

# APLICAÇÃO DE LÓGICA *FUZZY* PARA ESTIMATIVA DE ÁREA PLANTADA DA CULTURA DE SOJA UTILIZANDO IMAGENS AVHRR-NOAA

JOÃO FRANCISCO GONÇALVES ANTUNES <sup>1</sup>, JURANDIR ZULLO JÚNIOR <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Agrícola, Pesquisador Embrapa Informática Agropecuária, Campinas - SP  
(019) 3789-5847, e-mail: joaof@cnpia.embrapa.br

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Pesquisador CEPAGRI/UNICAMP, Campinas - SP

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 a 04 de agosto de 2006 - João Pessoa - PB

**RESUMO:** A estimativa precisa com antecedência à época da colheita de áreas plantadas de soja é de fundamental importância para a economia brasileira. Com o recente avanço tecnológico na obtenção de dados por sensoriamento remoto orbital é possível melhorar a previsão de safras, diminuindo cada vez mais o nível de subjetividade. As imagens AVHRR-NOAA de elevada repetitividade temporal, têm sido utilizadas para o monitoramento agrícola. Porém, a sua baixa resolução espacial faz com que possa ocorrer a mistura espectral das classes de cobertura do solo dentro de um mesmo pixel e isso pode acarretar problemas de imprecisão na estimativa de área plantada. O objetivo do trabalho é desenvolver uma metodologia de classificação automática baseada em lógica *fuzzy* utilizando índices de vegetação de imagens AVHRR-NOAA para estimar a área plantada de soja no nível sub-pixel. Para oito municípios produtores de soja da região oeste do Estado do Paraná, foi possível obter a estimativa de área no final de janeiro de 2004, com antecedência em relação à época da colheita, ao contrário dos levantamentos oficiais que se estendem até o final da safra, além de utilizarem dados subjetivos vindos do campo. As estimativas de área de soja baseadas em classificação *fuzzy* mostraram-se altamente correlacionadas com as estimativas oficiais, com o nível de erro relativo aceitável.

**PALAVRAS-CHAVES:** previsão de safra, sensoriamento remoto, classificação de imagens.

## APPLICATION OF FUZZY LOGIC FOR SOYBEAN CROP AREA ESTIMATION USING AVHRR-NOAA IMAGES

**ABSTRACT:** An early accurate estimation of soybean crop areas is fundamental for the Brazilian economy. Recent technological progress of data acquisition from orbital remote sensing makes possible to improve harvest forecast, reducing more and more the level of subjectivity. The AVHRR-NOAA images of high temporal resolution, have been used for the crop monitoring. However, its low spatial resolution might cause the spectral mixture of the different land cover classes within the same pixel and it can lead to accuracy problems on crop area estimation. The objective of the work is to develop an automatic classification methodology based on fuzzy logic using vegetation indices of AVHRR-NOAA images to estimate the soybean crop areas at sub-pixel level. For eight soybean producer counties in the West region of the Paraná State, it was possible to obtain the crop area estimation at the end of January 2004, prior to the harvest period, on the contrary of the official surveys that extend until the end of the harvest, besides using subjective data collected on the field. The soybean crop area estimation based on fuzzy classification showed to be highly correlated with the official estimations, with the level of relative error acceptable.

**KEYWORDS:** harvest forecast, remote sensing, image classification.

**INTRODUÇÃO:** A soja vem se consolidando como a principal cultura do agronegócio brasileiro, assumindo grande importância econômica nas exportações. O Paraná é o segundo maior produtor com 10,03 milhões de toneladas e área plantada estimada em 3,5 milhões de hectares, atrás apenas do Mato

