

Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região do cerrado usando índices espectrais de vegetação

Jorge Alberto Bustamante Becerra¹
Yosio Edemir Shimabukuro²
Regina Célia dos Santos Alvalá¹

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
¹Centro de Previsão de Tempo e Estudo Climáticos (CPTEC)
Cachoeira Paulista, SP, Brasil
{jabb, Regina}@cptec.inpe.br

²Observação da Terra (OBT)
São José dos Campos - SP, Brasil
yosio@dsr.inpe.br

Abstract. Precipitation is one of the main climatic factors that determine the seasonal dynamics of the vegetation in tropical savanna areas, as the Brazilian cerrado. In this work the relationship of the seasonal precipitation with the seasonal behavior of the land use and land cover (LULC) types, mainly savannah physiognomies of the Tocantins States, was investigated. We analyzed the seasonal cerrado dynamic, including forest and converted areas, with MODIS VI (vegetation indices) satellite measurements from January to December 2004 and daily precipitation of 2004 and daily precipitation series from 1969 to 2005. The results of the precipitation analysis show that the study areas exhibited a high seasonality with a dry season from May to September. The analysis of the VI showed that the seasonal dynamic of the cerrado formations and the converted areas were similar. The seasonal pattern of these LULC types follow the precipitation pattern, when the lowest VI values were recorded in August of 2004. Differently of these LULC types, forest formations do not fitted to the precipitation pattern, this LULC type keep similar IV values along year.

Palavra chave: Land use and land cover, Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), seasonal precipitation, seasonal cerrado dynamics, uso e cobertura da terra, EVI, NDVI, precipitação sazonal, dinâmica sazonal do cerrado.

1. Introdução

A importância do clima na estrutura e função da vegetação é amplamente conhecido (Walter, 1973; Box, 1981). A distribuição espacial da vegetação natural, estrutura horizontal, e a distribuição vertical, estrutura vertical, estão determinadas pela interação de fatores ambientais abióticos e bióticos como o clima, solo, geomorfologia e fauna associada a estes ambientes naturais. Estas interações permitem também que a cobertura vegetal tenha um papel importante nos sistemas climáticos devido a trocas de energia, água e gases com a atmosfera e também como fonte de produção e seqüestro de gases no ciclo biogeoquímico. (Sellers et al., 1997). Segundo Shukla et al. (1990), o equilíbrio dinâmico existente entre vegetação e clima regional pode ser alterado se um dos seus componentes mudar. Na América do Sul, mais especificamente no bioma Cerrado, segunda maior formação vegetal em extensão depois da Floresta Amazônica (IBGE, 1992), parecem ser aparentes perturbações em ambos componentes (vegetação e clima).

O cerrado é um complexo de formações vegetais que apresenta fisionomias e composição florística variáveis: campestres (campo limpo), savânicas (campo sujo, campo cerrado e cerrado *ss-stricto sensu*), e florestais (cerradão), formando um mosaico ecológico, (Coutinho, 1978).

Esta formação encontra-se, extremamente fragilizada devido à substituição acelerada dos cerrados, pela agropecuária, principalmente na região Centro-Oeste do país incluindo o Estado de Tocantins.

Levando em consideração que a pressão antrópica no Cerrado vem aumentando, o que significa substituição de formações campestres, savânicas e até florestais, por áreas destinadas à agropecuária, é importante determinar a composição fitofisionômica do Cerrado para depois identificar como as mudanças do uso da terra e do clima afetam as funções biológicas, químicas e físicas nos ecossistemas amazônicos, lembrando que a região do cerrado no Estado de Tocantins encontra-se adjacente à Floresta Amazônica e que pelo tanto faz parte da Amazônia Legal, compondo assim parte do grande ecossistema amazônico.

Na literatura especializada existem trabalhos sobre mapeamentos do uso e cobertura da terra no cerrado da Amazônia Legal, em alguns casos usando imagens Landsat (Sestini et al., 2002), ou imagens MODIS, como o DETER (2005), no entanto, estes mapeamentos agrupam as diferentes fisionomias de Cerrado em uma única classe, devido à dificuldade na sua identificação pela confusão com outros tipos de cobertura vegetal.

