

CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL DE ÁREA PLANTADA COM A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR POR MEIO DA ÁRVORE DE DECISÃO

RAFAEL C. DELGADO¹, GILBERTO C. SEDIYAMA², MARCOS H. COSTA³,
VICENTE P. SOARES⁴, RICARDO G. ANDRADE⁵

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi testar o classificador “árvore de decisão”, em dados provenientes de sensores orbitais, para identificar área plantada com cana-de-açúcar, em diferentes épocas de plantio na Fazenda Boa Fé, localizada no Triângulo Mineiro, mais especificamente no município de Conquista, Minas Gerais. Acoplaram-se técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) em um módulo de Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitindo uma análise temporal do uso e ocupação do solo, especialmente com vistas a identificar e a monitorar as áreas agrícolas. Com base no cálculo do viés médio (VM), o presente estudo mostrou que, em áreas de cana-de-açúcar, onde a irrigação é frequente e ocorrem chuvas significativas que antecedem a passagem do satélite Landsat-5, os valores foram ligeiramente subestimados, com valor deste indicador de -0,13 ha. Foi verificado, também, que os valores de NDVI mais altos proporcionaram uma leve superestimativa dos resultados, com valores de viés médio variando de 0,04 a 0,23 ha. Conforme os resultados, o classificador árvore de decisão apresentou um grande potencial para o mapeamento das áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: árvore de decisão, sensoriamento remoto, SIG, cana-de-açúcar.

SPECTRAL CLASSIFICATION OF PLANTED AREA WITH SUGARCANE THROUGH THE DECISION TREE

ABSTRACT: This study was carried out to test the "decision tree" classifier via remote sensing (RS), to identify planted areas with sugarcane, at different planting dates in Boa Fé, located in the Triângulo Mineiro, more specifically in the town of Conquista, Minas Gerais, Brazil. RS techniques, integrated into a Geographic Information System (GIS), allow a temporal analysis of land use and occupation, especially in order to identify and monitor agricultural areas. Based on the calculation of mean bias (VM), this study showed that in areas of sugarcane, where irrigation is frequent and significant rainfall occurring prior to the passage of Landsat-5, the estimated values were slightly underestimated, with the value of this indicator equal to -0.13 ha. It was also verified that the highest values of NDVI provided a slight overestimation of the results, with values of mean bias of 0.04 to 0.23 ha. According to the results, the decision tree classifier had a great potential for mapping the areas cultivated with sugar cane.

KEYWORDS: decision tree, remote sensing, GIS, sugarcane.

¹ Professor da Universidade Federal do Acre, UFAC, rafaelcolldelgado32@gmail.com.

² Professor Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, g.sedyama@ufv.br.

³ Professor Associado, Universidade Federal de Viçosa, mhcosta@ufv.br.

⁴ Professor do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, vicente@ufv.br.

⁵ Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite, ricardo@cnpm.embrapa.br.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 11-1-2011

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 9-11-2011

INTRODUÇÃO

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

Segundo ALVARENGA et al. (2005), várias técnicas de processamento digital de imagens TM e ETM+ Landsat para a estimativa de áreas de arroz irrigado e WEBER et al. (2005) compararam o desempenho de imagens TM Landsat e CCD CBERS na estimativa de área cultivada com soja. Os resultados destes e de RIZZI & RUDORFF (2005), consistem em importante subsídio para orientar o aperfeiçoamento e a aplicação da tecnologia do sensoriamento remoto em estimativas agrícolas, em diferentes regiões do Brasil.

Exemplos recentes do uso de imagens de satélites integradas a um SIG (Sistema de Informação Geográfica) são os trabalhos de mapeamento e estimativa da área de soja no Rio Grande do Sul (RIZZI & RUDORFF, 2005) e da cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo (RUDORFF et al., 2005). Conforme destaca BASTIAANSSEN et al. (2000), a técnica de Sensoriamento Remoto (SR), aplicada à agricultura, é também uma ferramenta, que oferece grandes vantagens na obtenção de dados que possibilitam a geração de séries temporais representadas 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.

Atualmente, a estimativa da área plantada por uma determinada cultura é realizada no período que antecede a colheita, baseando-se na experiência de técnicos, por meio de observações de campo, utilizando-se da técnica de amostragens, dados de anos anteriores e não considerando a distribuição espacial da área plantada e sua variabilidade (PINO, 2001). Com o avanço tecnológico, as técnicas de SR integradas a um SIG têm-se mostrado úteis no monitoramento de áreas agrícolas.

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. A mineração de dados por árvore de decisão, apesar de ser uma técnica relativamente nova, é relatada como promissora na análise de dados de SR. A árvore de decisão utiliza mecanismos de categorização usando divisão hierárquica dos dados, em que um padrão desconhecido é rotulado, usando-se uma sequência 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).