Grosso, dados referentes a safra 2003/2004 (CONAB, 2004). A estimativa de área plantada é de fundamental importância para a previsão de safras. No Brasil é realizada por métodos subjetivos de coleta de informações por meio de questionários aplicados junto ao setor agrícola e, por isso, possuem um custo elevado, execução demorada e estão sujeitos a imprecisões (FONTANA et al., 2000). As imagens do satélite meteorológico AVHRR-NOAA de elevada repetitividade temporal, com garantia de cobertura diária e de aquisição gratuita, têm sido utilizadas no monitoramento agrícola realizado através da avaliação dos índices de vegetação que descrevem a variação do vigor vegetativo de uma cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento (LIU e KOGAN, 2002). Porém, a baixa resolução espacial dessas imagens faz com que possa ocorrer a mistura espectral das classes de cobertura do solo dentro de um mesmo pixel e isso pode acarretar problemas de imprecisão na estimativa de área plantada de uma cultura agrícola. A aplicação de técnicas como a lógica *fuzzy* (ZADEH, 1965) é bastante promissora para a solução da mistura espectral a partir da classificação automática de imagens de satélites, pois permite a análise sub-pixel para estimar as proporções de cada superfície dentro dos pixels (FOODY, 1998). Nesse contexto, o objetivo do trabalho é desenvolver uma metodologia de classificação automática baseada em lógica *fuzzy* utilizando índices de vegetação de imagens AVHRR-NOAA para estimar a área plantada de soja no nível sub-pixel.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A área de estudo é compreendida por oito municípios da região oeste do Paraná que corresponde a mais de 25% do total da área plantada de soja no Estado, com referência a safra 2003/2004. As imagens AVHRR-NOAA foram obtidas do acervo histórico do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Foram utilizadas imagens diurnas do satélite NOAA-17 com passagem próxima às 14h GMT, em seu estado bruto. As datas de aquisição das imagens englobaram a época do ciclo de desenvolvimento da soja na região em estudo, desde o início do plantio em novembro de 2003 até ao final da colheita em março 2004. Para o processamento das imagens AVHRR-NOAA foi utilizado o sistema desenvolvido por ESQUERDO et al. (2006) sobre a plataforma Linux que consiste de um procedimento automático para conversão do formato bruto, calibração radiométrica para transformação dos níveis de cinza das imagens em valores físicos, georreferenciamento preciso sub-pixel e geração de produtos, onde destacam-se: a máscara de nuvens para evitar a contaminação da análise espectral; os índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) - razão de bandas da faixa do infravermelho próximo e do vermelho, e NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*) - razão de bandas da faixa do infravermelho próximo e infravermelho médio; e as composições de máximo valor dos índices de vegetação durante um determinado período, como forma de atenuar os efeitos atmosféricos numa análise multitemporal. Para proceder a classificação não-supervisionada das composições máximas de NDVI e NDMI foi adaptado o programa em IDL/ENVI desenvolvido por CANTY (2005) que combina o método de agrupamento por partição *Fuzzy K-means* (FKM), proposto por BEZDEK et al. (1984), com a medida de similaridade adaptativa conhecida como *Expectation Maximization* (EM), definida por GATH e GEVA (1989). O algoritmo trabalha a partir de um procedimento iterativo onde os pixels da imagem, inicialmente em posição aleatória, são classificados em classes de uso do solo. Dado o número de grupos desejados são calculados os centros de cada grupo com base na média dos atributos dos pontos. Num próximo passo os pontos são realocados entre os grupos de acordo com a similaridade entre eles. Ao final, o algoritmo EM gera um conjunto de imagens fração, uma para cada classe, com os graus de pertinência dos pixels medidos entre zero e um, escalonados no intervalo de 0 a 255. Dessa forma, os pixels com graus de pertinência próximos a um aparecem em branco e os próximos a zero em preto, variando em tons de cinza (DUDA e CANTY, 2002). As imagens fração geradas pelo algoritmo de classificação *fuzzy* permitem estimar as proporções de cobertura do solo misturadas dentro de cada pixel. As proporções de área de cada classe de uso do solo são contínuas variando num intervalo de 0% a 100%. Baseado nisso, pode-se estimar a área plantada de soja em cada município, multiplicando-se a área do pixel AVHRR-NOAA de 1,21 km<sup>2</sup> (1,1 x 1,1 km) pela somatória dos graus de pertinência dos pixels da imagem fração da classe Soja dividido por 255 e, por fim, multiplicando-se por 100 para obter o resultado em hectares (ha).