Um dos principais fatores climáticos que influencia a ocorrência e distribuição espacial e temporal das fisionomias de cerrado é a precipitação pluvial. Trabalhos recentes mostram a importância da análise temporal ou sazonal da vegetação (Ferreira *et al.*, 2003; Ferreira e Huete, 2004; Ratana e Huete, 2004; Becerra e Alvalá, 2006) a partir de séries temporais de índices espectrais de vegetação. No caso de relação direta do padrão sazonal da precipitação com o sazonalidade da vegetação está começando a ser estudada (Huete et al., 2006).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho visa analisar, na região do cerrado (Estado de Tocantins), a relação do padrão sazonal da precipitação (ano de 2004) com a dinâmica sazonal da vegetação, a partir da aplicação de dois índices espectrais de vegetação, NDVI e EVI e a análise de seis tipos de UCT (floresta, cerradão, cerrado *ss*, campo cerrado, agricultura e agricultura-pastagem). A premissa a ser testada é que os diferentes tipos de uso e cobertura da terra especialmente as fisionomias de cerrado respondem de forma diferenciada aos padrões sazonais da precipitação. Isto significa que fisionomias vegetais com maior disponibilidade hídrica devem sofrer menos em períodos de menor precipitação, estação seca, e fisionomias com menor disponibilidade hídrica devem sofrer mais nesta mesma época do ano.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde ao Estado de Tocantins (**Figura 1**) localizado no sudeste da Amazônia Legal Brasileira, entre as coordenadas 05°09'59,25 e 13°27'55,54 de latitude Sul e 45°41'41,93 e 50°44'38,36 de longitude Oeste.

O clima da região é tropical e quente, com estação seca de maio a outubro. Na região norte do Estado, a precipitação é intensa, diminuindo para o sul e sudeste (Nimer, 1977).

Em Tocantins predomina o domínio do cerrado, apresentando desde fisionomias florestais (Cerradão) até as campestres (campo limpo) distribuídos em mosaicos ao longo da paisagem. Ao longo do rio Araguaia, existem pequenos remanescentes de floresta tropical úmida e no extremo norte e sudeste floresta estacional semidecidual. Neste Estado, além do cerrado, ocorrem três importantes áreas de transição ou ecótonos. Estas áreas de transição são: floresta amazônica – cerrado, cerrado – caatinga e cerrado – savana úmida.