FIGUEIREDO & CARVALHO (2006) 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 de satélite Landsat-5 sensor TM. As variáveis foram as seguintes: bandas 1; 2; 3; 4; 5 e 7, imagens da 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.

CARVALHO et al. (2008) mapearam a Floresta Atlântica da Serra dos Órgãos-RJ, com o algoritmo árvore de decisão para que pudessem integrar dados de sensoriamento remoto e modelo digital do terreno (MDT). Utilizaram para esse estudo imagens do sensor ASTER/TERRA e fotografias aéreas da região. A imagem ASTER foi primeiramente classificada e tratada 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 Submontana, 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.

De acordo com as considerações comentadas, este trabalho busca testar uma técnica para identificação de áreas plantadas com cana-de-açúcar na Fazenda Boa Fé, localizada no Triângulo Mineiro, mais especificamente no município de Conquista - MG, a partir de um classificador, por árvore de decisão, acoplado ao software ENVI © (RSI) versão 4.3.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no município de Conquista-MG, vizinho ao município de Uberaba-MG, no Triângulo Mineiro, mais precisamente, na Fazenda Boa Fé, pertencente ao Grupo Ma Shou Tao, com área estimada de, aproximadamente, 1.700 ha, dentre os quais, atualmente, a maior parte é coberta pela cultura da cana-de-açúcar; no entanto, planta-se também soja, milho e sorgo. A Fazenda Boa Fé tem-se destacado pela alta qualidade de sua cana produzida, sendo ela a detentora da produção de cana com maior teor de sacarose do Estado de Minas Gerais, como fornecedor.

Os dados de imageamento orbital utilizados para determinar a área plantada de cana-de-açúcar na Fazenda Boa Fé compreendem as imagens do sensor TM, a bordo do satélite Landsat-5. Na Tabela 1, encontram-se a órbita, o ponto, o dia da passagem do satélite e a área total das glebas de plantio da cana-de-açúcar. Na Figura 1, são apresentadas as glebas de plantio da cana-de-açúcar em cores destacadas.

Na Figura 2, são apresentados o Modelo Digital de Elevação (MDE) e a área de estudo, utilizando-se dos dados gerados do radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (Figura 2). Foram utilizados dados meteorológicos diários de precipitação da estação convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de Uberaba - MG, localizado à uma distância de 58 km da Fazenda Boa Fé. Para o processamento dos dados, foram utilizados os software ENVI © (RSI) versão 4.3, ERDAS IMAGINE 9.1 e ArcGIS 9.2. O software ArcGIS 9.2 foi utilizado para o trabalho de dados vetoriais, banco de dados e mapas; o software ERDAS IMAGINE 9.1 foi utilizado para o processamento de imagem como: mosaicos da imagem, cálculo da calibração radiométrica, refletância das bandas e índice de vegetação.

TABELA 1. Dia da passagem do satélite Landsat-5, glebas de plantio da cana-de-açúcar e área plantada. **Landsat-5 crossing day, sugar cane planting plots and planted area.**

| Órbita/Ponto/(Dia) | Gleba | Área Plantada (ha) |
|---------------------|------------------------|--------------------|
| 220/74/(14/08/2004) | E1 | 25,63 |
| 220/74/(01/08/2005) | A4, E1 | 76,75 |
| 220/74/(30/04/2006) | A4, A5, E1 | 90,75 |
| 220/74/(17/04/2007) | A1, A2, A4, A5, E1, pv | 429,25 |

