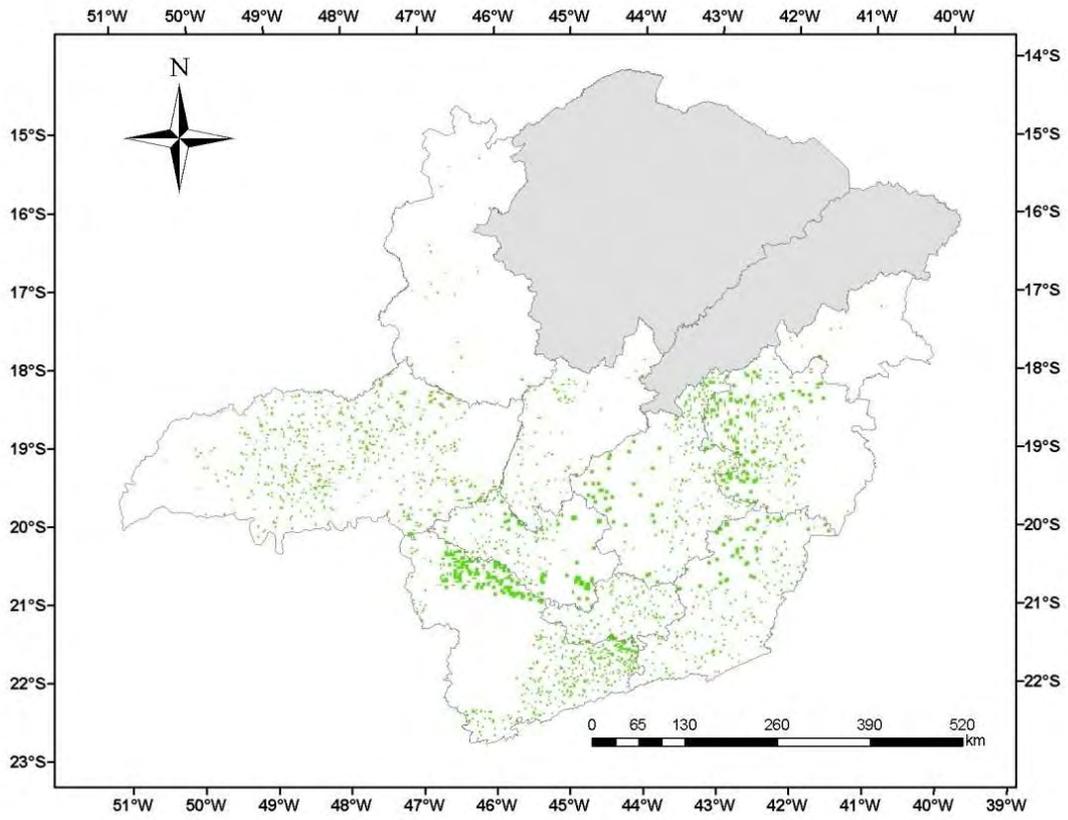


(a)

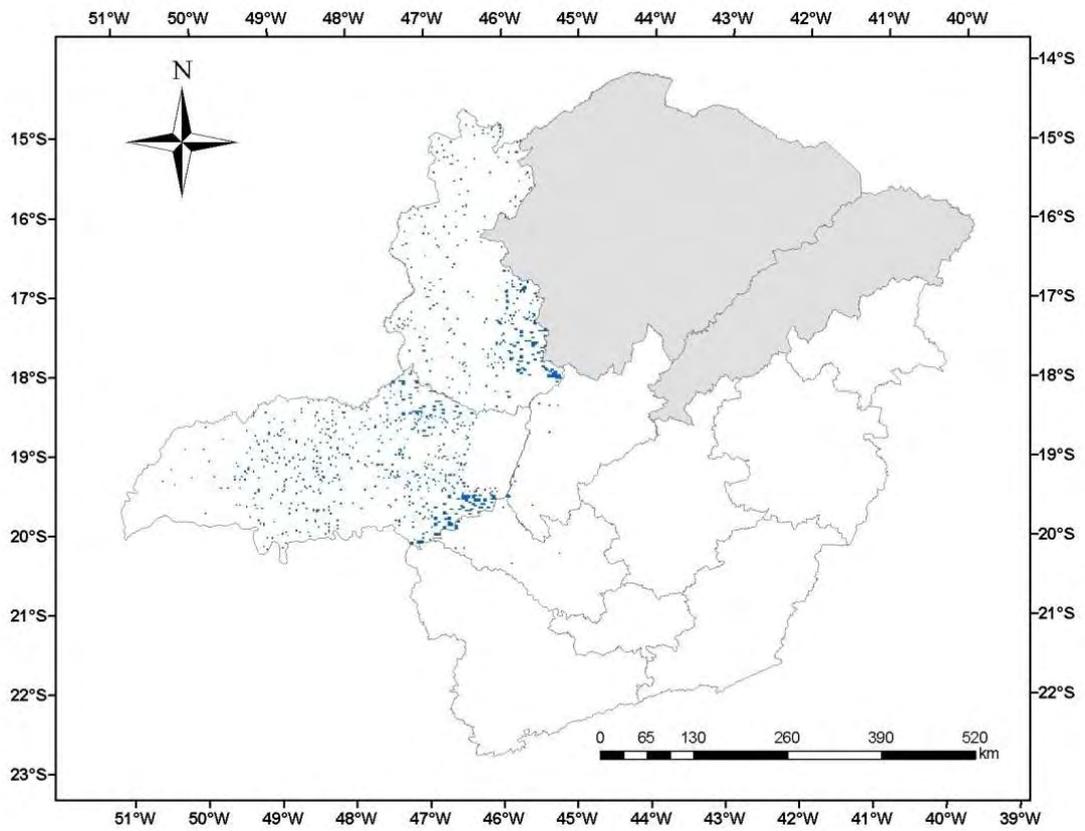


(b)

Continua...

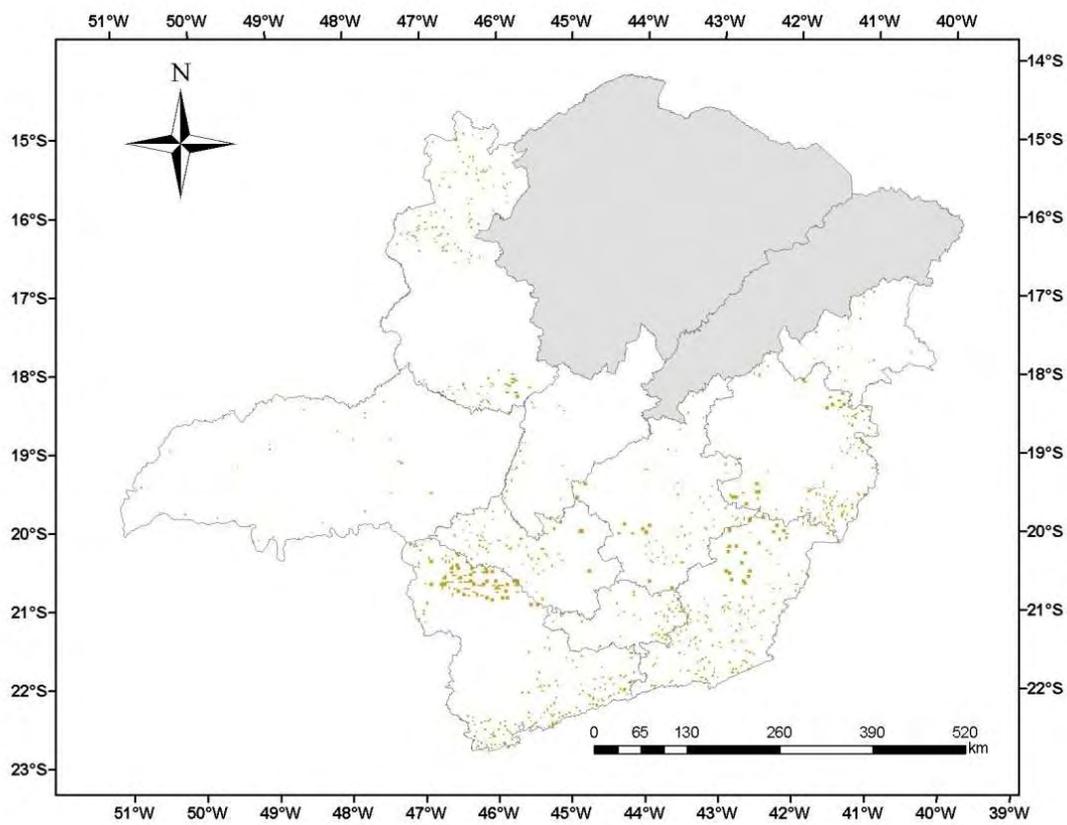


(c)



(d)

Continua...



(e)

**Legenda**



Figura 17 - Mapa de uso e ocupação do solo pelas culturas café (a), cana-de-açúcar (b), milho (c), soja (d) e feijão (e) para o ano de 1995.

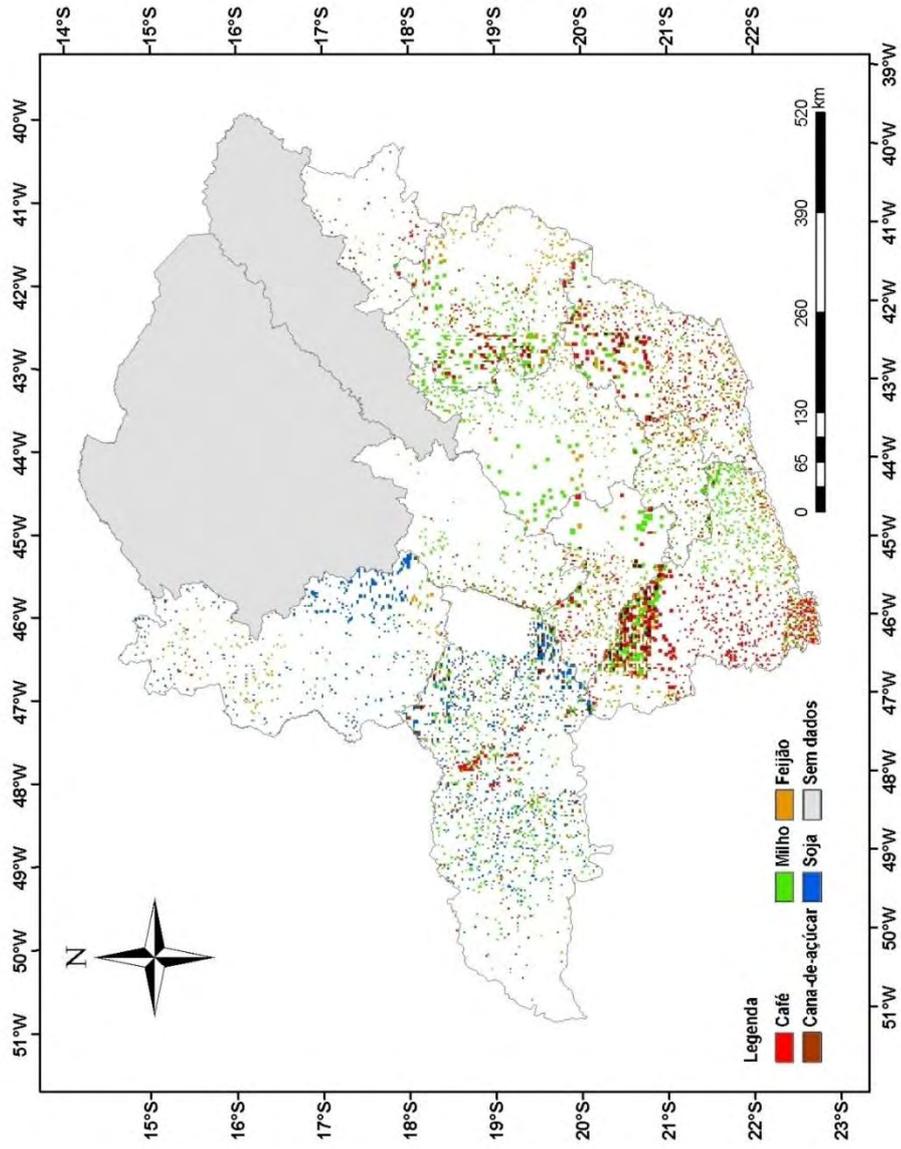
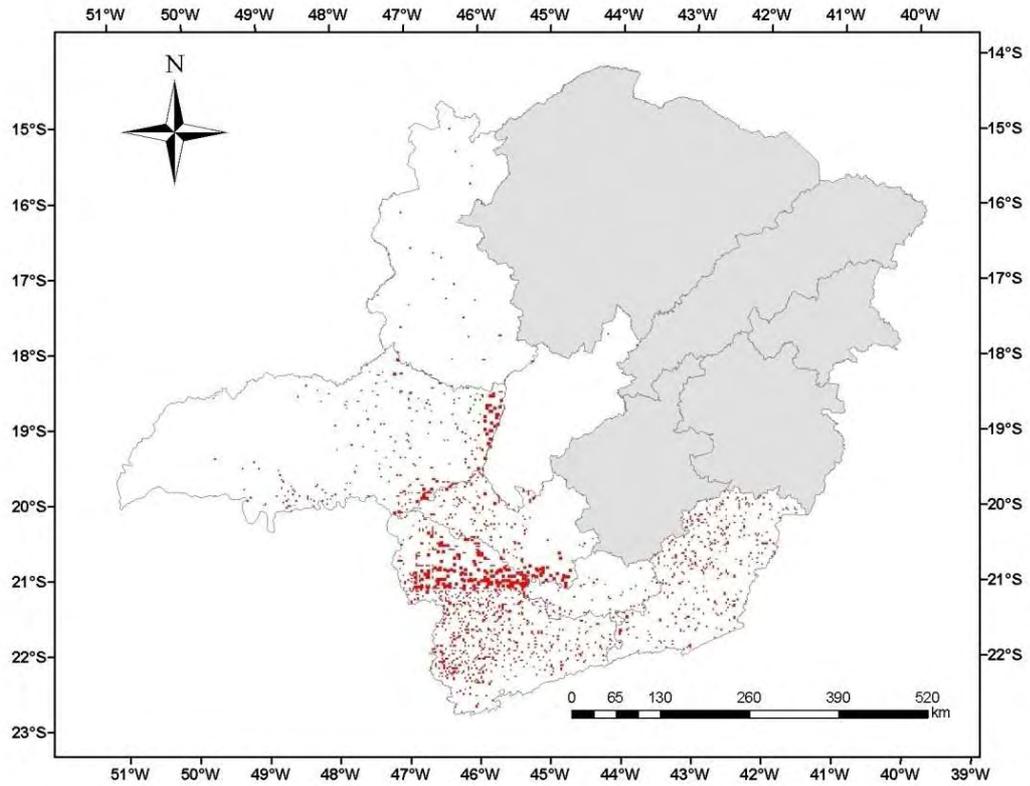
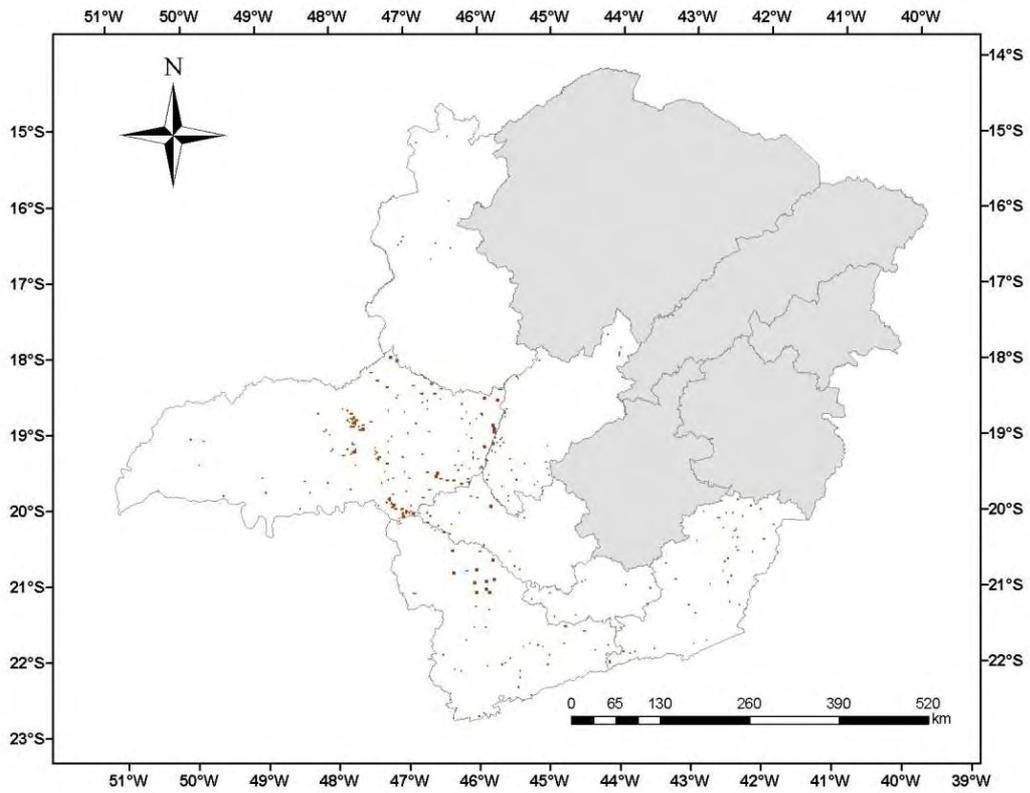


Figura 18 - Mapa temático da classificação das culturas para o ano de 1995.

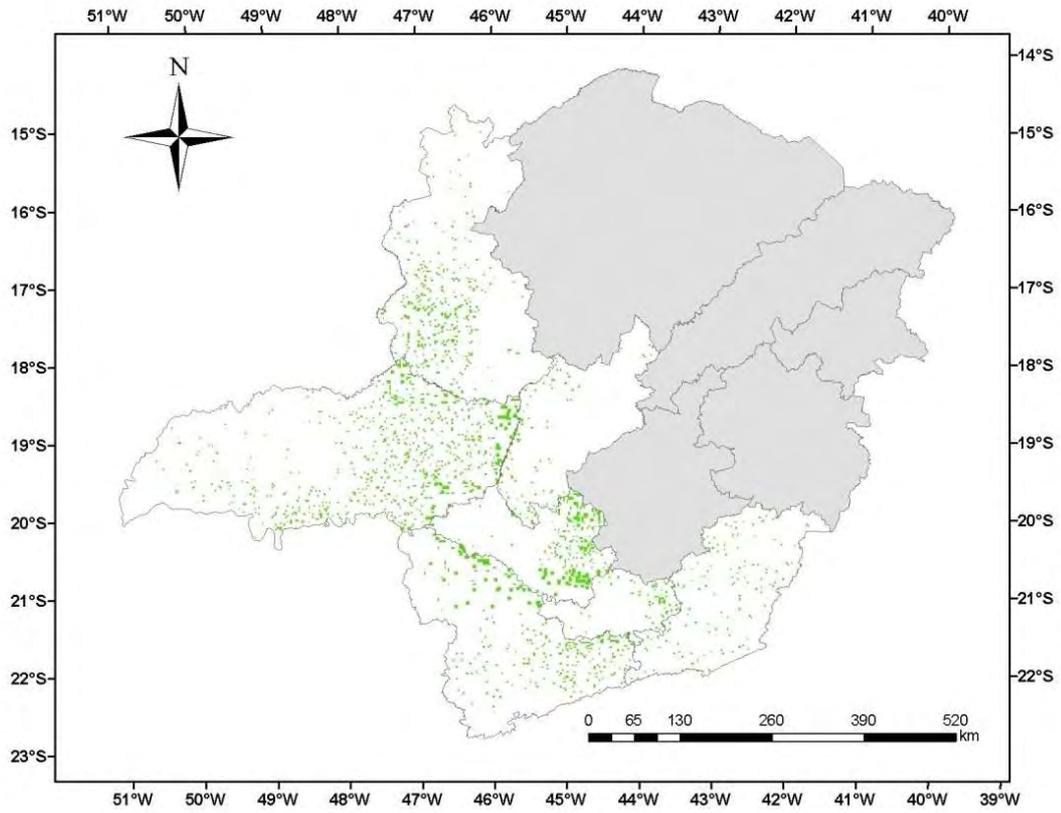


(a)

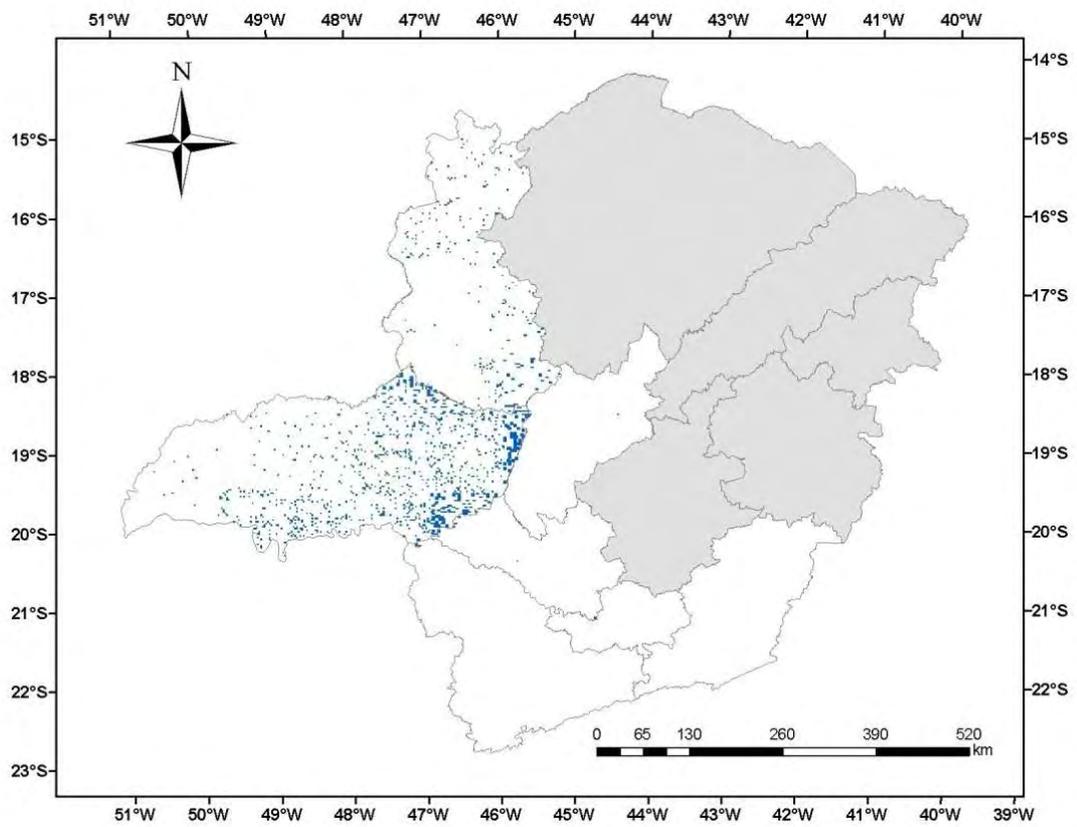


(b)

Continua...

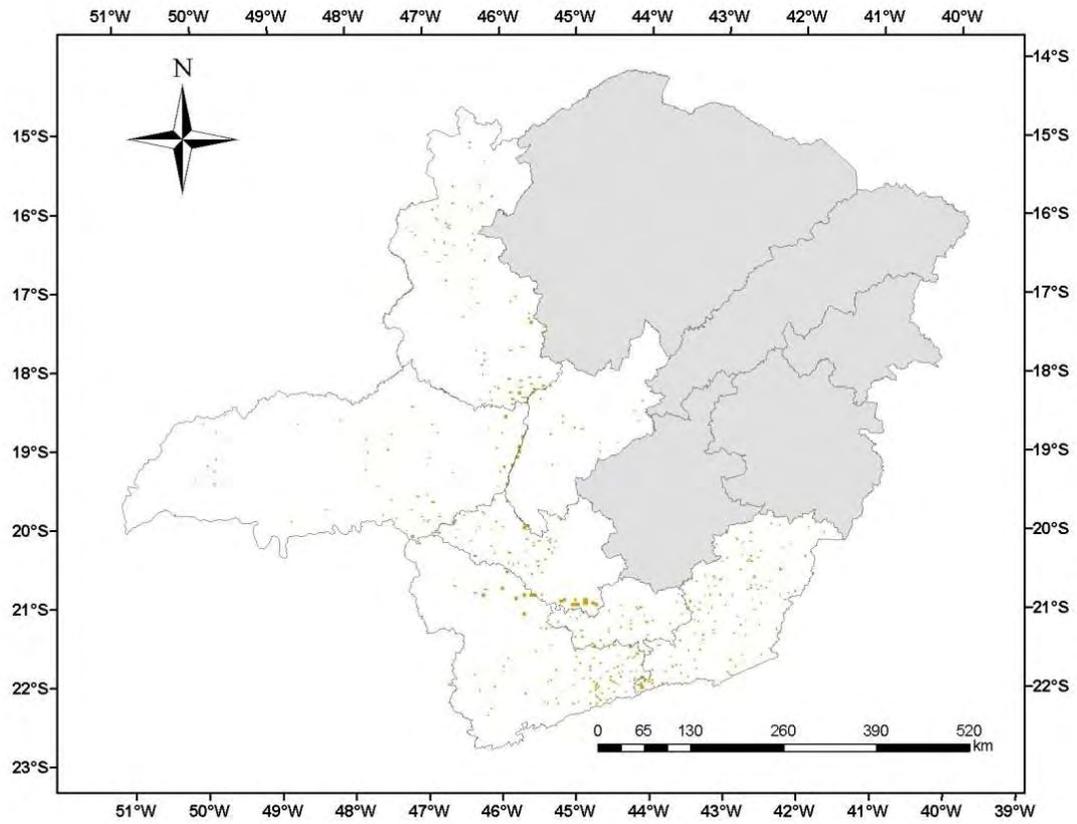


(c)



(d)

Continua...



