

MONITORAMENTO DA COBERTURA FLORESTAL ATRAVÉS DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DO NOAA-AVHRR¹

Getulio T. Batista²
Yosio E. Shimabukuro²
William T. Lawrence³

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
C. P. 515
12.201- 970 - São José dos Campos, SP

³University of Maryland
Department of Geography
College Park, Maryland 20742-8225, EUA

Abstract. This paper shows results of an experiment that explored the temporal variation of the vegetation index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) of several vegetation covers that occur in the Brazilian Legal Amazon. The value of NDVI obtained from NOAA satellite, has been shown for the estimation of a number of ecosystem variables, such as leaf area index and photosynthetic active absorbed radiation by the canopy, which in turn are essential for the modeling of gases, mass, and energy exchange between the biosphere and the atmosphere, contributing therefore, for the understanding of global change processes. Long-term monitoring (August 1981 to June 1991) of 8 vegetation types (Dense Forest ("Terra Firme" and "Várzeas"), Open Forest ("Terra Firme" and "Várzeas"), Transition Forest, Seasonal Forest ("Caatinga"), and two types of "Cerrado" which occur in the northern part of Brazil (3° N-18° S and 35° W e 74° W) is discussed. For each vegetation type, 10 samples of 3 x 3 pixels centered on the coordinates of selected samples were chosen and monthly composites of NDVI were obtained from GAC ("Global Area Coverage") data. Analyses also involved the yearly composite of NDVI to verify the inter-annual climatic variation. Throughout the analysis of 10 years of data it is clearly noticed the variation on the NDVI due to different satellites, indicating the need for calibration of AVHRR data for multitemporal studies. Seasonality of "Cerrado" and especially of "Caatinga" is outstanding, NDVI values vary from 3 to 4 times for the "Cerrado" and "Caatinga", respectively, in extreme years. Preserved "Cerrado" ("parque") was always distinct from Dense Forest ("Terra Firme") in any season of any year analyzed, however, better distinction is found during the dry season, especially in September. A comparison between normal and El Niño years indicated the influence of this phenomenon on the phenology of the forest vegetation. The phenology of forest covers, except "Caatinga" and "Cerrado" does not vary much throughout the year, however, for El Niño years, as 1983, there is a clear reduction in the NDVI values during the dry season, especially for the Transition Forest. This indicates the importance of multitemporal data for the characterization of forest ecosystems. Dense vegetation covers showed high NDVI values (~ 0.5), "Caatinga" had an average NDVI of ~ 0.35 with large seasonal variation, and "Cerrado" had average NDVI value ~ 0.3 with great seasonal variation but never reaching the "Caatinga" greenness peak (NDVI ~ 0.5).

Introdução

A série de satélites TIROS-N, conhecida como NOAA-1, 2, 3, ..., com o sensor AVHRR ("Advanced Very High Resolution Radiometer") a bordo, concebido, inicialmente, para estudos meteorológicos, despertou grande interesse da comunidade científica de ecossistemas terrestres, especialmente da dinâmica da vegetação, a partir do início da década de 80 com o lançamento do NOAA-7 em 23/06/81 que passou a possuir duas bandas espectrais adequadas ao monitoramento da vegetação (uma no visível e outra no infravermelho próximo, canais 1 e 2). A série ímpar dos satélites TIROS-N, a exemplo dos satélites utilizados neste experimento (NOAA-7, 9, e 11), cruzam o equador no período da tarde (~14:00 horas) na sua órbita ascendente e portanto, permitem o estudo de alvos terrestres com iluminação adequada, o que já não ocorre com os satélites de números pares concomitantes em órbita que cruzam o equador cedo pela manhã ou durante a noite (7:30 am e pm). A transformação dos dados dos canais 1 e 2 em índices de vegetação, especialmente do NDVI, definido a seguir (sessão NDVI), tem se mostrado de grande valia para estudos de monitoramento da vegetação (Gallo e Heddinghans, 1989; Tucker e Gatlin, 1984; Tucker et al., 1985), para inferências da fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida e concentração de CO₂ na atmosfera (Tucker et al., 1986), na estimativa da produtividade primária líquida (Goward et al., 1985) e estudos de biomassa (Kennedy, 1989; Tucker et al., 1983; e Justice e Hiernaux, 1986), entre outros.

Desta forma, o AVHRR se apresenta como uma ferramenta útil, de baixo custo e de fácil acesso para o monitoramento contínuo da vegetação em escala regional. É entretanto, importante investigar o potencial desta ferramenta para estudos detalhados de mudanças fenológicas, em períodos de longo prazo, com ocorrência de eventos climáticos marcantes, como o efeito do El Niño na vegetação. Os objetivos deste experimento foram:

- Verificar a variação do NDVI ao longo de 10 anos (agosto de 81 a junho de 91) de vários tipos de vegetação de porte florestal que ocorrem na Amazônia Legal Brasileira;
- Verificar a separabilidade entre os diversos tipos de vegetação usando o NDVI;

- Verificar a variação fenológica da vegetação em função das estações do ano e de eventos climáticos marcantes (efeito do El Niño).

