

## **Monitoramento semidetalhado (escala de 1:250.000) de ocupação de solos do Cerrado: considerações e proposta metodológica**

Edson Eyji Sano<sup>1</sup>, Laerte Guimarães Ferreira<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa  
BR-020 km 18 Caixa Postal 08223 CEP: 73301-970 Planaltina, DF Brasil  
sano@cpac.embrapa.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás – UFG/IESA  
Campus Samambaia – Caixa Postal 131 CEP: 74001-970 Goiânia, GO Brasil  
laerte@iesa.ufg.br

**Abstract.** The Brazilian Cerrado is the second richest biome in terms of biodiversity and the major agricultural frontier in Brazil. Its remaining vegetation is characterized by the presence of grass-, shrub- and forest-dominated strata, occurring in varying proportion along its 208 million hectares. A significant portion of this biome is occupied by the cultivated and native pastures and agricultural areas with extensive production of soybean, maize and, more recently, cotton and coffee. Besides its importance in terms of biodiversity and food production, to date, there is no semidetached land cover mapping of the Cerrado. In the first part of this study, we introduce a new proposal for the Cerrado's land cover mapping in a 1:250,000 scale. Such proposal is based on the Landsat image interpretation as well as in a combined visual-digital analysis and support from ancillary MODIS and Agricultural Census data. Targets easier to interpret in a Landsat-like satellite images such as central-pivot or water reservoirs will be discriminated first and then subtracted from the scene. In the second part, we present some important findings obtained by the analysis of original and enhanced optical and microwave data for tropical savanna natural vegetation mapping. In this case, L-band radar data (wavelengths of 23 centimeter), synergism between radar and vegetation indices and the linear mixture models presented results rather promising.

**Palavras-chave:** Cerrado, monitoramento ambiental, uso da terra, sensoriamento remoto.

### **1. Introdução**

Dados de sensoriamento remoto são os mais indicados para monitorar mudanças espaciais e temporais sobre áreas relativamente extensas (Skole et al., 1994). No entanto, o desenvolvimento de protocolos universais de processamento e análise de imagens, isto é, válidos para qualquer ecossistema do planeta, é praticamente impossível, provocando uma necessidade de utilização de abordagens metodológicas específicas para cada bioma. Em termos nacionais, o monitoramento da ocupação dos solos do Cerrado é um dos mais difíceis de serem obtidos, principalmente pela sua extensão (mais de 200 milhões de hectares), pela acentuada sazonalidade das suas principais fitofisionomias, pelo rápido avanço das atividades agrícolas em algumas das suas regiões, pela elevada diversidade vegetal e fisiográfica e pela confusão espectral entre algumas classes de uso antrópico e de vegetação natural (por exemplo, Campo Limpo e pastagens cultivadas).

Como consequência, percebe-se a existência de poucas iniciativas de monitoramento semidetalhado desse bioma, podendo-se destacar os zoneamentos de unidades federativas em Tocantins, Mato Grosso e Distrito Federal (DF), cada qual utilizando metodologias diferentes. Mapeamentos de uso da terra também estão restritos a algumas áreas específicas como DF e Entorno, ao longo do corredor Vão do Paranã-Serra dos Pirineus e o Estado de Minas Gerais. Esse estudo apresenta uma nova proposta metodológica para o mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) de uso antrópico do Cerrado, além de discutir alguns resultados importantes obtidos pela análise e processamento de diferentes dados ópticos e de radar para o mapeamento de remanescentes de vegetação do Cerrado.

## 2. Área de Estudo

O Cerrado contínuo ocupa a porção central do Brasil e apresenta uma extensão de aproximadamente 208 milhões de hectares, englobando o Estado de Goiás, o Distrito Federal e parte dos Estados da Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Piauí, Rondônia e Tocantins. Conforme mostra a **Figura 1**, são necessárias 137 cenas do satélite Landsat para cobrir todo o bioma. De acordo com a classificação proposta por Ribeiro & Walter (1998), as principais fitofisionomias do Cerrado são: Campo Limpo, Campo Rupestre e Campo Sujo (formações campestres); Cerrado Ralo, Cerrado Rupestre, Cerrado Típico e Cerrado Denso (formações savânicas); e Mata Seca e Cerradão (formações florestais). Outra classificação bastante utilizada é a do IBGE (1989) em que a vegetação natural do Cerrado é subdividida em: formações florestais semidecíduais e decíduais; savanas florestadas; savanas arborizadas; savanas parque; savanas gramíneo-lenhosas; formações pioneiras; e áreas de tensão ecológica.