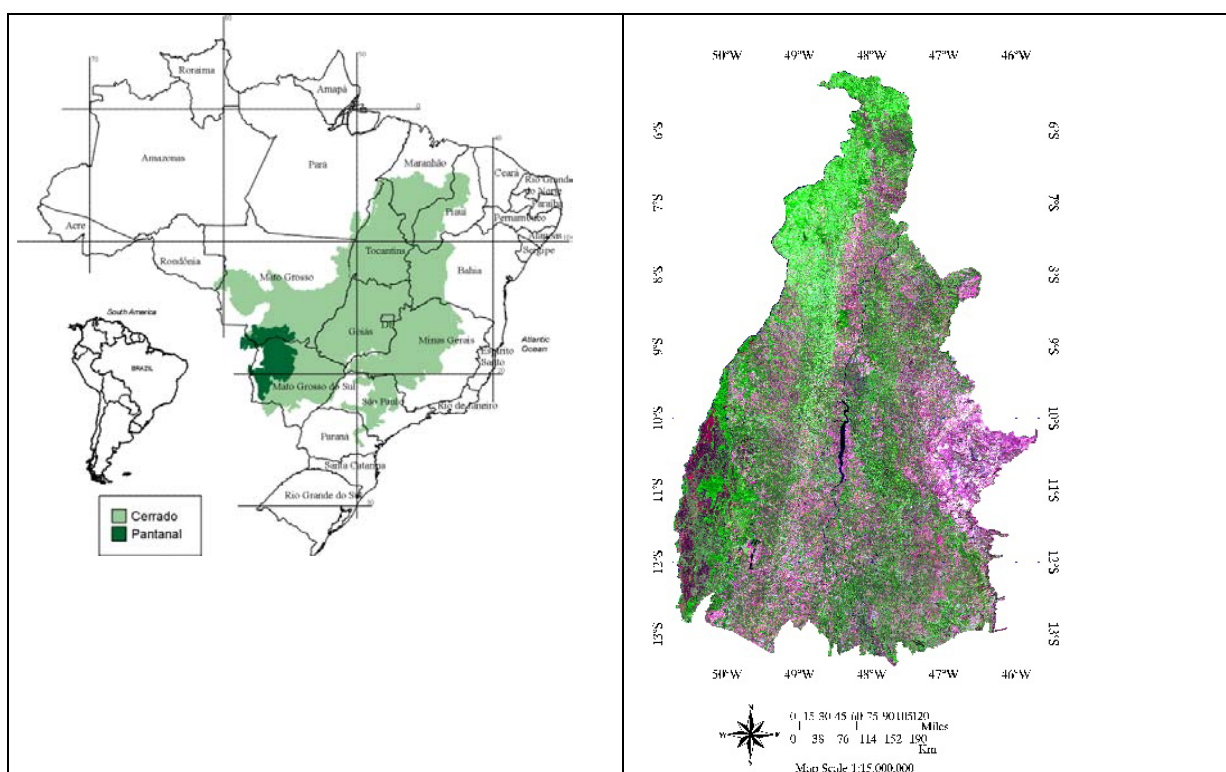


Figura 1. Mapa de localização do Brasil, com a distribuição das áreas de cerrado (cor verde) e imagem da área de estudo (Estado de Tocantins), composição colorida das imagens MODIS, canais 1, 2 e 7, período 09/06/06 a 24/06/06 (composição de 16 dias).

2.2 Materiais

Os principais dados utilizados para analisar o padrão sazonal dos tipos de UCT correspondem a dois IV (índices de vegetação) MODIS, isto é, o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) e o índice melhorado de vegetação (EVI). Para cada índice foram obtidos 12 imagens que representam os 12 meses do ano (2004). Os códigos das datas destas imagens são: 2004001, 2004033, 2004081, 2004097, 2004129, 2004161, 2004193, 2004241, 2004273, 2004305, 2004337 e 2004353. Cada imagem representa um período de 16 dias. Para

cobrir a área de estudo, duas cenas (*tiles*) de cada período foram mosaicadas (h13v09 e h13v10).

Dois conjuntos de dados foram usados para determinar a sazonalidade da precipitação na área de estudo. O primeiro pertence a dados diários do ano de 2004 obtidos a partir das estações meteorológicas fusionados com dados do satélite TRMM (*Tropical Rainforest Measuring Mission*) 3B42 resolução espacial 0.25°. Esta fusão teve o intuito de completar as áreas sem estações de campo com os dados do satélite dando como resultado uma imagem de precipitação diária do ano de 2004 reamostrada para uma resolução de 0.02°.

O segundo conjunto de dados é uma série histórica longa de precipitação diária para o Brasil disponibilizada pelo CPC (*Climate Prediction Center*) da NOAA e elaborada com base em dados das seguintes estações: CMCD/INPE, INMET, FUNCEME/CE, LMRS/PB, EMPARN/RN, DMRH/PE, DHME/PI, CEPES/SE, NMRH/AL, SRH/BA, CEMIG-SIMGE/MG, SEAG/ES, SIMEPAR/PR e CLIMERH/SC. Esta série vai de 01/01/1948 a 31/07/2005 e tem resolução espacial de 1°.

2.2 Metodologia

A metodologia utilizada consiste na análise do padrão de sazonalidade da precipitação com a dinâmica sazonal dos principais tipos de uso e cobertura da terra (UCT) no ano de 2004 no Estado de Tocantins.

Os principais tipos de UCT na área de estudo são: *floresta*, *cerradão*, *cerrado sensu strictu*, *campo cerrado*, *agricultura* e *agricultura-pecuária*. As quatro primeiras classes correspondem as principais formações vegetais e os dois últimos aos principais tipos de uso da terra na região. Foram selecionadas três pequenas áreas, determinadas por polígonos (vetores), para cada tipo de UCT de acordo com Becerra e Alvalá (2006).