NOAA AVHRR

Este experimento utilizou dados de agosto de 1981 a junho de 1990 provenientes dos satélites NOAA 7, lançado em 23/06/81 e operacional até 28/02/85, NOAA 9, lançado em 12/12/84, dados utilizados a partir de 01/03/85, operacional até 07/11/88, e NOAA 11, lançado em 24/09/88, com dados utilizados a partir de 21/09/90 (usando o segundo conjunto de coeficientes de calibração pré-lançamento) e operacional até o fim do experimento. Os dados do satélite foram obtidos a partir da órbita ascendente dos satélites com cruzamento do equador próximo às 14:00 horas. Segundo Kidwell (1991) os satélites NOAA, da série TIROS-N, possuem órbita sol-síncrona, com ciclo de cobertura de 9 dias, campo de visada instantâneo de 1,4 mrad, o que corresponde a 1,1 km de resolução ao nadir (2,4 km ao longo da linha de varredura por 6,9 km na direção de deslocamento do satélite nos ângulos de visada extremos). O ângulo de visada é de +/- 55,4° a partir do nadir e na altitude nominal de ~ 830 km, corresponde a uma faixa imageada de 2.800 km (sendo 800-900 km úteis para estudos terrestres sem muita distorção devido ao ângulo de visada). O nível de quantização dos dados é de 10 bits.

A partir do NOAA-7, a série de satélites TIROS-N passou a possuir 5 bandas espectrais (visível 0,58-0,68 µm, infravermelho próximo 0,725-1,10 µm, infravermelho refletido e emitido 3,55-3,93 µm, infravermelho termal 10,30-11,30 µm e 11,50-12,50 µm) no sistema sensor "Advanced Very High Resolution Radiometer", AVHRR.

As duas primeiras bandas (visível e infravermelho próximo), correspondentes às bandas MSS-5 e MSS-7 ou às bandas TM-3 e TM-4 do Landsat, embora estas sejam mais estreitas, são recomendadas para o monitoramento de vegetação. A principal vantagem do NOAA AVHRR é a alta frequência de imageamento resultante da grande faixa imageada, o que permite acompanhar a variação fenológica da vegetação ao longo das estações do ano ou a variação devida a eventos episódicos.

NDVI

Os dados utilizados neste experimento são originários do arquivo "Global Normalized Difference Vegetation Index" do Projeto "Global Inventory Monitoring and Modeling Studies (GIMMS), através de cooperação entre o INPE e a NASA Goddard Space Flight Center, no contexto do programa "Earth Observing System" (EOS). Este arquivo contém dados de 10 anos de NDVI mensais da superfície terrestre do globo. Os dados são compostos em NDVI máximo mensal a partir de dados diários de passagens ascendentes (a tarde), com uma resolução nominal de 8 km no equador, mapeados para uma projeção estereográfica. Os dados de entrada para o cálculo do NDVI são os dados digitais LAC ("Global Area Coverage"), que representam uma amostra de 4 LAC de 1,1 x 1,1 km pixels de uma janela de 5 x 3 LAC pixels. Os dados GAC digitais são previamente examinados para verificação de ocorrência de núvens usando a técnica de limiar de temperatura (canal 5), a seguir os níveis de cinza dos canais 1 e 2 (visível e infravermelho próximo) são convertidos em reflectância usando dados de calibração de pré-lançamento e o NDVI é calculado como $(2-1)/(2+1)$, i.é., razão entre a diferença das reflectâncias do canal 2 (infravermelho próximo) e canal 1 (visível) pela soma das reflectâncias nestes dois canais. Os dados orbitais diários são mapeados usando navegação do satélite, reamostrado para 8 km x 8 km, e compostos para intervalos de 1-3 dias que serão utilizados para a geração do produto final que contém o valor máximo do NDVI mensal.

Coberturas Vegetais Estudadas

Com base no mapa de vegetação publicado pelo IBGE e IBDF (1988), foram selecionadas 10 amostras das seguintes coberturas vegetais: Ds, floresta densa de terra firme submontana, Db, floresta densa de terras baixas, As, floresta aberta de terra firme submontana, Ab, floresta aberta de terras baixas, T, floresta de transição, E, floresta estacional (caatinga), e duas classes de cerrado (Sda, arbóreo denso e aberto, e Spg, parque/campo e lenhoso). Foram obtidos os NDVI médios mensais de uma janela de 3 x 3 pixels centrada nas coordenadas das amostras previamente selecionadas. Os NDVIs médios mensais foram integrados para cada ano estudado para verificar variação interanual devido ao fenômeno ENSO ("El Niño Southern Oscillation").