Atualmente, a ocupação dos solos do Cerrado é a mais extensiva e significativa em termos nacionais. Cerca de 40% da sua vegetação original já foi convertida em áreas de pastagens cultivadas e áreas agrícolas (Sano et al., 2000, 2001; Klink & Moreira, 2002). Os números impressionam: 50 milhões de hectares de pastagens cultivadas, 28 milhões de hectares de pastagens nativas e 15 milhões de áreas agrícolas. O Cerrado contribui com cerca de 55% de toda a produção nacional de carne bovina. Municípios como Rio Verde (GO), Rondonópolis, Sorriso e Lucas do Rio Verde (Mato Grosso) e Luís Eduardo Magalhães (BA) têm sido bastante destacados pela mídia por causa da sua elevada produção e produtividade de grãos.

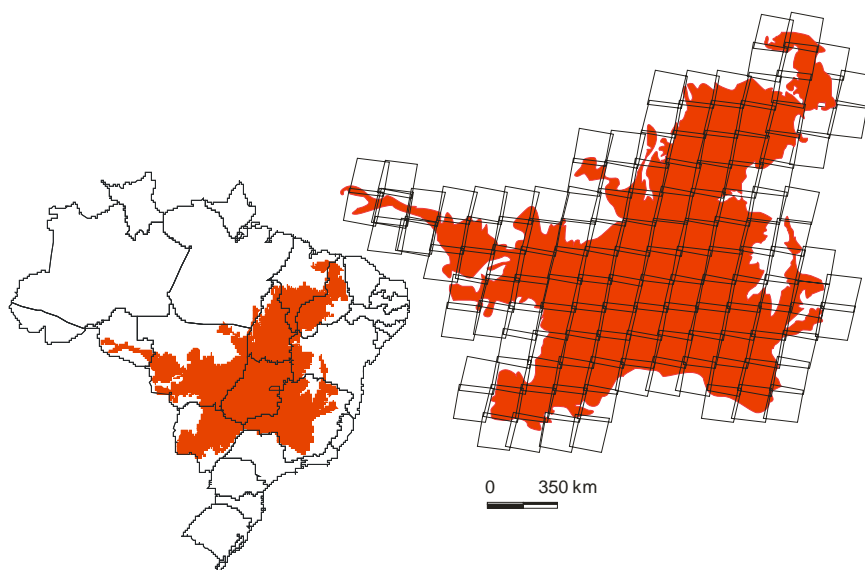


Figura 1. Localização das cenas do satélite Landsat necessárias para cobrir todo o bioma Cerrado (total de cenas: 137).

## 3. Mapeamento de Uso e Cobertura de Solos do Cerrado: Uma Nova Proposta Metodológica

A ausência de um mapeamento de uso dos solos do Cerrado numa escala de 1:250.000 ou maior tem provocado uma série de dificuldades para o monitoramento preciso e sistemático desse bioma, definição de áreas prioritárias para conservação, estimativa de emissão de CO<sub>2</sub> e outros gases de efeito estufa e manejo racional dos seus solos e recursos hídricos. Perguntas

relativamente simples como quantos pivôs-centrais ou quantos hectares de reflorestamento existem no Cerrado estão ainda sem respostas. Essa ausência, conforme já mencionado na parte introdutória desse texto, é justificada por uma série de fatores conjugados: extensão da área de estudo, sazonalidade da sua vegetação, confusão espectral entre alguns alvos que compõem o Cerrado, elevado índice de cobertura de nuvens nas imagens ópticas, etc.