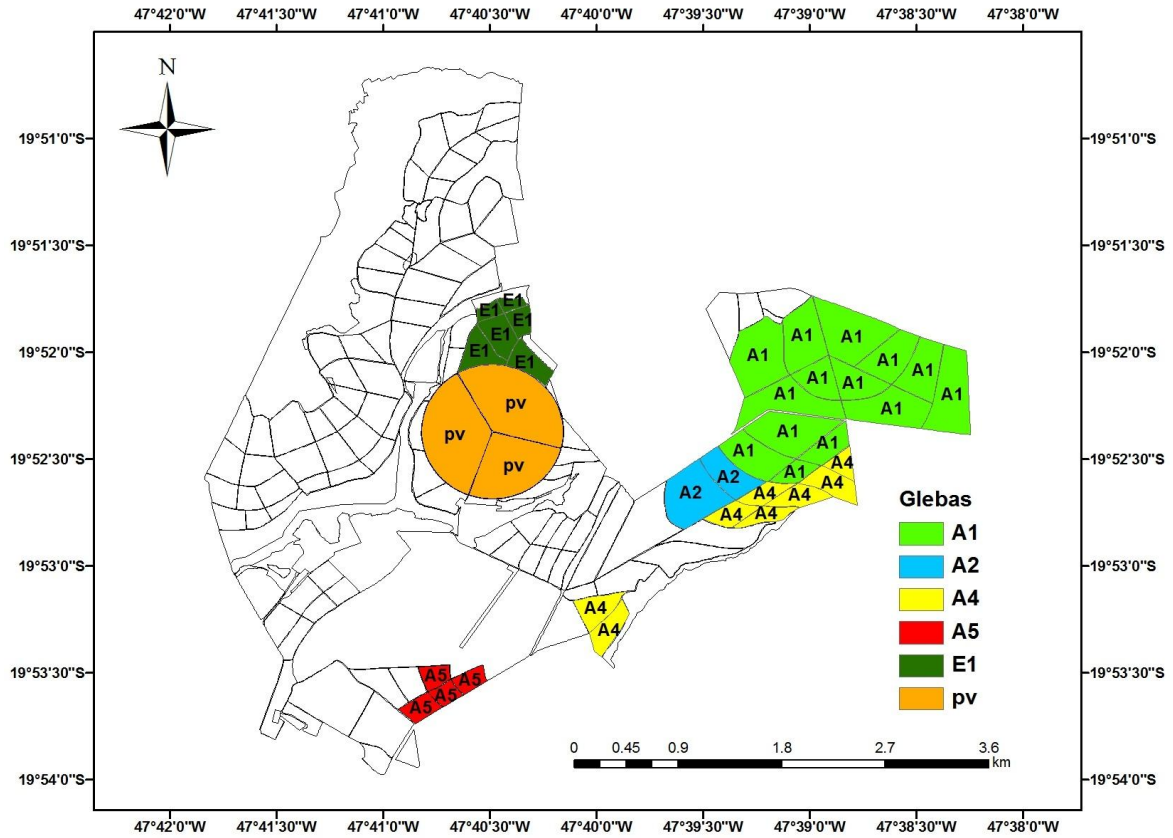


FIGURA 1. Localização das glebas de plantio de cana-de-açúcar na Fazenda Boa Fé. **Location of plots planted with sugarcane in Boa Fé Farm.**

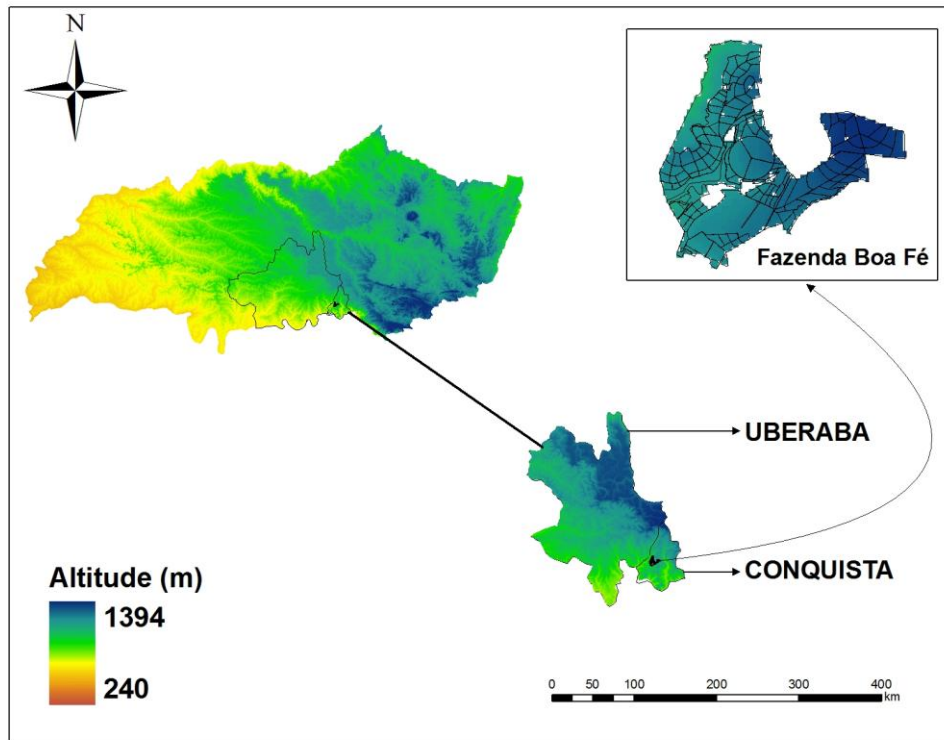


FIGURA 2. Modelo Digital de Elevação (MDE) para Fazenda Boa Fé localizada no Triângulo Mineiro, no município de Conquista - MG, vizinho ao município de Uberaba - MG. **Digital Elevation Model (DEM) for Boa Fé farm located in the Triângulo Mineiro, in Conquista - MG, adjacent to the municipality of Uberaba - MG.**

