

Análise da sazonalidade de paisagens antrópicas e nativas do bioma Cerrado através dos produtos MODIS índices de vegetação, área foliar e atividade fotossintética

Manuel Eduardo Ferreira¹
Alejandro Alvarado Peccinini^{1,2}
Laerte Guimarães Ferreira¹
Alfredo Ramon Huete³

¹Universidade Federal de Goiás - UFG/IESA
Lab. Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG
Caixa Postal 131 - 74001-970 - Goiânia - GO, Brasil
{manuel, laerte}@iesa.ufg.br

²Agência Goiana do Meio-Ambiente - AGMA
11ª Av. 1272, Setor Leste Universitário - 74605-060 - Goiânia - GO, Brasil
alalpe@ibest.com.br

³Terrestrial Biophysics and Remote Sensing Laboratory
University of Arizona, 429 Shantz Bldg. #38
Tucson, Arizona 85721, USA
ahuete@ag.arizona.edu

Abstract. The Brazilian Cerrado is an extensive and complex biome, characterized by rapid and abrupt land cover changes. Due to its dimensions and physiognomic variations, the Cerrado plays an important role regarding the water, energy, and carbon fluxes at both the regional and global scales. Therefore, the correct understanding of the structure and ecological functioning of this biome, particularly in the temporal domain, is of great importance. With this respect, in this study we compared the seasonal response of the major MODIS “biophysical” indices: the normalized difference vegetation index (NDVI), the enhanced vegetation index (EVI), the leaf area index (LAI), and the fraction of absorbed photosynthetically active radiation (fAPAR). Overall, the four indices showed similar temporal trends and responses to the seasonal variations of the natural and converted landscapes and clearly discriminated these two land cover domains.

Palavras-chave: Cerrado biophysical parameters, MOD13, MOD15, parâmetros biofísicos do Cerrado.

1. Introdução e objetivos

O ambiente savânico no Brasil, conhecido localmente como Cerrado, é um bioma extenso e complexo e pode ser descrito como um mosaico de tipos vegetacionais, verticalmente estruturado por espécies herbáceas, arbustivas e arborescentes (**figura 1**). Este gradiente natural é determinado, entre outros fatores, pela disponibilidade de água e fertilidade do solo, marcado também pela sazonalidade da estação chuvosa, concentrada na região entre os meses de outubro a março (Dias, 1992).

Este bioma, presente em 25% do território nacional, desempenha um importante papel no balanço de energia, água e carbono da região, atuando como um sumidouro de gases de efeito estufa, tal como o CO, CO₂ e CH₄ (Monteiro, 1995). Sua elevada biodiversidade, atualmente estimada em seis mil espécies vegetais vasculares (Mendonça et al., 1998), é favorecida pela presença de três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Tocantins, São Francisco e Paraná), além de uma extensa diversidade de solos, geologia e queimadas naturais (Eiten, 1972).

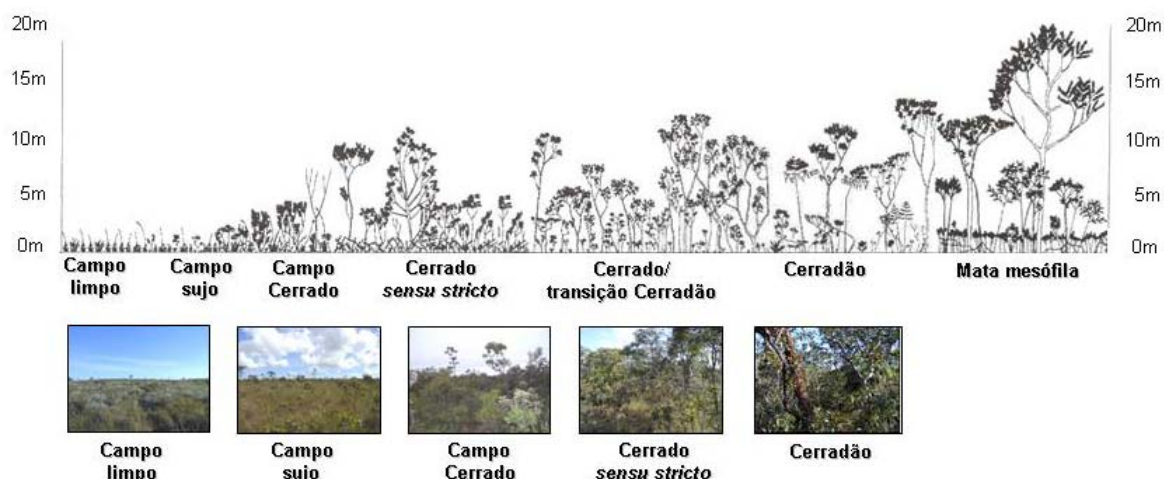


Figura 1. Principais fitofisionomias encontradas no bioma Cerrado. Modificada de Bitencourt et al. (1996).