(e)

**Legenda**

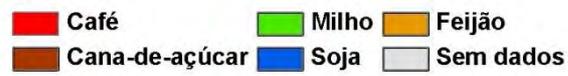


Figura 19 - Mapa de uso e ocupação do solo pelas culturas café (a), cana-de-açúcar (b), milho (c), soja (d) e feijão (e) para o ano de 2000.

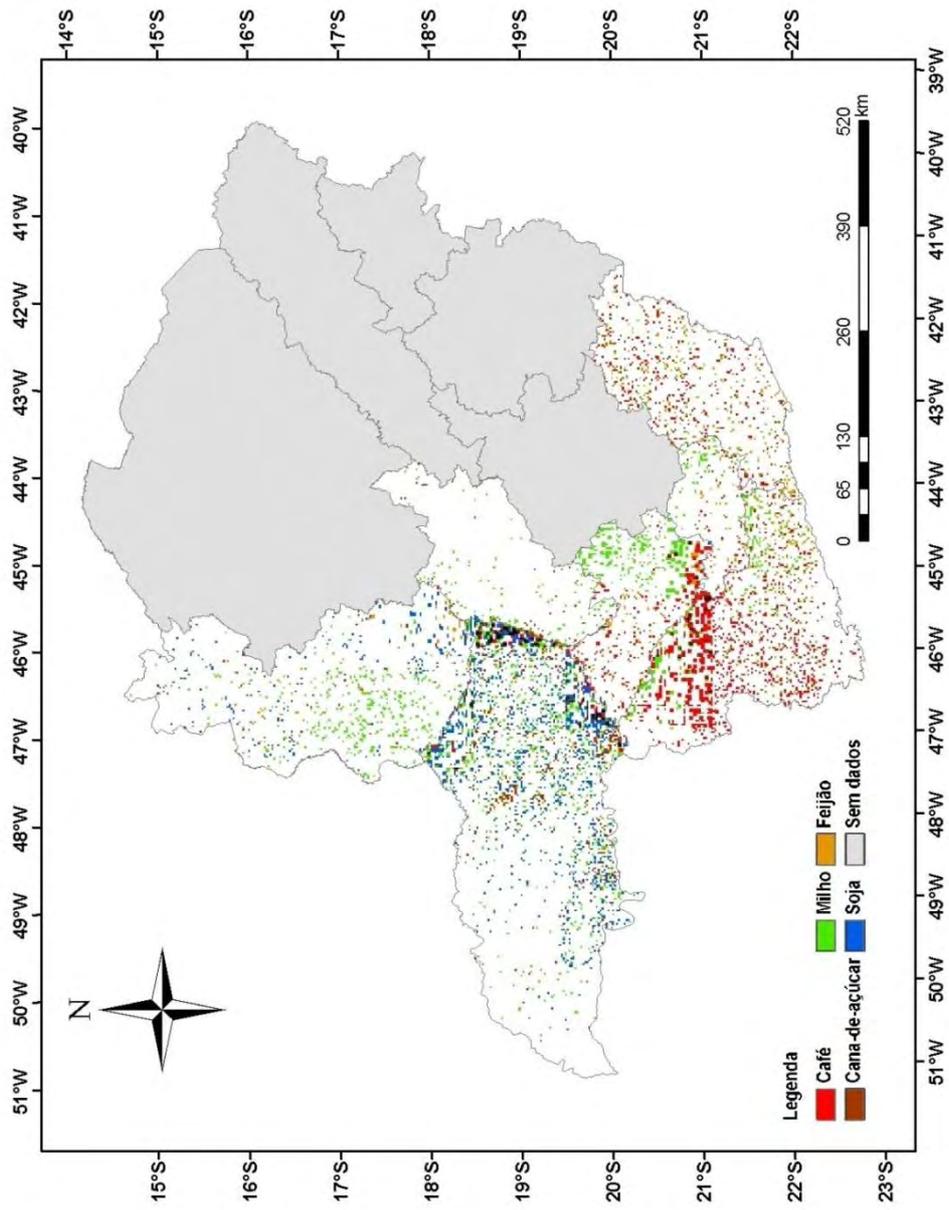
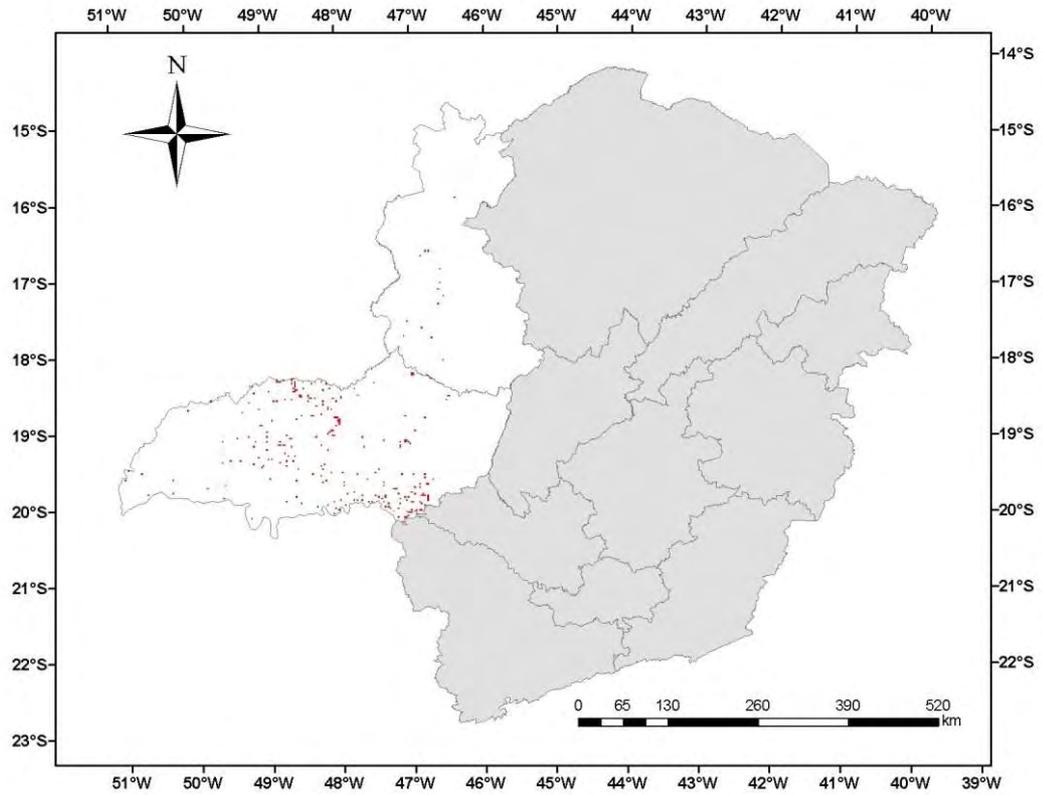
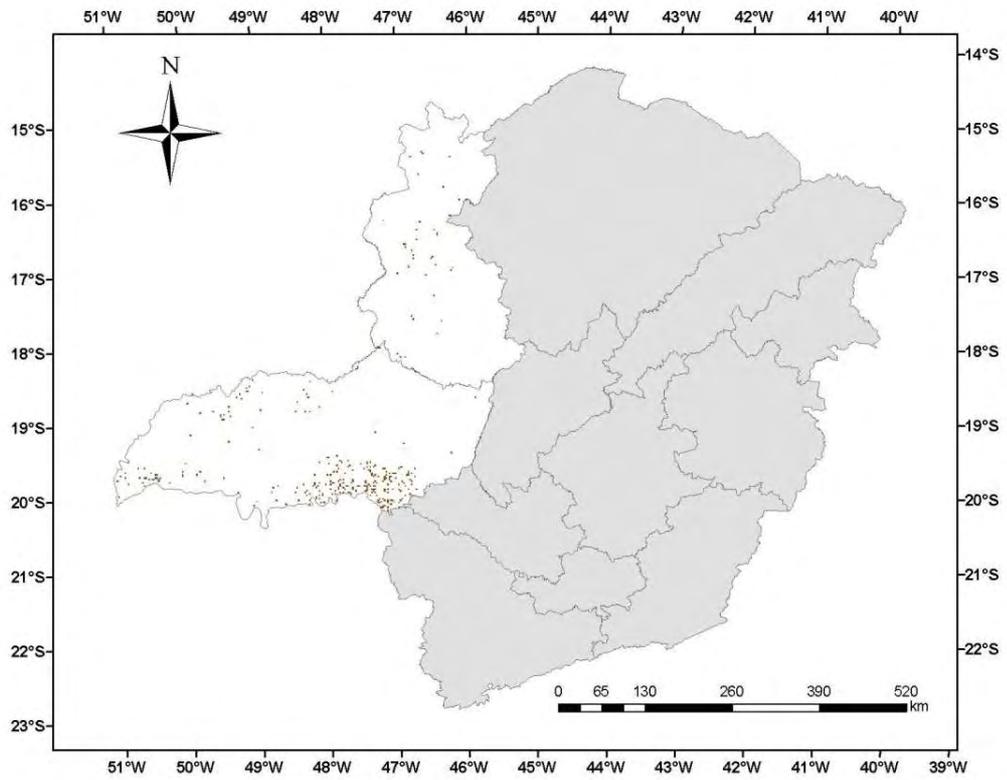


Figura 20 - Mapa temático da classificação das culturas para o ano de 2000.

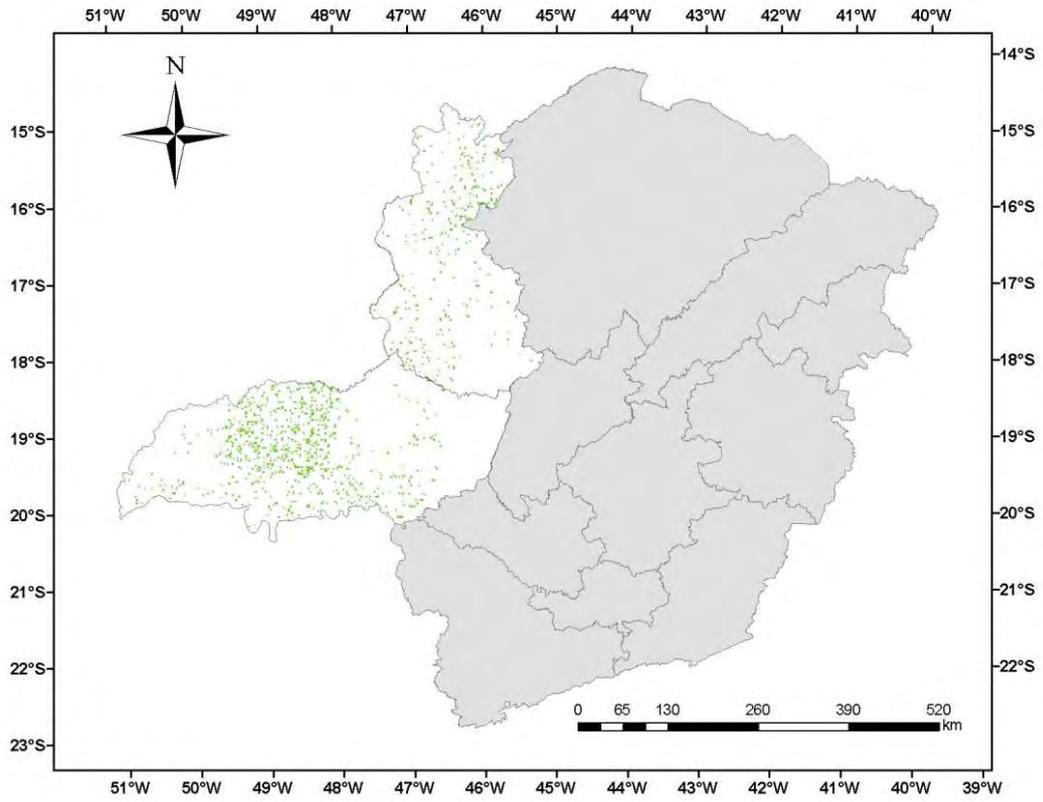


(a)

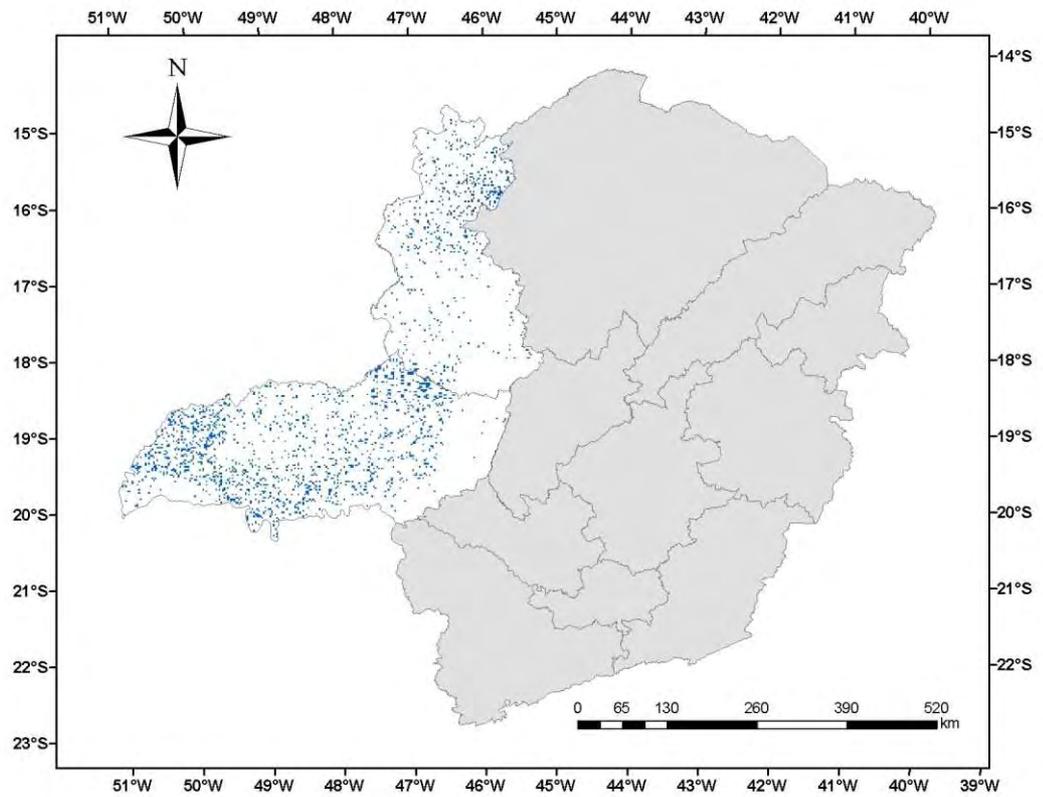


(b)

Continua...

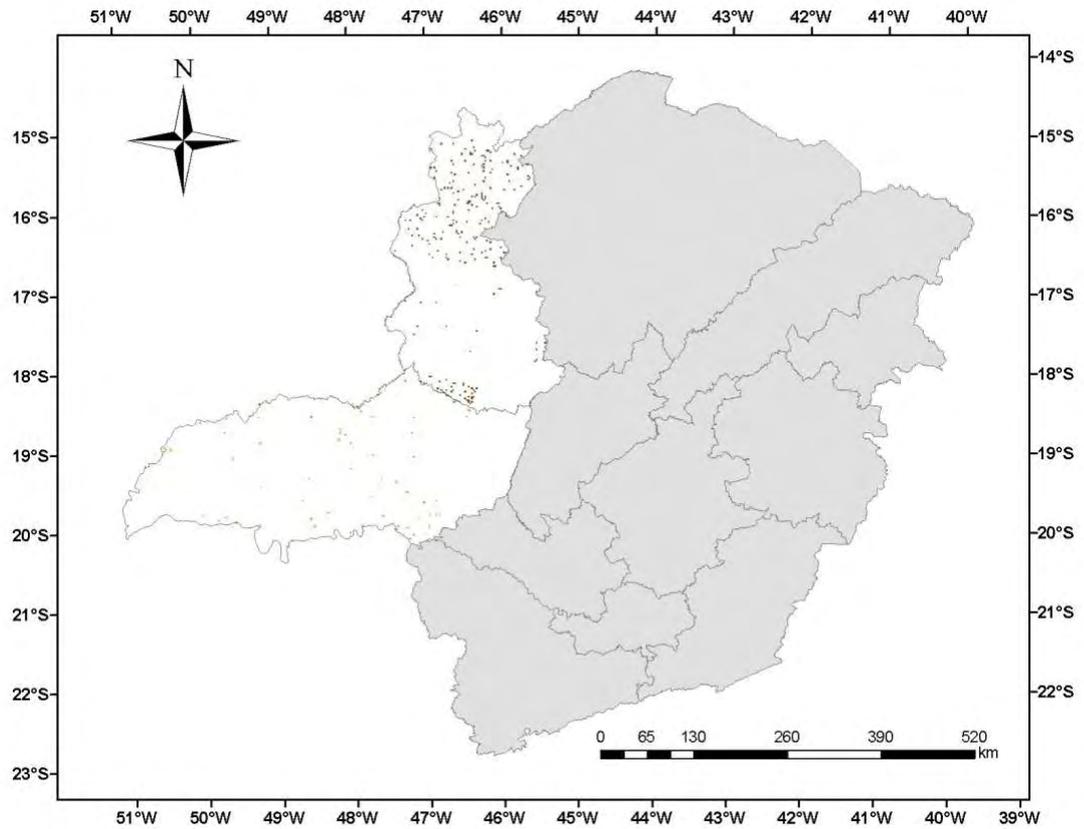


(c)



(d)

Continua...



(c)

**Legenda**



Figura 21 - Mapa de uso e ocupação do solo pelas culturas café (a), cana-de-açúcar (b), milho (c), soja (d) e feijão (e) para o ano de 2005.

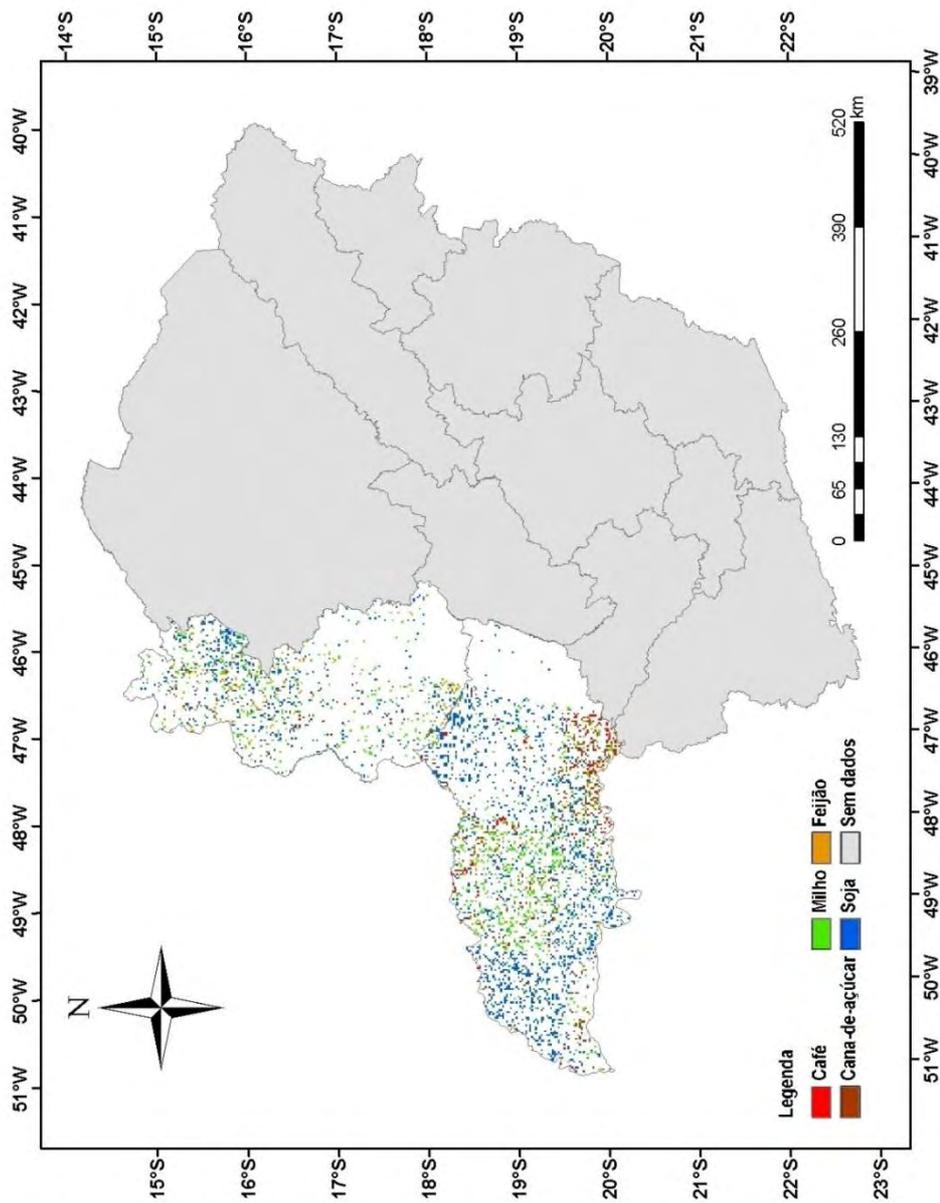


Figura 22 - Mapa temático da classificação das culturas para o ano de 2005.

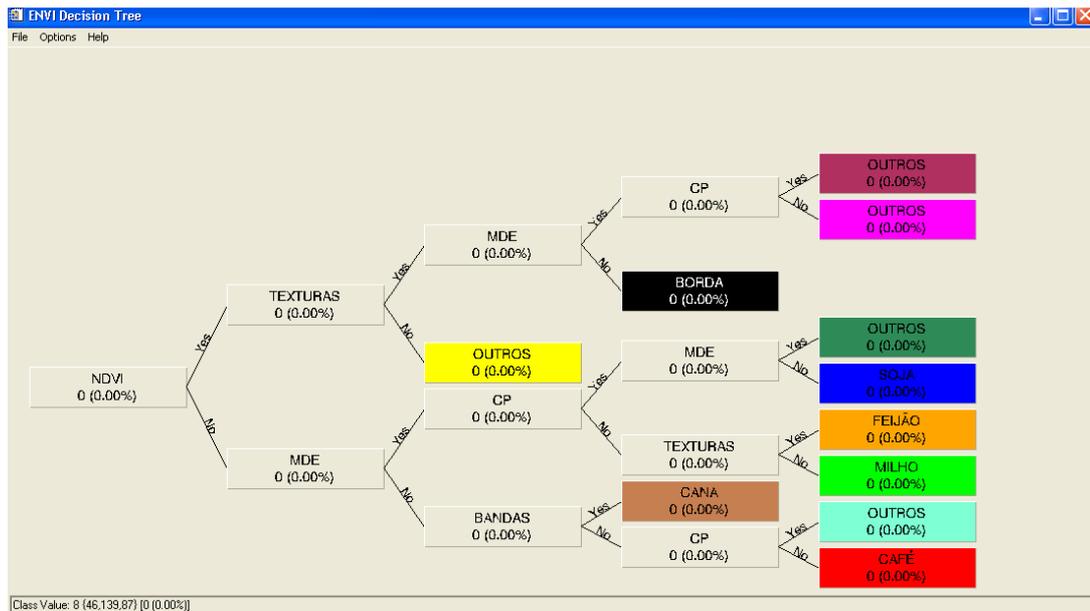


Figura 23 - Regras para a classificação dos dados na árvore de decisão.

O uso de imagens multitemporais adquiridas em períodos específicos ao longo do ciclo da cultura, aliado ao já comentado problema relacionado à cobertura de nuvens, reforça a importância de se dispor de satélites de sensoriamento remoto com elevada frequência de revisita para viabilizar o uso do sensoriamento remoto em um sistema rotineiro de levantamento de estatísticas agrícolas. Cabe aqui enfatizar que a resolução temporal de 16 dias do satélite Landsat-5 não é adequada, pois dificilmente permite adquirir imagens livres de nuvens em duas datas sobre áreas extensas.