Na classificação pelo algoritmo de classificação por árvore de decisão, foi utilizado um aplicativo de processamento de imagens, o ENVI ©, para a classificação digital. As imagens TM são compostas de sete bandas espectrais, sendo que seis bandas são refletivas, e uma, termal (banda 6). As informações detalhadas de cada banda, juntamente com os coeficientes de calibração radiométrica estão apresentados na Tabela 2.

A radiância espectral dos alvos observados pelo sensor TM é armazenada 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.

Nesse processo, uma série de sequências foi efetuada (Figura 3). Por meio da eq.(1), foi calculada a radiância espectral de cada banda (L_{λ_i}), dada por:

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

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

Conforme CHANDER & MARKHAN (2003), tratando-se de dados TM, as imagens, cujas datas de aquisição estão compreendidas de 1º de março de 1984 a 4 de maio de 2003, foram utilizados os valores de L_{\min} e L_{\max} apresentados na mesma Tabela 2.

Posteriormente, calculou-se a refletância de cada banda (ρ_{λ_i}), com a eq.(2):

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

em que, L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda; E_{λ_i} é a radiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$); θ_z é o ângulo zenital solar retirado da informação do cabeçalho das imagens do sensor TM, e d_r é a distância relativa Terra-Sol (em unidade astronômica - UA) (eq.(3)).

A distância relativa Terra-Sol foi calculada por meio da equação sugerida por ALLEN et al. (2007):

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

em que, DJ representa o dia do ano.

TABELA 2. Descrição das bandas do sensor TM, apresentando os coeficientes de calibração (L_{\min} e L_{\max}) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (período de 1º de março de 1984 a 4 de maio de 2003 e após 4 de maio de 2003). **Description of the TM sensor bands with calibration coefficients (L_{\min} and L_{\max}) and spectral irradiance in the upper atmosphere (from March 1st, 1984 thru May 4th, 2003 and after May 4th, 2003).**

| Bandas TM | Comprimento de onda (μm) | 01/03/1984 a 04/05/2003 | | | Após 04/05/2003 | | |
|-----------------|------------------------------------|-------------------------|------------|-----------------|-----------------|------------|-----------------|
| | | L_{\min} | L_{\max} | E_{λ_i} | L_{\min} | L_{\max} | E_{λ_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 |

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 (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) e a soma das mesmas (ROUSE et al., 1973) (eq.(4)):

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

Foi aplicada a técnica de classificação de imagens por textura no software ENVI ©, sendo um elemento importante usado na identificação de objetos ou regiões de interesse em uma imagem. Podendo ser definida, ainda, como efeito visual que é produzido pela distribuição espacial de variações de tonalidade (FERNANDES, 2005). Depois dessa etapa, os dados da árvore foram utilizados para proceder à classificação digital da imagem. 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 coocorrência (texturas) e NDVI. Todas essas variáveis foram organizadas em um único arquivo de imagem.

Objetivando avaliar o desempenho estatístico do método para identificar área plantada de cana-de-açúcar, foram realizadas análises comparativas entre as metodologias propostas com base nos valores efetivamente medidos (observados) na Fazenda Boa Fé. 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 a estimativa do índice de determinação e dos erros foram:

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

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

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

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

em que, P_i é o $i^{\text{ésimo}}$ valor estimado de cana-de-açúcar (ha); O_i é o $i^{\text{ésimo}}$ valor observado de cana-de-açúcar (ha); \bar{O} é o valor médio observado de cana-de-açúcar (ha), e N é o número de dados analisados.