Apesar da importância sócio-ambiental, o Cerrado encontra-se ainda pouco valorizado em termos de conservação, apresentando apenas 1,7% de sua área assegurada na forma de parques ou reservas (Brasil, 2003). Estima-se que atividades como a pecuária e a agricultura sejam responsáveis, até o momento, pela conversão de aproximadamente 40% de sua área original (Mittermayer et al., 1999; Sano et al., 2002).

O sensoriamento remoto, tido como uma fonte contínua e regular para a obtenção de dados da superfície terrestre, pode prover um monitoramento sistemático desse bioma, como o que vem sendo realizado pelo PRODES¹ Digital (Duarte et al., 2003) e, mais recentemente, pelo SIAD² (Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos) na região da Amazônia Legal. Entre os sensores orbitais com dados disponibilizados para a comunidade científica destaca-se o MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), o qual pode, efetiva e sistematicamente, auxiliar no monitoramento de todo o bioma Cerrado, provendo mapas de cobertura e uso do solo.

Com base nos produtos deste sensor, tal como o MOD13 (índices de vegetação NDVI e EVI) e MOD15 (Índice de Área Foliar - LAI e Fração Fotossinteticamente Ativa da Vegetação - fAPAR), a análise de alvos como a vegetação natural, pastagem e agricultura passam a ser realizadas numa escala multitemporal, melhorando o entendimento deste bioma no que diz respeito a sua estrutura, funcionamento e papel ecológico.

Especificamente, o presente trabalho compara a resposta sazonal dos produtos LAI/fAPAR (MOD15A2) e os produtos NDVI/EVI (MOD13A2), produzidos a cada 16 dias, ambos com um 1 km de resolução, em relação às várias paisagens típicas do bioma Cerrado no estado de Goiás, incluindo as fitofisionomias nativas, áreas de pastagens e agricultura.

2. Metodologia

Área de estudo

A área de estudo engloba o Estado de Goiás, correspondendo aos *tiles* h13v10 e h12v10 do sensor MODIS. Foram escolhidos seis pontos de controle para extração das seguintes classes de amostras: 1) Floresta Estacional (Parque Ecológico Altamiro de Moura Pacheco); 2) Agricultura; 3) Pastagem; 4) Campo limpo / Campo sujo (Parque Nacional das Emas) 5)

¹ Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia (versão digital).

² Mais informações em www.ufg.br/siad

Campo Cerrado (Parque Nacional de Brasília); 6) Cerrado denso (Parque Nacional Chapada dos Veadeiros) (**figura 2**).