Outro fator relevante que deve ser considerado no mapeamento de uso da terra do Cerrado é a escolha de uma abordagem metodológica correta de processamento de imagens. A utilização exclusiva de métodos tradicionais de classificação digital supervisionada ou não supervisionada de imagens como o MaxVer, distância média, K-médias ou isodata (Schowengerdt, 1997), não funciona a contento para o caso específico desse bioma por causa da influência significativa e variada dos diferentes tipos de solos, condições topográficas e manejo de solos sobre a resposta espectral da cobertura vegetal natural ou artificial. A título de ilustração, a **Figura 2** mostra uma área agrícola do Distrito Federal com uma concentração de seis áreas de aproximadamente 60 hectares sob sistema de irrigação por pivô-central e que aparece com pelos menos quatro classes espectrais diferentes. Nesse caso específico, o uso de funções de delimitação de polígonos, disponíveis na maioria dos *softwares* de processamento digital de imagens (por exemplo, o ENVI - *Environment for Visualizing Images* e o SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, Camara et al. 1996) é mais apropriado do que os algoritmos de classificação digital. O resultado da classificação digital teria que passar por uma etapa de reagrupamento de classes em que as quatro classes espectrais seriam reunidas numa única categoria denominada “cultura agrícola”.



Figura 2. Parte de uma imagem Landsat/ETM+ do Distrito Federal obtida em 20 de julho de 2001 e que mostra uma concentração de seis pivôs-centrais (estruturas circulares) com pelo menos quatro classes espectrais diferentes (1 = cultura agrícola com biomassa verde relativamente densa; 2 = solo coberto com palhada seca; 3 = cultura agrícola num estágio inicial de desenvolvimento, isto é, com biomassa verde relativamente baixa; e 4 = solo predominantemente exposto e com elevada porcentagem de umidade).

Recomenda-se que a análise de imagens deva ser feita combinando-se as técnicas de interpretação visual e digital, numa escala de estudo mais detalhada, por exemplo, em torno de 1:50.000. Essa é a escala máxima aproximada que os dados do Landsat permitem atingir. As classes de uso antrópico devem ser mapeadas na seguinte ordem: áreas com pivô-central; áreas urbanas; reservatórios de água; reflorestamento; culturas agrícolas; e pastagens cultivadas. Essas classes estão ordenadas de acordo com a facilidade de identificação nas imagens. Conforme mencionado anteriormente, as áreas com pivôs-centrais devem ser mapeadas usando-se a função de delimitação de polígonos regulares. Essas áreas normalmente apresentam grande heterogeneidade espectral devido a diferenças no manejo da cultura, solo e água. Em contrapartida, são facilmente visualizadas nas imagens devido à sua forma circular.

As áreas urbanas também apresentam padrão espectral e geométrico único nas imagens do Landsat por causa da alta reflectância dos telhados dos edifícios e residências, entrecortados por linhas multidirecionais escuras que correspondem à sua rede viária. Recomenda-se que essa classe também seja mapeada com base na interpretação visual na tela, utilizando-se a função de delimitação de polígonos irregulares. Reservatórios de água aparecem com tonalidades escuras nas imagens pois a água possui a propriedade de absorver quase toda a radiação eletromagnética incidente, podendo ser rapidamente mapeados na imagem por meio de um classificador supervisionado computacionalmente simples. No entanto, uma verificação visual dos resultados dessa classificação é requerida para corrigir eventuais inclusões de sombras de relevo e sombras de nuvens. As áreas de reflorestamento também podem ser facilmente classificadas nas imagens devido à sua alta reflectância na faixa do infravermelho próximo, o que introduz uma coloração avermelhada característica na composição colorida 543/RGB ou esverdeada na composição 453/RGB. As formas geométricas bem definidas também são características dessas áreas.