Em nível de mesorregião, para o Estado de Minas Gerais, a estimativa da área plantada para as culturas (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão) para o ano de 1990 pelo IBGE foi de 2.572.025,00 ha e pelo mapeamento do Landsat-5 utilizando o algoritmo (AD) foi de 2.773.873,62 ha, o que corresponde a uma diferença de 201,85 mil ha, ou seja, o levantamento da área plantada com as imagens orbitais foi 7,3% superior ao levantamento do IBGE nas mesorregiões analisadas. Em 1995 a estimativa de área plantada foi de 3.436.150,00 ha e pela classificação (AD) foi de 3.472.300,17 ha, correspondendo a uma diferença de 36,15 mil ha, ou seja, 1% superior ao levantamento do IBGE. Para os anos 2000 e 2005 as estimativas não foram diferentes, ou seja, foram sempre superiores as estimativas de área plantada realizada pelo IBGE (8,52% e 3,16%).

Rizzi et al. (2005), ao mapear as áreas plantadas com soja no estado do Rio Grande do Sul, observaram que no município de Palmitinho houve uma diferença de 1.083 ha a menos para a estimativa do Landsat (117 ha), ou seja, 9,2 vezes inferior à estimativa do IBGE. Exemplo mais drástico ainda é o de Santa Cruz do Sul, onde foram mapeados apenas 14 ha de soja nas imagens do Landsat, mas o IBGE informa que o município plantou 900 ha. Rizzi et al. (2005) observaram também diferenças absolutas muito pronunciadas. Por exemplo, em Júlio de Castilhos a diferença relativa entre Landsat (60.315 ha) e IBGE (50.000) foi de 17% o que corresponde a 10.315 ha a mais de soja mapeados nas imagens do Landsat.

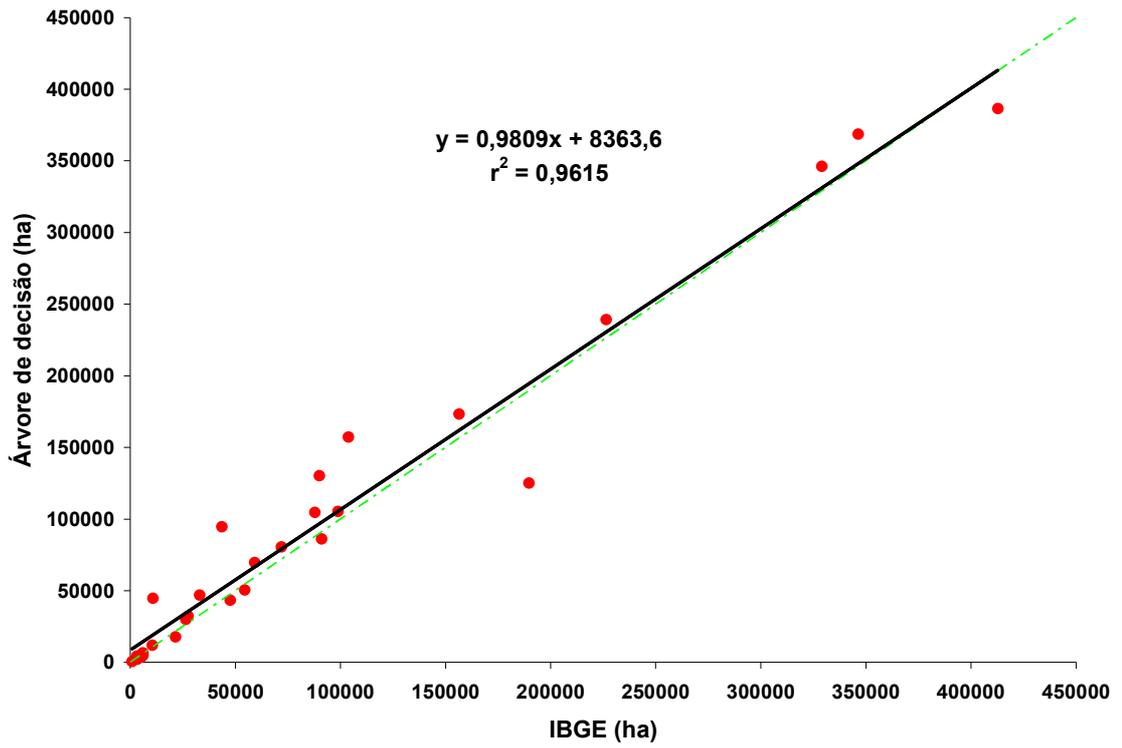
Picoli et al. (2009), ao utilizarem o uso de máscaras para o mapeamento das áreas plantadas com soja no estado de São Paulo, encontraram resultados semelhantes, onde os valores estimados superaram os valores observados pelo IBGE, para as safras 2003/04 a 2006/07.

Considerando, assim, os dados estimados pela AD e os dados observados pelo censo agrícola (IBGE), obtiveram-se os gráficos de regressões, com a finalidade de validar o modelo AD (Figura 24a-d).

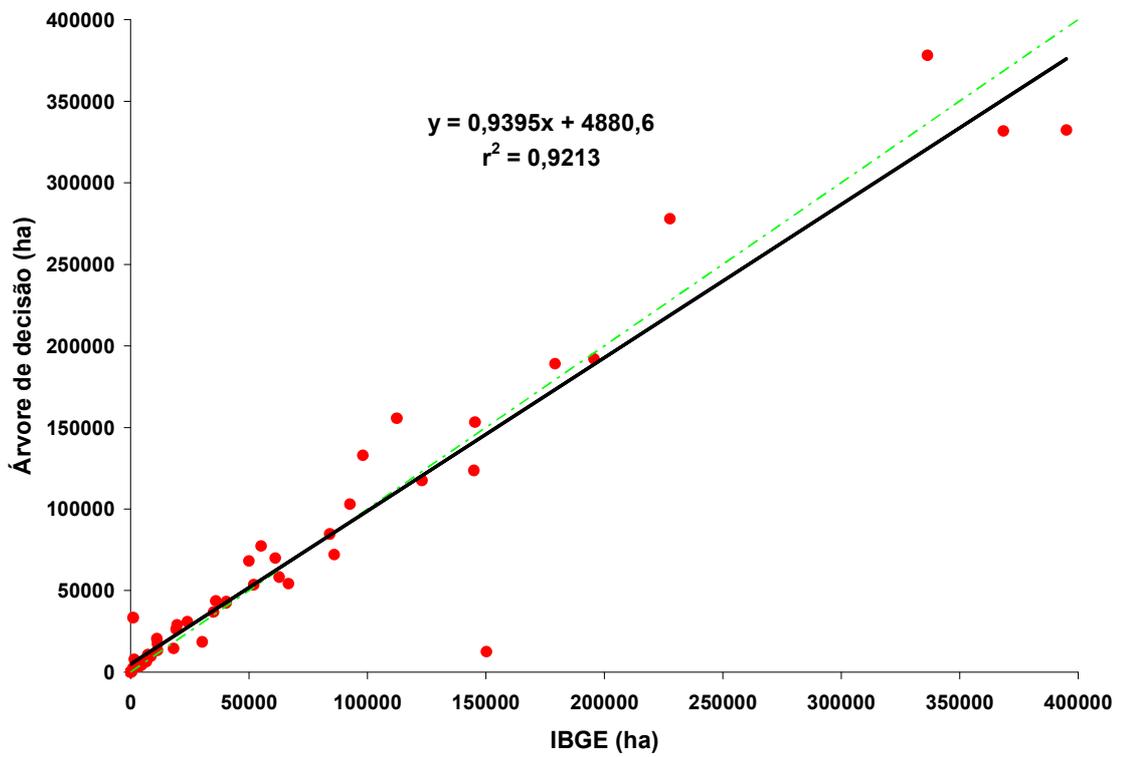
Podem-se constatar ótimas correlações no modelo AD, uma vez que apresentou um valor máximo de  $r^2$  de 0,9923 para o ano de 2005 e um mínimo de 0,9213 para o ano de 1995.

Valores significantes de  $r^2$  foram encontrados também por Picoli et al. (2009), onde os valores estimados de área plantada com soja foram analisados em escala municipal e comparado com os dados do IBGE. A área plantada com soja nos municípios atingiu um coeficiente de determinação  $r^2$  de 0,83 para a safra 2004, de 0,80 para a safra 2005, de 0,84 para a safra 2006 e de 0,70, ou seja, a área estimada pela máscara explicou 83%, 80%, 84% e 70% da variância das áreas plantadas com soja nos municípios do estado de São Paulo nas safras 2004, 2005, 2006 e 2007 respectivamente.

De modo geral, a aplicação do algoritmo AD para determinar a área plantada das culturas, foram representativos (Figura 24a-d), visto que a maioria dos coeficientes  $r^2$  encontrados mostra uma precisão aceitável.

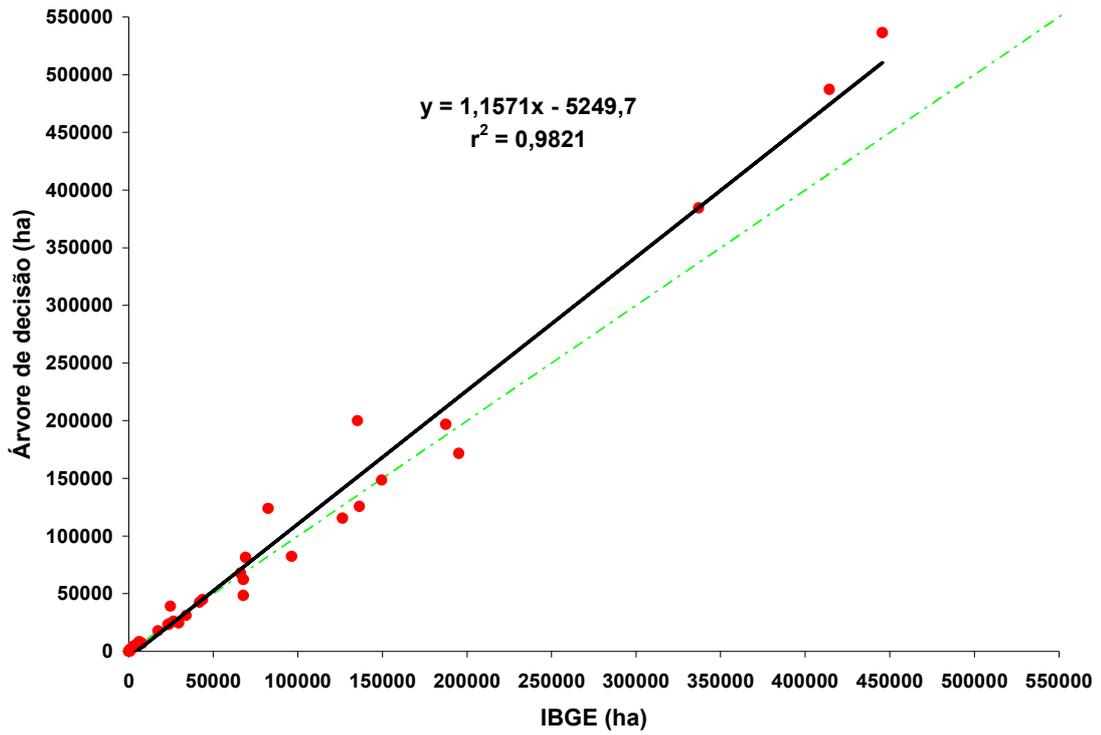


(a)

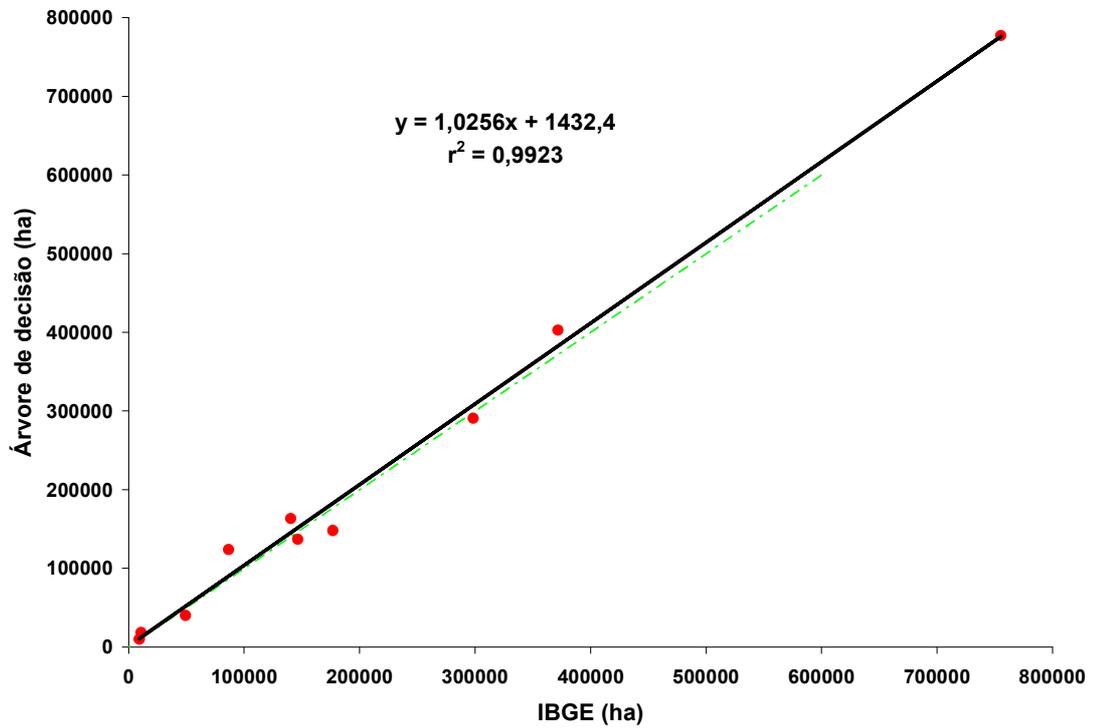


(b)

Continua...



(c)



(d)

Figura 24 - Regressão linear entre as áreas (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão) medida (IBGE) e estimada por árvore de decisão (AD) para os anos 1990 (a), 1995 (b), 2000 (c) e 2005 (d).

Na análise da Tabela 5, a árvore de decisão oscilou nas estimativas das áreas das culturas estudadas, tendo influência direta do clima e da metodologia adotada pelo IBGE para Minas Gerais. Para o ano de 1990, a árvore de decisão subestimou os valores encontrados de área plantada para café e soja segundo a análise estatística do VM (-255,51 ha e -6755,77 ha), respectivamente, ocorrendo uma superestimativa das outras culturas consideradas na classificação. No ano de 1995, as culturas do milho e da soja subestimaram os valores de área plantada, ocorrendo superestimativa para as demais culturas. Em 2000 as culturas que subestimaram os valores observados foram cana-de-açúcar e feijão e a superestimativa de área plantada (café, soja e milho). Em 2005 as culturas que subestimaram as áreas foram café e cana-de-açúcar, as culturas (milho, soja e feijão) superestimaram as áreas plantadas.

Tabela 5 - Raiz do erro quadrático médio (REQM), erro absoluto médio (EAM) e o viés médio (VM), área total plantada segundo IBGE e árvore de decisão (AD)

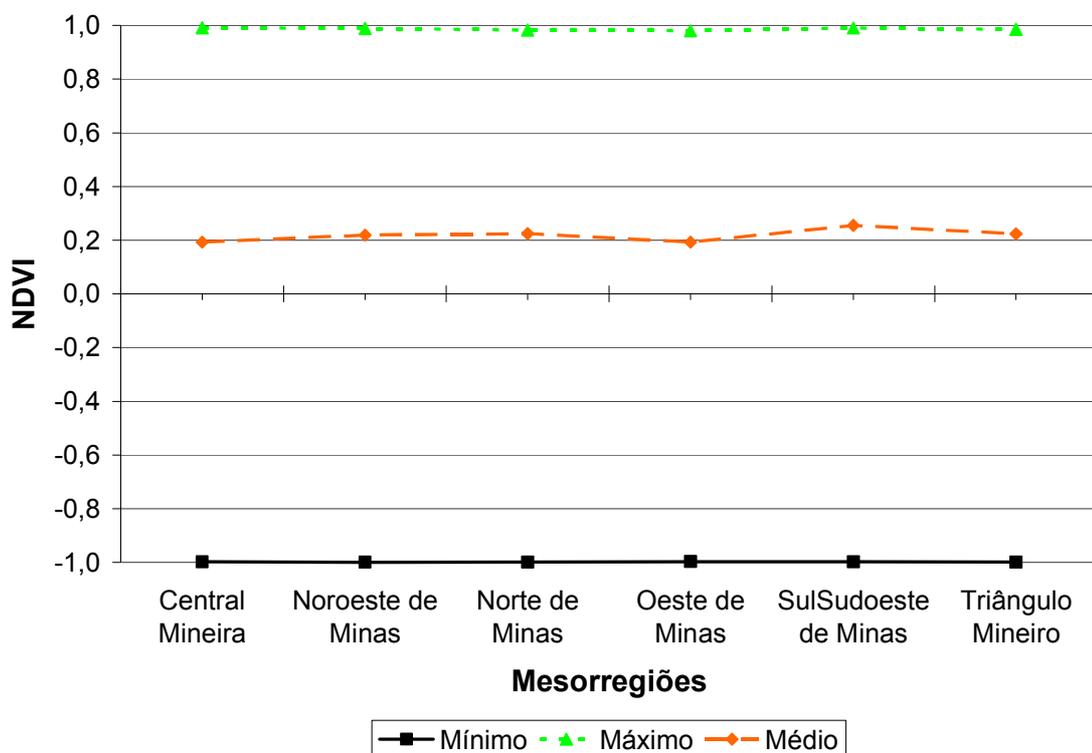
Cultura/Ano	REQM (ha)	EAM (ha)	VM (ha)	IBGE (ha)	AD (ha)
Café/1990	13215,99	8899,90	-255,51	654293,00	652759,92
Café/1995	14714,71	8959,12	4596,96	819713,00	865672,56
Café/2000	28185,31	14041,00	13689,14	852822,00	948645,99
Café/2005	6816,628	5177,98	-4433,39	155788,00	146921,22
Cana-de-açúcar/1990	21972,33	11220,68	7684,26	217748,00	263853,54
Cana-de-açúcar/1995	11785,04	7623,91	7537,62	234373,00	309749,22
Cana-de-açúcar/2000	4743,94	3144,89	-2633,10	233465,00	215033,31
Cana-de-açúcar/2005	20978,85	18115,35	-10580,48	187656,00	166495,05
Milho/1990	28861,96	24046,81	24046,81	875814,00	1020094,83
Milho/1995	50441,72	31814,47	-11013,20	1356770,00	1246637,97
Milho/2000	35661,62	27581,09	16803,17	931739,00	1049361,21
Milho/2005	27402,54	27085,51	27085,51	512251,00	566422,02
Soja/1990	27926,85	14980,35	-6755,77	555169,00	514634,40
Soja/1995	19986,27	7505,18	-5853,82	593993,00	535454,82
Soja/2000	34522,06	14810,65	11416,86	584219,00	664137,00
Soja/2005	16414,84	14799,34	7101,16	1053823,00	1068025,32
Feijão/1990	15848,24	12001,26	8921,66	269001,00	322530,93
Feijão/1995	15105,63	10684,86	8348,46	431301,00	514785,60
Feijão/2000	9414,08	6109,41	-1031,35	271829,00	264609,54
Feijão/2005	27318,71	23348,86	14182,48	135790,00	164154,96

A ocorrência da superestimativa da área total plantada destas culturas para os anos de 1990 a 2005 (Tabela 5) pela árvore de decisão pode ser atribuída ao decréscimo dos valores de precipitação correspondente ao período seco na região Sudeste.

## 5.2. NDVI e a influência climática na classificação espectral das áreas plantadas em Minas Gerais

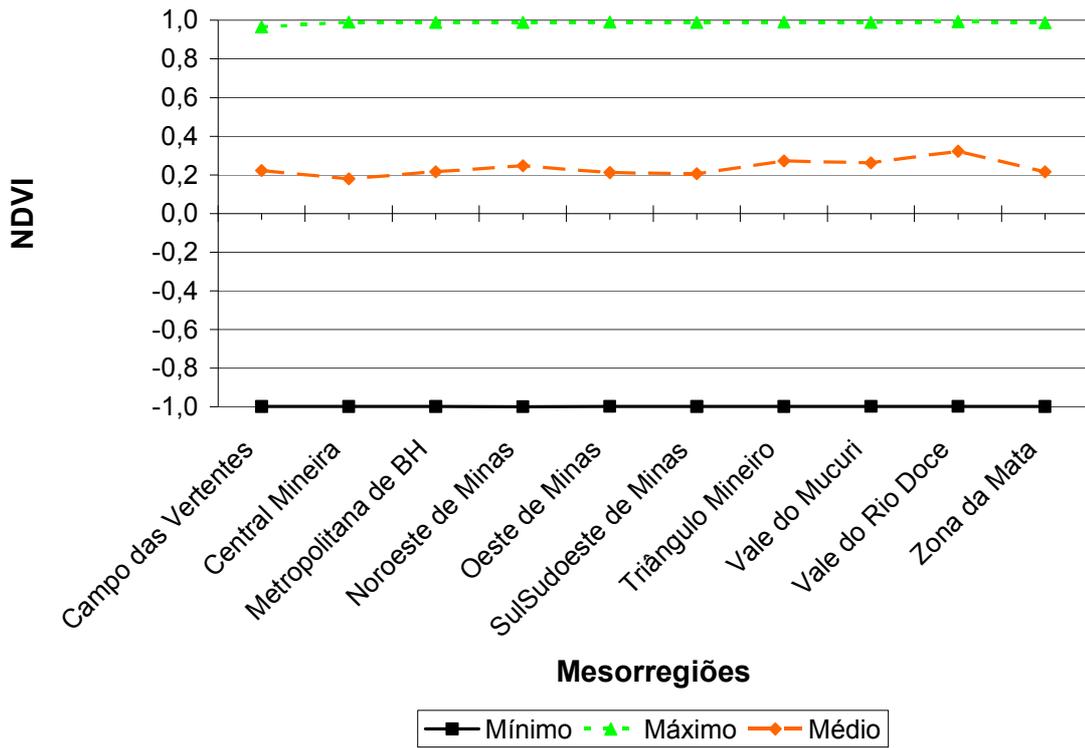
A imagem NDVI foi utilizada como um importante atributo no algoritmo árvore de decisão, auxiliando na divisão do conjunto de dados em subconjuntos mais homogêneos até a diferenciação entre as classes temáticas.

A Figura 25 mostra os dados de NDVI mínimo, máximo e médio das cenas estudadas. Para o ano de 1990 nota-se que o NDVI variou de -0,999 para as mesorregiões Noroeste de Minas e Norte de Minas e com máximo de 0,991 para Central Mineira. No período analisado o NDVI médio foi de 0,218.

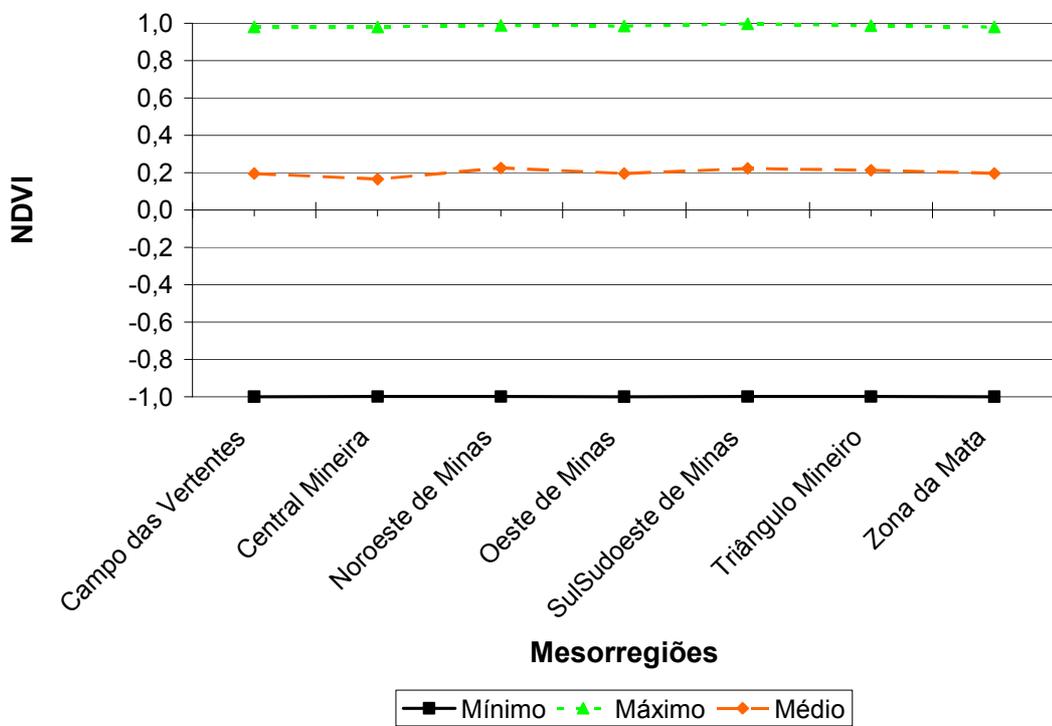


(a)

Continua...



(b)



(c)

Continua...

