

O Sensoriamento Remoto como Indicador das Fenofases dos Cerrados Brasileiros: Estudo de Caso com Dados AVHRR/NOAA

JOÃO ROBERTO DOS SANTOS
YOSIO EDEMIR SHIMABUKURO

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE
Av. dos Astronautas, 1758
CP. 515 - 12201-970 - São José dos Campos-SP
E-Mail: JRoberto@LTID.INPE.BR

Abstract. This work discusses the ability of the AVHRR/NOAA sensor data to monitor the phenological conditions of the different cover types in the savanna region. Digital data in savanna area (woodland and shrub/grass savanna) were obtained from monthly NDVI image (Normalized Difference Vegetation Index) recorded in GAC format (Global Area Coverage). The annual integration of monthly composites shows a senoidal behaviour through the year, with NDVI mean value of 0.39866 for woodland savanna and 0.32134 for shrub/grass savanna. Taking into account the seasonal variability of the vegetation, a maximum decrease around 32% in the NDVI values from wet to dry seasons was estimated. It could be concluded that the intra-annual variation of the photosynthetically active phytomass is influenced by the climatic conditions in the savanna environment.

1. Introdução

Diversos trabalhos técnico-científicos têm sido desenvolvidos para o melhor aproveitamento de recursos dos cerrados do Brasil Central, alguns considerando como importante o conhecimento das modificações espaciais (expansão horizontal) ocorridas em face da crescente ocupação, enquanto outros estão voltados às questões de potencialidade e produtividade, com preocupações típicas de uma expansão dita vertical. Neste amplo contexto, o sensoriamento remoto em nível orbital, que permite uma imagem sinóptica atualizada de

qualquer região, tem contribuído no processo de inventário e monitoramento dos cerrados. Por conseguinte, o presente trabalho tem como objetivo demonstrar a capacidade dos dados sensoriados, oriundos do sensor AVHRR/NOAA, para o acompanhamento das fenofases de unidades fisionômicas dos cerrados. Para tal foram geradas e analisadas as imagens "Índice de Vegetação Diferença Normalizada" (NDVI) para o período de janeiro/90 à dezembro/90, de forma a expressar o conhecimento dos padrões espectral e temporal dos cerrados. A área de estudo compreendeu a faixa contínua

dos cerrados brasileiros (área core), que cobre a maior parte dos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Piauí, Maranhão e parte dos Estados de Rondônia, Pará e São Paulo.

2. Material e Método

2.1. Dados do Sensor AVHRR/NOAA

No presente estudo, objetivando dispor de imagens-índice, através do modelo NDVI, foram empregadas a banda 1 (580nm - 680nm) onde ocorre o pico de absorção da clorofila e a banda 2 (725nm - 1100nm), na região do infravermelho próximo, relacionada a estrutura foliar. Os satélites da série NOAA podem enviar os dados do sensor AVHRR em tempo real ou registrar a bordo tais dados sob programação e transmiti-los posteriormente à estação receptora, constituindo os chamados dados LAC (Local Area Coverage), com resolução espacial de 1.1 Km no nadir. Em virtude do volume e armazenamento destes dados LAC nas plataformas NOAA, outro produto padrão do AVHRR, resultante da coleta diária é o dado GAC (Global Area Coverage), de resolução espacial de 4 Km (Goward et al, 1987). Este produto GAC é gerado eletronicamente a bordo do satélite, por amostragem contínua para para que cada pixel contenha o valor médio dos primeiros 4 pixels de uma matriz formada de 5 colunas a cada 3 linhas de varredura. As imagens "índices de vegetação" empregadas neste trabalho foram geradas a partir destes dados em padrão GAC.

2.2. Método

O procedimento metodológico adotado constou das fases: a) seleção dos dados AVHRR; b) geração da imagem NDVI (padrão GAC); c) aquisição e análise dos valores NDVI por classe de cerrado.

Considerando o interesse de analisar o comportamento da atividade fotossintética dos cerrados ao longo do ano, o período de aquisição diária das imagens AVHRR ficou compreendido entre janeiro e dezembro/90. Esta série de dados serviu para elaboração da composição de imagem mensal, como produto de passagens diárias e posteriormente mosaicadas, minimizando os efeitos da cobertura de nuvens, bem como os efeitos da visada "off-nadir" na fase de varredura (Holben e Fraser, 1983).

Os dados brutos do AVHRR foram calibrados e convertidos em valores NDVI através da formulação

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{banda } 2 - \text{banda } 1)}{(\text{banda } 2 + \text{banda } 1)}$$

sendo para formação da imagem NDVI mensal, registrados geograficamente em uma grade, levando-se ainda em conta, as melhores condições atmosféricas e de visada da cena imageada. A resolução espacial desta imagem gerada está no padrão GAC, onde cada pixel corresponde a área espacial da matriz de 3 linhas LAC (1.1 Km/linha) x 5 colunas amostradas LAC (0.8 Km/amostra), resultando em um valor pictórico de 3.3 Km x 4.0 Km (Nelson e Holben, 1986). Na fase de mosaicagem para esta composição mensal constam os dados referentes ao maior valor

de NDVI.