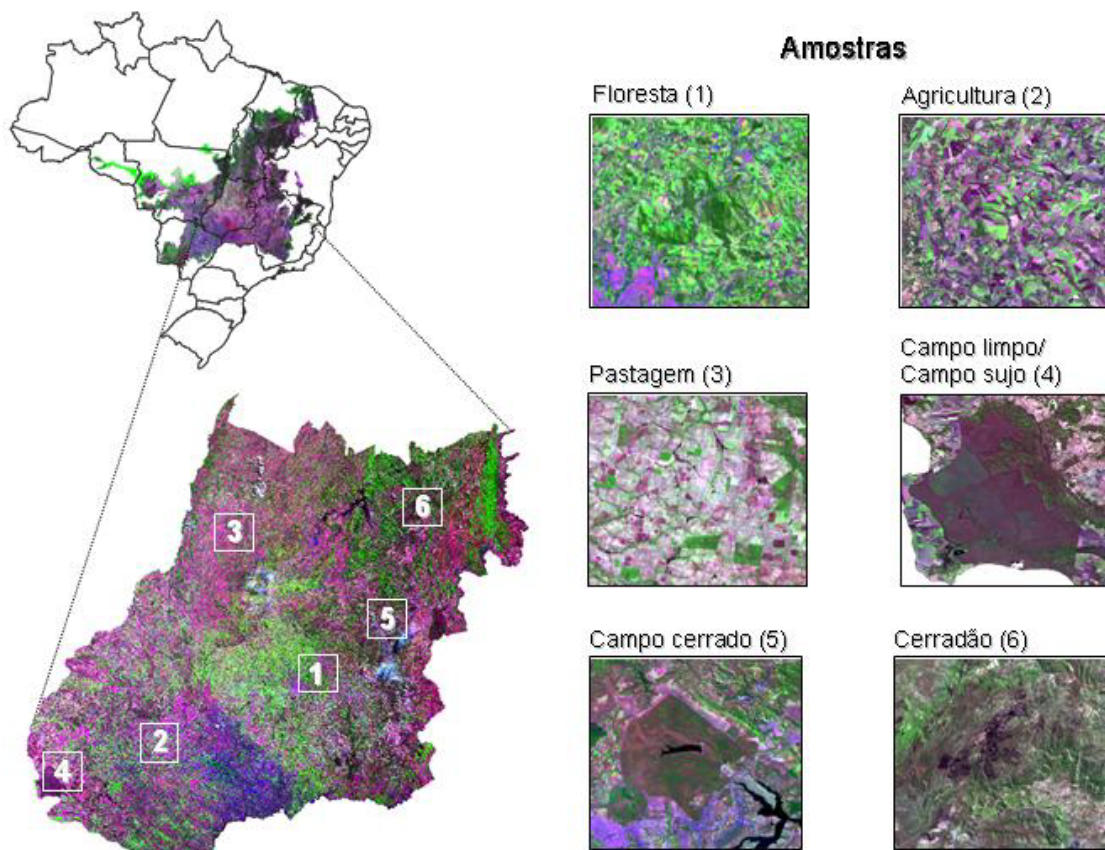


Figura 2. Área de estudo e locais de amostragem (*tiles* h13v10 e h12v10).

Obtenção dos dados

Para cada produto analisado nesta pesquisa, i.e. NDVI e EVI (MOD13A2) e LAI e fAPAR (MOD15A2), foram adquiridos 24 mosaicos completos para o Estado de Goiás, a cada 16 dias, entre dezembro de 2002 a dezembro de 2003. Dessa forma, foi possível comparar qualitativa e quantitativamente o comportamento radiométrico de cada alvo, em função do respectivo parâmetro ecológico considerado e da variação da sazonalidade ao longo de um ciclo hidrológico completo. Um grupo de 10 *pixels* foi coletado para cada classe de amostra, realizando-se, em seguida, análise estatística envolvendo cálculo de média, desvio padrão e coeficiente de variação para cada grupo de amostras.

3 - Resultados e Discussão

Análise temporal qualitativa

Utilizando uma composição temporal (RGB julho, março, setembro) para os produtos MOD13A2 (EVI/NDVI) e MOD15A2 (fAPAR/LAI), foi analisada a sazonalidade da vegetação em Goiás. O índice de vegetação EVI apresentou um melhor desempenho para a discriminação sazonal da cobertura vegetal, mais especificamente para os locais onde há uma maior ocorrência das formações herbáceas (Campo limpo / Campo sujo), arbustivas (Campo Cerrado), arbóreas (Cerrado denso), e áreas de uso antrópico (agricultura e pastagem)

(**figura 3**), quando comparado com os demais parâmetros ecológicos (NDVI, LAI e fAPAR), os quais mostraram maior saturação dos *pixels*. O índice fAPAR exibe um resultado visual similar ao EVI, com qualidade superior ao LAI. Resultados semelhantes foram apresentados por Fensholt et al. (2004), cujo estudo em área de savana demonstrou a baixa eficiência do LAI na caracterização sazonal desta formação vegetal.