Resultados e Discussão

A figura 1 mostra a variação do NDVI de três tipos de cobertura vegetal arbórea para todo o período de estudo (10 anos). Pode ser observado que a partir de fevereiro de 1985 houve uma subida súbita nos valores de NDVI. Esta mudança coincide com a mudança na origem dos dados. Até 28/02/85 foram utilizados dados do NOAA-7 e a partir desta data, os dados foram provenientes do NOAA-9. Com a utilização de dados do NOAA-11 a partir de setembro de 1990 esta mudança já não é tão evidente. Contudo, o período estudado com dados deste último satélite foi pequeno neste experimento para qualquer constatação conclusiva. Pode ser igualmente verificado nesta figura um declínio nos valores de NDVI de fins de 1982 para fins de 1983. Este período sofreu forte influência do fenômeno El Niño, resultando em aparente mudança fenológica da vegetação caracterizada por queda de folhas e diminuição de biomassa, refletindo em valores menores de NDVI.

A figura 2 mostra que com base nas amostras selecionadas, o cerrado foi sempre distinto da floresta densa submontana. Contudo, devido a sazonalidade marcante do cerrado a distinção foi mais evidenciada no período de seca, especialmente durante o mês de setembro.

A caatinga apresenta uma variação grande nos valores de NDVI ao longo do ano (Figura 3), e foi a classe de vegetação que apresentou os menores valores médios de NDVI durante a estação seca e que durante o pico máximo de atividade fotossintética apresentou valores médios quase tão altos quanto da floresta densa, em consonância com o que se espera de um ecossistema de clima semi-árido.

A figura 4 mostra dois aspectos de interesse: o primeiro é que o NDVI durante os meses de verão (outubro a março) parece ser errante devido principalmente a contaminação de núvens (Los et al., 1993), muito frequentes neste período para praticamente toda a região Amazônica; o segundo aspecto é que durante anos mais secos como foi o ano de 1983 devido ao El Niño, mesmo a vegetação de floresta densa úmida parece perder folhas e alterar sua fenologia durante o período seco. Aparentemente, quanto mais seco for o clima onde esta floresta esteja implantada mais marcante será este efeito. O mês de setembro foi o que melhor permitiu observar este efeito.