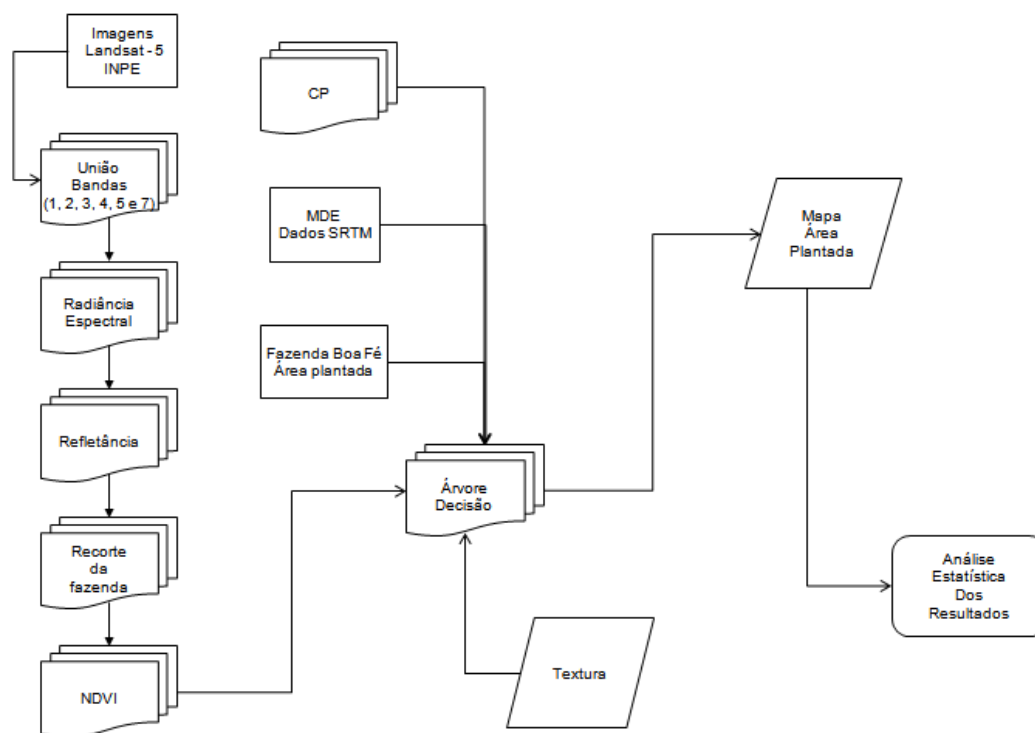


FIGURA 3. Fluxograma do sistema de processamento das imagens do sensor TM e a classificação de área por árvore de decisão. **Flowchart of the image processing system of the TM sensor and classification area by mean of decision tree.**

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação por árvore de decisão apresentou resultados satisfatórios em termos de correta discriminação das classes de uso do solo (cana-de-açúcar), quando comparadas aos dados observados em campo.

Na Tabela 3, têm-se as informações estatísticas relacionadas à estimativa da área plantada de cana-de-açúcar por meio do classificador árvore de decisão. Os seguintes erros estatísticos: raiz do erro quadrático médio (REQM), erro absoluto médio (EAM) e o viés médio (VM) estão apresentados em hectares.

Os valores do erro absoluto médio (EAM) variaram de um mínimo para o dia 14/08/2004 (0,20 ha), para um máximo de (1,02 ha) no dia 01/08/2005.

Com relação à precisão do classificador árvore de decisão para estimativa de área plantada, avaliada pelos indicadores R^2 e REQM, observa-se, de forma geral, que o modelo se mostrou fundamental para classificação de área plantada na Fazenda Boa Fé (Figura 4). O comportamento da dispersão dos dados também pode ser avaliado pelo indicador REQM. Contasta-se, na Tabela 3, que a precisão do modelo não diferiu expressivamente, tendo os valores variado, respectivamente, de 0,23; 1,19; 0,66 e 1,09 ha para as cenas estudadas.

TABELA 3. Raiz do erro quadrático médio (REQM), erro absoluto médio (EAM) e o viés médio (VM), referentes ao classificador por árvore de decisão. **Root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and mean bias error (VM) for decision tree classifier.**

| Data | REQM | EAM | VM |
|------------|------|------|-------|
| 14/08/2004 | 0,23 | 0,20 | 0,20 |
| 01/08/2005 | 1,19 | 1,02 | 0,23 |
| 30/04/2006 | 0,66 | 0,45 | 0,04 |
| 17/04/2007 | 1,09 | 0,82 | -0,13 |

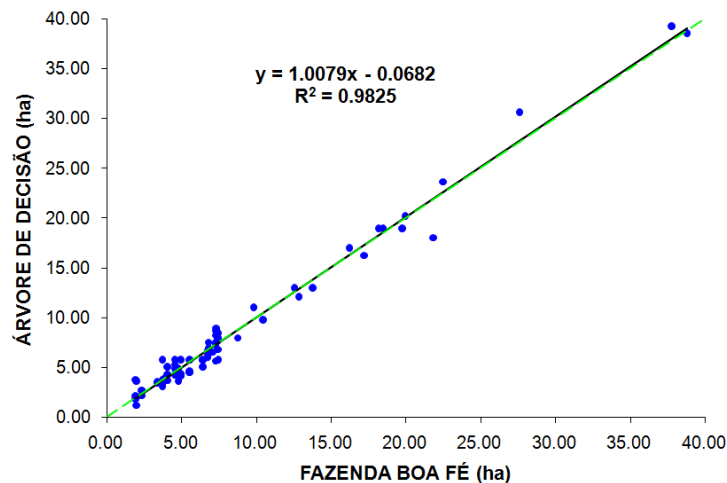


FIGURA 4. Análise de Regressão entre a área plantada de cana-de-açúcar na Fazenda Boa Fé e as áreas estimadas pela árvore de decisão para os anos de 2004, 2005, 2006 e 2007. **Regression Analysis between the planted area with sugarcane in Boa Fé farm and the estimated areas by decision tree for the years 2004, 2005, 2006 and 2007.**