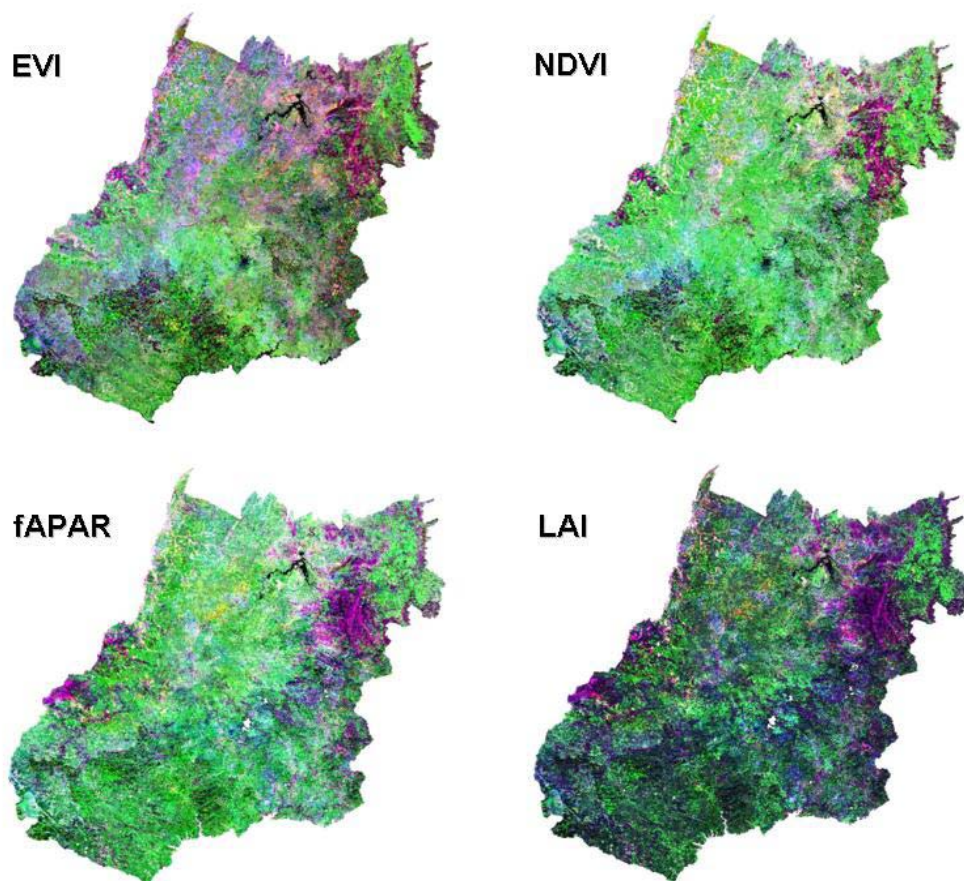


Figura 3. Análise visual do desempenho de cada índice, quanto à sazonalidade, obtido com uma composição colorida temporal (RGB / julho, março e setembro).

Análise temporal quantitativa entre os índices

Com base nas curvas mostradas na **figura 4**, observa-se um comportamento semelhante entre os índices EVI e NDVI à sazonalidade. A presença de valores extremamente baixos (*outliers*) para ambos os índices, nos primeiros dias do ano, indica a presença de nuvens.

Da mesma forma, na **figura 5** também se constata um comportamento semelhante entre os índices fAPAR e LAI. Em fato, este padrão é inclusive bastante semelhante com aquele observado para os índices EVI e NDVI. Em relação às fitofisionomias, o fAPAR apresenta uma maior facilidade em sua discriminação.

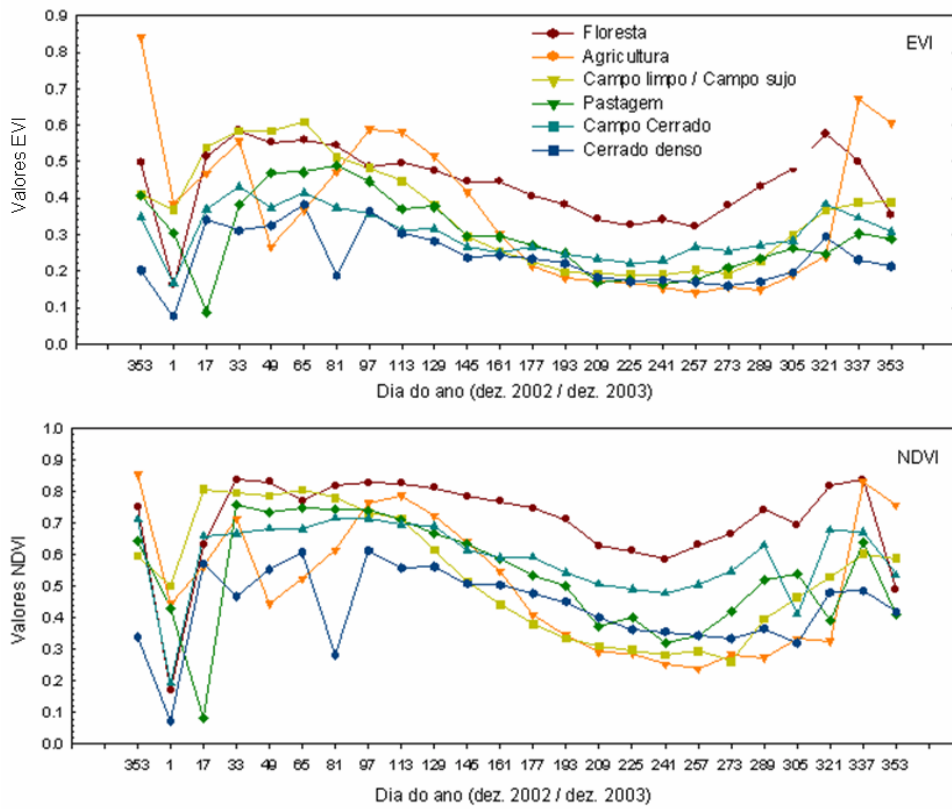


Figura 4. Comportamento temporal das amostras em função da resposta dos índices NDVI e EVI, ao longo do ano (dez. 2002 - dez. 2003).