A identificação das culturas agrícolas nas imagens também deve ser baseada na forma geométrica regular dos talhões e na assinatura espectral típica de solos expostos e palha seca, uma vez que a maior parte das imagens será adquirida na época seca. Os analistas devem estar atentos às áreas cultivadas com sistema de manejo conservacionista de solos conhecido como plantio direto. Essas áreas, sem mecanização intensa e cobertas com palhadas secas para reduzir o impacto sobre o meio ambiente, podem ser facilmente confundidas com áreas de pastagens. Eventuais dúvidas na separação entre culturas agrícolas e pastagens podem ser solucionadas com o uso de modelos digitais de elevação, pois a maior parte das áreas de culturas agrícolas no Cerrado desenvolvem-se em terrenos com topografia plana.

Uma atenção especial deve ser dada à separação entre pastagens cultivadas e pastagens nativas. Embora as duas áreas normalmente sejam utilizadas intensamente para a criação de gado, as pastagens nativas costumam ser incluídas no grupo de remanescentes do Cerrado. Nesse caso, recomenda-se o uso de dados auxiliares como os disponibilizados pelo Censo Agropecuário do IBGE ([www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br)) para subsidiar a interpretação de imagens. Com base nesses dados, sugere-se a realização de uma campanha intensiva de campo com o propósito de adquirir coordenadas cartográficas com receptores de GPS (Global Positioning System), as quais serão transferidas posteriormente para as imagens de satélite para verificação da existência ou não de padrões espectrais distintos. A análise de imagens multitemporais do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer, Justice et al. 2002), com resolução espacial de 250 metros para as bandas do vermelho e infravermelho próximo, também não deve ser descartada para solucionar eventuais dúvidas de interpretação.

As diferentes classes de uso antrópico, à medida que forem sendo identificadas, devem ser subtraídas da imagem para evitar erros posteriores de classificação. Para isso, basta multiplicar os valores digitais dentro de cada um dos polígonos delimitados pelo valor zero. Os pixels que restarem no final desse procedimento corresponderão àquelas áreas consideradas como sendo as remanescentes do Cerrado. O detalhamento dessas áreas remanescentes do Cerrado pode ser efetuado sobrepondo-se as cartas de serviço, na escala 1:250.000 e no formato vetorial, utilizadas pelo Projeto RADAMBRASIL, para confeccionar os mapas de vegetação original da maior parte do território brasileiro. O argumento contrário à utilização desses produtos é o de que eles não foram publicados e, portanto, não estão disponíveis para uso geral da comunidade brasileira. Nesse caso, a alternativa é o uso dos mapas de vegetação original na escala de 1:1.000.000 os quais podem ser digitalizados, ampliados até a escala de 1:250.000 e sobrepostos às imagens do Landsat para posterior remapeamento. Essa proposta metodológica foi utilizada com sucesso para mapear o uso antrópico e remanescentes de vegetação do Estado de Goiás.

#### 4. Mapeamento de Remanescentes do Cerrado: Considerações Adicionais

Essa seção apresenta alguns resultados de análises digitais de diferentes imagens de satélite que foram realizadas no Parque Nacional de Brasília (PNB), como parte de um projeto de pesquisa do LBA (Experimento de Biosfera e Atmosfera de Larga Escala na Amazônia, Roberts et al., 2003). O PNB, com 30.000 hectares de extensão, corresponde à principal região de estudo do LBA em termos de savana tropical e localiza-se na porção norte do Distrito Federal (15° 40' de latitude sul e 48° 00' de longitude oeste). Esse parque apresenta as principais fitofisionomias do Cerrado ainda preservadas, à exceção do Cerradão que não ocorre nessa área.