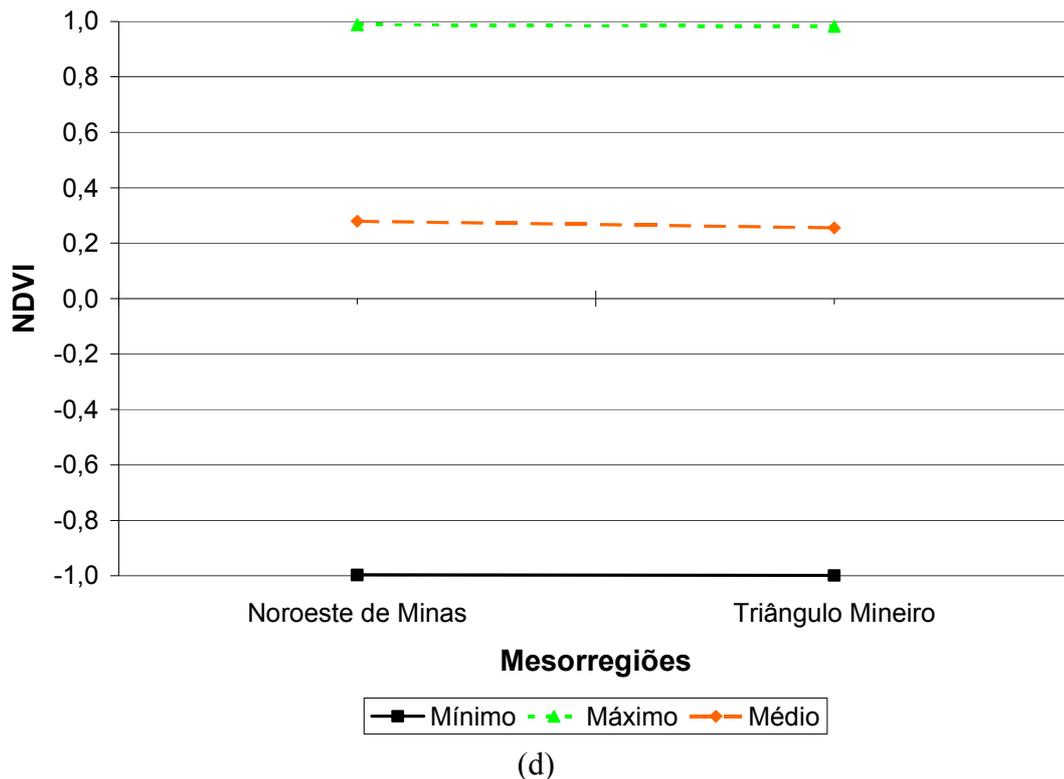


Figura 25 - Valores de NDVI mínimo, máximo e médios obtidos de imagens do sensor TM do Landsat-5, para as mesorregiões em determinadas datas dos anos de 1990 (a), 1995 (b), 2000 (c) e 2005 (d).

A variação máxima e mínima deste índice para o ano de 1995 foram para as mesorregiões Vale do Rio Doce (0,993) e Noroeste de Minas (-0,999). O valor médio foi de 0,236.

Valores mínimos foram encontrados no ano de 2000 para as mesorregiões Campo das Vertentes, Oeste de Minas e Zona da Mata (-0,999), respectivamente. O máximo valor encontrado foi para o Sul/Sudoeste de Minas (0,997). O valor médio encontrado para as mesorregiões foi de 0,202.

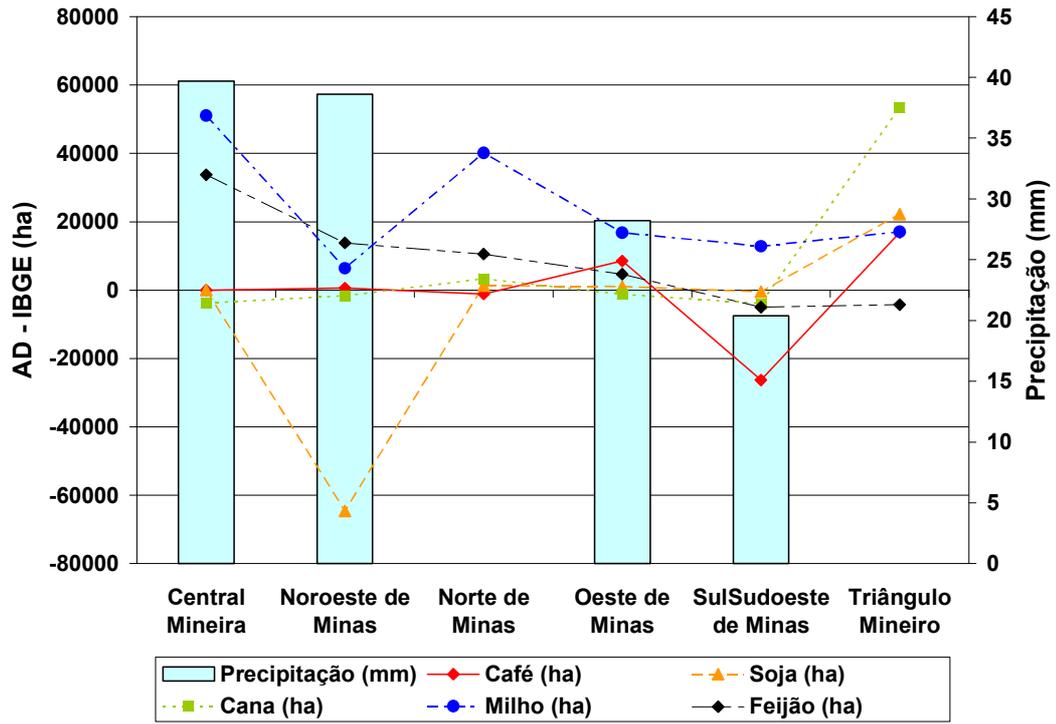
Para o ano de 2005, apenas duas mesorregiões foram estudadas devido a influência de nebulosidade e a ausência de imagens. O valor máximo foi encontrado na mesorregião Noroeste de Minas (0,988) e o mínimo encontrado para o Triângulo Mineiro (-0,999). O valor médio encontrado para as duas mesorregiões em estudo foi (0,267).

A variação das magnitudes das quedas do valor mínimo de NDVI nas formações vegetais para os dias da passagem do satélite, responde a diferentes fatores que correspondem às particularidades fenológicas de cada uma, às condições de umedecimento da paisagem, à capacidade de absorção d'água no solo, à irrigação das culturas, dentro outros. Apesar de alguns autores relacionarem o NDVI com a precipitação, é necessário que se tenha um tempo de resposta deste, como os resultados encontrados por Almeida et al. (1998), onde foram analisados os valores do coeficiente de correlação das curvas NDVI versus precipitação, que apresentaram um comportamento linear e logarítmica, verificando que, para a Amazônia, não se observa uma diferença grande entre ambas as análises. O que influencia é o tempo de resposta do NDVI à precipitação. O tempo de resposta de dois meses entre a ocorrência da precipitação e a resposta do NDVI apresentou melhores resultados de correlação na maioria dos casos.

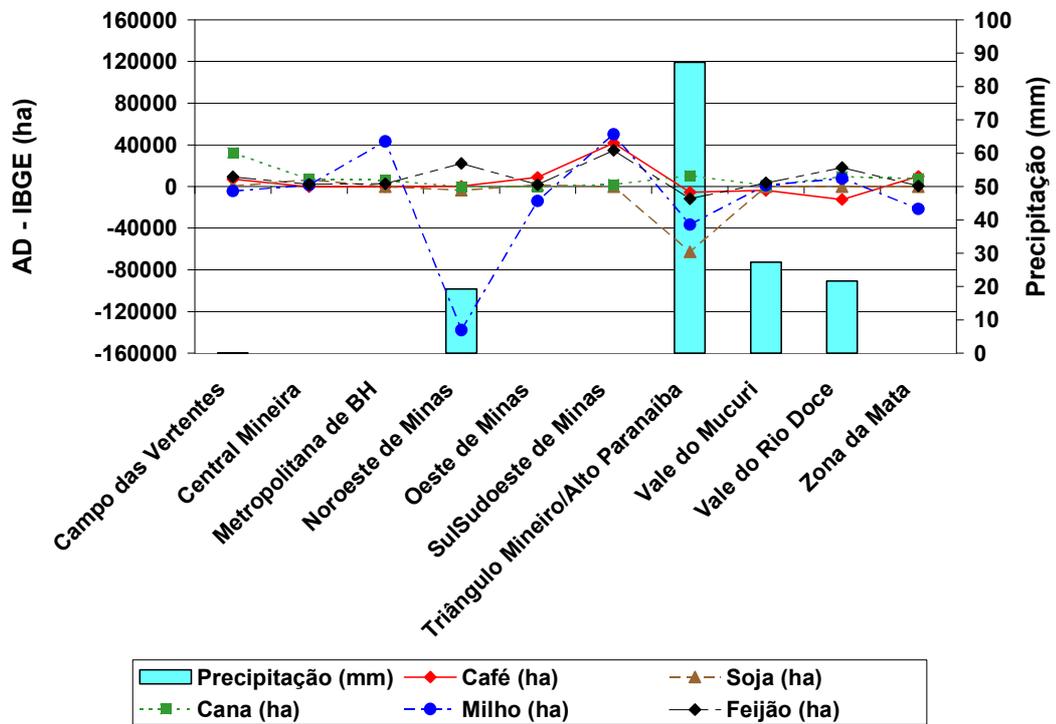
É importante destacar, novamente, que quanto mais próximo de "1" for o índice de vegetação, maior a quantidade de cobertura vegetal verde. Os corpos d'água não apresentam modificação dos valores ao longo do ano, mantendo sempre constante os mesmos valores iguais a zero e negativos.

De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional de Águas (ANA), as condições climáticas para o ano de 1990 para as mesorregiões estudadas, durante os 16 dias anteriores da passagem do satélite, apresentavam umidades relativas do ar, relativamente, altas. Além disso, a ocorrência de precipitação, nesse período, para a mesorregião Noroeste de Minas, contribuíram pela queda da estimativa de área plantada para as culturas do feijão, milho e soja, por meio da árvore de decisão (Figura 26). Para os 16 dias anteriores a passagem do satélite, as condições climáticas para o Triângulo Mineiro, apresentavam umidade relativa baixa e sem ocorrências de precipitações, o que resultaram em superestimativas com os dados observados para todas as culturas (Figura 26).

Em 1995, durante os 16 dias anteriores da passagem do satélite, para a mesorregião (Noroeste de Minas), a ocorrência de precipitação contribuiu significativamente para queda de estimativa de área plantada para cultura do milho (Figura 26). A mesorregião do Triângulo Mineiro foi a que obteve a maior precipitação (87,2 mm), as culturas (café, feijão, milho e soja) subestimaram os valores observados do IBGE. Para esta mesma mesorregião a única cultura que superestimou a área foi a cana-de-açúcar (Figura 26).

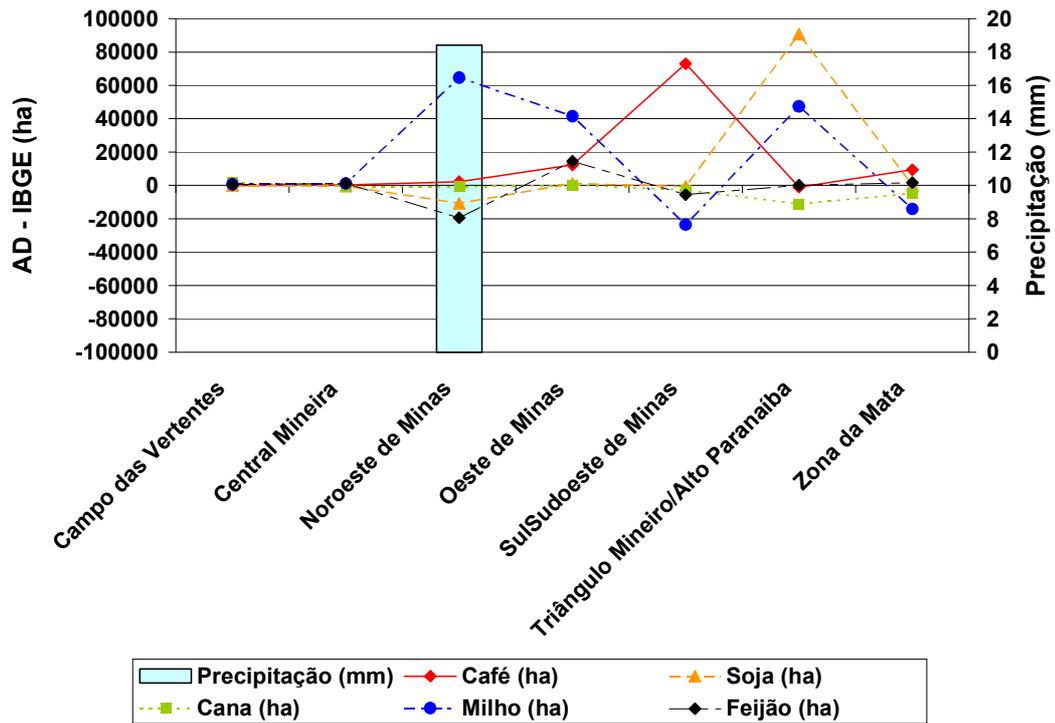


(a)

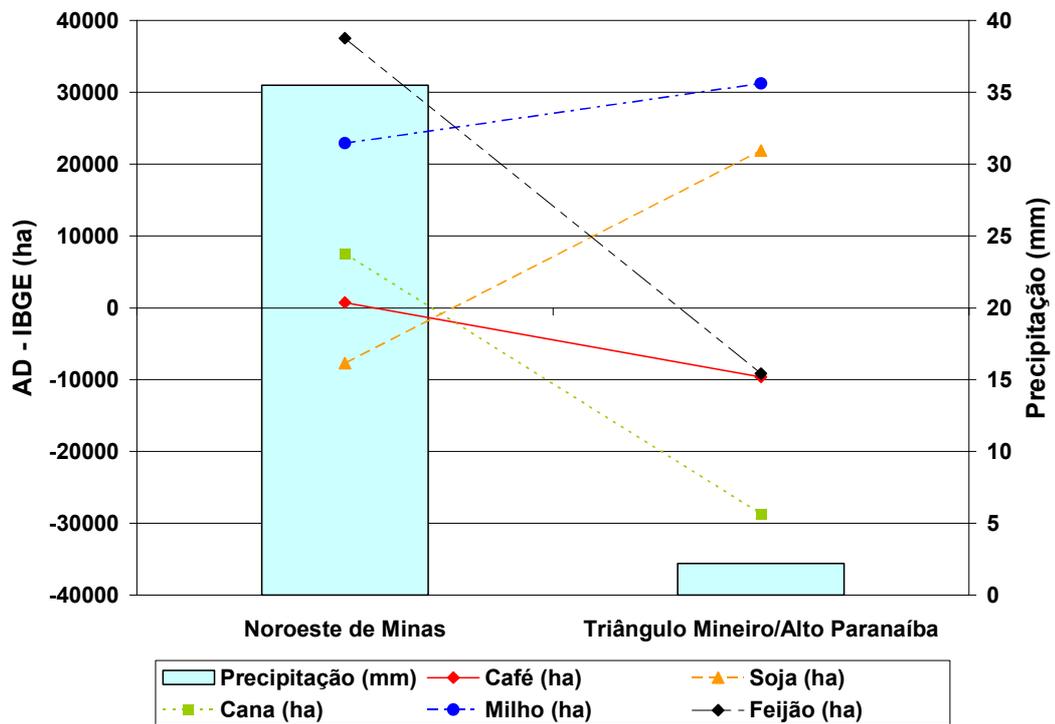


(b)

Continua...



(c)



(d)

Figura 26 - Valores de área plantada (AD) subtraídos dos valores observados (IBGE) versus precipitação para as culturas (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão), para as mesorregiões em determinadas datas dos anos de 1990 (a), 1995 (b), 2000 (c) e 2005 (d).

Pela Figura 24, para o ano de 2000, a mesorregião Noroeste de Minas foi a única que, durante os 16 dias anteriores da passagem do satélite, ocorreu precipitação. As culturas (café e milho) superestimaram os valores observados, já as culturas (cana-de-açúcar, soja e feijão) ocorreu subestimativa da área plantada.

Apesar dos valores pluviométricos encontrados na mesorregião Noroeste de Minas para o ano de 2005, as culturas (café, cana-de-açúcar, milho e soja) superestimaram os valores observados de área plantada, apenas a cultura do feijão subestimou os dados. A região do Triângulo Mineiro ocorreu subestimativa das áreas para (café, cana-de-açúcar e feijão) e superestimativa para (soja e milho) (Figura 26).

A discrepância entre os dados pode ser explicada, em parte, em função da metodologia de avaliação de safras que o IBGE utiliza. Tal metodologia é subjetiva e consiste em fazer entrevistas com os produtores, cooperativas e associações de produtores a fim de se estimar os dados de área plantada. Também não são realizadas visitas a campo para se mapear as propriedades e ter o conhecimento real das lavouras. O IBGE considera as localidades ou os produtores mais “representativos” para o levantamento de dados de produção e área. Desta forma, existem possibilidades destes pequenos produtores ou pequenas propriedades serem desconsiderados no levantamento. Por outro lado, a discrepância sugere a necessidade de validação em campo das informações levantadas no mapeamento de forma a inferir quantitativamente a confiabilidade das entrevistas a partir do parâmetro espacial. Isto tudo é decorrente da confiabilidade aplicada nas informações fornecidas pelo produtor/informante e por conseguinte, não há um parâmetro de confiabilidade nesta informação.

Com a disponibilidade crescente de satélites de sensoriamento remoto espera-se que num futuro próximo os órgãos oficiais responsáveis pelas estatísticas agrícolas se beneficiem das imagens de sensoriamento remoto para auxiliar no levantamento de informações objetivas sobre a área plantada com grandes culturas.

### **5.3. Análise da influência do clima, relevo e solo na alteração da área plantada do café arábica no estado de Minas Gerais**

A apresentação de resultados foi feita, sempre que possível, de maneira usual, por meio de mapas, procurando-se mostrar os resultados em sua totalidade. Porém, a análise visual de algumas superfícies de resultados numéricos foi melhorada com a classificação das imagens em faixas de variação, ou classes. A classificação dos

resultados de análise cartográfica ou de geoprocessamento é uma simplificação gráfica, em pós-processamento, lembrando-se que estes foram obtidos e armazenados na forma de dados contínuos. Os resultados relativos aos dados de solo são a exceção, uma vez que estes provêm de mapas apresentados em polígonos, referentes às manchas uniformes dos tipos de solos.

Não houve qualquer aplicação de interpolações para a geração de figuras em pós-processamento para o zoneamento do café arábica. Em outras palavras, a apresentação dos resultados espacializados foi feita célula a célula, em figuras com a resolução dos dados originais. As figuras de distribuição espacial dos resultados principais, representando planos de informação do estado de Minas Gerais relacionados entre si, foram elaboradas sobre uma mesma base geométrica.

Foram confeccionadas representações cartográficas, que constituíram originalmente o banco de dados. Nas Figuras 9 e 12, estão apresentados o mapa de relevo com resolução de 90 m e grupos de solos que deram origem ao banco de dados de altimetria e profundidade. Nas Figuras 27 a 29 estão apresentados, respectivamente, os mapas de temperatura média mensal, deficiência hídrica e precipitação média mensal do estado de Minas Gerais.

Na Figura 27 é apresentado o mapa temático de temperatura média anual para Minas Gerais. Nesta figura, observa-se que as temperaturas mais baixas são observadas na região Sul do Estado, onde as altitudes são maiores devido à presença da Serra da Mantiqueira. As temperaturas mais altas ocorrem nas regiões Norte e Nordeste do Estado, locais de menores altitudes, latitudes e precipitações. Podem-se distinguir regiões de temperaturas mais aptas ao cultivo do café e outras menos aptas segundo critérios de limitações térmicas (Tabela 4).

A geoespacialização da deficiência hídrica anual, no estado de Minas Gerais (Figura 28), pelo método do balanço hídrico descrito por Thornthwaite e Matter (1955), revela valores superiores a 2 mm. Os valores mais elevados ocorreram na região mais baixa (Norte e Nordeste), locais de maiores temperaturas.

Valores pluviométricos mais altos foram encontrados no Sul do Estado, onde as altitudes são maiores devido à presença da Serra da Mantiqueira, atuando como uma forçante para precipitação devido à orografia acentuada, em contraposição às regiões Norte e Nordeste, onde os níveis médios anuais são inferiores a 750 mm (Figura 29).

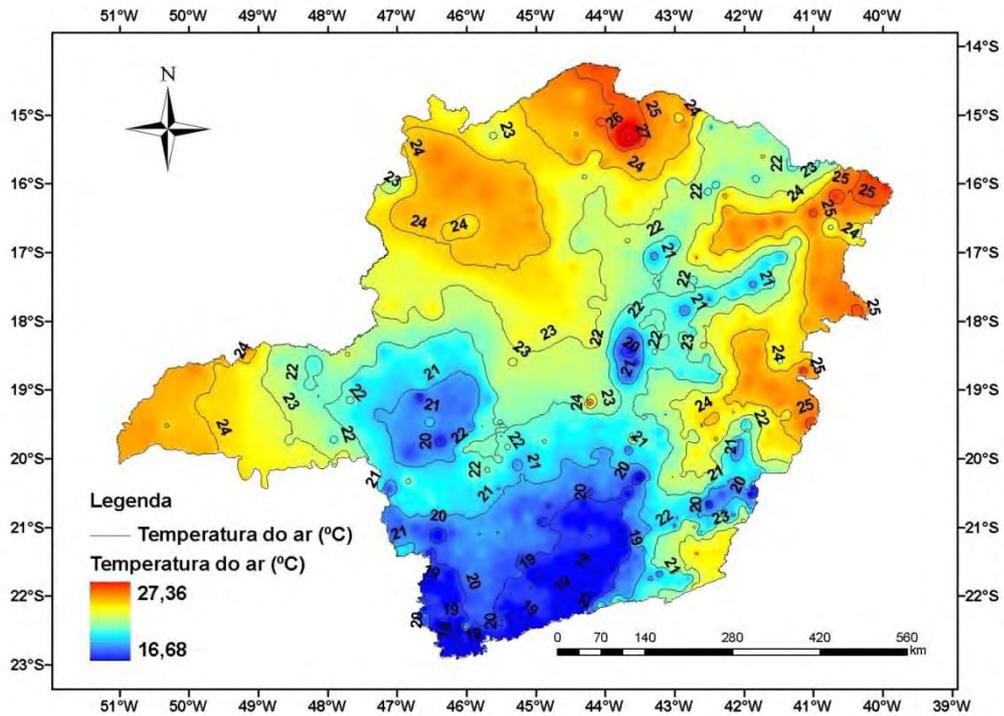


Figura 27 - Mapa representado como campo contínuo de temperatura média anual (°C) para o Estado de Minas Gerais.

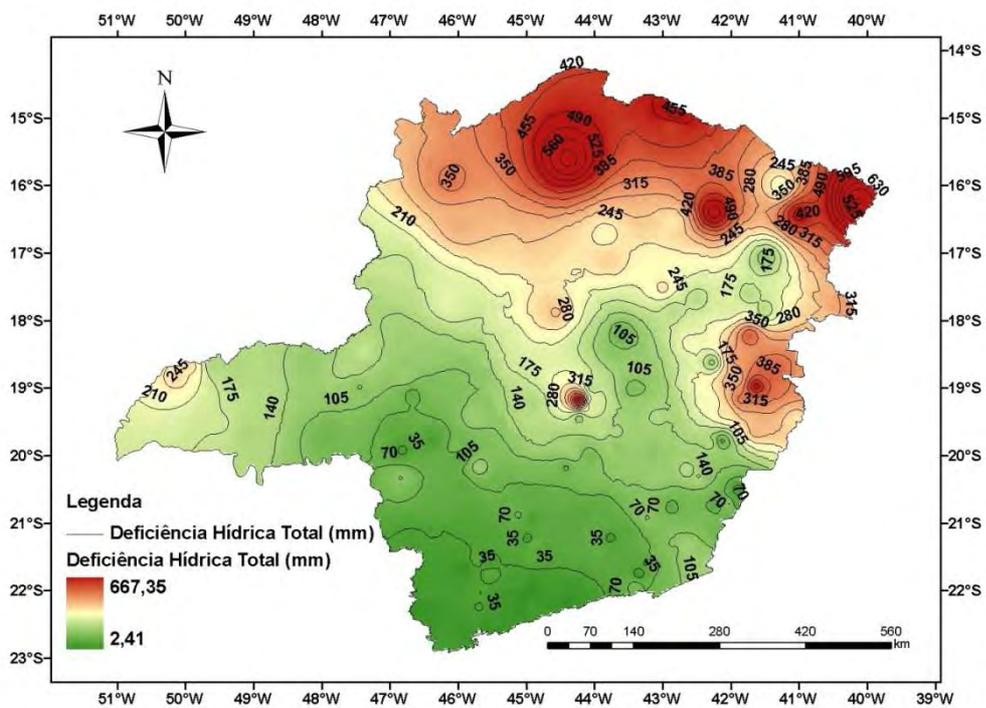


Figura 28 - Mapa representado como campo contínuo de deficiência hídrica total anual (mm) para o Estado de Minas Gerais.