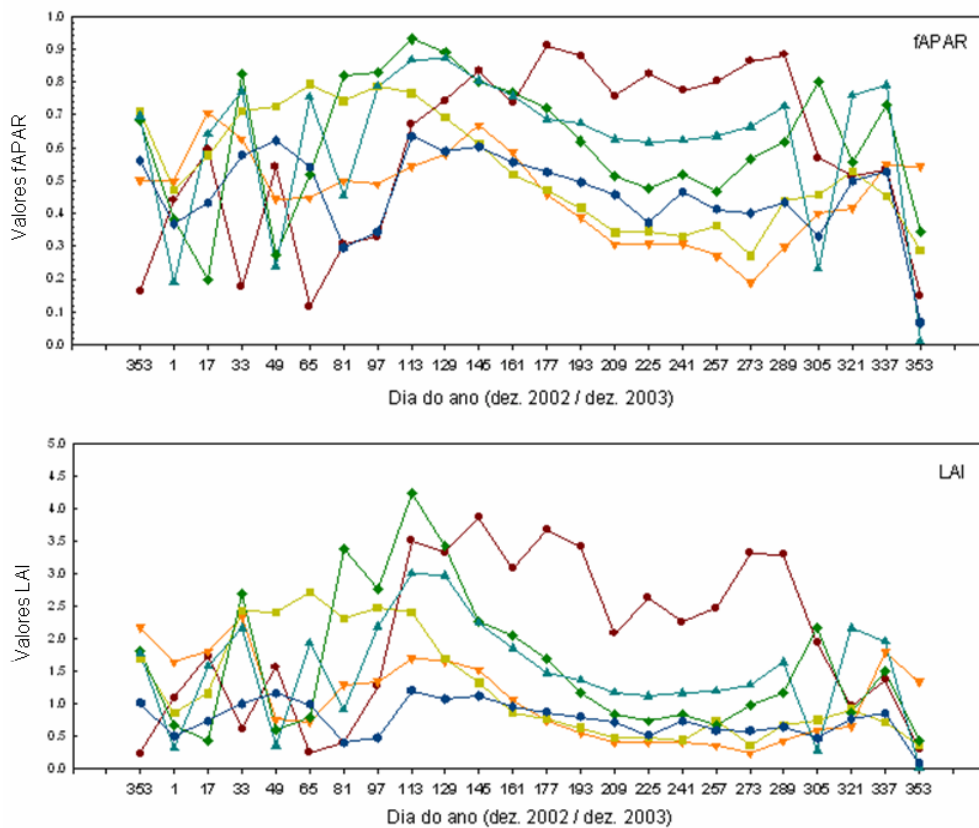


Figura 5. Comportamento temporal das amostras em função dos índices fAPAR e LAI, ao longo do ano (dez. 2002 - dez. 2003).

Análise temporal quantitativa entre as amostras

Em relação às classes de uso antrópico (agricultura e pastagem), um padrão similar de curvas foi observado entre os índices avaliados, fato este explicado pela ocorrência dominante de apenas uma espécie vegetal anual em cada grupo amostrado, ou seja, na área de agricultura uma formação de monocultura, e na área de pastagem a presença de gramínea.

As variações sazonais destas duas classes ocorrem, principalmente, devido ao ciclo de vida das espécies anuais, o qual se inicia na época chuvosa e termina na época seca e, no caso das pastagens, pelo efeito do sobrepastejo causado pelos rebanhos bovinos. A **figura 6** demonstra tais resultados.

Observando as classes de Campo limpo/Campo sujo, e Campo Cerrado (**figura 7**), constata-se que, assim como nas classes de uso antrópico, estes ambientes apresentam uma queda significativa de biomassa durante a época seca, verificada para todos os 4 índices. Especificamente no caso dos Campos limpo e sujo, tal fato se deve à predominância de formações herbáceas que, ou são anuais ou perdem o seu componente fotossintetizante durante a época seca. Em relação ao Campo Cerrado, observa-se em todos os índices uma variação mais suave entre os períodos seco e chuvoso, provavelmente devido à maior biomassa estrutural (ex. ramos, troncos), presente durante todo o ano. A maior oscilação relativa dos valores correspondentemente ao fAPAR e LAI pode ser explicada à uma maior sensibilidade destes índices quanto aos fenômenos de florescimento e rebrotamento.