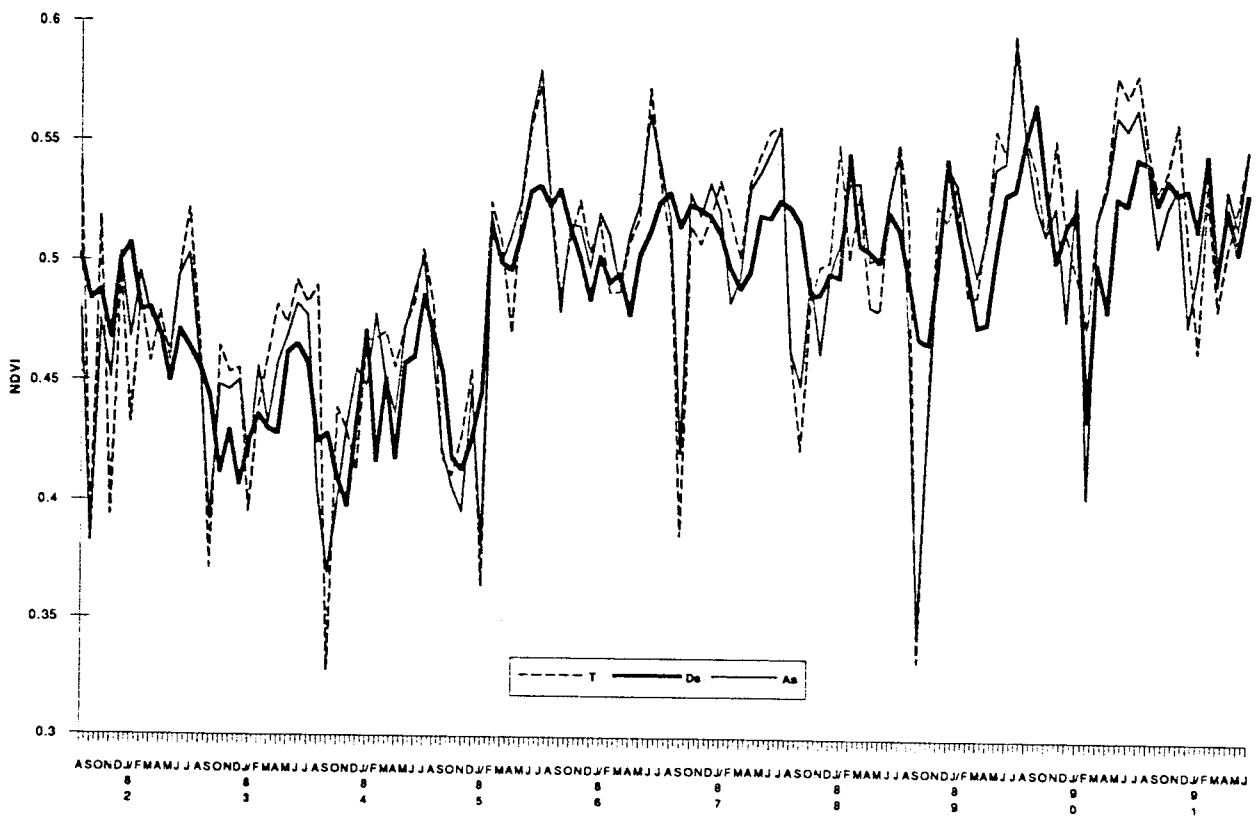


Figura 1. NDVI mensal de agosto de 81 a junho de 91 para as coberturas florestais T (floresta de transição), Ds (floresta densa submontana) e As. (floresta aberta submontana).

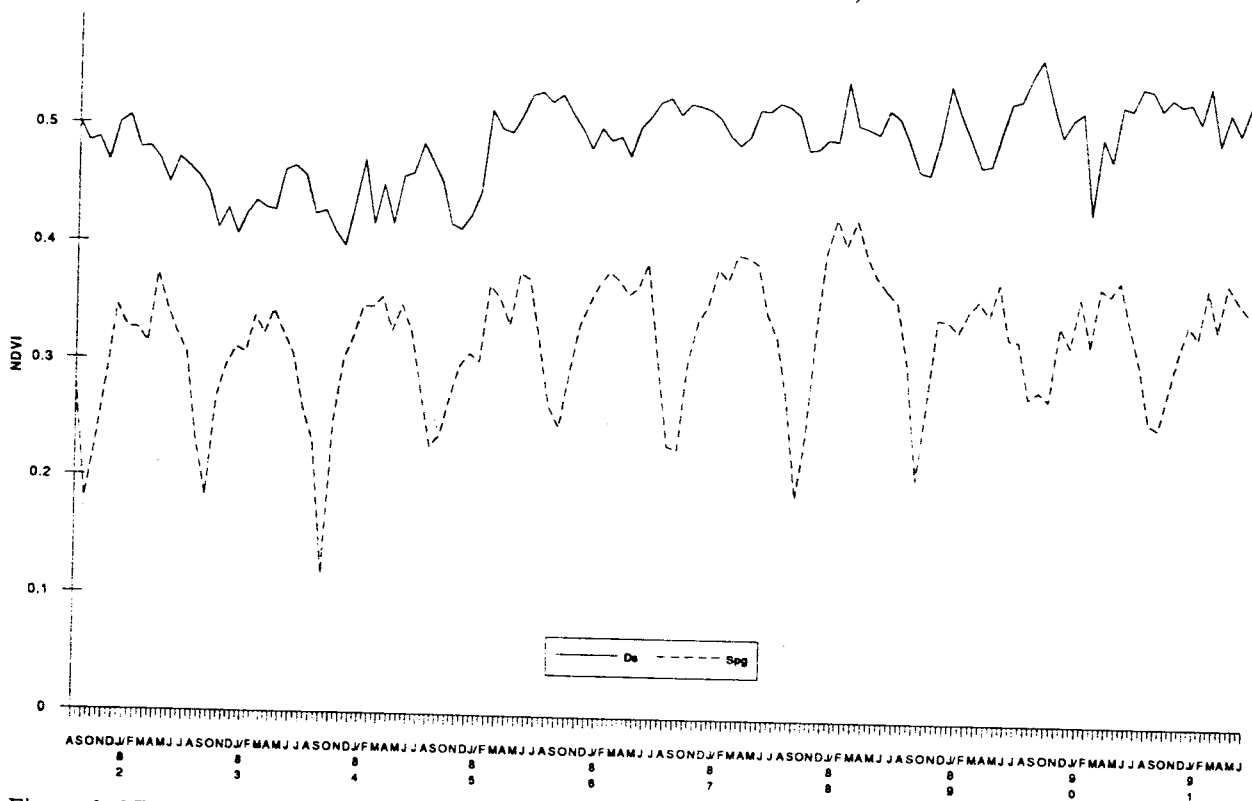


Figura 2. NDVI mensal de agosto de 81 a junho de 91 para as coberturas florestais Ds (floresta densa submontana) e Spg (cerrado preservado/campos e lenhoso).