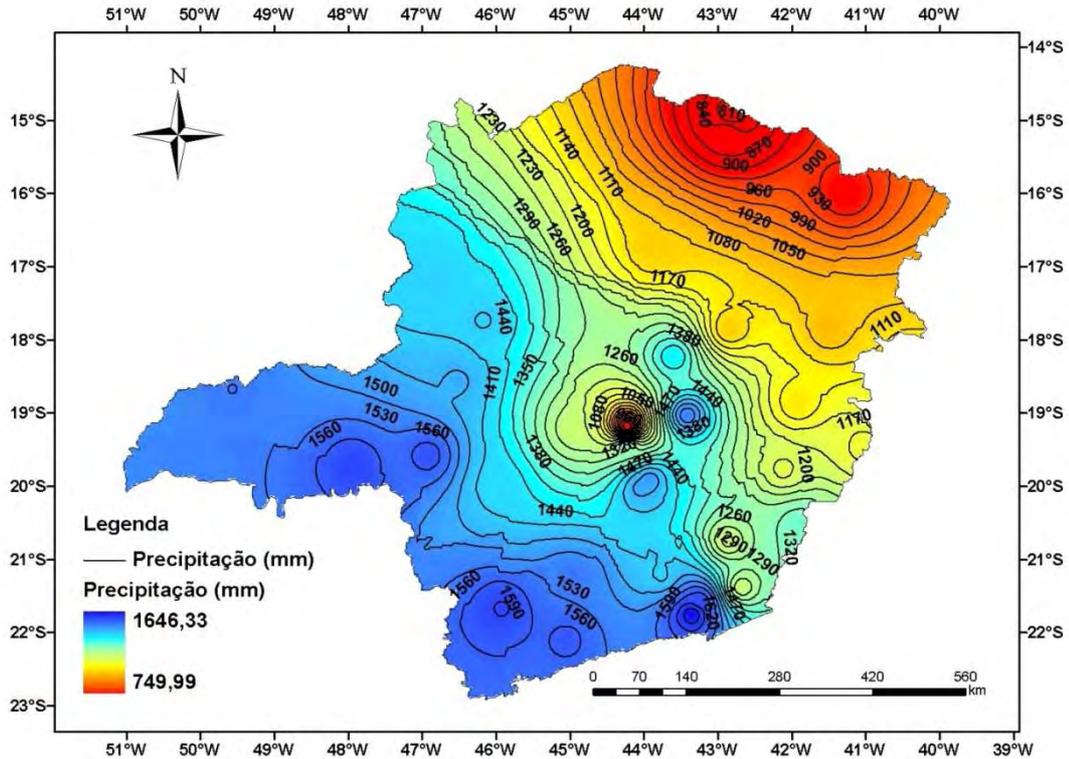


Figura 29 - Mapa representado como campo contínuo a precipitação anual (mm) para o Estado de Minas Gerais.

Com o objetivo de se investigar a influência do clima, do solo e da altimetria na competitividade do café no estado de Minas Gerais, são apresentadas as faixas de aptidão pedológica, climática e altimétrica de acordo com a Tabela 4, na Figura 30.

Nas áreas inaptas em vermelho (Figura 31), são regiões que apresentam deficiências hídricas ou temperaturas baixas, demais ou muito elevadas, para o cultivo do cafeeiro, ou condições de solo ou altimétrica inaptas, como as regiões Norte e Nordeste do Estado, o café pode desenvolver-se inadequadamente, apresentando abortamento floral e formação de “estrelinhas” não sendo, portanto, recomendado o plantio nessas regiões (SEDIYAMA et al., 2001).

É possível observar que, praticamente, a metade do Estado possui condições favoráveis à produção de café, são as regiões que apresentam ótimas condições térmicas, hídricas, edafológicas e altimétricas, abrangendo mais as regiões Central e Sul (Figura 30, faixa 1).

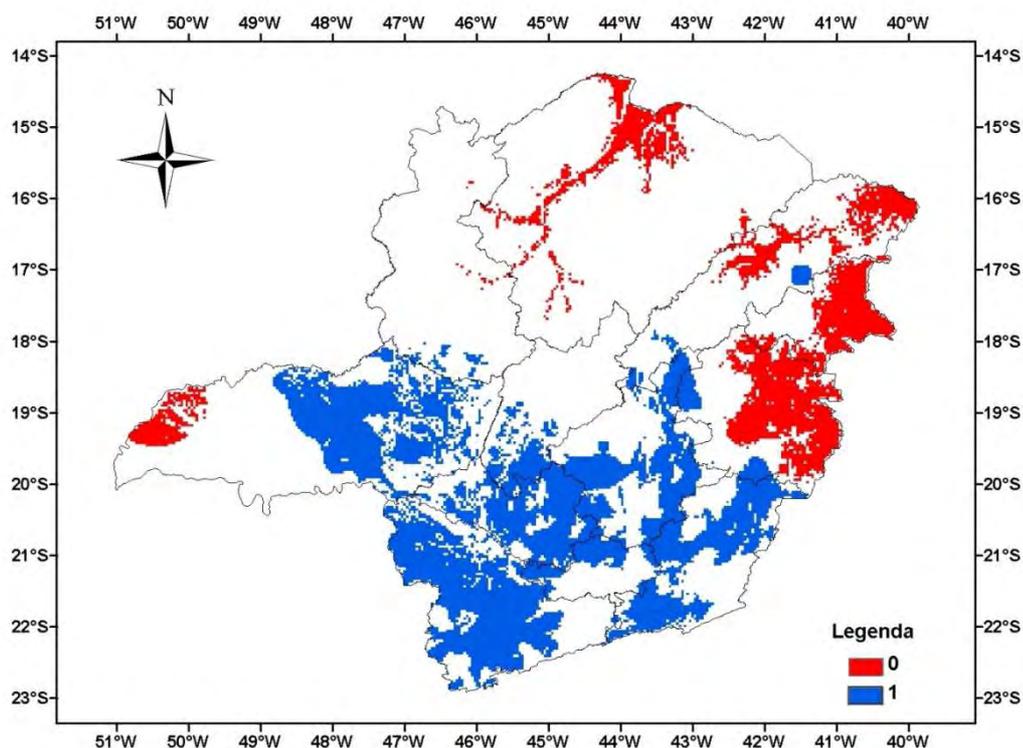


Figura 30 - Zoneamento climático das faixas (0 e 1) do café arábica para o Estado de Minas Gerais.

Conforme os dados e médias Climatológicas no período de 1941 a 2009, à exceção do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, as regiões, Central e Sul, são relativamente mais chuvosas e apresentam menores índices de evapotranspiração.

As regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba apresentam menores índices de chuva, porém o déficit médio anual de água no solo não inviabiliza o cultivo do café.

As mesorregiões da Zona da Mata, Metropolitana de Belo Horizonte e Jequitinhonha são as regiões que apresentam pequenas áreas com condições térmicas, hídricas e altimétricas ótimas, mas edafológicas restritas (Figura 31 faixa 2).

De acordo com a Tabela 4, verifica-se que na região Sul e parte do Triângulo Mineiro (Figura 31, em amarelo) existem áreas que possuem temperaturas médias abaixo da temperatura mínima e acima do recomendável para o cafeeiro, desfavorecendo o cultivo desta cultura.

Nas regiões onde ocorrem o fator restritivo (faixa 3, Figura 31), o cultivo pode ser realizado adotando-se técnicas de manejo, como por exemplo a suplementação de

água por irrigação, de modo a ajustar a restrição e tornar essas áreas potencialmente produtivas (SEDIYAMA et al., 2001).

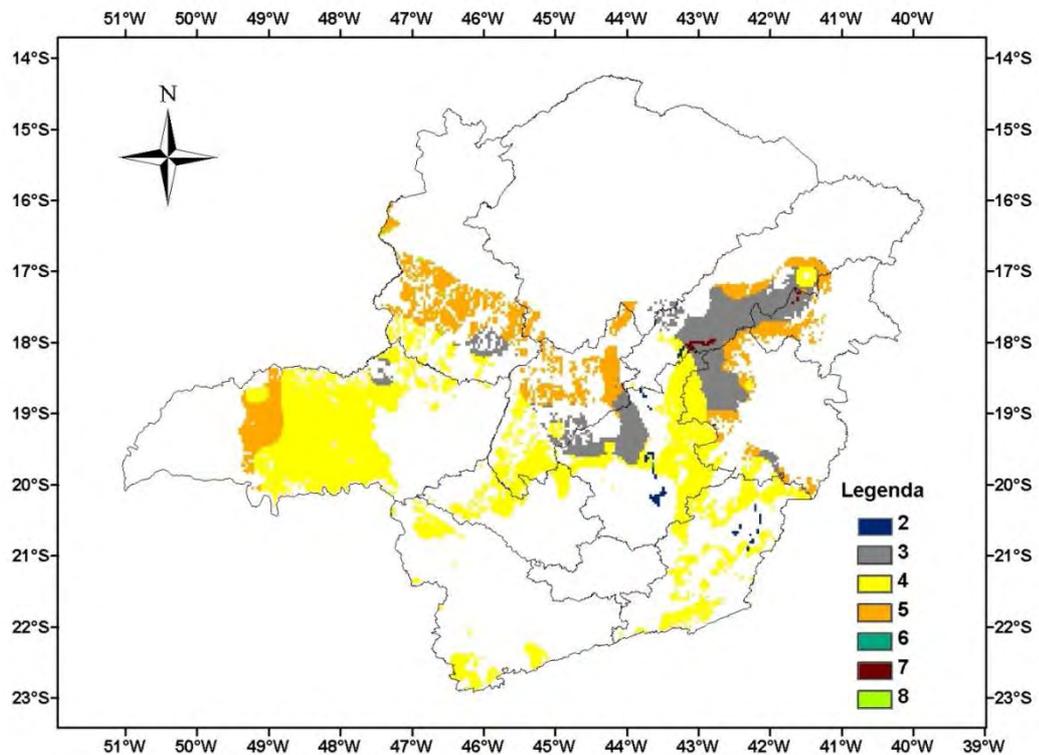


Figura 31 - Zoneamento climático das faixas (2 a 8) do café arábica para o Estado de Minas Gerais

Das classes que obtiveram sobreposição, foram selecionadas uma representando regiões aptas (faixa 1), uma inapta (faixa 0) e sete classes de regiões restritas (2 a 8) (Figura 32).

Para a atualização dos dados e, ou inserção de uma nova cultura para a realização de um novo mapeamento, é necessário saber quais os critérios de limitação da planta. Com o banco de dados já montado e dependendo dos atributos exigidos, esse procedimento é relativamente rápido.

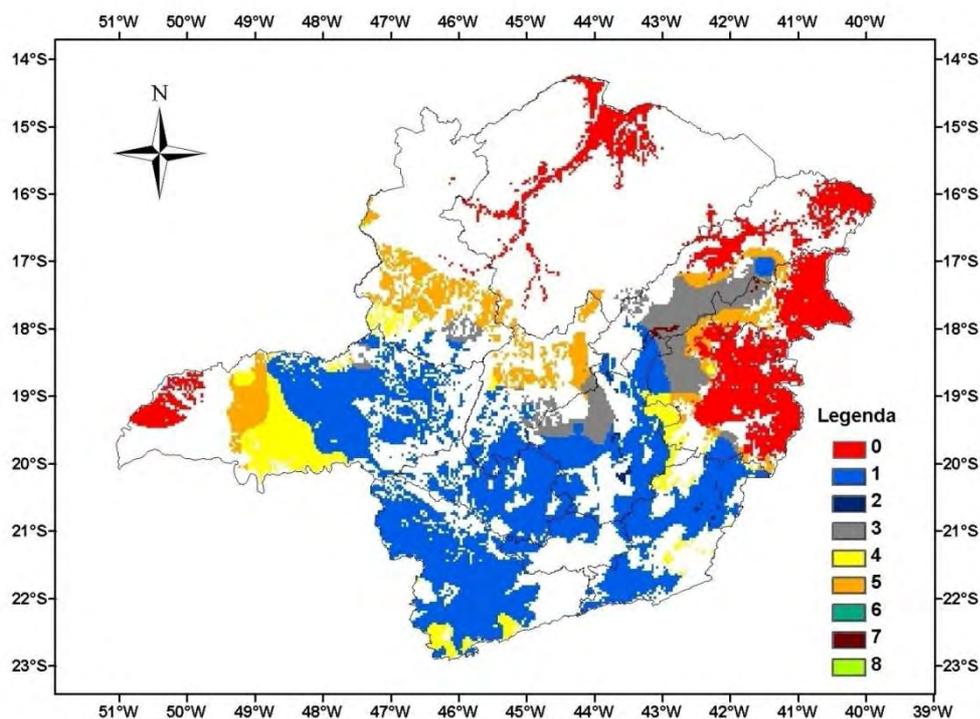


Figura 32 - Zoneamento climático da aptidão ao cultivo do café arábica para o Estado de Minas Gerais.

Diferentemente, dos primeiros zoneamentos do cafeeiro proposto por vários autores, no presente processo buscou-se, em primeiro lugar, a definição de um banco de dados mais consistente e de maior abrangência geográfica para o Estado. A utilização de dados georreferenciados, por meio dos sistemas de informações geográficas, proporcionou maior segurança no delineamento dos limites climáticos para o enquadramento das regiões aptas ou inaptas para a cultura do cafeeiro, sendo um passo de grande importância neste trabalho.

#### 5.4. Potencial produtivo da cultura do café no estado de Minas Gerais

Para se obter as produtividades dentro de cada região do zoneamento climático realizado na etapa anterior, procedeu-se aos passos seguintes, gerando três novos temas: multiplicou-se cada um dos temas, apto, restrito e inapto, pelo tema de produtividade, obtendo-se, então, os três temas de produtividade para cada região delimitada pelo

zoneamento climático, os quais foram renomeados para Prod\_Apta, Prod\_Restrita e Prod\_Inapta. Ressalta-se que os dados médios de produtividade abrangem o intervalo de 500 a 4.000 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 33). Fora desta faixa, as células receberam o valor 0 (zero) sendo reconhecidas como células transparentes; em seguida, com o tema de microrregiões, criaram-se os contornos das microrregiões do Estado, permitindo sua sobreposição sobre os temas então gerados; por fim, visualizaram-se esses temas obtendo-se, desta forma, as produtividades da cultura do café nas áreas limitadas no zoneamento climático, em todo estado.

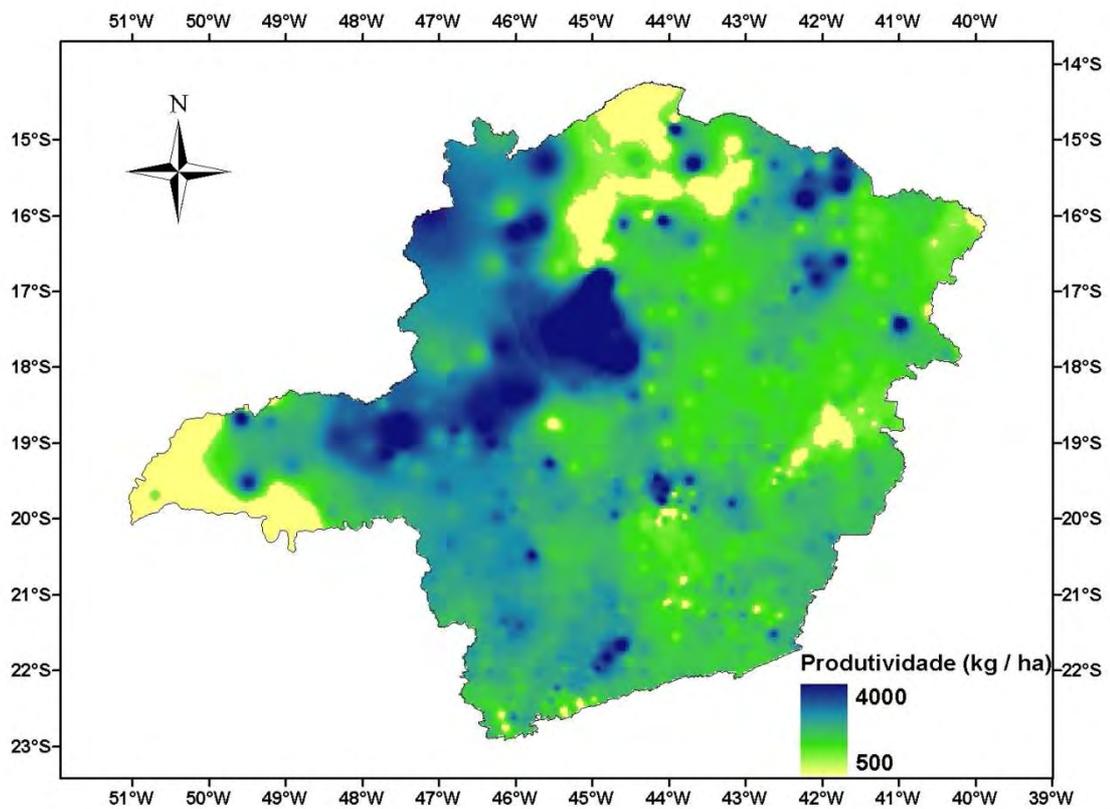


Figura 33 - Produtividade de café (kg ha<sup>-1</sup>) no Estado de Minas Gerais.

A Figura 33 apresenta o mapa das classes de produtividade de café para todo o estado de Minas Gerais. Observa-se que a produtividade varia de 500 a 4.000 kg ha<sup>-1</sup>, com média de 2.250 kg ha<sup>-1</sup>, a qual é superior a média nacional. Constata-se ainda, que as regiões com maiores produtividades do café em coco do estado são parte do Triângulo Mineiro e Noroeste de Minas, com produtividade média em torno de 3.500 kg ha<sup>-1</sup>. Isto se justifica em razão das características da cafeicultura do cerrado cuja topografia é menos acidentada, propiciando uso mais intenso da mecanização; além disso, as lavouras se caracterizam como de grande extensão e, também, a mentalidade dos cafeicultores, que tem preocupação com a qualidade final do produto, com o uso intensivo de tecnologia e, conseqüentemente, a busca por níveis mais elevados de produtividade.

As regiões Norte, Sul, Zona da Mata e Campo das Vertentes, apresentam produtividade média em torno de 2.500 kg ha<sup>-1</sup>, considerada razoável, enquanto as regiões com menores produtividades no estado, concentram-se no Norte e uma pequena faixa do Triângulo Mineiro, cuja produtividade média varia em torno de 1.200 kg ha<sup>-1</sup>.

As produtividades para a cultura do café arábica, para todo o estado de Minas Gerais, separadas por regiões, segundo as áreas definidas pelo zoneamento climático, são apresentadas na Figura 34. Verifica-se que, para a região apta, Prod\_Apta, na maior parte da região a produtividade se concentra entre 1.000 a 2.500 kg ha<sup>-1</sup>. As maiores produtividades acima de 2.000 kg ha<sup>-1</sup> se concentram nas regiões de Patrocínio e Uberlândia. Este destaque em produtividade pode ser atribuído ao clima e, provavelmente, às práticas tecnológicas mais apropriadas à cultura, além do tipo de solo.

Quanto às produtividades consideradas baixíssimas, entre 800 a 1.000 kg ha<sup>-1</sup>, aparecem em baixa proporção quanto à área total do estado onde, neste caso, em situação contrária ao anteriormente comentado, o simples descuido das lavouras condiciona essas baixas produtividades, apesar da aptidão climática ser favorável ao plantio do café arábica; por outro lado, o tipo e o manejo do solo e até mesmo a topografia acidentada destas regiões podem contribuir para o desfavorecimento da cafeicultura.

Para a região restrita, Prod\_Restrita, observa-se que as maiores produtividades (acima de 2.500 kg ha<sup>-1</sup>) estão adensadas em áreas relativamente pequenas, sendo parte distribuída na região de Paracatu e Uberlândia.

Observando-se ainda, o mapa apresentado na Figura 34, as regiões consideradas inaptas ao cultivo do café arábica, Prod\_Inapta, são relativamente pequenas, reafirmando, assim a eficiência do zoneamento climático para esta atividade agrícola. Embora esta região seja tida como inapta, observam-se áreas com produtividade consideradas altas. Numa pequena área de Araçuaí nota-se, uma alta produtividade acima de 2.000 kg ha<sup>-1</sup>.

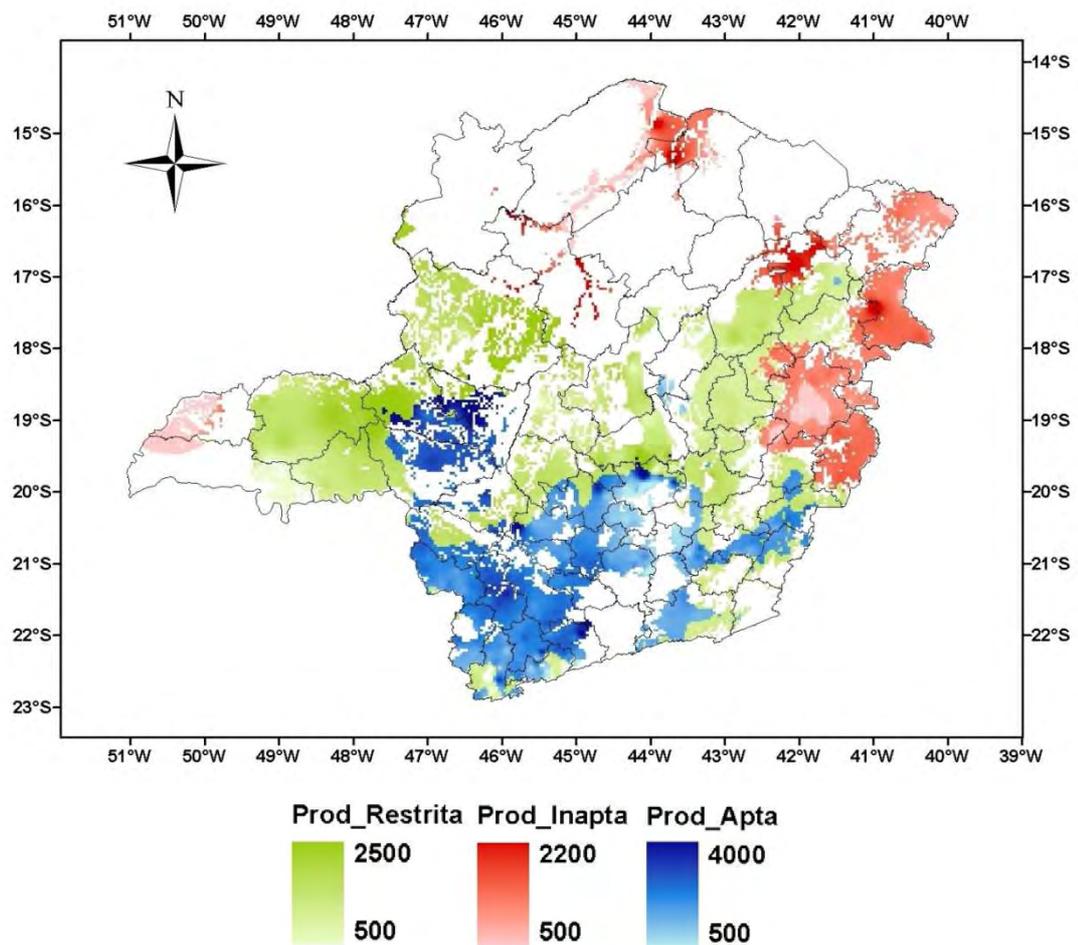


Figura 34 - Produtividades da cultura do café (kg ha<sup>-1</sup>) no Estado de Minas Gerais, separadas por regiões, segundo o zoneamento climático.

### **5.5. Mudança na composição agrícola e alteração de área plantada no estado de Minas Gerais no período de 1990 a 2008**

Para a análise estático-comparativa da mudança na composição agrícola, foram utilizados os dados do Censo do IBGE, entre os períodos de 1990 a 2008, para as mesorregiões localizadas no estado de Minas Gerais. Adotaram-se, como sistema, as principais culturas plantadas que competiam entre si (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão), pressupondo que, no período selecionado, os agricultores poderiam migrar de uma para outra sem maiores dificuldades.

Para melhor visualização das modificações na composição agrícola da área em estudo, nas Tabelas 6 a 17 são apresentados os efeitos escala e substituição. Nestas tabelas, observam-se quais culturas foram substituídas e quais as que tiveram ganhos de competitividade, em relação ao sistema, para, posteriormente, inferir sobre a influência climática nas tendências observadas.

Inicialmente, são feitas considerações baseada tanto nas Tabelas 6 a 17, que apresentam os efeito-escala e efeito-substituição, para as mesorregiões em análise, quanto nos mapas temáticos das mesorregiões (Figura 35), de modo a propiciar melhor visualização das modificações na composição agrícola das áreas em estudo, mostrando quais as culturas mais substituídas e quais as que mais tiveram suas áreas ampliadas para, posteriormente, inferir sobre os principais fatores responsáveis pelas tendências observadas.