A determinação do padrão sazonal da vegetação e da precipitação para o ano de 2004 é apresentada a seguir.

2.2.1 Padrão sazonal da vegetação

Para avaliar a dinâmica sazonal da vegetação ao longo do ciclo anual de 2004 foram utilizados dois índices espectrais de vegetação MODIS, o NDVI e o EVI.

O NDVI é uma relação entre medidas espectrais (refletância - ρ) de duas bandas, a do infravermelho próximo-IV (700-1300 nm) e a do vermelho-V (600-700 nm). Este índice é sensível à clorofila (Rouse et al., 1974). Os valores obtidos com o NDVI são contidos em uma mesma escala de valores, entre -1 e 1, utilizando-se a equação (equação 1):

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{V}}) / (\rho_{\text{IVP}} + \rho_{\text{V}}) \quad (1)$$

O EVI foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa e o monitoramento da vegetação através de uma ligação do sinal de fundo do dossel, reduzindo assim as influências atmosféricas. O EVI é calculado através da seguinte equação (equação 2):

$$\text{EVI} = G (\text{NIR} - \text{Vermelho}) / (L + \text{NIR} + C1 \text{ vermelho} - C2 \text{ azul}) \quad (2)$$

Onde: L = fator de ajuste para os componentes abaixo do dossel (*canopy background*); C1 e C2 = coeficientes para ajuste das resistências dos efeitos dos aerossóis da atmosfera; e G = fator de ganho. Os coeficientes adotados pelo algoritmo EVI são: L=1, C1=6, C2=7,5 e G = 2,5 (Huete et al., 1994; Huete et al., 1997).

EVI é mais sensível às variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar (IAF), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (Huete et al., 2002).

Estes índices (NDVI e EVI) oferecem dados temporais e espaciais consistentes sobre as condições da vegetação, de modo a monitorar a atividade fotossintética em suporte a detecção de mudança e interpretações biofísicas e estudo da fenologia.

O processamento dos dados índices de vegetação corresponde à mosaicagem e reprojeção das duas cenas (h13v09 e h13v10) para cada data analisada. Em seguida estas imagens são transformadas de 16 em 8 bits. Um polígono contendo os limites de Estado de Tocantins é usado para extrair a área de estudo. Este processo é feito com as imagens de cada uma das 12 datas analisadas, para cada índice. Finalmente, as 12 imagens de cada índice são agrupadas (empilhadas) em um único arquivo. Neste arquivo são sobrepostos os 18 polígonos (vetores) que correspondem aos 6 tipos de UCT com o intuito de extrair os valores dos índices contidos em cada uma das 12 datas de cada índice. Estes valores, assim obtidos, são plotados em um gráfico que mostra no eixo *x* os meses do ano e no eixo *y* os valores (resposta) do índice. O resultado é um gráfico para cada índice que mostra o padrão sazonal da vegetação na óptica de cada índice de vegetação (NDVI e EVI).

2.2.2 Padrão sazonal da precipitação

Os dados de precipitação diária de 2004 são agrupados para calcular a precipitação mensal que corresponde ao acumulado diário por mês, estes cálculos são feitos usando dados binários em ambiente GrADS. Os dados mensais são exportados de binário para ASCII usando um programa em Fortran. Em seguida estes dados ASCII, correspondentes às imagens de precipitação mensais são importados e convertidos em dados GEOTIFF por um programa de análise de dados hiperespectrais (p.e. Spring 3.11).

Para determinar a precipitação mensal (2004) em cada um dos tipos de UCT escolhidos, é gerado um arquivo (imagem) com 12 camadas de precipitação mensal de 2004. Desta imagem de precipitação são extraídos os valores de cada mês usando os polígonos dos 18 vetores que correspondem às 6 classes de UCT analisados.