Sano et al. (2004) compararam o desempenho de um radar de abertura sintética adquirida na banda L (comprimento de onda de 23 cm) e de dois índices de vegetação bastante utilizados atualmente (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* e EVI - *Enhanced Vegetation Index*) para o mapeamento de fitofisionomias do Cerrado. Os dados de radar, transformados em coeficientes de retroespalhamento, foram obtidos pelo satélite japonês JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite) (datas de passagem: 22 de setembro de 1995 - época seca e 1 de fevereiro de 1996 - época chuvosa), enquanto os índices de vegetação foram derivados de imagens do satélite norte-americano Landsat/ETM+, adquiridos em 24 de março de 1996 (época chuvosa) e 31 de agosto de 1996 (época seca). Um total de 935 coeficientes de retroespalhamento e índices de vegetação foi extraído de seis classes de vegetação (Campo Limpo, Campo Sujo, Campo com Murundus, Cerrado Ralo, Cerrado Típico e Mata de Galeria) e comparados entre si. A análise desses dados indicou que (**Figuras 3 e 4**): a) os dados de radar das épocas seca e chuvosa são altamente correlacionados ( $r^2 = 0,98$ ), evidenciando o fato de que a estrutura da vegetação é o principal parâmetro controlador numa imagem de radar na banda L do Cerrado; b) em comparação com NDVI e EVI, o radar possui um potencial melhor para discriminar fitofisionomias do Cerrado; c) os dois índices são altamente sensíveis a variações sazonais do Cerrado; e d) a combinação multitemporal entre radar, NDVI e EVI forneceu o melhor potencial para o mapeamento dos remanescentes de vegetação do parque, ressaltando o alto potencial do sinergismo entre sensores ópticos e de radar para o Cerrado.

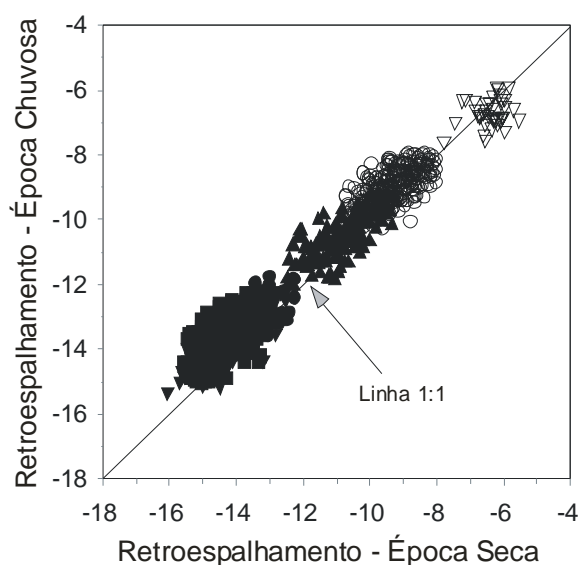


Figura 3. Relação entre os coeficientes de retroespalhamento das estações seca e chuvosa, obtidas de imagens de radar do

satélite JERS-1 (■ = Campo Limpo; □ = Campo Sujo; □● = Campo com Murundus; □▲ = Cerrado Ralo; □ = Cerrado Típico; e ∇ = Mata de Galeria). Fonte: Sano et al. (2004).

Outra abordagem promissora para o mapeamento de savanas tropicais do Brasil são os modelos lineares de mistura espectral. Esses modelos consideram que um pixel proveniente de uma imagem de satélite corresponde a uma mistura espectral de diferentes componentes da superfície do solo tais como vegetação verde, solo exposto e sombreamentos (Shimabukuro & Smith, 1991). A premissa básica desses modelos é a de que essa mistura espectral pode ser modelada por meio de uma combinação linear de

espectros puros conhecidos como *endmembers*. Considerando-se que as respostas espectrais desses *endmembers* são conhecidas, a proporção de cada componente puro pode ser estimada, obtendo-se, em seguida, as imagens-fração (Roberts et al., 1998).