Tabela 6 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Campo das Vertentes, durante o período de 1990 a 2008

Campo das vertentes	Área cultivada		Variação da área (ha)	Efeito escala (ha)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)				
Café	23656,00	29174,00	5518,00	-475,00	5993,57	-262,30
Cana-de-açúcar	1027,00	2720,00	1693,00	-20,65	1713,65	-75,00
Milho	67461,00	57070,00	-10391,00	-1356,00	-9034,80	395,40
Soja	118,00	890,00	772,00	-2,37	774,37	-33,89
Feijão	21400,00	21523,00	123,00	-430,21	553,21	-24,21
Total	113662,00	111377,00	-2285,00	-2,01		

Tabela 7 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Central Mineira, durante o período de 1990 a 2008

Central Mineira	Área cultivada		Variação da área (ha)	(%)	Efeito escala (ha)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)					
Café	3855,00	412,00	-3443,00	-89,31	33,80	-3476,80	-470,47
Cana-de-açúcar	21545,00	34128,00	12583,00	58,40	188,93	12394,07	1677,14
Milho	43536,00	42450,00	-1086,00	-2,49	381,77	-1467,77	-198,62
Soja	4545,00	3125,00	-1420,00	-31,24	39,86	-1459,86	-197,54
Feijão	10793,00	4898,00	-5895,00	-54,62	94,64	-5989,64	-810,51
Total	84274,00	85013,00	739,00	0,88			

Tabela 8 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Jequitinhonha, durante o período de 1990 a 2008

Jequitinhonha	Área cultivada		Variação da área (ha)	(%)	Efeito escala (ha)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)					
Café	29185,00	26207,00	-2978,00	-10,20	-12835,75	9857,75	-17,87
Cana-de-açúcar	13154,00	8874,00	-4280,00	-32,54	-5785,21	1505,21	-2,73
Milho	48592,00	20345,00	-28247,00	-58,13	-21371,07	-6875,93	12,46
Soja	2502,00	1	-2501,00	-99,96	-1100,40	-1400,60	2,54
Feijão	32004,00	14842,00	-17162,00	-53,62	-14075,57	-3086,43	5,59
Total	125437,00	70269,00	-55168,00	-43,98			

Tabela 9 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, durante o período de 1990 a 2008

Metropolitana de Belo Horizonte	Área cultivada		Variação da área (ha)	Efeito escala (ha)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)				
Café	7448,00	3678,00	-3770,00	-3434,97	-335,03	0,45
Cana-de-açúcar	11134,00	10953,00	-181,00	-5134,92	4953,92	-6,65
Milho	101344,00	54768,00	-46576,00	-46739,15	163,15	-0,22
Soja	598,00	605,00	7,00	-275,79	282,79	-0,38
Feijão	40942,00	16995,00	-23947,00	-18882,17	-5064,83	6,80
Total	161466,00	86999,00	-74467,00	-46,12		

Tabela 10 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Noroeste de Minas, durante o período de 1990 a 2008

Noroeste de Minas	Área cultivada		Variação da área (ha)	(%)	Efeito escala (ha)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)					
Café	5983,00	9344,00	3361,00	56,18	4142,23	-781,23	-0,34
Cana-de-açúcar	5376,00	19010,00	13634,00	253,61	3721,98	9912,02	4,30
Milho	98849,00	140949,00	42100,00	42,59	68436,41	-26336,41	-11,43
Soja	189707,00	297070,00	107363,00	56,59	131340,39	-23977,39	-10,40
Feijão	33000,00	97030,00	64030,00	194,03	22846,98	41183,02	17,87
Total	332915,00	563403,00	230488,00	69,23			

Tabela 11 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Norte de Minas, durante o período de 1990 a 2008

Norte de Minas	Área cultivada		Variação da área (ha)	Efeito escala (ha)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)				
Café	3263,00	7945,00	4682,00	1047,76	3634,24	5,98
Cana-de-açúcar	26490,00	30451,00	3961,00	8506,00	-4545,00	-7,47
Milho	90003,00	117583,00	27580,00	28900,17	-1320,17	-2,17
Soja	10465,00	36050,00	25585,00	3360,34	22224,66	36,55
Feijão	59161,00	58164,00	-997,00	18996,73	-19993,73	-32,88
Total	189382,00	250193,00	60811,00	32,11		

Tabela 12 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Oeste de Minas, durante o período de 1990 a 2008

Oeste de Minas	Área cultivada		Variação da área (ha)	(%)	Efeito escala (ha)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)					
Café	71936,00	75006,00	3070,00	4,27	8084,79	-5014,79	-22,71
Cana-de-açúcar	5970,00	20652,00	14682,00	245,93	670,96	14011,04	63,45
Milho	87864,00	88552,00	688,00	0,78	9874,91	-9186,91	-41,60
Soja	3194,00	7430,00	4236,00	132,62	358,97	3877,03	17,56
Feijão	27515,00	26921,00	-594,00	-2,16	3092,37	-3686,37	-16,69
Total	196479,00	218561,00	22082,00	11,24			

Tabela 13 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Sul/Sudoeste de Minas, durante o período de 1990 a 2008

Sul/Sudoeste de Minas	Área cultivada		Variação da área (ha)	Efeito escala (%)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)				
Café	412737,00	465116,00	52379,00	12,69	31809,84	81,24
Cana-de-açúcar	54505,00	49446,00	-5059,00	-9,28	-7775,31	-19,86
Milho	226523,00	249320,00	22797,00	10,06	11508,00	29,39
Soja	888,00	4285,00	3397,00	382,55	44,25	8,56
Feijão	91044,00	56686,00	-34358,00	-37,74	-38895,27	-99,33
Total	785697,00	824853,00	39156,00	4,98		

Tabela 14 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, durante o período de 1990 a 2008

Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	Área cultivada		Variação da área (ha)	Efeito escala (%)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)				
Café	156519,00	149610,00	-6909,00	-4,41	87289,35	-17,18
Cana-de-açúcar	103862,00	381804,00	277942,00	267,61	220019,02	40,12
Milho	329039,00	424313,00	95274,00	28,96	183502,33	-16,09
Soja	346370,00	520846,00	174476,00	50,37	193167,68	-3,41
Feijão	47488,00	55071,00	7583,00	15,97	26483,66	-3,45
Total	983278,00	1531644,00	548366,00	55,77	-18900,66	-3,45

Tabela 15 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Vale do Mucuri, durante o período de 1990 a 2008

Vale do Mucuri	Área cultivada		Variação da área (ha)	Efeito escala (ha)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)				
Café	17148,00	7618,00	-9530,00	-8281,40	-1248,60	4,66
Cana-de-açúcar	6397,00	11219,00	4822,00	-3089,35	7911,35	-29,50
Milho	14710,00	5112,00	-9598,00	-7104,00	-2494,00	9,30
Soja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Feijão	17274,00	4763,00	-12511,00	-8342,25	-4168,75	15,55
Total	55529,00	28712,00	-26817,00	-48,29		

Tabela 16 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Vale do Rio Doce, durante o período de 1990 a 2008

Vale do Rio Doce	Área cultivada		Variação da área (ha)	(%)	Efeito escala (ha)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)					
Café	76349,00	84127,00	7778,00	10,19	-35659,39	43437,39	-27,89
Cana-de-açúcar	12624,00	11648,00	-976,00	-7,73	-5896,14	4920,14	-3,16
Milho	180224,00	61969,00	-118255,00	-65,62	-84175,02	-34079,98	21,88
Soja	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Feijão	64235,00	19956,00	-44279,00	-68,93	-30001,45	-14277,55	9,17
Total	333432,00	177700,00	-155732,00	-46,71			

Tabela 17 - Efeitos escala, substituição e índice de substituição (IS) na mesorregião Zona da Mata, durante o período de 1990 a 2008

Zona da Mata	Área cultivada		Variação da área (ha)	(%)	Efeito escala (ha)	Efeito substituição (ha)	IS (%)
	1990 (ha)	2008 (ha)					
Café	175566,00	205861,00	30295,00	17,26	-35859,43	66154,43	-72,12
Cana-de-açúcar	39626,00	29551,00	-10075,00	-25,43	-8093,63	-1981,37	2,16
Milho	150938,00	77412,00	-73526,00	-48,71	-30829,15	-42696,85	46,55
Soja	0,00	300,00	300,00	Sem variação	0,00	300,00	-0,33
Feijão	82956,00	44236,00	-38720,00	-46,68	-16943,80	-21776,20	23,74
Total	449086,00	357360,00	-91726,00	-20,43			

Considerando um sistema formado por cinco culturas, verifica-se, na Tabelas 6 a 17, uma expansão para as mesorregiões, Central Mineira, Noroeste de Minas, Norte de Minas, Oeste de Minas, Sul/Sudoeste de Minas e Triângulo Mineiro de 0,88%, 69,23%, 32,11%, 11,24%, 4,98% e 55,77% e contração (Campo das Vertentes, Jequitinhonha, Metropolitana de Belo Horizonte, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata) de -2,01%, -43,98%, -46,12%, -48,29%, -46,71% e -20,43% na área total cultivada, destacando-se as mesorregiões Noroeste de Minas e Triângulo Mineiro pelo crescimento percentual da cultura cana-de-açúcar (253,61% e 267,61%). A área da cultura que mais decresceu, percentualmente, foi o café (-89,31%) para a mesorregião Central Mineira, seguido pela soja no Jequitinhonha (-99,96%).

Dentre as principais culturas que apresentaram efeito-substituição positivo (ganhos de competitividade) nas mesorregiões, destacaram-se o café, a cana-de-açúcar, o feijão e soja, enquanto o milho teve o sinal do efeito-substituição negativo ou um valor mais baixo (efeito-substituição positivo) que as de mais culturas.

As modificações na área ocupada pelas pastagens, não foram utilizadas devido a ausência dos dados. Faria (2002) ressalta que as mudanças nas áreas ocupadas por pastagens, devem ser analisadas com certo critério, uma vez que não significam, necessariamente, aumento na competitividade da pecuária, podendo sinalizar abandono da atividade agrícola, em que ela não é mais viável, ou abertura de novas fronteiras, em que o rebanho bovino é utilizado como atividade pioneira e desbravadora. Quanto ao método da coleta de dados, no que tange à consideração do que é ou não pastagem, não há sensibilidade para verificar a situação real da pecuária. Neste sentido, é mais precisa a análise que considera o efetivo bovino e suas características de desempenho. À priori, as expansões das forrageiras revelam, também, tendência para aumento de competitividade da atividade pecuária perante a agrícola.

Relativamente à alteração do sistema, proporcionalmente, algumas culturas expandiram-se mais que outras. Verificou-se que a cana-de-açúcar está em crescente expansão, principalmente na mesorregião (Central Mineira), apresentando um índice de substituição de (1677,14%), superando as culturas de café (-470,47%), milho (-198,62%), soja (-197,54%) e feijão (-810,51%).

Como destaque, ressalta-se a expansão positiva das cinco culturas para a mesorregião (Noroeste de Minas), essas culturas estão em expansão, o que revela que o crescimento agrícola da região apresentou dinamismo econômico importante e relativamente homogêneo, não dependente exclusivamente do desempenho de um único

produto. Assim, pode-se inferir que a região apresenta desenvolvimento de sua economia agrícola de maneira diversificada e por isso, mais estável. A estabilidade aparece porque há redução do risco de grandes prejuízos, seja devido a uma eventual praga ou doença específica de uma cultura ou, então a uma baixa inesperada dos preços no mercado (o mercado agrícola é considerado instável pela sua própria natureza). A presença de uma cesta diversificada de produtos agrícolas, na região, revela as boas condições edafoclimáticas, podendo inferir também sobre a facilidade que os agricultores teriam para migrar de uma cultura para outra, sem a necessidade de grande investimento na busca de tecnologia e, ou capital humano.

Na análise da Tabela 6 e Figura 35, a mesorregião Campo das Vertentes, apresentou índice de substituição negativo (exceto o milho) em ordem decrescente: o café (-262,30%), a cana-de-açúcar (-75,00%), soja (-33,89%) e o feijão (-24,21%) com valores de efeito-substituição de 5993,57, 1713,65, 774,37 e 553,21 ha, respectivamente. Ressalta-se que, dentre estas culturas, a soja destaca-se, pois, apesar do índice negativo, foi a cultura que apresentou a maior variação positiva de área plantada (654,24%), enquanto o milho apresentou um decréscimo de 15,40%, respectivamente. A cultura do milho é exigente em umidade durante todo o ciclo, principalmente no período de floração e enchimento de grãos. Atrasos no plantio desta cultura são decorrentes de escassez de chuvas e baixas temperaturas.

Segundo a Conab (CONAB, 2008), a área cultivada na safra 2008/2009, foi de 9,5 milhões de hectares, com redução de 1,7%. Os principais Estados responsáveis por esse decréscimo foram: Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Já os estados do Rio Grande do Sul e Minas Gerais sinalizaram crescimento de áreas, porém, insuficiente para compensar as reduções em outras regiões. Os preços do milho praticado no mercado, frente aos elevados custos de produção têm motivado esta redução. A elevada oferta com os recordes de safra normal e safrinha, aliado às frustrações das estimativas de exportação, fizeram com que os preços atrativos até então recuassem a níveis abaixo dos atuais custos produtivos que seguem uma trajetória inversa, desenhando um cenário de incertezas quanto ao resultado da próxima colheita. Somando-se a esses fatores as restrições ao crédito de uma parte significativa de produtores, tem contribuído para a redução da área a ser plantada. No Paraná, principal Estado produtor do milho, as condições climáticas apresentadas (escassez de chuvas e baixas temperaturas) têm provocado um leve atraso nos plantios. Cerca de 50% das áreas estavam semeadas, encontrando-se nos estádios de

germinação e desenvolvimento vegetativo. Já em Minas gerais, segundo maior produtor, na maioria dos municípios o solo ainda encontrava-se com baixos índices de umidade, e os preparativos para o plantio estavam em fase inicial com as condições climáticas atuais, caracterizando-se pelo início do período de chuvas.

Na região Central Mineira, foram encontrados valores negativos de (IS) para as culturas do café (-470,47%), milho (-198,62%), soja (-197,54) e feijão (-810,51%). Nesta região, a cultura da cana-de-açúcar destaca-se, pois, tanto a variação da área plantada, quanto o efeito-substituição, foi a cultura que obteve o maior IS (1677,14%) (Figura 35). A cana-de-açúcar apresenta melhor comportamento nas regiões quentes. O clima ideal é aquele que apresenta duas estações distintas, uma quente e úmida, para proporcionar a germinação e o desenvolvimento vegetativo, seguido de outra fria e seca, para promover a maturação e conseqüentemente acúmulo de sacarose nos colmos. As poucas chuvas que ocorrem nas regiões produtoras de cana-de-açúcar em Minas Gerais são insuficientes para garantir o bom crescimento da cana para safra posterior. Chuvas significativamente acima da média nos principais centros de produção favorecem o desenvolvimento dos canaviais, mas atrapalham a colheita da safra.

O setor sucroalcooleiro passa por um momento de grande expectativa em torno do seu desenvolvimento. A demanda mundial por fontes de energia renováveis esquentou o mercado e desperta o interesse dos investidores que vêem no Brasil a possibilidade de que este país seja o novo fornecedor mundial de energia, assim como acontece com a Arábia Saudita, no caso do petróleo. Diante de toda esta especulação o setor se mostra forte e em plena expansão no país. Acredita-se que o crescimento do setor se dará em detrimento da produção de grãos, o que poderia levar a problemas de abastecimento.

Diante deste cenário, a produção mundial de cana-de-açúcar vem crescendo a cada ano e o Brasil desponta com esta alternativa à produção de bioenergia, limpa e renovável, com baixos custos de produção, clima e topografia favorável, tornando-se competitivo no mercado mundial. A produção de etanol já é a segunda maior, ficando atrás apenas dos Estados Unidos que utilizam o milho como matéria-prima. No entanto, os Estados Unidos não são auto-suficientes e responderam por mais de 50% das exportações brasileiras em 2006. Há programas de adição de uma pequena porcentagem de álcool à gasolina em vários países, o que cria um grande mercado potencial para o etanol.

Segundo a Conab (CONAB, 2008), o primeiro levantamento em abril de 2008, as excelentes condições climáticas registradas, nas regiões canavieiras, bem como os

elevados investimentos feitos pelo setor sucroalcooleiro no melhoramento tecnológico das unidades de processamento; na introdução de novas variedades mais produtivas da cana e a instalação de sistema de irrigação, permitiram um ótimo desempenho na safra 2008/09. Desta forma, ocorreu um crescimento regional entre 2,3 e 5,2 milhões de toneladas da produção de cana, com um aumento proporcional para fabricação de açúcar e de álcool variando de 1,95% a 6,23% e 5,70% a 10,52%, respectivamente.

Para a região centro-sul, que inclui os Estados da região sudeste, sul e centro-oeste, cuja participação está próxima de 90,0% do total nacional, os resultados indicaram um aumento de 12,46% a 16,75% no volume da cana a ser processada. Desse total, 42,78% foi destinado à fabricação de açúcar e 57,22% à produção de álcool, em relação ao ponto médio. O desempenho dos estados revelou que na região centro-sul, o crescimento da produção ocorreu em praticamente todos os Estados, com ênfase naqueles circunvizinhos ao estado de São Paulo, ou seja, Paraná, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. Para os principais produtos derivados da cana-de-açúcar, o açúcar e o álcool, para esta safra observou-se a tendência de expansão mais acentuada para o álcool que para o açúcar. Neste sentido, a produção açúcar para o País, como um todo, atingiu 33,87 milhões de toneladas, com um crescimento percentual de 12,41%. Apesar deste considerável crescimento, este produto ficou muito abaixo para a produção de álcool que teve um crescimento de 19,46% e 27,49 bilhões de litros. Esses números confirmam uma safra mais alcooleira. A composição deste diferente desempenho da produção mostra, como já havia ocorrido na safra passada, a intensidade do aumento do consumo doméstico e das perspectivas do comércio externo deste produto. Os dados indicam que a produção do álcool hidratado deverá continuar crescendo à taxas muito maiores que do álcool anidro em decorrência do expressivo aumento da frota nacional de veículos do tipo 'flex-fuel', que pode usar tanto o álcool, como a gasolina ou qualquer combinação de ambos como combustível, e cuja venda mensal representa 85% dos veículos novos e está próxima de 200 mil unidades, com previsão de crescimento ao longo do ano. A frota em circulação já ultrapassou o número de 5,0 milhões de unidades e o álcool hidratado tem tido a preferência dos consumidores em face do menor custo por quilômetro rodado que ele oferece, comparativamente ao seu sucedâneo, a gasolina.

Na análise da Figura 35, a maior área plantada ainda é o milho na mesorregião Central Mineira, mas a cana-de-açúcar avança, pois tem efeito-substituição de área superior e (IS) que as culturas do sistema.

As culturas café e cana-de-açúcar, para o Jequitinhonha, apresentaram valores negativos de (IS): (-17,87%) e (-2,73%), respectivamente. Constata-se que apesar dos valores negativos de (IS) para as culturas do café e cana-de-açúcar, o efeito-substituição ainda é relevante, visto que, são as únicas culturas a terem valores positivos deste (9857,75), (1505,21) ha, respectivamente.

Na Tabela 9, verifica-se que apenas a cultura da soja teve uma variação positiva (1,17%) na área plantada e efeito-substituição de (282,79 ha). Apesar de valores negativos de variação de área plantada (-1,63%) e (IS) de (-6,65%), a cana-de-açúcar, destaca-se por apresentar o maior efeito substituição nessa mesorregião (4953,92 ha), respectivamente.

Os dados da Tabela 10 indicam um desempenho excepcional para todas as atividades, com aumento de 253,61% na área plantada de cana-de-açúcar e feijão (56,59%). A cultura que mais se destacou nessa região foi o feijão com efeito-substituição de 41183,02 ha, correspondendo ao melhor índice de substituição (17,87%) das culturas que compõem o sistema (Figura 35). Para plantar feijão com êxito comercial, a escolha da área onde será plantada a cultura é de importância fundamental. Por isso, deve-se preferir áreas que tenham outono e primavera mais ou menos longos, suficientes para completar o ciclo do feijoeiro, não se prestando aquelas em que o verão e o inverno sejam muito rigorosos, isto é muito quente ou muito frio.

Precipitações mais ou menos 100 mm na época do plantio e do crescimento do feijão são ideais para a cultura. A temperatura ideal para a planta se situa entre 10 e 25°C, embora a cultura da leguminosa também possa ser feita em temperaturas acima de 35°C, escolhendo-se variedade adequada sob regime de irrigação. As temperaturas muito altas são prejudiciais ao feijão, razão pela qual se desaconselha o seu plantio nos meses de novembro e dezembro na região Sul do país.

A cultura do feijão é praticada em aproximadamente 100 países, tendo elevado número de espécies e variedades, o que dificulta uma análise comparativa no tocante à qualidade e aos índices de produtividade. A pouca importância comercial do produto, no âmbito mundial, aliada à falta de real conhecimento do seu mercado, e ao pequeno consumo entre os países do primeiro mundo, limita a expansão do comércio internacional, tornando-o de pouca expressão, uma vez que quase todos os países produtores são também grandes consumidores, e desta feita, pequeno é o excedente exportável, fato que gera um comércio internacional bastante restrito. No que se refere à preferência por tipos, variedades e classes, os hábitos alimentares são bastante

diversificados entre os países, e mesmo entre regiões de um mesmo país. No Brasil, o consumo do feijão-preto se concentra nos Estados do Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, sendo que, para o Rio de Janeiro se destina a maior parte das importações da Argentina. Em menor escala, o consumo também abrange os Estados do Paraná, Santa Catarina e Espírito Santo. O feijão-cores, por sua vez, tem o consumo concentrado nos Estados centrais, e em parte do Paraná e de Santa Catarina, enquanto o feijão macaçar é de consumo típico da Região Nordeste.

Segundo a Conab (CONAB, 2008), apesar dos altos preços dos insumos (adubos, sementes, combustível) que, conseqüentemente, elevam os custos de produção, aliados ao risco inerente à cultura que é um fator que ainda pesa na hora do plantio (condições climáticas e de mercado, ocorridos em safras passadas), os bons preços obtidos no mercado recentemente têm sido a motivação para esse crescimento, complementados pelos reajustes nos preços mínimos do governo federal.

As precipitações ocorridas na região Centro-Sul beneficiaram as áreas já semeadas, trazendo a umidade necessária para a condução do preparo do solo e plantio do restante das áreas do feijão das águas. As chuvas regulares, a partir de outubro, favoreceram o desenvolvimento das lavouras.

No Paraná, principal Estado produtor, é apontado o maior crescimento de área em percentual entre 18,0% e 23% e absoluto de 51,6 ha a 65,9 ha. O plantio da primeira safra, ou “das águas”, é o mais importante, sendo compreendido entre agosto e o início de dezembro. Das áreas, estão semeadas 53% com cerca de 35% em germinação e 57% em desenvolvimento vegetativo. Na região, nota-se um leve atraso no plantio em função das baixas temperaturas e do atraso do início das chuvas.

Em Minas Gerais, segundo maior produtor, estima-se um crescimento de 4,0% a 6,0% de área em relação à safra passada. A grande maioria das áreas encontra-se na fase de preparo de solo.

No Norte de Minas, destacam-se as culturas do café e soja que apresentaram os melhores índices de substituição (IS) 5,98% e 36,55%, respectivamente (Figura 35). A soja foi a cultura que mais competiu com o sistema, ou seja, efeito-substituição positivo de 22224,66 ha. Embora seja planta originária de clima temperado, a soja adapta-se bem em uma ampla faixa de outros climas. Assim seus cultivares aclimatados vai muito bem nos climas tropical e subtropical.

As temperaturas médias, ótimas para melhor desenvolvimento da soja, estão entre 20 a 35°C. Acima ou baixo dessas temperaturas, há o aparecimento de distúrbios

fisiológicos, especialmente no que se refere à floração e ação dos nódulos nas raízes. Precipitações pluviométricas anuais de 700 a 1200 mm, bem distribuídas, preenchem perfeitamente suas necessidades em água.

No panorama internacional a cultura da soja, indica um crescimento significativo e contínuo da produção, em consequência, principalmente, do aumento nos principais Países produtores (EUA, Brasil e Argentina). Salienta-se também que a cultura vem apresentando investimentos maciços na pesquisa de cultivares adaptados à região, voltados para as exigências do mercado externo, sendo seus preços cotados, internacionalmente, em patamares mais elevados.

Não há controle de preços nem a possibilidade de intervenção negativa do governo no mercado interno da soja, uma vez que esta não participa diretamente da cesta da população de baixa renda. A soja foi a cultura que mais se beneficiou das vantagens da modernização movida pelo farto crédito, bem como de apoio (assistência técnica, pesquisa, investimento) por planos específicos voltados para o desenvolvimento da região.

Segundo a Conab (CONAB, 2008), o levantamento das safras de 2007/08, atingiu 60,02 milhões de toneladas, sendo considerada recorde. Esta produção deveu-se ao aumento da área plantada, motivado pelos bons preços do produto e pela expectativa futura de mercado no momento da implantação da cultura, aliados às boas condições climáticas ocorridas durante todo o ciclo da lavoura, para a maioria dos Estados produtores e pelo alto nível tecnológico usado, principalmente, no combate às pragas e às doenças como a ferrugem asiática, que nesta safra foi de menor intensidade devido ao vazio sanitário realizado em vários estados (proibição do cultivo da soja no período da entressafra, junho a setembro) e ao maior controle preventivo de outras doenças fúngicas.

Para a mesorregião Oeste de Minas, destacam-se, neste processo, a soja e cana-de-açúcar como principais atividades desta região, apresentando (IS) de 17,56% para a soja e 63,45% para cana-de-açúcar (Figura 35).