Para determinar o padrão sazonal da precipitação para cada polígono analisado, o processamento dos dados da série histórica 1969 a 2005 segue os mesmos passos adaptados nos dados de precipitação de 2004. Ou seja, a partir dos dados diários de precipitação da série histórica são calculados as médias mensais usando o programa GrADS. Estes dados, formato binário, são transformados em ASCII usando um programa em Fortran. Os seguintes passos são idênticos aos adotados nos dados de precipitação de 2004.

O resultado da análise dos dados da série histórica (1969-2005) para cada tipo de UCT é um perfil sazonal de precipitação

3. Resultados e discussões

3.1 Padrão sazonal da precipitação

O perfil sazonal da precipitação nas áreas que correspondem aos 6 tipos de UCT, com base numa série histórica (1969 a 2005) e para o ano de 2004 são apresentados na **Figura 2**.

Os resultados da **Figura 2A** mostram que a estação seca, com menos de 100mm de precipitação, começa em maio e vai até setembro na área de estudo nos 6 tipos de UCT. O perfil dos 5 tipos de UCT são similares na época seca. Na época de chuvas existe uma leve diferença nas áreas de campo cerrado com valores menores ao resto das áreas no mês de dezembro.

Na **Figura 2B**, que mostra o perfil da precipitação no ano de 2004, observa-se um padrão similar com a tendência geral (**Figura 2A**) na época seca. No entanto, no mês de julho de 2004 houve ocorrência de chuvas na maioria de áreas estudadas, exceto nas áreas de cerrado.

Na estação chuvosa houve uma diferenciação entre as áreas dos 6 tipos de UCT com maior precipitação nas áreas de floresta e menor nas áreas de cerrado. Estes resultados mostram que a precipitação no ano de 2004 nas áreas de estudo foi homogênea na época de secas e heterogênea na época de chuvas, principalmente nos meses de outubro a dezembro.

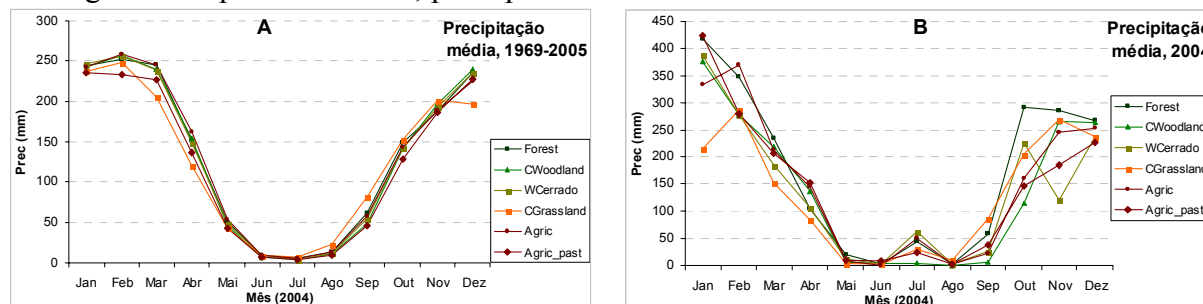


Figura 2. Padrão sazonal de precipitação determinado a partir da análise de uma série longa (1969 a 2005) e de dados de 2004, representados nas figuras A e B respectivamente. Forest: floresta; CWoodland: cerradão; WCerrado: cerrado *sensu strictu*; CGrassland: campo cerrado; Agric: agricultura; Agric_past: agricultura-pastagem.

3.1 Padrão sazonal da vegetação

O perfil sazonal da dinâmica da vegetação nas áreas que correspondem aos 6 tipos de UCT, a partir da análise do NDVI e o EVI para o ano de 2004 são apresentados na **Figura 3**. O comportamento sazonal dos tipos de UCT usando estes índices mostrou alta atividade fotossintética e fitomassa foliar na estação de chuvas (janeiro a março e outubro a dezembro de 2004) com diminuição gradual na época seca.