A partir da geração da imagem NDVI mensal, foram identificadas e posicionadas geograficamente 10 áreas representativas da classe "cerrado de porte arbóreo", (englobando as unidades fisionômicas de cerrado "sensu strictu" e de cerradão) e 9 áreas da classe "cerrado de porte herbáceo/arbustivo" (englobando as unidades de campo cerrado, campos sujo e limpo,...). O mapa de vegetação do Brasil, em escala 1:5.000.000, publicado pelo FIBGE/IBDF, serviu de fonte de consulta, juntamente com imagens do sensor TM/LANDSAT que constam do banco de dados do INPE.

Definidas as coordenadas (Tabela 1) de cada um destes pontos amostrais foi então extraído o valor NDVI mensal, equivalente a média de uma área de 3 pixels x 3 pixels. Tais valores NDVI que demonstram significativa sensibilidade às variações de fitomassa foliar e variações de índice de área foliar (indicadores de fenofases), foram plotados em forma gráfica permitindo, de maneira generalizada, uma análise do comportamento espectral das fisionomias do cerrado e uma estimativa percentual da variação intra-anual na cobertura foliar, reconhecidamente influenciada pela alternância de condições climáticas características da área core dos cerrados.

3. Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta o comportamento de valores NDVI mensais para os cerrados de porte arbóreo e aqueles de

porte herbáceo/arbustivo. Inicialmente pode-se constatar que os maiores valores de NDVI estão associados aos cerrados de maior fitomassa foliar. Enquanto as formações de cerrado com feições herbáceas/arbustivas têm valor NDVI médio anual de 0.32134, os cerrados mais densos apresentam valores médios de 0.39866. Estes NDVI médios estimados apresentam um desvio de 12.29% para o cerrado herbáceo/arbustivo, levemente superior àqueles de porte arbóreo, com desvio de 11.79%.

De uma maneira generalizada, as duas classes de cerrado apresentam um perfil semelhante de comportamento NDVI ao longo do ano, com valores máximos em fins da época chuvosa (maio, por exemplo) e valores mínimos na época seca (setembro). A plotagem destes valores NDVI para os cerrados (Figura 1), permite visualizar que a distribuição ao longo do ano se ajusta à uma função senoidal, com o acréscimo dos valores NDVIs correspondendo ao desenvolvimento da cobertura vegetal (período de disponibilidade hídrica disponível no solo e conseqüentemente maior capacidade fotossintética pela planta). Em contrapartida, a perda da vitalidade desta cobertura vegetal ao final do considerado "ciclo vegetativo" (período de seca) é traduzida por um decréscimo dos valores NDVIs.

Ao se analisar o comportamento mensal de NDVI dos cerrados (Figura 1) pode-se ainda constatar que no mês de fevereiro (NDVI = 0.38203), inserido no período chuvoso, comparado ao mês de janeiro (0.44415), houve uma gradativa

redução de valor, em torno de 14%. Isto pode ser explicado analisando-se dados do Boletim Agroclimatológico Decendial (Instituto Nacional de Meteorologia/MA) para a região dos cerrados no ano de 1990. Neste caso, considerando toda a área core dos cerrados, o mês de janeiro apresentou um valor médio de 46.2 mm de chuva e excesso hídrico de 10.3 mm no mês de janeiro, decaindo nos primeiros 10 dias de fevereiro para 37.5 mm de chuva e um déficit hídrico de 14.2 mm. Esta condição momentânea de "déficit", foi sentida pela cobertura vegetal e refletida no valor de NDVI para todo o restante de fevereiro, mesmo considerando um acréscimo pluviométrico na última quinzena deste mês, eliminando tal déficit hídrico. Após um período de forte precipitação, o NDVI aumenta no período seguinte, o que parece lógico, considerando que este seria o tempo necessário para a cobertura vegetal absorver a água disponível, aumentando sua atividade fotossintética e evapotranspirativa (Assad et al., 1988).