Na Figura 5, são apresentados os valores de NDVI mínimos, máximos e médios na área da Fazenda Boa Fé. Os valores mínimos de NDVI encontrados na Fazenda para o dia 14/08/2004 (-0,96) estão associados à baixa precipitação pluvial acumulada (inverno). Já para o mês de abril (30/04/2006), final da estação chuvosa, o valor máximo de NDVI encontrado foi de 0,81. Nota-se que estes resultados possuem consistência, estando associados à precipitação pluvial acumulada nos meses secos e chuvosos da região sudeste de Minas Gerais. FONTANA et al. (2005) avaliaram associação entre a precipitação pluvial e a informação espectral contida em imagens NDVI e EVI MODIS, na Austrália. Dado que a precipitação pluvial é um fator determinante da variabilidade espacial e temporal da produção agrícola, na Austrália, inferiu-se que os índices NDVI e EVI são bons indicadores do rendimento das culturas de inverno.

Dentro dos limites territoriais da Fazenda, o NDVI médio para o período estudado encontrado foi de 0,434. ANDRADE (2008), ao estudar a mesma região com imagens TM Landsat-5, observou, nas cenas estudadas, valores semelhantes de NDVI médio de 0,445. Além disso, verificou que no mês mais quente estudado (abril), são registrados os máximos valores médios observados (Figura 5).

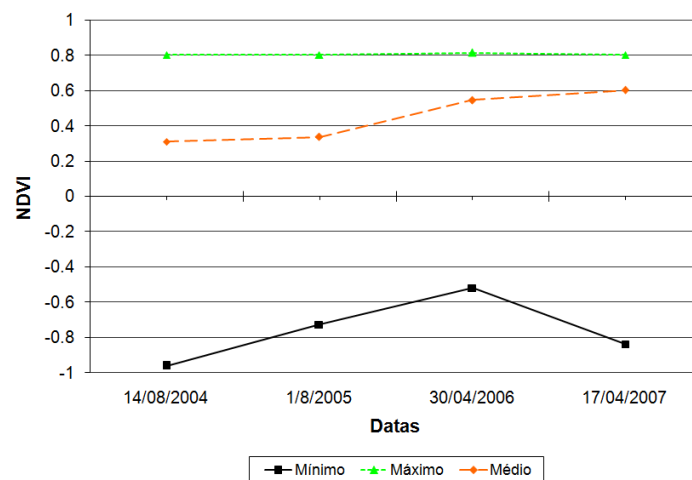


FIGURA 5. Valores de NDVI mínimos, máximos e médios obtidos de imagens do sensor TM Landsat-5, para a área da Fazenda Boa Fé, em determinadas datas do ano de 2004, 2005, 2006 e 2007. **Minimum, maximum and average values of NDVI, obtained from Landsat-5 TM sensor images, for the area in Boa Fé farm for the year of 2004, 2005, 2006 and 2007.**

Na Figura 6, mostram-se os resultados gerados pela árvore de decisão na Fazenda Boa Fé, para os anos de 2004, 2005, 2006 e 2007, e os dados pluviométricos dos 16 dias que antecederam a passagem do satélite.