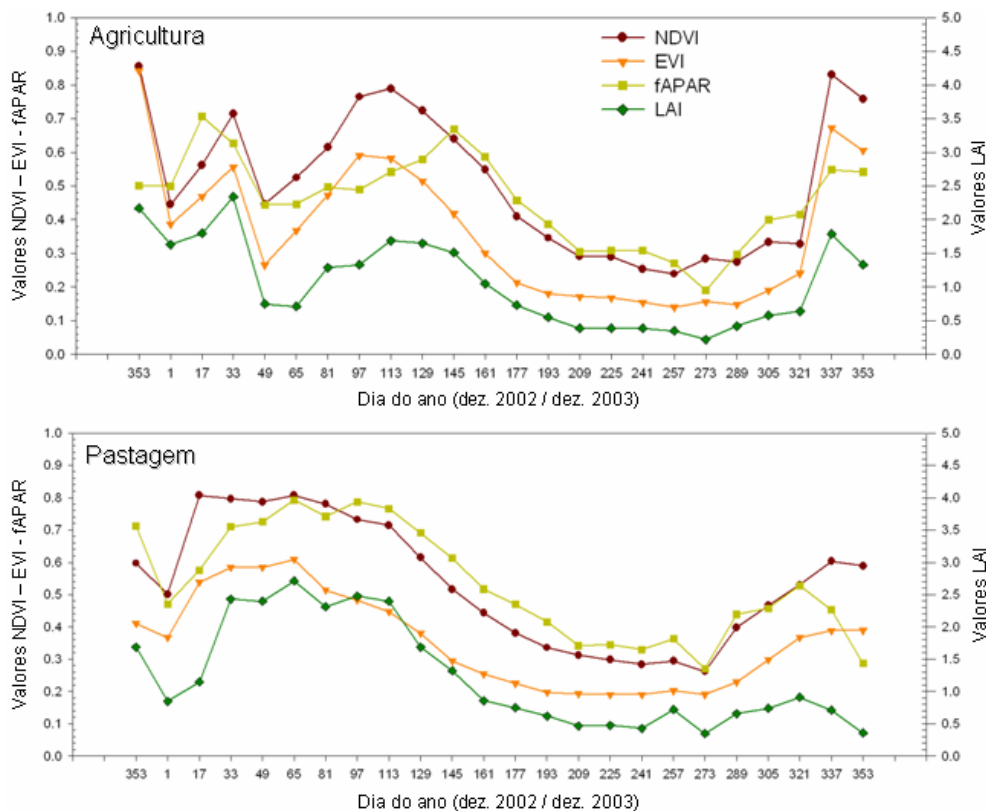


Figura 6. Comportamento temporal das classes de uso antrópico (agricultura e pastagem).

A análise das classes arbórea/florestal indica uma menor variação sazonal devido à maior presença tanto de biomassa verde quanto estrutural ao longo do ano. A **figura 8** demonstra este fato, confirmado por todos os índices. O comportamento da classe floresta é mais diferenciado nos índices fAPAR e LAI pelo fato de ser uma fitofisionomia pertencente a outro bioma, que não Cerrado.