As mesorregiões Sul/Sudoeste de Minas e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba apresentaram (IS) de 81,24% para o café no Sul/Sudoeste de Minas e (IS) de 40,12% para cana-de-açúcar no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (Figura 35).

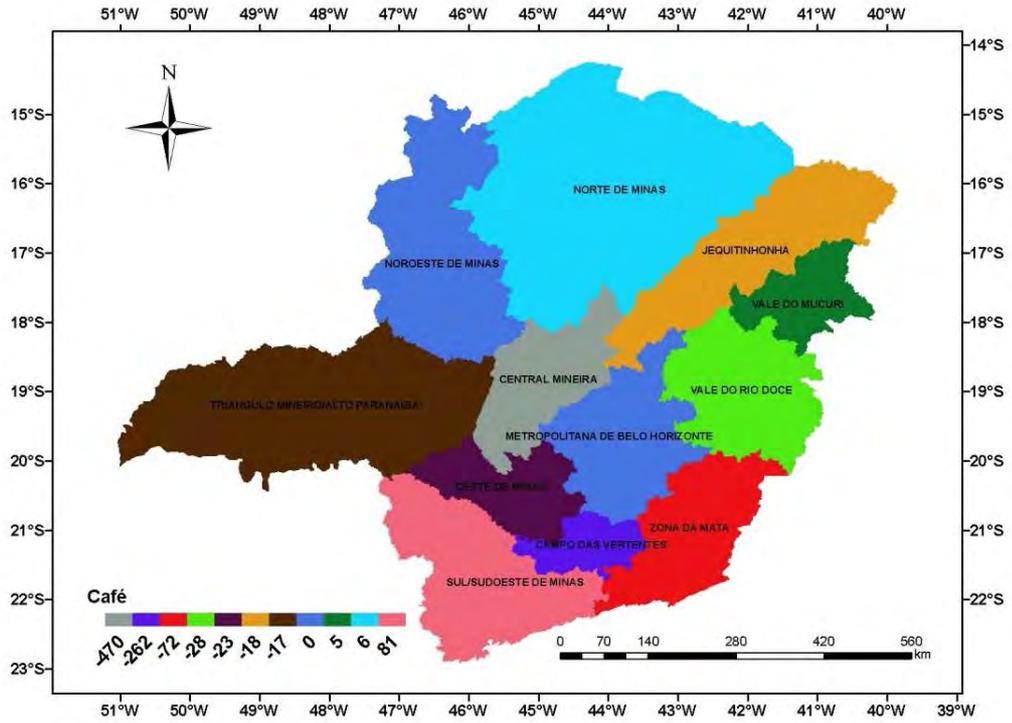
Apesar dos valores negativos de (IS) -29,50% para cana-de-açúcar, verifica-se um efeito-substituição positivo para esta cultura, no Vale do Mucuri, em relação às demais culturas do sistema (7911,35 ha), respectivamente (Figura 35).

Vale do Rio Doce e Zona da Mata, destacam-se, neste processo, a cultura do café e cana-de-açúcar para o Vale do Rio Doce, apresentando efeito-substituição de 43437,39 e 4920,14 ha, respectivamente. Na Zona da Mata o café tem o maior destaque em relação ao sistema, apresentando efeito-substituição de 66154,43 ha. Condições climáticas adversas no Estado de Minas Gerais, que se caracterizaram pela escassez de chuvas e temperaturas elevadas, com médias superiores aos índices históricos, principalmente nas fases de floração e enchimento de grãos, a produção de café no Estado fica aquém do potencial produtivo das lavouras nas diferentes regiões produtoras, decorrente da redução da produtividade obtida, sendo necessárias maiores quantidades de frutos para a obtenção de uma saca de café beneficiada.

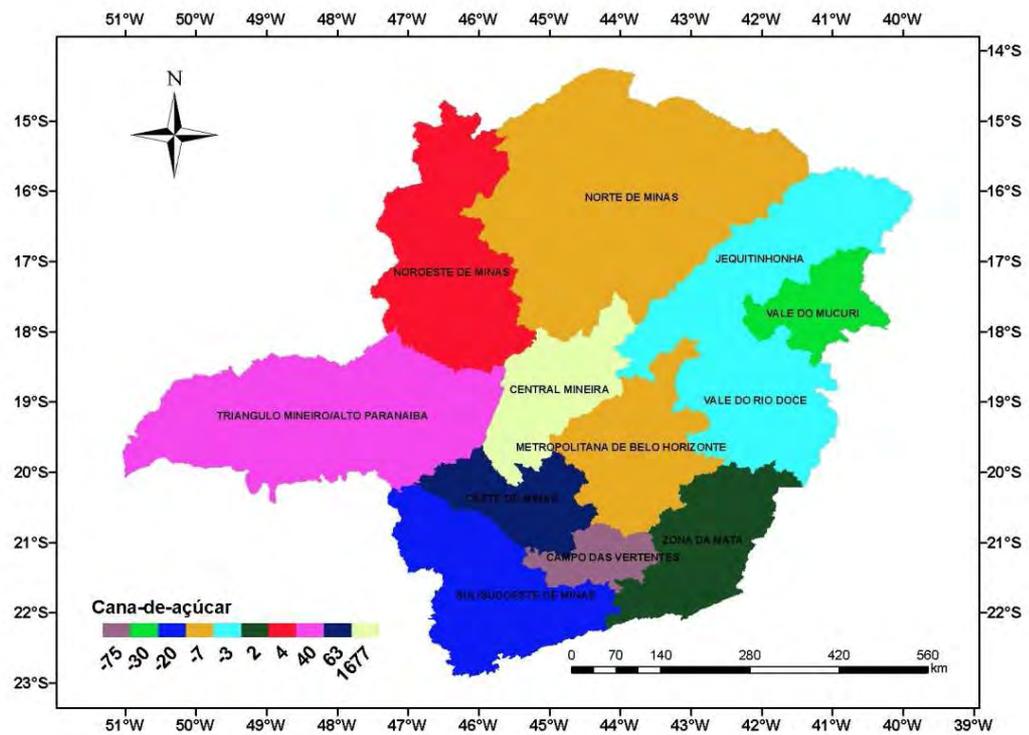
Segundo a Conab (CONAB, 2008), esta situação ficou mais evidente na região Sul de Minas, onde as lavouras foram severamente atingidas pelas condições climáticas desfavoráveis, especialmente naquelas áreas de menor altitude e ou de cerrado. Na Zona da Mata e no Jequitinhonha, as condições foram um pouco mais favoráveis, propiciando boas produtividades. Na região do Cerrado Mineiro, onde se concentra a maior área irrigada de café do Estado, os benefícios proporcionados pelos sistemas de irrigação foram, em parte, minimizados pelas altas temperaturas observadas durante o ciclo produtivo das lavouras. De maneira geral, no transcorrer da colheita em todo Estado, predominou céu claro e baixa umidade relativa do ar. No entanto, alguns municípios do Sul de Minas foram severamente castigados por chuvas de granizo em meados de setembro comprometendo o término da colheita e a produção da próxima safra nesses municípios.

Condições climáticas adversas também atrasaram o início da colheita decorrente de estiagem que ocorre nos períodos de floração e formação dos frutos, e do prolongamento das chuvas no período de maturação dos frutos, bem como pela dificuldade de contratação de mão-de-obra para a colheita do café, haja vista a concorrência de outras atividades econômicas mais rentáveis para os trabalhadores.

O atraso da colheita aliado às primeiras chuvas de verão de 2008 ocorreu a partir de meados de setembro, dificultando ainda mais a finalização da colheita em alguns municípios, especialmente no Sul de Minas. O elevado preço da mão-de-obra no custo de produção do café tem contribuído para a intensificação da colheita mecanizada em todas as regiões do Estado (CONAB, 2008).

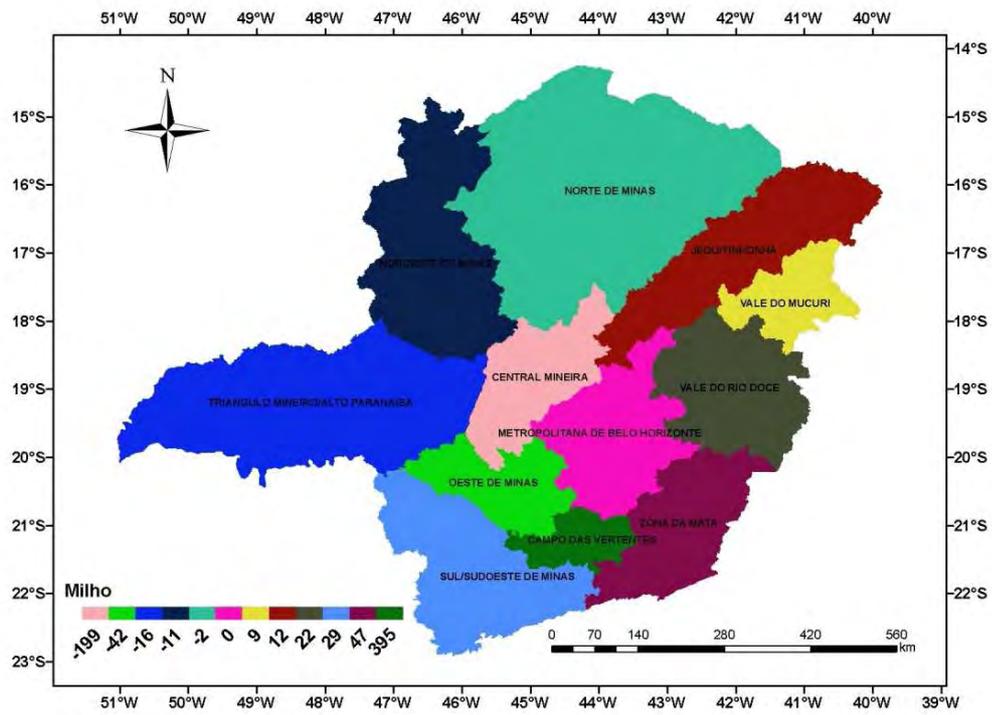


(a)

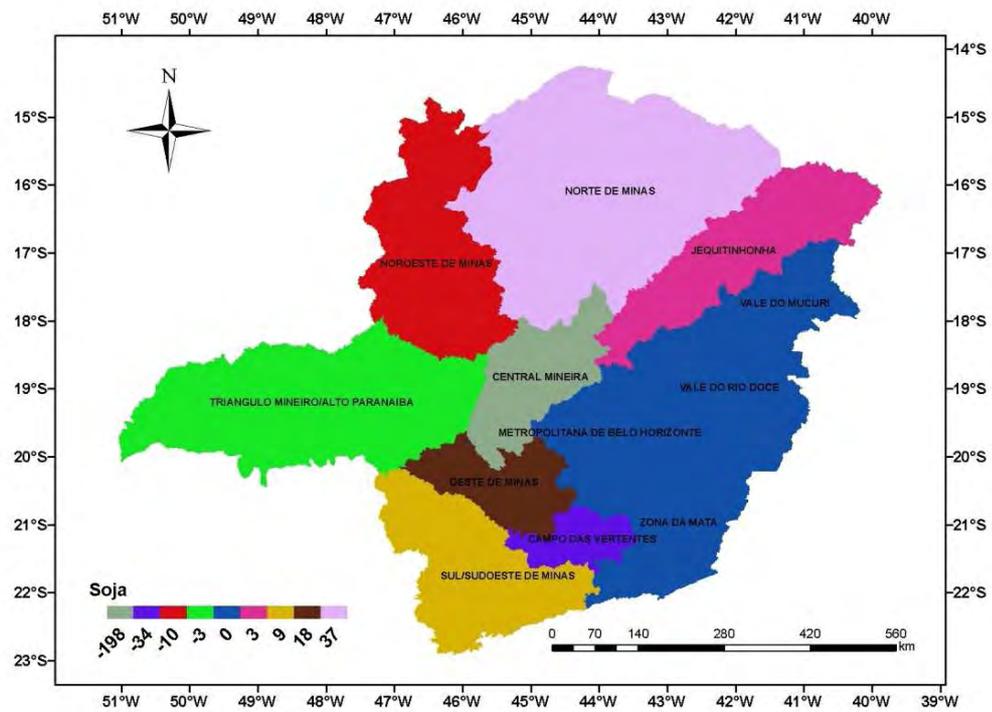


(b)

Continua...

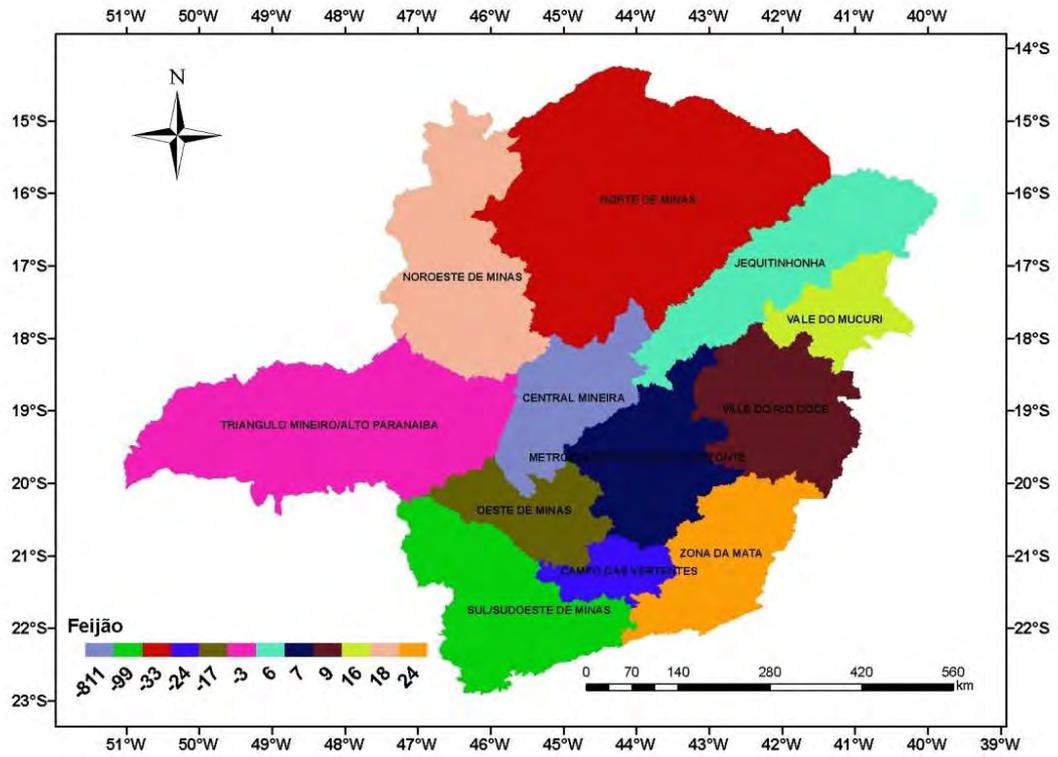


(c)



(d)

Continua...



(e)

Figura 35 - Efeito substituição para as culturas café (a), cana-de-açúcar (b), milho (c), soja (d) e feijão (e) para o estado de Minas Gerais

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Realizou-se a classificação espectral das áreas plantadas (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão) por meio do classificador árvore de decisão, analisou-se a influência do clima, solo e altimetria para o café arábica e a mudança na composição agrícola através do índice de substituição das culturas. Para classificação espectral das áreas plantadas, empregou-se o algoritmo (AD) e produtos do sensor TM, a bordo do satélite Landsat-5. No zoneamento climático atualizado do café arábica, utilizou-se dados climáticos de 1941 a 2009. Para a análise da mudança na composição agrícola, utilizaram-se dados de censo de 1990 a 2008, fornecidos pelo IBGE.

A análise dos resultados destes permitiram obter as seguintes conclusões:

1. A classificação espectral por meio do algoritmo AD, mostrou que as imagens de sensoriamento remoto obtida pelo satélite Landsat-5, em quatro diferentes anos e específicas épocas, permitem mapear as áreas ocupadas com as culturas (café, cana-de-açúcar, milho, soja e feijão) para o Estado de Minas Gerais.
2. Os valores das áreas plantadas, estimadas pelo algoritmo AD, apresentaram boa correlação com os valores observados pelo IBGE, porém houve uma tendência de superestimativa;
3. No ano de 1990, a ocorrência de precipitação, para a mesorregião Noroeste de Minas, contribuiu para queda da estimativa de área plantada (feijão, milho e soja), por meio da árvore de decisão. Para os 16 dias anteriores a passagem do satélite, as condições climáticas para o Triângulo Mineiro, apresentavam umidade relativa baixa e sem ocorrências de precipitações, o que resultaram em superestimativas

- com os dados observados para todas culturas;
4. Em 1995, a ocorrência de precipitação contribuiu significativamente com a queda de estimativa de área plantada para cultura do milho. A mesorregião do Triângulo Mineiro, foi a que obteve a maior precipitação (87,2 mm), as culturas (café, feijão, milho e soja) subestimaram os valores observados do IBGE. Para esta mesma mesorregião a única cultura que superestimou a área foi a cana-de-açúcar;
  5. Em 2000, a mesorregião (Noroeste de Minas), foi a única que durante os 16 dias anteriores da passagem do satélite ocorreu precipitação. As culturas (café e milho) superestimaram os valores observados, já as culturas (cana-de-açúcar, soja e feijão) ocorreu subestimativa da área plantada;
  6. Apesar dos valores pluviométricos encontrados na mesorregião (Noroeste de Minas) para o ano de 2005, as culturas (café, cana-de-açúcar, milho e soja) superestimaram os valores observados de área plantada, apenas a cultura do feijão subestimou os dados. A região do Triângulo mineiro ocorreu subestimativa das áreas (café, cana-de-açúcar e feijão) e superestimativa (soja e milho);
  7. O NDVI no Estado de Minas Gerais, variou aproximadamente de -1 a 1 para os anos de 1990 a 2005. Indicando haver uma grande variação nas superfícies refletoras na área de estudo;
  8. A ocorrência da superestimativa da área total plantada destas culturas para os anos de 1990 a 2005 pela AD, pode ser atribuído ao decréscimo dos valores de precipitação correspondente ao período seco na região Sudeste;
  9. Ao comparar as áreas plantadas estimadas via AD com o IBGE, verificou-se coerência nos resultados encontrados, com respaldo na literatura;
  10. A atualização dos dados para o zoneamento climático do café arábica, mostrou-se eficiente na delimitação das regiões climaticamente homogêneas, quanto à capacidade produtiva da cultura do café no estado de Minas Gerais;
  11. As metodologias para a obtenção do banco de dados atualizado e processamento para a formação da aptidão climática, profundidade e aptidão geral mostraram-se tecnicamente aceitáveis em relação a zoneamentos já realizados no Estado de Minas Gerais;
  12. Verificou-se que as culturas que mais se destacaram em termos de expansão de área foram cana-de-açúcar, café, soja e feijão, o que revela que o Estado de Minas Gerais apresentou dinamismo econômico importante e relativamente homogêneo, não dependendo exclusivamente do desempenho de um único produto.

Recomenda-se assim que ocorra a difusão das metodologias e técnicas desenvolvidas, de forma a incentivar a integração entre instituições que tenham interesse na questão do monitoramento de áreas plantadas. Esta integração deve ser direcionada no sentido de se complementar e economizar esforços, por meio da troca de conhecimento e informações.

Para estudos futuros é importante indicar a utilização de imagens obtidas por sensores ativos (RADAR) que não estão sujeitas às condições atmosféricas desfavoráveis, como por exemplo, a interferência provocada pelas nuvens, até que surjam novos satélites com sensores óticos com uma melhor resolução temporal.

## REFERÊNCIAS

ADAMI, M.; MOREIRA, M.A.; RUDORFF, T.; FREITAS, C.C. Análise da eficiência dos estimadores de expansão direta e de regressão para áreas cultivadas com café, milho e soja no município de Cornélio Procópio, Estado do Paraná. **Agricultura em São Paulo**, v. 5, n. 2, p. 5-13, jul./dez. 2004.

ALLEN, R.G.; TREZZA, R.; TASUMI, M. **Surface energy balance algorithms for land**: advance training and users manual, version 1.0. 2002. 98 p.

ALMEIDA, E.S.; BATISTA, G.T. Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos. **Anais...** INPE, 1998.

ANDRADE, R.G. **Aplicação do algoritmo Sebal na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar**. 2008. 135 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ANTUNES, I.F.; SILVEIRA E.P. **O feijão no Rio Grande do Sul** – commodity e alimento. Porto Alegre: Assembléia Legislativa do Rio Grande do Sul, Comissão de Agricultura, Pecuária e Cooperativismo, 2000. 47 p. (Série Culturas - Feijão).

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2.ed. Brasília: Embrapa-CPAC, 1998.

CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING FUNDAMENTALS OF REMOTE SENSING – CCRS. **Tutorial**. Ottawa, Canadá, 1999.

CARAM, R.O. **Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no Estado de Minas Gerais**. 2007. 107 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CARVALHO JÚNIOR, O.A.; COELHO, M.A.N.; MARTINS, E.S.; GOMES, R.A.T.; COUTO JÚNIOR, A.F.; OLIVEIRA, S.N.; SANTANA, O.A. Mapeamento da vegetação na floresta atlântica usando o classificador de árvore de decisão para integrar dados de sensoriamento remoto e modelo digital do terreno. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 3, p. 331-345, 2008.

CARVALHO, L.G.; OLIVEIRA, M.S.; ALVES, M.C.; VIANELLO, R.L.; SEDIYAMA, G.C.; CASTRO NETO, P.; DANTAS, A.A.A. Clima. In: SCOLFORO, J.R.S.; CARVALHO, L.M.T.; OLIVEIRA, A.D. **Zoneamento ecológico-econômico de Minas Gerais – componentes geofísico e biótico**. Lavras: UFLA, 2008.

CARVALHO, M.S.; PINA, M.F.; SANTOS, S.M. **Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartográfica aplicados à saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, Organização Panamericana da Saúde, Rede Integrada de Informações para a Saúde, 2000. p. 1-39.

CARVALHO, T.M.; LATRUBESSE, E. O uso de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, p. 85-93, 2004.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat 5/TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 41, n. 11, p. 2764-2677, 2003.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. 3.ed. Madrid: Rialp, 1996. 568 p.

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

COLSTOUN, E.C.B.; STORY, M.H.; THOMPSON, C.; COMMISSO, K.; SMITH, T.G.; IRONS, J.R. National Park vegetation mapping using multitemporal LANDSAT 7 data and a decision tree classifier. **Remote Sensing of Environment**, v. 85, p. 316-327, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Sétimo levantamento de avaliação da safra 2009/2010**. Brasília, 2010a. 42 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Sétimo levantamento de avaliação da safra 2010**. Brasília, 2010b. 18 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Sétimo levantamento de avaliação da safra 2008**. Brasília, 2008. 18 p.

DELGADO, R.C.; SEDIYAMA, G.C.; ZOLNIER, S.; COSTA, M.H. Modelos físico-matemáticos para estimativa da umidade relativa do ar a partir de dados de temperatura. **Revista Ceres**, v. 56, p. 256-265, 2009.

DEMATTE, J.A.M.; GARCIA, G.J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 63, p. 237-342, 1999.

DUTRA, G.C.; DAVIDE, A.C.; CARVALHO, L.M.T.; BOTELHO, S.A. Modelo de estratificação de áreas visando à recuperação da área no entorno da Usina Hidrelétrica do Funil (Rio Grande), MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2007. p. 2533-2539.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil – 2009-2010**. Londrina: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2008. 262 p. (Sistemas de Produção, n. 13).

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

FARIA, R.A. **Utilização de sistema de informações geográficas na estruturação do modelo de seguro rural**. 2002. 147 p. Tese (Doutorado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FIGUEIREDO, S.M.M.; CARVALHO, L.M.T. Avaliação da exatidão do mapeamento da cobertura da terra em Capixaba, Acre, utilizando classificação por árvore de decisão. **Cerne**. v. 12, n. 1, p. 38-47, 2006.

FLEMING, M.D.; HOFFER, R.M. Machine processing of Landsat MSS data and DMA topographic data for forest cover type mapping. In: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY DATA SYMPOSIUM, 5, 1979, West Lafayette. **Machine...** West Lafayette: Purdue University, 1979. p. 377-390.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **Multiple frame agricultural surveys: current survey based on area and list sampling methods**. Roma, 1996.

FRIEDL, M.A.; BRODLEY, C.E. Decision tree classification of land cover from remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, n. 6, p. 399-409, 1997.

GEOMINAS. **Programa Integrado de Uso da Tecnologia de Geoprocessamento pelos Órgãos do Estado de Minas Gerais**. Governo do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <[www.geominas.mg.gov.br](http://www.geominas.mg.gov.br)>. Acesso em 5 maio 2009.

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

HAN, J.; KAMBER, M. **Data mining: concepts and techniques**. Morgan Kaufmann Publishers, 2006. 743 p.

HOWARD, J.A. **Remote sensing of forest resources**: theory and application. London: Chapman & Hall, 1991. 436 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento sistemático da produção agropecuária**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/IBGE/>>. Acesso em: 10 jul. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Divisão de geração de imagens**. Disponível em: <[www.dgi.inpe.br/html/landsat.htm](http://www.dgi.inpe.br/html/landsat.htm)>. Acesso em: 4 mar. 2009.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J.W. **Remote sensing and image interpretation**: New York: John Wiley & Sons, 2007. 756 p.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908 p.