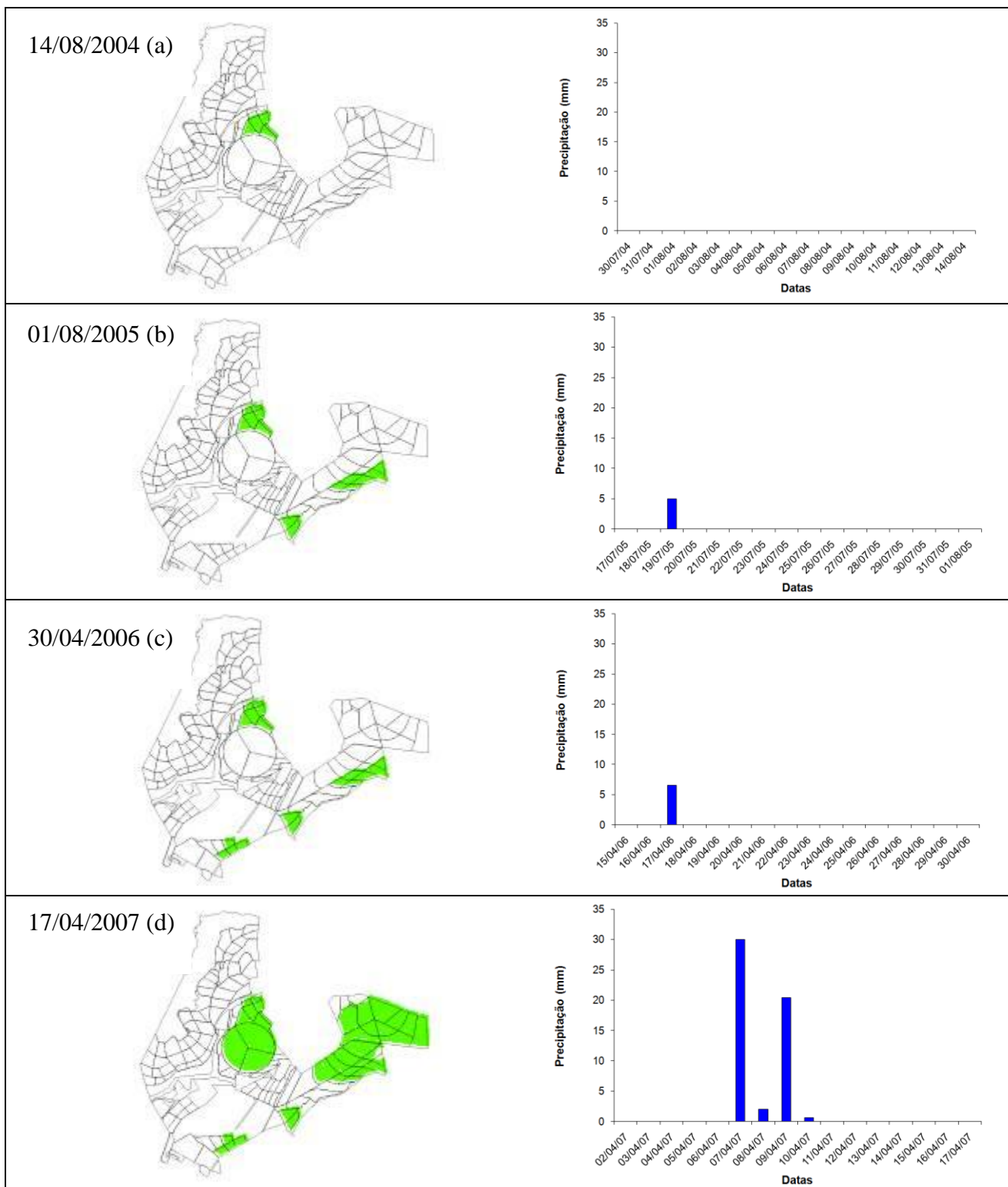


FIGURA 6. Resultados gerados pela árvore de decisão para a Fazenda Boa Fé, e dados pluviométricos dos 16 dias que antecedem a passagem do satélite Landsat-5 nos dias 14/08/2004 (a), 01/08/2005 (b), 30/04/2006 (c) e 17/04/2007 (d). **Results generated by the decision tree for Boa Fé farm, and rainfall of 16 days prior to the passage of Landsat-5 on 08/14/2004 (a), 08/01/2005 (b), 04/30/2006 (c) and 04/17/2007 (d).**

A árvore de decisão superestimou os valores encontrados de área plantada de cana-de-açúcar para os dias 14/08/2004, 01/08/2005 e 30/04/2006, com o VM de 0,20; 0,23 e 0,04 hectares. A ocorrência da superestimativa da área plantada desta cultura pela árvore de decisão é atribuída ao decréscimo dos valores de precipitação correspondentes ao período seco em que foi plantada a cana-de-açúcar.

Já para o dia 17/04/2007, os índices pluviométricos são relativamente altos, a árvore de decisão subestima os valores observados na Fazenda Boa Fé, com o VM de -0,13 hectares. 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, dentre 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 WANG et al. (2003), que obtiveram um grau de correlação cruzada significativo entre o NDVI e o solo úmido, a precipitação e a temperatura, para diferentes áreas com vegetação, tais como floresta, grama e algumas culturas agrícolas, no período de 1989 a 1997, no estado do Kansas (Estados Unidos). LUCAS & SHULER (2007) relatam, em seus resultados, que o comportamento do NDVI é semelhante ao da precipitação, sendo que seus resultados mostraram maior influência da precipitação do mês anterior, no comportamento do NDVI de um determinado mês.