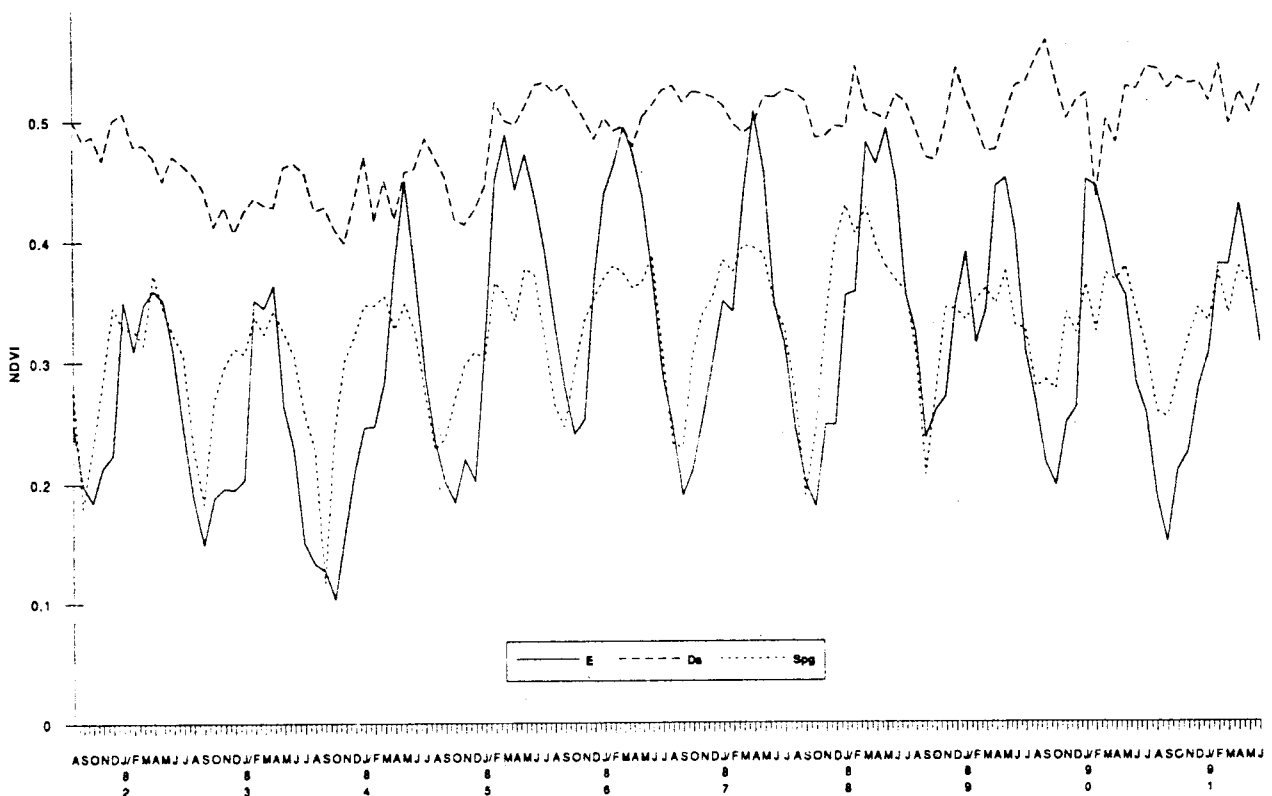


Figura 3. NDVI mensal de agosto de 81 a junho de 91 para as coberturas florestais E (caatinga), Ds (floresta densa submontana) e Spg (cerrado preservado/campos e lenhoso).