Os resultados da **Figura 3A** mostram o perfil dos tipos de UCT usando o índice EVI. Nas áreas que representam os tipos de UCT: cerradão, cerrado ss, campo cerrado, agricultura e agricultura-pastagem; observa-se um decréscimo dos valores do índice que vão da estação de chuvas, início do ano, a estação seca, como os menores valores do índice no mês de agosto. No caso das áreas de floresta o perfil sazonal ao longo do ano de 2004 não mostrou decréscimos observados nos outros tipos de UCT.

Na **Figura 3B**, que mostra o perfil sazonal da vegetação usando o índice NDVI para o ano de 2004, observa-se um padrão similar com os resultados obtidos com o NDVI (Figura 3A) em termos de tendência geral. No entanto os menores valores deste índice não coincidiram nos 6 tipos de UCT, sendo que em 3 tipos (*cerradão*, *cerrado ss* e *campo cerrado*) o menor valor foi em agosto e em 2 tipos (*agricultura* e *agricultura-pastagem*) foi em setembro

Na comparação do resultado dos dois índices de vegetação, podem-se observar que o EVI mostra maior relação do que NDVI, com o padrão de precipitação. Assim, no mês de agosto são registrados a menor precipitação e também menores valores do EVI que indicam menor biomassa no dossel dos tipos de UCT analisados. No caso do NDVI, os menores valores foram registrados nos meses de agosto e setembro, isto indica que a atividade fotossintética dos tipos de UCT relacionada com este índice sofrem o impacto do estresse hídrico nesses dois meses, devido provavelmente a limitações hídricas (Huete, 2006).

Na análise de ambos os índices, EVI e NDVI, as áreas que representam o tipo floresta não houve decréscimo na estação de secas, isto pode ser explicado pela disponibilidade hídrica atingida pelas raízes profundas destas árvores e/ou pela proximidade de cursos de rios (mata ciliar). Segundo Huete et al. (2006), esta disponibilidade hídrica das áreas floresta propiciaria uma estabilidade na atividade fotossintética e conseqüente produção de fitomassa foliar mantida na época seca.

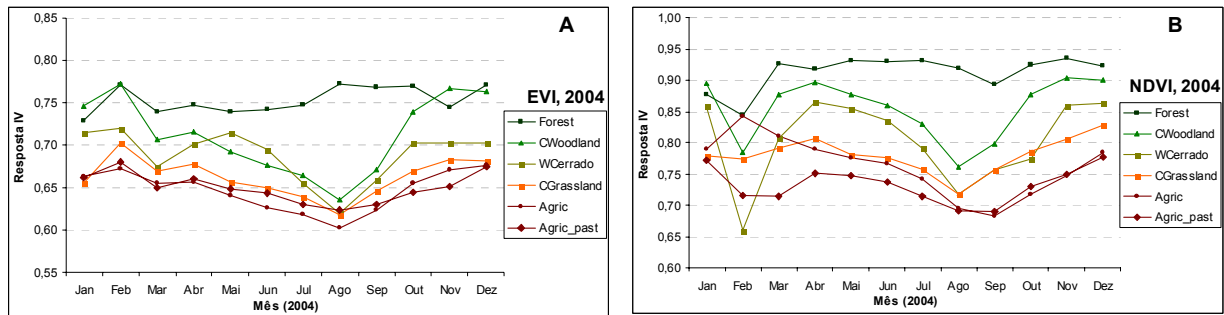


Figura 3. Padrão sazonal da vegetação no ano de 2004 a partir da análise de dois índices de vegetação, NDVI e EVI, relacionados com atividade fotossintética e fitomassa no dossel. Forest: floresta; CWoodland: cerradão; WCerrado: cerrado *sensu strictu*; CGrassland: campo cerrado; Agric: agricultura; Agric_past: agricultura-pastagem.