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 próximos de zero e negativos.

De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), as condições meteorológicas para Uberaba - MG, localizada próxima à Fazenda Boa Fé, durante os 16 dias anteriores da passagem do satélite (17/04/2007), apresentavam umidades relativas do ar relativamente altas. Além disso, a irrigação com pivô central e as chuvas que ocorreram antes da passagem do satélite, nesse período, contribuíram para a queda da estimativa de área plantada pela cultura da cana-de-açúcar, por meio da árvore de decisão.

Para os 16 dias anteriores à passagem do satélite (14/08/2004, 01/08/2005 e 30/04/2006), as condições meteorológicas apresentavam umidade relativa baixa e sem ocorrências de precipitações significativas. O que contribuiu para boa estimativa de área através do classificador.

CONCLUSÕES

O algoritmo árvore de decisão utilizado neste trabalho mostrou-se fundamental para a identificação e a delimitação das áreas com cana-de-açúcar, principalmente em períodos secos e com baixa precipitação, aos 16 dias anteriores à passagem do satélite.

Foram observadas pequenas discrepâncias na estimativa de área plantada, isto é, atribuído a irrigação com pivô central e as chuvas que ocorreram antes da passagem do satélite sobre a região de Uberaba-MG.

Diante dos resultados encontrados, pode-se concluir que a utilização de dados orbitais do sensor TM, a bordo do satélite Landsat-5, mostrou-se eficiente no mapeamento da cultura da cana-de-açúcar e no direcionamento da amostragem e observações de campo. As imagens do satélite Landsat-5, mostraram-se eficientes na aplicação do algoritmo árvore de decisão na Fazenda Boa Fé, uma vez que elas apresentam boa resolução espectral e espacial, necessária para atingir o objetivo proposto.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao CNPq, pela bolsa de estudos concedida para a realização da pesquisa; e ao

pesquisador Ricardo Guimarães Andrade, da Embrapa Monitoramento por Satélite, pela disponibilização dos dados de área plantada da cultura de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Reston, v.133, n.395, p.380-394, 2007a.
- ALVARENGA, B. S.; ARCO, E.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T. Avaliação de técnicas de processamento digital de imagens para a estimativa de áreas de arroz irrigado: um estudo de caso no município de Santa Vitória do Palmar - RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais...* p.3.961-3.966.
- ANDRADE, R. G. *Aplicação do algoritmo Sebal na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar*. 2008. 135 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- BASTIAANSSEN, W. G. M.; MOLDEN, D. J.; MAKIN, I. W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.46, p.137-155, 2000.
- 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*, São Paulo, v.26, n.3, p.331-345, 2008.
- 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.2.764-2.677, 2003.
- FERNANDES, S. C. *Avaliação de imagens de satélite de alta e muito alta resolução espacial para a discriminação de classes de uso e ocupação do solo: aplicação ao caso da sub-bacia do córrego Capão Comprido no Distrito Federal*. 2005. 106 f. (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.
- 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*, Lavras. v.12, n.1, p.38-47, 2006.
- FONTANA, D. C.; POTGIETER, A.; APAN, A. Relação entre a precipitação pluvial e índice de vegetação em imagens multitemporais MODIS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEROLOGIA, 14., 2005, Campinas. *Anais...* Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. 1 CD-ROM.
- LUCAS, A. A.; SCHULER, C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.11, n.6, p.607-614, 2007.
- PINO, F.A. Estimativa subjetiva de safras agrícolas. *Informações Econômicas*, São Paulo, v.31, n.6, São Paulo, 2001.
- 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*, Rio de Janeiro, v.57, n.3, p.226-234, 2005.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. *Proceedings...* Washington: NASA, 1973. v.1, p.309-317.

- 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*, São Paulo, v.52, n.1, p.21-39, jan/jun. 2005.
- TSO, B.; MATHER, P.M. *Classification methods for remotely sensed data*. New York: Taylor & Francis, 2001. 332 p.
- WANG, J.; PRICE, K. P.; RICH, P. M. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.24, n.11, p.2.345-2.364, 2003.
- WEBER, E.; FONTANA, D. C.; DUCATI, J.; SILVA, T. R.; SARAIVA, T. S.; FREITAS, L. A. S. 2005. Comparação entre resultados de classificação de imagens Landsat e CBERS para estimativa de área cultivada com soja no planalto do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2005. v.1, p.321-328.
- 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*, Oldendorff, v.30, p.79-82, 2005.
- WITTEN, I.H.; FRANK, E. *Data mining: practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann, 2005. 525 p.