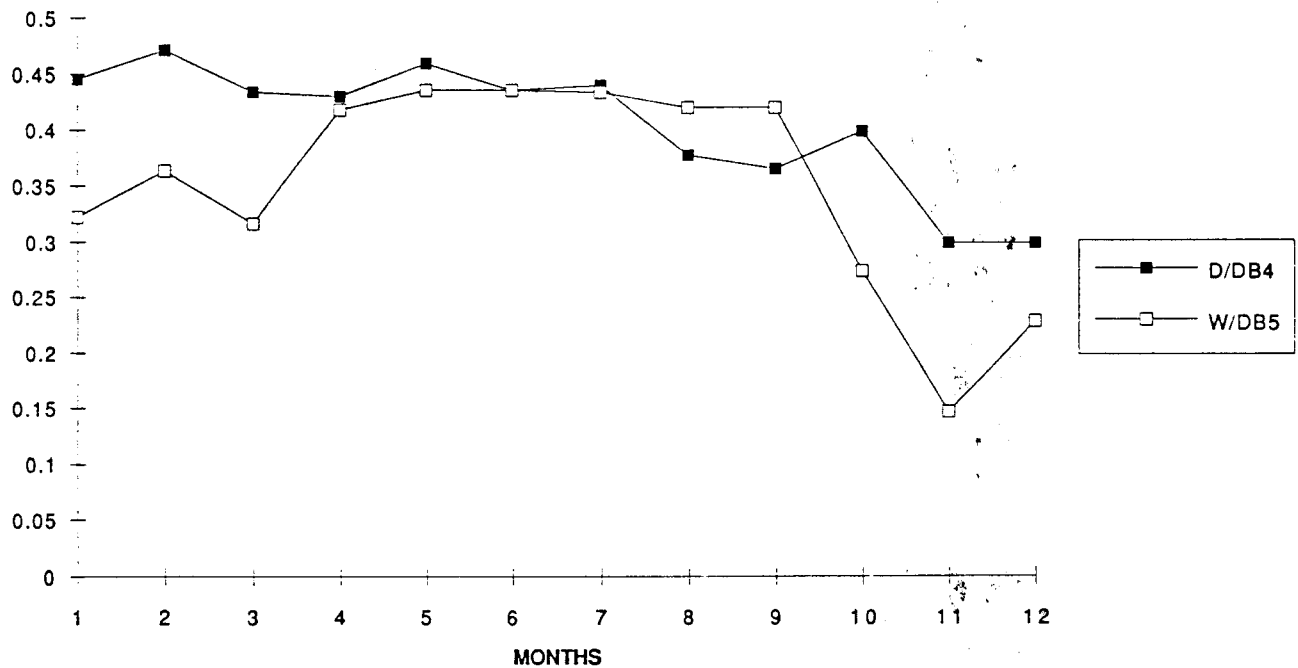


Figura 4. NDVI mensal de janeiro a dezembro de 1983 (ano de El Niño severo) de uma área de clima menos úmido (D/DB4; 3° S, 56° W) e outra de clima mais úmido (W/DB5; 4° S, 60° W).