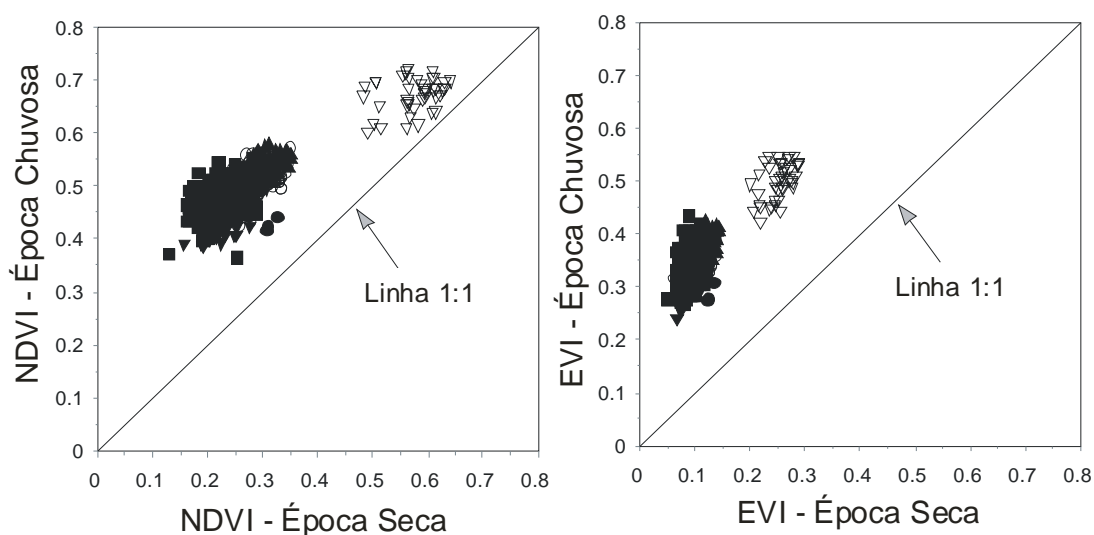


Figura 4. Relação entre dados de NDVI e EVI das estações seca e chuvosa provenientes do Parque Nacional de Brasília (a legenda é a mesma da Figura 3). Fonte: Sano et al. (2004).

Ferreira et al. (2004) analisaram as imagens-fração do PNB obtidas com uma imagem do Landsat/ETM+ de 20 de julho de 2001 (órbita: 221; ponto: 71), assumindo a hipótese de que o PNB é constituído por componentes herbáceo, arbustivo e arbóreo que ocorrem em diferentes proporções dependendo da localidade dentro do parque. Para isso, áreas de Mata de Galeria, reservatório e solo exposto foram subtraídas da imagem ETM+. A comparação visual entre a composição colorida RGB (R: Cerrado Típico; G: Campo Limpo; e B: Campo Sujo) obtida pelo modelo WLS (*Weighed Least Square*) e o mapa de vegetação do parque (**Figura 5**) mostra que houve uma boa concordância entre as áreas delimitadas pelo referido modelo e o mapa de vegetação do parque. Com isso, pode-se afirmar que os modelos lineares de mistura, amplamente utilizados para realçar alvos específicos, reduzir a dimensionalidade dos dados e gerar imagens-fração, relacionadas com certas propriedades biofísicas do terreno, podem ser estendidos para ambientes complexos como é o caso do Cerrado brasileiro. O modelo testado neste estudo apresentou ainda um desempenho superior ao modelo convencional em que as paisagens são modeladas em função dos componentes solo, vegetação e sombreamento.

Testes preliminares com dados obtidos pelo satélite EO-1 Hyperion por Miura et al. (2003) também mostraram o grande potencial do sensoriamento remoto hiperespectral na discriminação e na caracterização de cobertura de solos do Cerrado. Os dados do Hyperion do PNB e arredores, obtidos em 20 de julho de 2001, indicaram uma nítida separação entre pastagem cultivada, Mata de Galeria e quatro fitofisionomias do Cerrado encontradas no parque (Campo Limpo, Campo Sujo, Cerrado Ralo e Cerrado Típico, **Figura 6**). Em especial, este estudo mostrou a existência de um acentuado contraste espectral entre essas quatro classes de Cerrado na faixa espectral do infravermelho médio (1400 – 2500 nm), com destaque para as bandas de absorção da lignina-celulose em 2090 e 2280 nm.