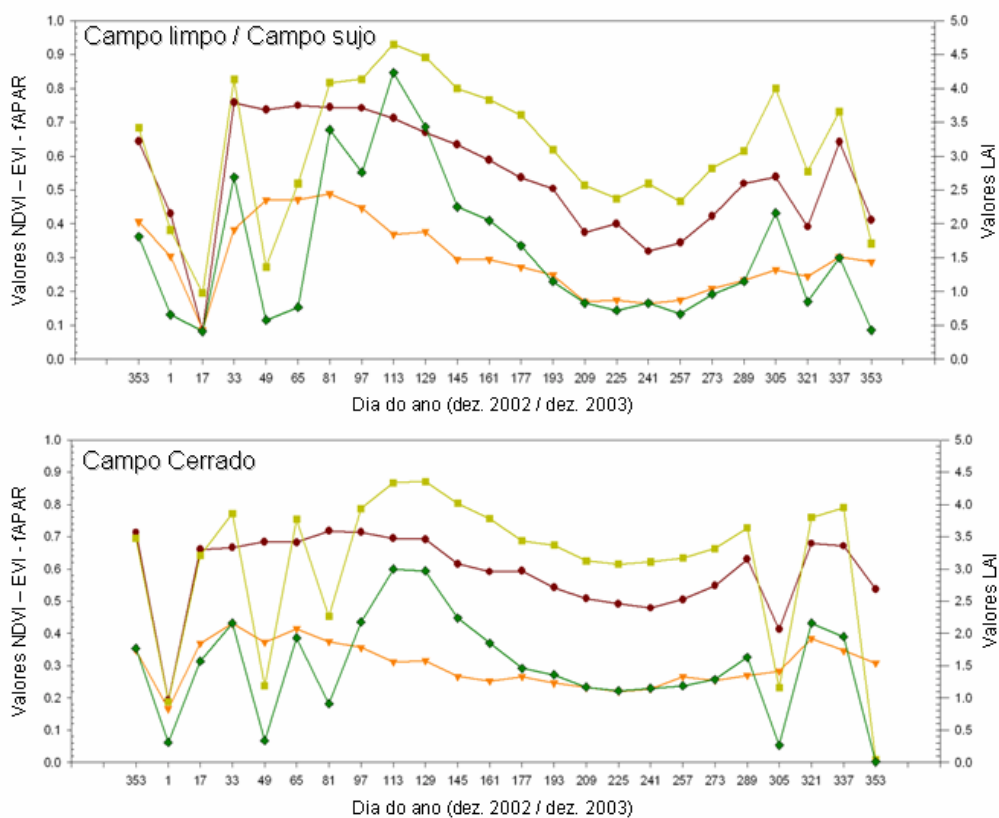


Figura 7. Comportamento temporal das classes Campo limpo/Campo sujo, e Campo Cerrado.

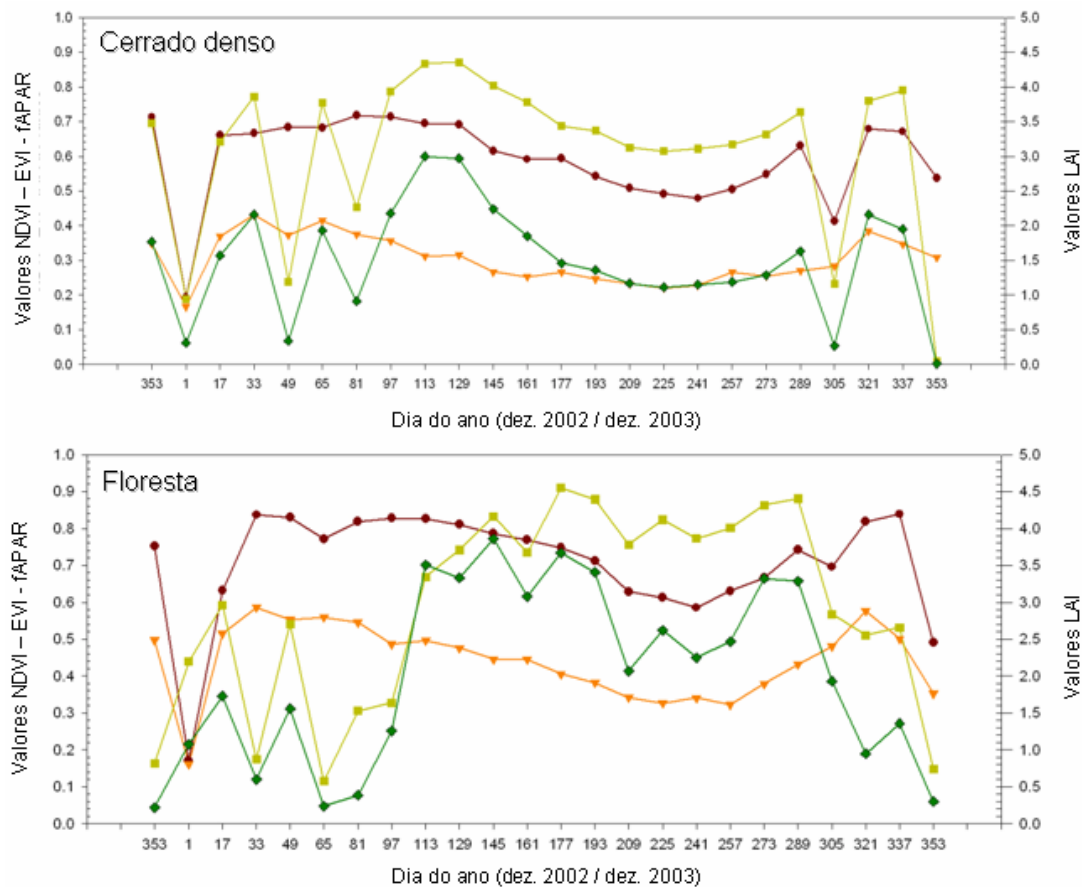


Figura 8. Comportamento temporal das classes Cerrado denso e Floresta.