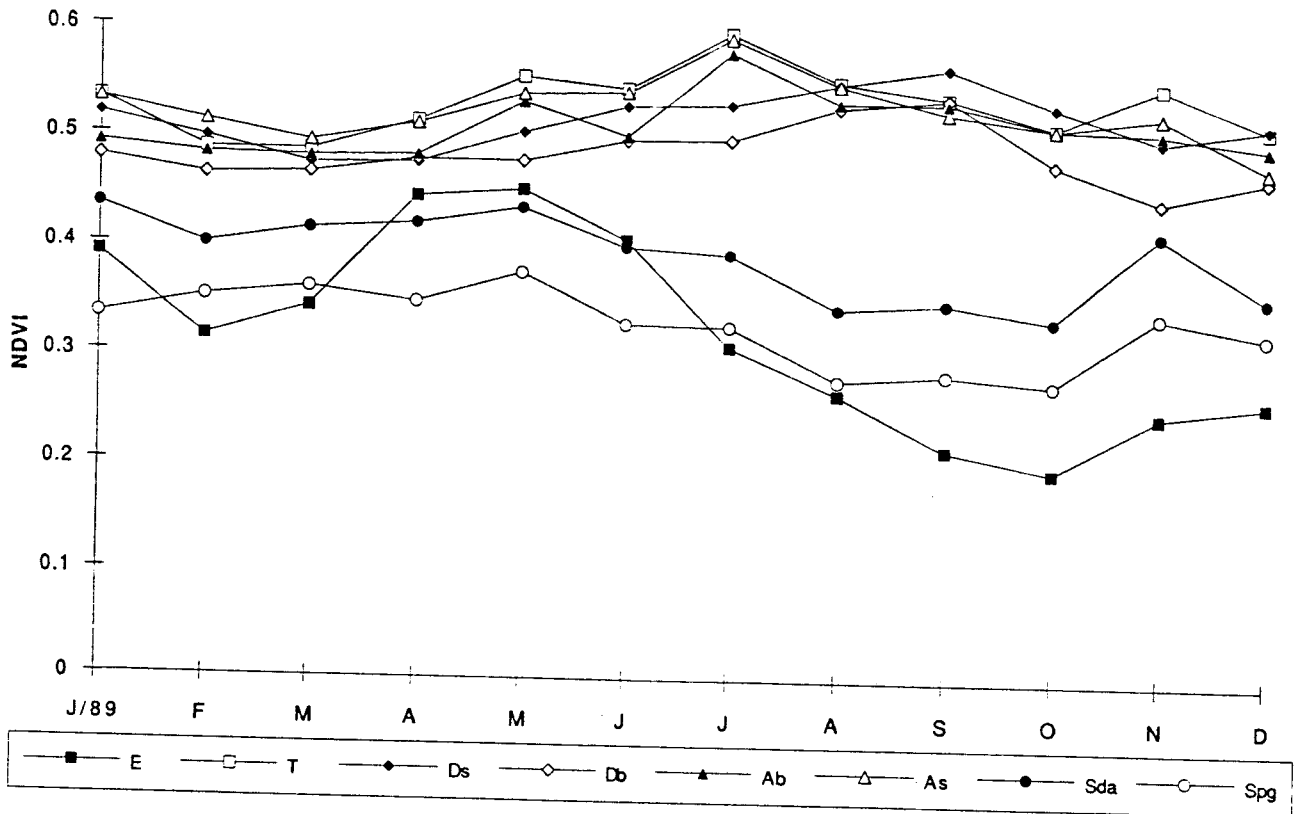


Figura 5. NDVI mensal de janeiro a dezembro de 1989 (ano chuvoso) para todas as classes de coberturas vegetais estudadas (caatinga (E), floresta de transição (T), floresta densa submontana (Ds), floresta densa de terras baixas (Db), floresta aberta de terras baixas (Ab), floresta aberta submontana (As), cerrado arbóreo denso e aberto (Sda) e cerrado de parque/campo e lenhoso (Spg)).

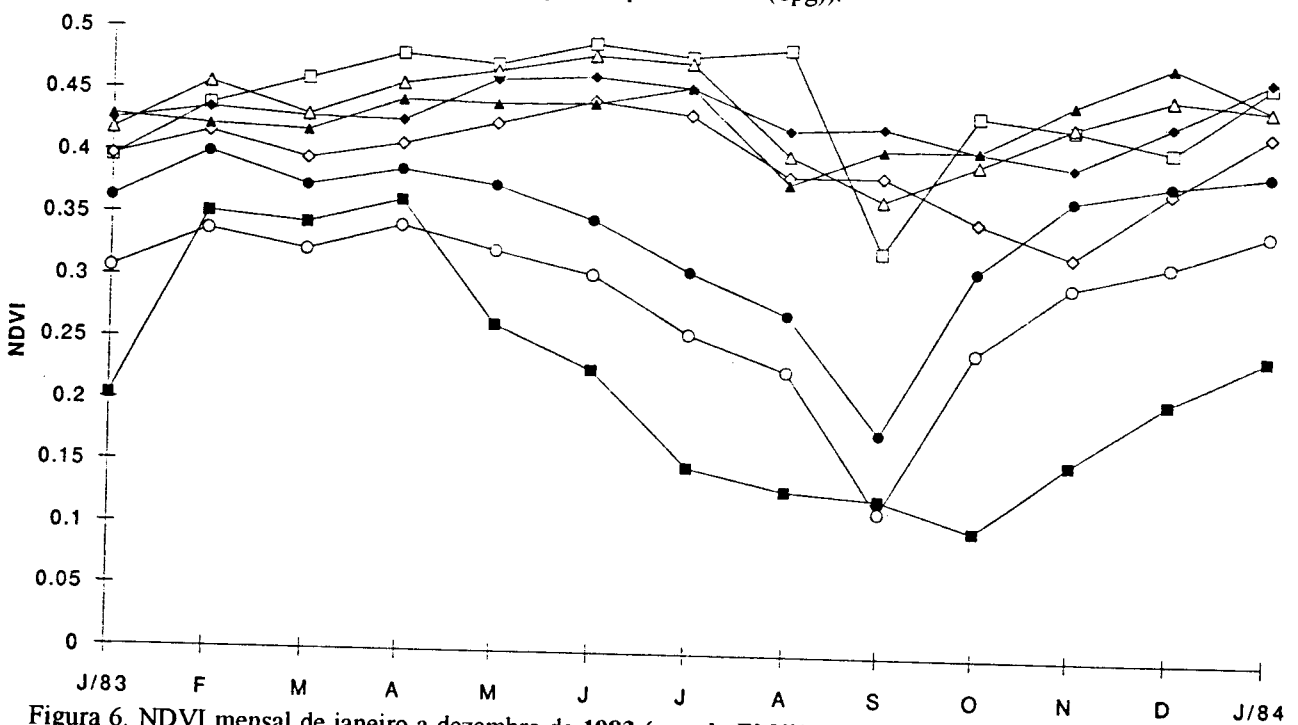


Figura 6. NDVI mensal de janeiro a dezembro de 1983 (ano de El Niño severo) para todas as classes de coberturas vegetais estudadas (caatinga (E), floresta de transição (T), floresta densa submontana (Ds), floresta densa de terras baixas (Db), floresta aberta de terras baixas (Ab), floresta aberta submontana (As), cerrado arbóreo denso e aberto (Sda) e cerrado de parque/campo e lenhoso (Spg)).