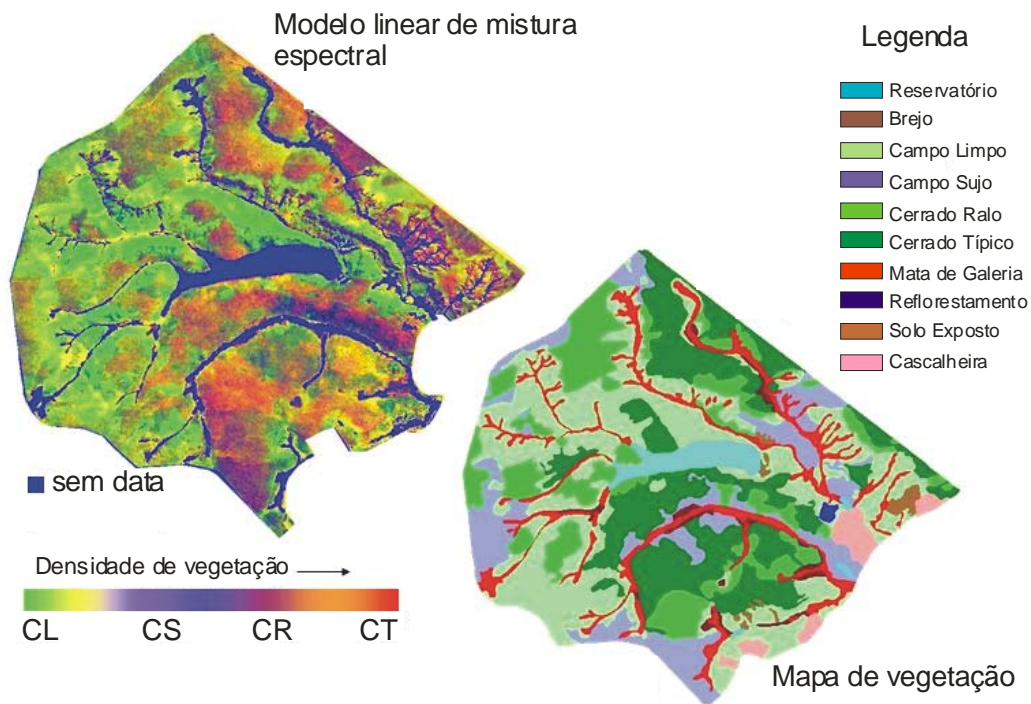


Figura 5. Comparação entre composição colorida RGB (R: Cerrado Típico; G: Campo Limpo; e B: Campo Sujo) obtida pelo modelo linear de mistura espectral e o mapa de vegetação do Parque Nacional de Brasília. CL = Campo Limpo; CS = Campo Sujo; CR = Cerrado Ralo; e CT = Cerrado Típico. Fonte: Ferreira et al. (2004)