4. Conclusões

- A inclusão de dados de precipitação na interpretação do comportamento sazonal da vegetação na região do cerrado permite compreender de forma mais exata a dinâmica sazonal dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra (UCT).
- A dinâmica sazonal da vegetação usando índices de vegetação, NDVI e EVI, permitiu identificar o padrão sazonal dos principais tipos de uso e cobertura da terra.
- O índice EVI mostrou maior relação com a precipitação na detecção do período com menor produção de fitomassa foliar nos tipos de UCT.
- Na análise sazonal da vegetação o NDVI mostrou melhor separabilidade e identificação dos tipos de UCT ao longo do ciclo anual.
- As áreas de floresta mostraram um padrão diferente ao resto de tipos de UCT analisados. Na época seca a atividade fotossintética e produção de fitomassa foliar foi similar a época seca, presumivelmente devido a maior disponibilidade hídrica.
- A análise do padrão sazonal dos tipos de UCT no cerrado permite identificar os melhores meses para diferenciar fisionomias vegetais com respostas espectrais similares, difíceis de identificação em mapeamentos sem dimensão sazonal.
- A frequência regular de dados IV (índices de vegetação) MODIS permite elaborar séries temporais que facilitam o acompanhamento do ciclo sazonal da vegetação. O EVI permitiu analisar melhores períodos com maior cobertura de nuvens. O NDVI permitiu separar melhor as classes de UCT ao longo do ciclo anual.

Referências Bibliográficas

Becerra, J.B., Alvalá, R.C.S. Detection of Tropical Savannah (Cerrado) Physiognomies in the Legal Amazon by the Application of the Vegetation and Moisture Indices with MODIS Time Series Data. In: The 8th International Conference On Southern Hemisphere Meteorology And Oceanography, Foz de Iguaçu. **Proceedings** of ICSHMO, Brazil, v. 1, p. 861-868. 2006.

Box, O., 1981. **Macroclimate and plant forms: an introduction to predictive modelling in phytogeography**, Junk, The Hague. 1981.

Coutinho, L.M. **Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado**. *Fire in the Tropical Biota*, J.G. Goldammer, Ed., Springer-Verlag, 82–105, 1990.

Ferreira, L.G., Yoshioka H, Huete, A., Sano, E. Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere–Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA), **Remote Sensing of Environment**, v.87, 534–550, 2003.

Ferreira, L.G., Yoshioka, H., Huete, A., Sano, E.E. Optical characterization of the Brazilian Savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an LBA core site. **Journal of Arid Environments**, v.56, 425–447, 2004.

Huete, A., Justice, C., and Liu, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, 49, 224-234, 1994.

Huete, A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., and van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.59(3), 440-451, 1997.

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G. Overview of radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, 195-213, 2002

Huete, A.R., Didan, K., Shimabukuro, Y., Ratana, P., Saleska, S.R., Hutyrá, L.R., Yang, W., Nemani, R.R. and Myneni, R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research letters**, v.33, L06405, 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). **Manual técnico de vegetação brasileira**, Rio de Janeiro, 1992. 92 p.

Nimer, E. **Clima**. In: IBGE. Geografia do Brasil/Região Sudeste.v. 3. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977.

Ratana, P. and Huete, A. Seasonal dynamics of native and converted cerrado physiognomies with MODIS data. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. **Proceedings**. 2004 IEEE International, 4336-4339, 2004.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, **Proceedings**, Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351,3010-317, 1974.

Sellers, P.J., Heiser, M.D., Hall, F.G., Verma, S.B., Desjardins, R.L., Schuepp, P.M., MacPherson, J.I. The impact of using area-averaged land surface properties -topography, vegetation condition, soil wetness - In calculations of intermediate scale (approximately 10 km²) surface-atmosphere heat and moisture fluxes. **Journal of Hydrology**, v.190, 3-4, pp. 269-301, 1997.

Sestini, M.F.; Alvalá, R. C. S.; Mello, E. K.; Valeriano, D. M.; Chan, C. S.; Nobre, C. A.; Paiva, J. A. C.; Reimer, E. S. **Elaboração de Mapas de Vegetação para Utilização em Modelos Meteorológicos e Hidrológicos**. São José Campos. INPE, 2002. 74 p. (INPE-8972-RPQ/730).

Shukla, J., Nobre, C. & Sellers, P. Amazon deforestation and climate change, **Science**, v. 247, 1322–1325, 1990.

Walter, H. **Vegetation of earth, in relation of climate and the ecophysiological conditions**, English University Press, London. 1973.