LOCK, R.E.N.; KIRCHNER, F.F. Classificação de imagens multiespectrais LANDSAT TM e feições de textura: mapeamento da cobertura da terra. **Revista Floresta**, v. 27, n. 1/2, p. 41-58, 1997.

LUIZ, A.J.B. **Estatísticas agrícolas por sensoriamento remoto**. 2003. 98 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MARTINS, F.T.; DUTRA, L.V.; FREITAS, C.C.; FONSECA, F.R.; GUIMARÃES, R.J.P.S.; MOURA, A.C.M.; SCHOLTE, R.G.C.; AMARAL, R.S.; DRUMMOND, S.C.; FREITAS, C.R.; CARVALHO, O.S. Uso de árvore de decisão para predição da prevalência de esquistossomose no Estado de Minas Gerais, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2007. p. 2841-2848.

MASRY, S.E.; McLAREN, R.A. Digital map revision. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 45, n. 2, p. 183-200, 1979.

MENESES, P.R. Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: MESENSE, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S. (Orgs.). **Sensoriamento remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, Embrapa Cerrados, 2001. p.15-40.

MILLER, L.D.; NUALCHAWEE, K.; TOM, C. **Analysis of dynamics of shifting cultivation in the tropical forests of northern Thailand using landscape modeling and classification of Landsat imagery**. Maryland: NASA, 1978. 19 p. (Technical Memorandum, 79545).

NOVO, E.M.; COSTA, M.P.; MANTOVANI, J.E. Avaliação do uso de medidas de textura na discriminação de ambientes aquáticos do reservatório da UHE Tucuruí a partir de dados RADARSAT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos. **Anais...** Santos, 1998. p.155-165.

OLIVEIRA, L.T. **Fusão de imagens de sensoriamento remoto e mineração de dados geográficos para mapear as fitofisionomias do bioma cerrado.** 2004. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PAL, M.; MATHER, P.M. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. **Remote Sensing of Environment**, n. 86, p. 554-565, 2003.

PICOLI, M.C.A.; ROCHA, J.V.; ESQUERDO, J.C.D.M.; LAMPARELLI, R.A.C. O uso de máscaras para seleção automática de áreas plantadas com soja no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009. p. 333-338..

PIROLI, E.L.; BECKER, E.L.S.; BOLFE, E.L. Análise do uso da terra na microbacia do Arroio do Meio – Santa Maria-RS, por sistema de informações geográficas e imagens de satélite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 407-413, 2002.

PORTILLO, J.E.; EPIPHANIO, J.C.N.; GÜRTLER, S.; BARRETO LUIZ, A.J. Evolução da superfície cultivada com as principais culturas agrícolas em Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra-SP, via imagens de satélite. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 215-222. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/col/ltdi.inpe.br/sbsr/2002/11.18.22.15>>. Acesso em: 20 set. 2009.

PRICE, J.C. How unique are spectral signatures? **Remote Sensing of Environment**, v. 49, p. 181-186, 1994.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 3, p. 226-234, 2005.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul por meio de imagens Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 3, p. 226-234, 2005.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p.73-80, 2007.

ROBINSON, J.M.; MORRISON, J.; MUEHRCKE, P.; KIMERLING, A.; GUPRILL, S. **Elements of Cartography**, New York: John Willey & Sons, 1995. 674 p.

RUDORFF, B.F.T.; BERKA, L.M.S.; MOREIRA, M.A.; DUARTE, V.; XAVIER, A.C.; ROSA, V.G.C.; SHIMABUKURO, Y.E. Imagens de satélites no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/2004. **Agricultura em São Paulo**, v. 52, n. 1, p. 21-39, 2005.

SAMPAIO, C.D.S. **Abordagem metodológica baseada nos dados multitemporais modis EVI/NDVI para classificação da cobertura vegetal na região do Parque nacional da Chapada dos Veadeiros-GO**. Brasília: UnB, 2007. 73 p.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JÚNIOR, J.C.; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.M.N.; COSTA, L.C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 501-509, 2001.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JÚNIOR., J.C.F. Modelos para estimativas das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 57-61, 1998.

SHIBA, M.H.; SANTOS, R.L.; QUINTANILHA, J.A.; KIM, H.Y. Classificação de imagens de sensoriamento remoto pela aprendizagem por árvore de decisão: uma avaliação de desempenho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 4319-4326.

SILVA, G.B.; AZEVEDO, P.V. Potencial edafoclimático da “Chapada Diamantina” no estado da Bahia para o cultivo de Cítrus. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 133-139, 2000.

SILVA, G.F.N.; TAVARES JÚNIOR, S.S.; EVANGELISTA, R.A.O.; OLIVEIRA JÚNIOR, M.C.M. Integração digital e análise espacial aplicados ao estudo da suscetibilidade incêndios florestais em Apiaú e Ribeiro Campos - Roraima. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 683-697, 2008.

TEIXEIRA, A.H.C.; AZEVEDO, P.V. Zoneamento agroclimático para a videira européia no estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 139-145, 1996.

TESCHE, T.W.; BERGSTROM, R.W. Use of digital terrain data in meteorological and air quality modeling. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 44, n. 12, p. 1549-1559, 1978.

TSILIGIRIDES, T.A. Remote sensing as a tool for agricultural statistics: a case study of area frae sampling methodology in Hellas. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 20, p. 45-77, 1998.

TSO, B.; MATHER, P.M. **Classification methods for remotely sensed data**. New York: Taylor & Francis, 2001. 332 p.

VEIGA FILHO, L. Sustainable energy ignites Brazil's economy. **Valor Econômico**, edição especial, p. 6-11, 2008.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J.R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas**. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 351-371.

WILLMOTT, C.J.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, v. 30, p. 79-82, 2005.

WITTEN, I.H.; FRANK, E. **Data mining**: practical machine learning tools and techniques. Morgan Kaufmann, 2005. 525 p.

XU, M.; WATANACHATURAPORIN, P.; VARSHNEY, P.K.; ARORA, M.K. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**, n. 97, p. 322-336, 2005.

YANG, C.; ANDERSON, G.L.; KING JR., J.H.; CHANDLER, E.K. Comparison of uniform and variable rate fertilization strategies using grid soil sampling, variable rate technology, and yield monitoring. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, Minneapolis. **Proceedings...** Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1999. p. 675-686.

ZAGAGLIA, C.R.; CARVALHO, E.V.T.; SANTOS, R.N.A. Mapeamento de manguezais do Brasil: subsídio ao Projeto GEF Mangue. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2007. p. 4343-4350.

ZULLO JÚNIOR, J.; PINTO, H.S.; BRUNINI, O.; ASSAD, E. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) de sequeiro no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis. **CD-ROM...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, UFSC, 1999.

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE

Tabela 1A - Órbita, ponto, dia da passagem do satélite Landsat-5 e o censo agrícola nas respectivas mesorregiões de Minas Gerais para o ano de 1990

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
Campo das Vertentes	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Central Mineira	219/074/(16/07/1990)						
	219/073/(10/03/1990)						
	219/072/(18/09/1990)	3855,00	21545,00	43536,00	4545,00	10793,00	84274,00
	218/073/(09/07/1990)						
	218/072/(09/07/1990)						
Metropolitana de Belo Horizonte	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Noroeste de Minas	219/072/(18/09/1990)						
	219/073/(10/03/1990)						
	220/070/(20/05/1990)						
	220/071/(23/07/1990)	5983,00	5376,00	98849,00	189707,00	33000,00	332915,00
	220/072/(23/07/1990)						
	220/073/(05/06/1990)						
	221/071/(30/07/1990)						

Continua...

Tabela 1A, Cont.

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
Norte de Minas	217/071/(16/06/1990)						
	217/072/(16/06/1990)						
	218/070/(25/07/1990)						
	218/071/(26/08/1990)						
	218/072/(09/07/1990)						
	219/070/(17/08/1990)	3263,00	26490,00	90003,00	10465,00	59161,00	189382,00
	219/071/(16/07/1990)						
	219/072/(18/09/1990)						
	220/070/(20/05/1990)						
	220/071/(23/07/1990)						
220/072/(23/07/1990)							
Oeste de Minas	220/074/(05/06/1990)						
	219/075/(10/03/1990)						
	219/074/(16/07/1990)	71936,00	5970,00	87864,00	3194,00	27515,00	196479,00
	218/075/(11/09/1990)						
	218/074/(25/07/1990)						
Sul/Sudoeste de Minas	220/075/(08/08/1990)						
	220/074/(05/06/1990)						
	219/076/(10/03/1990)						
	219/075/(10/03/1990)	412737,00	54505,00	226523,00	888,00	91044,00	785697,00
	219/074/(16/07/1990)						
	218/076/(09/07/1990)						
218/075/(11/09/1990)							

Continua...

Tabela 1A, Cont.

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	219/073/(10/03/1990)						
	219/074/(10/03/1990)						
	220/072/(20/05/1990)						
	220/073/(05/06/1990)						
	220/074/(05/06/1990)						
	221/073/(28/06/1990)						
	221/074/(30/07/1990)						
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	222/073/(07/09/1990)	156519,00	103862,00	329039,00	346370,00	47488,00	983278,00
	222/074/(06/08/1990)						
Vale do Mucuri	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Vale do Rio Doce	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Zona da Mata	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados

Tabela 2A - Órbita, ponto, dia da passagem do satélite Landsat-5 e o censo agrícola nas respectivas mesorregiões de Minas Gerais para o ano de 1995

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
Campo das Vertentes	217/075/(16/07/1995)						
	218/074/(09/09/1995)	19197,00	1079,00	62712,00	54,00	19663,00	102705,00
	218/075/(09/09/1995)						
Central Mineira	219/073/(12/06/1995)						
	219/074/(12/06/1995)						
	218/072/(09/09/1995)	3718,00	23994,00	51939,00	1510,00	11383,00	92544,00
	218/073/(09/09/1995)						
	219/072/(02/10/1995)						
Metropolitana de Belo Horizonte	218/074/(09/09/1995)						
	218/073/(09/09/1995)	6828,00	11399,00	112378,00	267,00	40462,00	171334,00
	217/074/(29/05/1995)						
	217/073/(29/05/1995)						
Noroeste de Minas	219/072/(02/10/1995)						
	219/073/(12/06/1995)						
	220/070/(18/05/1995)						
	220/071/(18/05/1995)	5436,00	4744,00	150204,00	195538,00	55070,00	410992,00
	220/072/(25/10/1995)						
	220/073/(18/05/1995)						
	221/071/(16/10/1995)						
Norte de Minas	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados

Continua...

Tabela 2A, Cont.

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
Oeste de Minas	220/074/(16/04/1995)						
	219/075/(02/10/1995)						
	219/074/(12/06/1995)	61135,00	4434,00	86040,00	1050,00	35022,00	187681,00
	218/075/(09/09/1995)						
	218/074/(09/09/1995)						
Jequitinhonha	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
	220/075/(05/07/1995)						
Sul/Sudoeste de Minas	220/074/(16/04/1995)						
	219/076/(28/06/1995)						
	219/075/(02/10/1995)	336432,00	40272,00	227711,00	540,00	98059,00	703014,00
	219/074/(12/06/1995)						
	218/076/(09/09/1995)						
	218/075/(09/09/1995)						
	219/073/(02/10/1995)						
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	219/074/(12/06/1995)						
	220/072/(18/05/1995)						
	220/073/(18/05/1995)	122953,00	92575,00	368482,00	395034,00	30220,00	1009264,00
	220/074/(02/05/1995)						
	221/073/(25/05/1995)						
	221/074/(25/05/1995)						

Continua...

Tabela 2A, Cont.

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
Vale do Mucuri	216/072/(07/06/1995)						
	216/073/(23/06/1995)	18152,00	8733,00	6860,00	0,00	7307,00	41052,00
	217/072/(29/05/1995)						
	217/073/(29/05/1995)						
Vale do Rio Doce	218/073/(09/09/1995)						
	217/074/(29/05/1995)						
	217/073/(29/05/1995)	66664,00	11087,00	145441,00	0,00	50020,00	273212,00
	217/072/(29/05/1995)						
Zona da Mata	216/074/(23/06/1995)						
	216/074/(23/06/1995)						
	217/074/(29/05/1995)	179198,00	36056,00	145003,00	0,00	84095,00	444352,00
	217/075/(16/07/1995)						
	218/075/(09/09/1995)						

Tabela 3A - Órbita, ponto, dia da passagem do satélite Landsat-5 e o censo agrícola nas respectivas mesorregiões de Minas Gerais para o ano de 2000

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
Campo das Vertentes	217/075/(26/05/2000)						
	218/074/(22/09/2000)	23983,00	2516,00	41845,00	0,00	17275,00	85619,00
	218/075/(18/06/2000)						
Central Mineira	219/073/(25/06/2000)						
	219/074/(25/06/2000)						
	218/072/(17/05/2000)	2040,00	26571,00	43591,00	680,00	5027,00	77909,00
	218/073/(22/09/2000)						
	219/072/(25/06/2000)						
Metropolitana de Belo Horizonte	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Noroeste de Minas	219/072/(25/06/2000)						
	219/073/(25/06/2000)						
Noroeste de Minas	220/070/(31/05/2000)						
	220/071/(16/06/2000)						
	220/072/(20/09/2000)	6277,00	7793,00	135235,00	136395,00	67731,00	353431,00
	220/073/(20/09/2000)						
	221/071/(25/07/2000)						
Norte de Minas	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados

Continua...

Tabela 3A, Cont.

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
Oeste de Minas	220/074/(20/09/2000)						
	219/075/(24/05/2000)						
	219/074/(25/06/2000)	69143,00	6637,00	82443,00	660,00	24620,00	183503,00
	218/075/(18/06/2000)						
	218/074/(22/09/2000)						
Jequitinhonha	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
	220/075/(29/04/2000)						
Sul/Sudoeste de Minas	220/074/(20/09/2000)						
	219/076/(29/09/2000)						
	219/075/(24/05/2000)	414308,00	33973,00	195173,00	830,00	67795,00	712079,00
	219/074/(25/06/2000)						
	218/076/(10/01/2000)						
	218/075/(18/06/2000)						
	219/073/(25/06/2000)						
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	219/074/(25/06/2000)						
	220/072/(15/05/2000)						
	220/073/(16/06/2000)	149568,00	126500,00	337086,00	445651,00	23199,00	1082004,00
	220/074/(16/06/2000)						
	221/073/(10/08/2000)						
	221/074/(07/06/2000)						
Vale do Mucuri	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados

Continua...

Tabela 3A, Cont.

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
Vale do Rio Doce							
	216/074/(07/08/2000)						
	217/074/(11/06/2000)	187503,00	29475,00	96366,00	3,00	66182,00	379529,00
Zona da Mata	217/075/(26/05/2000)						
	218/075/(18/06/2000)						

Tabela 4A - Órbita, ponto, dia da passagem do satélite Landsat-5 e o censo agrícola nas respectivas mesorregiões de Minas Gerais para o ano de 2005

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
Campo das Vertentes	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Central Mineira	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Metropolitana de Belo Horizonte	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
	219/072/(04/04/2005)						
	219/073/(13/10/2005)						
	220/070/(11/04/2005)						
Noroeste de Minas	220/071/(01/08/2005)	9232,00	10865,00	140510,00	298470,00	86455,00	545532,00
	220/072/(11/04/2005)						
	220/073/(01/08/2005)						
	221/071/(08/08/2005)						
Norte de Minas	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Oeste de Minas	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Jequitinhonha	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Sul/Sudoeste de Minas	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados

Continua...

Tabela 4A, Cont.

Mesorregiões	Órbita/Ponto/(Dia)	Café (ha)	Cana-de-açúcar (ha)	Milho (ha)	Soja (ha)	Feijão (ha)	Total (ha)
	219/073/(13/10/2005)						
	219/074/(13/10/2005)						
	220/072/(01/08/2005)						
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	220/073/(11/04/2005)	146556,00	176791,00	371741,00	755353,00	49335,00	1499776,00
	220/074/(14/06/2005)						
	221/073/(05/06/2005)						
	221/074/(04/05/2005)						
Vale do Mucuri	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Vale do Rio Doce	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados
Zona da Mata	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados	Sem dados

Tabela 5A - Estações com dados pluviométricos, temperatura, umidade relativa do ar e o período estudado de cada estação climatológica

Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Entidade	Período (anos)
Campina Verde	-19,54	-49,48	460,00	ANA	59
Unai	-16,35	-46,89	1067,00	ANA	36
Carmo do Paranaíba	-19,01	-46,51	672,00	ANA	59
Patos de Minas	-18,71	-46,04	880,00	ANA	33
Monte Carmelo	-18,72	-47,52	461,00	ANA	52
Estrela do Sul	-18,74	-47,69	784,00	ANA	57
Abadia dos Dourados	-18,49	-47,41	730,00	ANA	55
Monte Alegre de Minas	-18,87	-48,87	733,00	ANA	60
Paraopeba	-19,27	-44,40	685,00	ANA	46
Onça de Pitangui	-19,73	-44,81	720,00	ANA	60
Serra da Saudade	-19,39	-45,88	855,00	ANA	59
Ibiá	-19,48	-46,54	870,00	ANA	59
Patrocínio	-19,07	-46,80	945,00	ANA	56
Sacramento	-20,01	-47,02	946,00	ANA	29
Iraí de Minas	-18,98	-47,46	448,00	ANA	34
São Francisco	-15,95	-44,87	492,00	ANA	63
Arinos	-15,92	-46,11	279,00	ANA	38
Coronel Murta	-16,61	-42,19	273,00	ANA	53
Grão-Mogol	-16,68	-42,49	290,00	ANA	55
Vila Matias	-16,86	-42,35	472,00	ANA	55
São Romão	-16,37	-45,08	437,00	ANA	48
São Romão	-16,27	-45,24	536,00	ANA	45
Lassance	-17,89	-44,58	475,00	ANA	52
Montalvânia	-14,31	-44,46	523,00	ANA	54
Montalvânia	-14,42	-44,47	450,00	ANA	49
Manga	-14,67	-43,88	630,00	ANA	39
Bocaiúva	-17,31	-43,21	808,00	ANA	49
Guanhães	-18,77	-42,93	803,00	ANA	48
Diamantina	-18,11	-43,52	770,00	ANA	56
Nova Lima	-19,98	-43,85	623,00	ANA	59
Rio Piracicaba	-19,92	-43,18	675,00	ANA	60
Conceição do Mato Dentro	-19,02	-43,44	716,00	ANA	60
Jaboticatubas	-19,52	-43,74	720,00	ANA	59
Sabará	-19,89	-43,82	950,00	ANA	60
Caeté	-19,9	-43,67	710,00	ANA	59
Taquaraçu de Minas	-19,66	-43,69	560,00	ANA	59
Morro do Pilar	-19,22	-43,37	1110,00	ANA	56
São Gonçalo do Rio Abaixo	-19,88	-43,37	423,00	ANA	55
Acaiaca	-20,36	-43,14	620,00	ANA	60
Piranga	-20,69	-43,30	746,00	ANA	59
Carmo do Cajuru	-20,19	-44,79	598,00	ANA	60
Porto Firme	-20,67	-43,09	672,00	ANA	59
Divinópolis	-20,14	-44,89	885,00	ANA	59
Entre Rios de Minas	-20,66	-44,07	915,00	ANA	59
Passa Tempo	-20,63	-44,43	654,00	ANA	59

Continua...

Tabela 5A, Cont.

Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Entidade	Período (anos)
Bambuí	-20,02	-45,97	606,00	ANA	60
Iguatama	-20,18	-45,70	738,00	ANA	60
Lamounier	-20,47	-45,04	808,00	ANA	59
Itaú de Minas	-20,74	-46,73	231,00	ANA	60
Astolfo Dutra	-21,31	-42,86	182,00	ANA	57
Cataguases	-21,39	-42,70	177,00	ANA	57
Patrocínio do Muriaé	-21,15	-42,22	214,00	ANA	60
Itamarati de Minas	-21,47	-42,81	512,00	ANA	52
Rio Pomba	-21,31	-43,20	398,00	ANA	60
Guarani	-21,36	-43,05	881,00	ANA	54
Barroso	-21,19	-43,98	442,00	ANA	58
Juiz de Fora	-21,87	-43,56	502,00	ANA	52
Tabuleiro	-21,6	-43,25	1075,00	ANA	52
Bom Jardim de Minas	-21,95	-44,19	956,00	ANA	59
Tiradentes	-21,12	-44,23	875,00	ANA	59
Madre de Deus de Minas	-21,49	-44,33	842,00	ANA	59
São João Del Rei	-21,06	-44,21	798,00	ANA	38
Rio Preto	-22,01	-43,88	530,00	ANA	50
Santa Rita de Jacutinga	-22,15	-44,09	747,00	ANA	60
Caiana	-20,69	-41,92	532,00	ANA	59
Abre Campo	-20,3	-42,48	330,00	ANA	59
Rio Casca	-20,23	-42,65	880,00	ANA	59
Pratápolis	-20,81	-46,81	780,00	ANA	35
Desterro do Melo	-21,15	-43,52	997,00	ANA	59
Antonio Carlos	-21,28	-43,82	912,00	ANA	58
Caxambu	-21,99	-44,94	880,00	ANA	59
Baependi	-21,95	-44,88	966,00	ANA	59
Aiuruoca	-21,98	-44,60	897,00	ANA	56
Andrelândia	-21,74	44,31	841,00	ANA	51
Três Corações	-21,72	-45,26	843,00	ANA	59
Cambuquira	-21,87	-45,26	892,00	ANA	58
Campanha	-21,92	-45,48	810,00	ANA	58
Monsenhor Paulo	-21,76	-45,54	1150,00	ANA	59
Baependi	-22,12	-44,84	1180,00	ANA	59
Bocaina de Minas	-22,13	-44,41	1036,00	ANA	59
Careaçu	-22,17	-44,64	820,00	ANA	57
Pouso Alegre	-22,24	-45,93	815,00	ANA	58
Silvianópolis	-22,12	-45,92	498,00	ANA	33
São Pedro do Suaçuí	-18,36	-42,60	530,00	ANA	60
Coroaci	-18,61	-42,28	260,00	ANA	60
Ipanema	-19,8	-41,71	505,00	ANA	60
Bom Jesus do Galho	-19,83	-42,32	305,00	ANA	60
Raul Soares	-20,1	-42,44	241,00	ANA	60
Itaobim	-16,57	-41,50	254,00	ANA	53
Jequitinhonha	-16,43	-41,01	92,00	ANA	53
Nanuque	-17,84	-40,38	174,00	ANA	60

Continua...

Tabela 5A, Cont.

Estação	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Entidade	Período (anos)
Vila Matias	-18,57	-41,92	240,00	ANA	61
Campanário	-18,24	-41,75	1067,00	ANA	60
Conselheiro Pena	-19,06	-41,53	121,00	ANA	57
Pocrane	-19,59	-41,46	172,00	ANA	55
Barbacena	-21,22	-43,77	1164,00	INMET	48
Pompeu	-19,22	-44,93	657,00	INMET	48
Curvelo	-18,75	-44,42	632,00	INMET	45
Araçuaí	-16,83	-42,07	307,00	INMET	43
Pedra Azul	-16,00	-41,28	617,00	INMET	33
Belo Horizonte	-19,92	-43,93	858,00	INMET	48
Conceição do Mato Dentro	-19,03	-43,42	701,00	INMET	48
Sete Lagoas	-19,45	-44,23	761,00	INMET	48
Ibirité	-20,02	-44,05	872,00	INMET	43
João Monlevade	-19,80	-43,17	732,00	INMET	40
Florestal	-19,88	-44,42	776,00	INMET	43
João Pinheiro	-17,73	-46,17	765,00	INMET	45
Unaí	-16,35	-46,90	575,00	INMET	28
Espinosa	-14,92	-42,82	570,00	INMET	32
Janaúba	-15,80	-43,30	533,00	INMET	27
Januária	-15,48	-44,35	554,00	INMET	45
Monte Azul	-15,15	-42,87	582,00	INMET	32
Montes Claros	-16,73	-43,85	648,00	INMET	45
Pirapora	-17,33	-44,93	489,00	INMET	29
Salinas	-16,17	-42,28	471,00	INMET	30
Arinos	-15,92	-46,10	509,00	INMET	30
Machado	-21,67	-45,92	820,00	INMET	48
Mocimbuinho	-21,37	-46,52	1048,00	INMET	33
São Lourenço	-22,10	-45,05	874,00	INMET	48
Passa Quatro	-22,38	-44,97	938,00	INMET	43
Poços de Caldas	-21,78	-46,55	1196,00	INMET	43
Araxá	-19,58	-46,93	997,00	INMET	48
Capinópolis	-18,67	-49,57	564,00	INMET	36
Frutal	-20,02	-48,93	516,00	INMET	43
Patos de Minas	-18,57	-46,52	832,00	INMET	43
Ituiutaba	-18,97	-49,45	544,00	INMET	26
Teófilo Otoni	-17,85	-41,50	334,00	INMET	45
Governador Valadares	-18,85	-41,93	170,00	INMET	45
Juiz de Fora	-21,75	-43,35	695,00	INMET	48
Viçosa	-20,75	-42,87	648,00	INMET	41