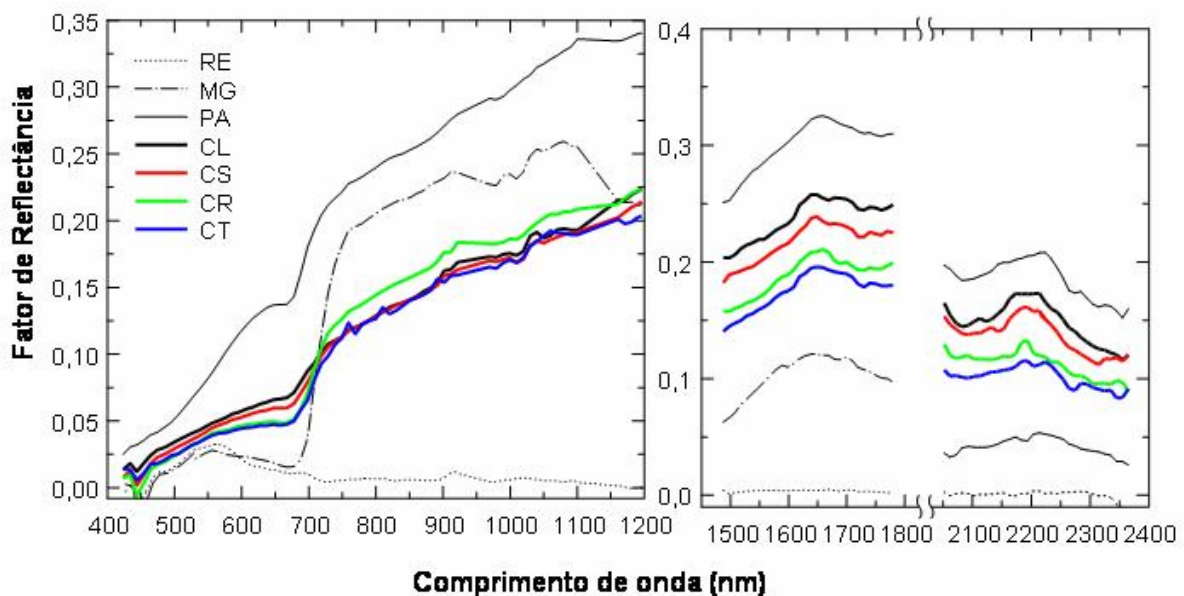


Figura 6. Curvas espectrais das fitofisionomias do Cerrado derivadas de uma imagem EO-1 Hyperion de 20 de julho de 2001 sobre o Parque Nacional de Brasília e arredores. RE = reflorestamento; MG = Mata de Galeria; PA = pastagem cultivada; CL = Campo Limpo; CS = Campo Sujo; CR = Cerrado Ralo; e CT = Cerrado Típico. Fonte: Miura et al. (2003).

## Referências

- Camara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computer & Graphics**, vol. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.
- Ferreira, M. E.; Ferreira, L. G.; Sano, E. E.; Shimabukuro, Y. E. Spectral linear mixture modelling approaches for mapping the Brazilian Cerrado physiognomies. **International Journal of Remote Sensing**, 2004 (*submetido*).
- IBGE. **Geografia do Brasil**. Região Centro-Oeste. Rio de Janeiro: IBGE, vol. 1, 1989, 267 p.
- Justice, C. O.; Townshend, J. R. G.; Vermote, E. F.; Masuoka, E.; Wolfe, R. E.; Saleous, N.; Roy, D. P.; Morisette, J. T. An overview of MODIS land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, vol. 83, p. 3-15, 2002.
- Klink, C. A.; Moreira, A. G. Past and current human occupation and land use. In: Oliveira, P. S.; Marquis, R. J. (eds.), **The Cerrados of Brazil**, Nova Iorque: Columbia University Press, Cap. 5, 2002, p. 69-88.
- Miura, T.; Huete, A. R.; Ferreira, L. G. Sano, E. E. Discrimination and biophysical characterization of Cerrado physiognomies with EO-1 hyperspectral Hyperion. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2003. p. 1077-1082. Disponível na biblioteca digital URLib: <ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.14.399>. Acesso em: 01 nov.. 2004.
- Ribeiro, J. F.; Walter, T. M. B. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M.; Almeida, S. P. (eds.), **Cerrado: Ambiente e Flora**, Planaltina: Embrapa Cerrados, Cap. 3, 1998, p. 89-166.
- Roberts, D. A.; Gardner, M.; Church, R.; Ustin, S.; Scheer, G.; Green, R. O. Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, vol. 65, p. 267-279, 1998.
- Roberts, D. A.; Keller, M.; Soares, J. V. Studies of land-cover, land-use, and biophysical properties of vegetation in the Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, vol. 87, p. 377-388, 2003.
- Sano, E. E.; Barcellos, A. O.; Bezerra, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, v. 22, n. 3, p. 2-15, 2000.
- Sano, E. E.; Jesus, E. T.; Bezerra, H. S. Mapeamento e quantificação de áreas remanescentes do Cerrado através de um Sistema de Informações Geográficas. **Sociedade e Natureza**, v. 13, n. 25, p. 47-62, 2001.
- Sano, E. E.; Ferreira, L. G.; Huete, A. R. Synthetic aperture radar (L-band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, Special issue on Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA), 2004 (*submetido*).
- Schowengerdt, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing**. San Diego: Academic Press, 2ª ed., 1997, 522 p.
- Shimabukuro, Y. E.; Smith, J. A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 29, p. 16-20, 1991.
- Skole, D. L.; Chomentowski, W. H.; Sales, W. A.; Nobre, C. A. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. **Biosciences**, v. 44, p. 314-322, 1994.