4. Considerações finais

Com base nos dados apresentados, conclui-se que os produtos MOD13A2 e MOD15A2 são eficientes para o monitoramento do bioma Cerrado, já que todos representaram de forma satisfatória as variações sazonais da região. Outro ponto favorável ao emprego destes produtos é o menor tempo para o processamento e armazenamento dos dados, devido a sua menor resolução espacial (1km), com a possibilidade de monitoramento a cada 8 ou 16 dias (tempo necessário para elaboração dos respectivos *compositing*). Entretanto, alguns resultados indicaram diferenças significativas entre os produtos MOD13 e MOD15, fato este corroborado por outras pesquisas comparativas (Cohen et al., 2003; Wang et al., 2004).

Referências

- Bitencourt, M. D.; Mesquita Jr., H. N.; Mantovani, W.; Batalha, M. A.; Pivello, V. R. Identificação de fisionomias de Cerrado com imagem índice de vegetação. In: Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado, 1, 1997, Brasília. **Anais...** Brasília: Universidade de Brasília, Dep. de Ecologia, 1997, p. 316-320.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Primeiro relatório nacional para a convenção sobre diversidade biológica - Brasil. **Serviços do ponto focal brasileiro do mecanismo de informação da convenção sobre diversidade biológica**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sbf/chm/relato.html>>. Acesso em: 03 de abr. 2003.
- Cohen, W. B.; Maieringer, T. K.; Yang, Z.; Gower, S. T.; Turner, D. P.; Ritts, W. D.; Berterretche, M.; Running, S. W. Comparisons of land cover and LAI estimates derived from ETM+ and MODIS for four sites in North America: a quality assessment of 2000/2001 provisional MODIS products. **Remote Sensing of Environment**. v. 88, p. 233-255, 2003.
- Dias, B. F. S. **Cerrados: uma caracterização**. In: DIAS, B. F. S. (Org.). **Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis**. Brasília: Fundação Pró-Natureza, 1992. p. 11-25.
- Duarte, V.; Shimabukuro, Y. E.; Aulicino, L. C. M. Metodologia para padronizar e atualizar o banco de dados do Projeto "PRODES Digital". In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte, MG. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2705 - 2712. Repositório da URLib: <ltd.inpe.br/sbsr/2002/11.17.15.45>. Disponível em: <<http://www.ltid.inpe.br/sbsr2003>>. Acesso em: 10 nov. 2004.
- Eiten, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, New York, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.
- Fensholt, R.; Sandholt, I.; Rasmussen, M. S. Evaluation of MODIS LAI, fAPAR and the relation between fAPAR and NDVI in a semi-arid environment using in situ measurements. **Remote Sensing of Environment**. v. 91. p. 490-507, 2004.
- Mendonça, R. C.; Felfili, J. M.; Walter, B. M. T.; Silva, M. C.; Rezende, A. V.; Filgueiras, T. S.; Nogueira, P. E. Flora vascular do Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1998. p. 289-556.
- Mittermeyer, R. A.; Myers, N.; Mittermeier, C. G. Hotspots Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. **CEMEX Conservation International**, 1999.
- Monteiro, J. M. G. **Fluxo de CO₂ em um Cerrado sensu stricto**. 1995. 61 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília. 1995.
- Pivello, V. R.; Coutinho, L. M. A qualitative successional model to assist in the management of Brazilian cerrados. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 87, p. 127-138, 1996.
- Sano, E. E.; Barcellos, A. O.; Bezerra, H. S. Assessing the spatial distribution of cultivated pastures in the Brazilian savanna. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 22, n. 3, p. 2-15, 2002.
- Wang, Y.; Woodecock, C. E.; Buermann, W.; Stenberg, P.; Voipio, P.; Smolander, H.; Häme, T.; Tian, Y.; Hu, J.; Knyazikchin, Y.; Myneni, R. B. Evaluation of the MODIS LAI algorithm at a coniferous forest site in Finland. **Remote Sensing of Environment**. v. 91. p. 114-127, 2004.