As figuras 5 e 6 mostram a variação do NDVI mensal de todas as coberturas vegetais estudadas para dois anos com regimes de chuvas bastante distintos. O ano de 1989 foi chuvoso enquanto 1983 foi seco devido ao El Niño. Observa-se que os valores NDVI foram mais altos para 1989 do que para 1983 e que a variação sazonal para 1983 foi maior do que para 1989. Embora comparações quantitativas entre os dois anos fique prejudicada pelo uso de dados de dois satélites distintos, fica evidente que mesmo as classes de vegetação arbórea densa mudam a fenologia com queda nos valores de NDVI para anos mais secos.

A análise quantitativa da variação multitemporal de longo prazo do NDVI tem de levar em conta uma série de fatores limitantes do NDVI tais como: baixa resolução espacial, ângulos de visada distintos e em certos casos com grande variação, contaminação de núvens, especialmente considerando a grande ocorrência de núvens na Amazônia durante o verão, diferença de resposta e calibração entre os diversos sensores do AVHRR utilizados e degradação dos sensores ao longo do tempo.

Conclusão

Este experimento evidenciou que o efeito do El Niño é aparente nas diversas classes de cobertura vegetal que ocorrem na Amazônia Legal, inclusive na classe floresta densa (úmida) e que as mudanças fenológicas na vegetação podem ser observadas através do NDVI. A quantificação da variação nos valores de NDVI necessita de um processo de calibração que leve em conta os diferentes satélites utilizados e a degradação dos sensores ao longo do tempo. Esta calibração pode ser feita, como proposto por Los (1993), a partir de dados NDVI já processados, sem a necessidade de recorrer aos canais originais do AVHRR o que de outra forma implicaria em custos operacionais exorbitantes.

Referências

Gallo, K.P. e T.R. Heddinghans. **The use of satellite-derived vegetation indices as indicators of climatic variability.** In: Conference on Applied Climatology, 6., Charleston, CA, 7-10 de março de 1989.

Boston, MA, American Meteorological Society, 1989, p.244-247.

Goward, S.N., C.J. Tucker, e D.G. Dye. North American vegetation patterns observed with the NOAA-7 advanced very high resolution radiometer. **Vegetatio**, 64(1):3-14, 1985.

Goward, S.N., B. Markhan, D.G. Dye, e W. Dulaney. Normalized difference vegetation index measurements from the advanced very high resolution radiometer. **Remote Sensing of Environment**, 35(2/3):257-277, 1991.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, atualmente IBAMA). **Mapa de vegetação do Brasil**, 1:5.000.000, IBGE, Rio de Janeiro, p.1, 1988.

Kennedy, P.J. Monitoring the phenology of Tunisian grazing lands. **International Journal of Remote Sensing**, 10(4/5):835-845, 1989.

Kidwell, K.B. **NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8 and NOAA-9 users guide.** Washington, D.C., NOAA/NESS, 1991.

Los, S.O. **Calibration adjustment of the NOAA AVHRR normalized difference vegetation index without recourse to component channel 1 and 2 data.** Department of Geography, University of Maryland, College Park, MD 20742-8225. 1993, pp.17.

Los, S.O., C.O. Justice e C.J. Tucker. A global 1 x 1 degree NDVI data set for climate studies. Department of Geography, University of Maryland, College Park, MD 20742-8225. 1993, pp.23.

Tucker C.J., C. Vanpraet, E. Boerwinkel, e A. Gaston. Satellite remote sensing of total dry matter production in the Senegalese Sahel. **Remote Sensing of Environment**, 13(6):461-474, 1983.

Tucker C.J. e J.A. Gatlin. Monitoring vegetation in the Adile Delta with NOAA-6 and NOAA-7 AVHRR imagery. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 50(1):53-61, 1984.

Tucker C.J., J.R.G. Towshend, e T.E. Gaff.
African land-cover classification using satellite
data. *Science*, 227(4685):369-375, 1985.

Tucker C.J., I.Y. Fung, C.D. Keeling, e R.H.
Gammon. Relationship between atmospheric
CO₂ variations and a satellite-derived
vegetation index. *Nature*, 319(16):195-199,
1986.

Agradecimento

Agradecemos ao Dr. Compton J. Tucker,
responsável pelo GIMMS Lab por colocar o
Laboratório e o conjunto de dados NDVI a nossa
disposição para a realização deste trabalho.
Agradecemos ao Sr. Wayne Newcomb pelo apoio
ao processamento dos dados. Este trabalho foi
realizado com apoio do CNPq através de bolsa
RHAE, processo no. 460883/92-5 e através da
cooperação entre o INPE, a NASA Goddard Space
Flight Center e a Universidade de Maryland dentro
do contexto do EOS/Amazônia ("Earth Observing
System").