**RESULTADOS E DISCUSSÕES:** Das 75 imagens AVHRR-NOAA processadas de outubro de 2003 a março de 2004, 55 deram origem a produtos com precisão geométrica dentro de um pixel, com erro médio de deslocamento de 0,76 pixel. Nas imagens em que o processamento falhou observou-se uma

grande presença de nuvens na região em estudo durante o período analisado, prejudicando o processo de busca automática por feições geográficas realizada pelo sistema. As composições máximas dos índices de vegetação foram geradas em períodos quinzenais para se obter uma boa atenuação dos efeitos atmosféricos. A análise dos perfis espectrais temporais do NDVI e NDMI mostraram que o período de maior vigor vegetativo da soja nos oito municípios ocorreu de 15 a 31 de janeiro de 2004, exemplificado pela composição máxima de NDVI da Figura 1. Logo, essa é a época em que a planta teve o maior índice de área foliar e assim estava cobrindo a maior área de superfície do solo. Portanto, foi nesse momento em que a classificação *fuzzy* deveria ser executada para estimar a área plantada da cultura. A partir da identificação da imagem fração da classe Soja com base no resultado da classificação *fuzzy*, conforme mostrado na Figura 2, foi obtida a proporção de soja em cada pixel a partir dos graus de pertinência.

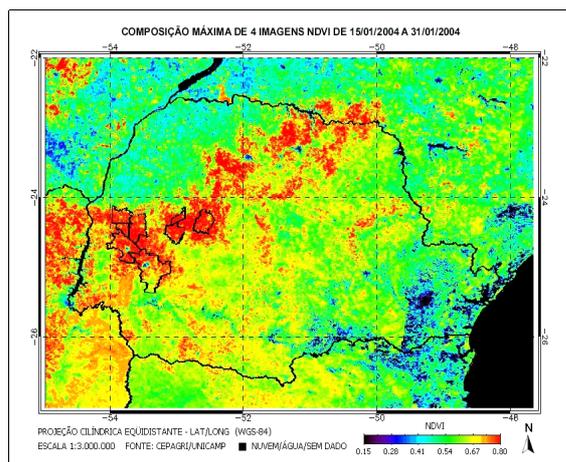


Figura 1: Composição Máxima de NDVI.

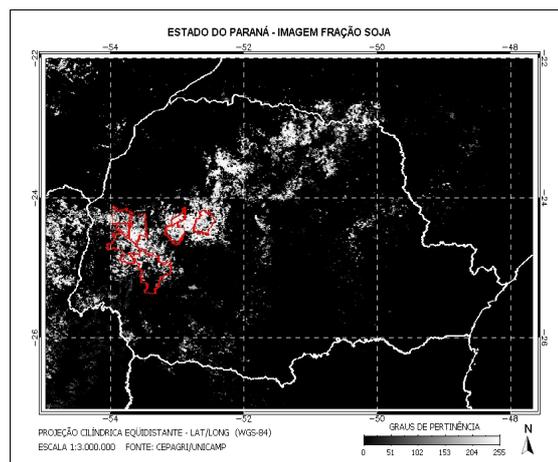


Figura 2: Imagem fração da classe Soja.

A Tabela 1 apresenta a estimativa de área de soja oficial realizada pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná/Departamento de Economia Rural (SEAB/DERAL, 2005) e a baseada em classificação *fuzzy* que utilizou índices de vegetação de imagens AVHRR-NOAA, referente aos oito municípios da região oeste do Paraná, referente a safra 2003/2004.

Tabela 1: Estimativas de área de soja.

Município	Área de Soja (ha)	
	SEAB/DERAL	Classificação <i>Fuzzy</i>
<b>Assis Chateaubriand</b>	72.000,00	74.500,41
<b>Cascavel</b>	82.000,00	82.793,00
<b>Mamborê</b>	54.000,00	57.512,01
<b>Maripá</b>	21.500,00	18.553,24
<b>Palotina</b>	43.300,00	37.680,35
<b>Rancho Alegre do Oeste</b>	15.400,00	20.620,44
<b>Toledo</b>	68.600,00	69.253,47
<b>Ubiratã</b>	51.200,00	47.525,15

O coeficiente de correlação entre as estimativas de área de soja foi de 0,988, extremamente alto. Como o *p-value* foi menor que 0,05, a associação entre as estimativas foi considerada estatisticamente significativa, com um nível de confiança de 95%. Isso indica que as estimativas são fortemente correlacionadas e possuem a mesma tendência, movendo-se em perfeita proporção na mesma direção. A estimativa de área de soja baseada em classificação *fuzzy* para os municípios de Maripá e Palotina subestimaram a estimativa oficial em torno de 13%. A estimativa do município de Rancho Alegre do Oeste superestimou em torno de 34% a estimativa oficial. Para os demais municípios, o erro relativo ficou dentro da variação aceitável que segundo PIMENTEL-GOMES (2000) deve ser abaixo de 10%, sendo que o menor foi de 0,95% para o município de Toledo.

**CONCLUSÕES:** A estimativa de área baseada em classificação *fuzzy* utilizou índices de vegetação gerados a partir das imagens diárias e gratuitas AVHRR-NOAA. No caso da cultura de soja no oeste do Paraná, foi possível estimar as áreas plantadas nos oito municípios até o final de janeiro de 2004, período de maior vigor vegetativo da soja na região em estudo, com antecedência em relação à época da colheita, ao contrário do levantamento oficial que se estende até o final da safra, além de utilizar dados subjetivos vindos do campo. Na comparação, as estimativas de área de soja baseadas em classificação *fuzzy* mostraram-se altamente correlacionadas com as estimativas oficiais, com um nível de erro relativo aceitável. A metodologia mostrou ser viável, uma vez que é realizada de forma objetiva, possui menor custo e pode ser realizada com antecedência à estimativa oficial. Portanto, pode ser empregada com o objetivo de auxiliar os métodos convencionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEZDEK, J.; EHRLICH, R; FULL, W. FCM: the fuzzy c-means clustering algorithm. **Computers and Geosciences**, v. 10, n. 2, p. 191-203, 1984.

CANTY, M. **Image analysis and pattern recognition for remote sensing with examples in ENVI/IDL**. Disponível em: <<http://www.fz-juelich.de/st/datapool/page/210/zfl.html>>. Acesso em: 28. mar. 2005

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Safras**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em 10. fev. 2004.

DUDA, T.; CANTY, M. J. Unsupervised classification of satellite imagery: choosing a good algorithm, **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 11, p. 2193-2212, 2002.

ESQUERDO, J. C. D. M.; ANTUNES, J. F. G.; BALDWIN, D. G.; EMERY, W. J.; ZULLO JR, J. An automatic system for AVHRR land surface product generation. **International Journal of Remote Sensing**, 2006. (No prelo).

FONTANA, D. C.; WEBER, E.; DUCATI, J.; FIGUEIREDO, D. C; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. A case study for crop monitoring and harvest forecast in south Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 28. Cape Town. **Proceedings...** p. 91-94, 2000.

FOODY, G. M. Sharpening fuzzy classification output to refine the representation of sub-pixel land cover distribution. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 13, p. 2593-2599, 1998.

GATH, I; GEVA, A. B. Unsupervised optimal fuzzy clustering. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 3, n. 3, p. 773-781, 1989.

LIU, W.T.; KOGAN, F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 6, p. 1161-1179, 2002.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14 Edição. Piracicaba: ESALQ, 477 p., 2000.

SEAB/DERAL. **Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná/Departamento de Economia Rural**. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/seab/ativi2.shtml>>. Acesso em 27. abr. 2005.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338-353, 1965.