Na Figura 2 são apresentados os NDVIs médios para os cerrados no decorrer do período chuvoso, ilustrando apenas a condição de outubro (início) e dezembro (meados do período chuvoso). Ao final do período de seca (setembro), os cerrados de porte arbóreo apresentavam um valor de 0.30840, passando ao valor de 0.38641 em outubro, com um acréscimo de 25.30% na capacidade fotossintética, demonstrando inclusive, a significativa sensibilidade deste "índice de vegetação" às variações de fitomassa foliar e variações de área foliar dos cerrados. No caso dos cerrados

herbáceo/arbustivos tal variação set./out. atingiu 14.05%, com o NDVI iniciando o período úmido em 0.28711. A medida que ocorrem os meses de maior pluviosidade, a vegetação dos cerrados passa a ter maior NDVI, com máximo valor em maio, sendo 0.44354 e 0.37672 para aqueles de porte arbóreo e herbáceo/arbustivo, respectivamente. Somente no decorrer de toda estação úmida a variabilidade do NDVI atinge cerca de 14.78% para os cerrados de porte arbóreo e 31.21% para aqueles de estrutura herbácea/arbustiva. Isto evidencia que a dominância dos estratos rasteiros, na estrutura fisionômica dos cerrados, têm maior sensibilidade às flutuações que traduzem variações em alimentação hídrica neste período.

Na Figura 3 são apresentados os NDVI médios para os cerrados no período de seca. Neste período os dados AVHRR/NOAA registram valores NDVI de 0.41192 e 0.34239 no início de seca (junho), decrescendo para 0.30840 e 0.25174 ao final da seca (setembro), respectivamente para os cerrados de porte arbóreo e herbáceo/arbustivo. Somente na estação seca é encontrada uma taxa de variação NDVI em torno de 25% com o declínio de precipitação nesta época do ano e, conseqüentemente, declínio do conteúdo hídrico disponível no solo. Segundo dados do Boletim Agroclimatológico Decendial, para os dez últimos dias de setembro, foi registrado um déficit hídrico de 22.9 mm em média, para a região dos cerrados. Observando-se a Figura 3 pode-se ainda perceber que, independente do tipo de

cerrado, ocorre uma redução da massa fotossinteticamente ativa, refletida pelo decréscimo do valor NDVI de 7 a 8%, quando da passagem do período chuvoso (maio) para o início do período sêco (junho). Quando se analisam dados de fitomassa foliar do cerrado "strictu sensu", coletados em campo, para o período maio/junho de 639.43 g/m² e de 444.43 g/m² no período agosto/setembro (Santos, 1988), fica demonstrado que a componente sazonal exerce influência nesta baixa produção de fitomassa a medida que avança a época sêca, refletindo um decréscimo de valores NDVI (32% em média) em momentos de excesso hídrico para momentos de déficit hídrico, representando a condição de sazonalidade extrema para a região dos cerrados.

Como informação complementar são apresentados nas Figuras 4 e 5 os perfis NDVIs para cada ponto amostral por tipo de cerrado estudado, considerando como ilustração, apenas o período de sêca. Levando em conta a extensão da região core dos cerrados e os tipos fisionômicos nela encontrados, pode-se com estes perfis NDVIs melhor estimar a variação entre as amostras consideradas representativas desta tipologia vegetal e tomadas como referências neste estudo. Os nove pontos amostrais da classe de cerrado "herbáceo/arbustivo" apresentaram um valor NDVI médio igual a 0.26496, com desvio de 17.61% (Figura 4). Na amostragem esta variação encontrada reflete o posicionamento geográfico dentro da área core dos cerrados, com pontos situados na parte central da região e alguns, em zonas limitrofes de

predominância de outras formações vegetais e condições agroclimatológicas distintas. Para tanto basta observar, com dados NDVI de agosto, o ponto amostral 3 (situado ao sul das cabeceiras do rio do Sono, próximo a divisa dos Estados de Bahia, Tocantins e Piauí) e o ponto 5 (campos cerrados inundáveis ao norte de São Félix do Araguaia, na extensa várzea do Rio Araguaia), que representam os valores extremos desta amostragem. O baixo valor NDVI (0.1699) está condicionado ao elevado déficit hídrico (superior a 40%) na área, com o elevado grau de ressecamento da cobertura vegetal e também a baixa fitomassa foliar nesta unidade fisionômica. Neste mesmo período, porém de condições meteorológicas distintas, a área 5 apresentou, a partir da 2^a quinzena de agosto, uma sensível redução no conteúdo de déficit hídrico (17 mm) com os significativos 30 mm de chuva na região, o que permitiu um valor de NDVI máximo (0.3203), associado também a quantidade de fitomassa fotossinteticamente ativa neste ponto amostral.

Particularizando a discussão para os cerrados de "porte arboreo" (Figura 5), as variações nos valores NDVIs dos dez pontos amostrais estudados foram de 13.12% (Figura 5), para uma média em torno de 0.31465 para o mesmo período de agosto.

4. Conclusões

O índice de vegetação "NDVI" foi devidamente utilizado neste estudo multitemporal dos cerrados, por apresentar-se mais constante em relação às variações de condições

atmosféricas que geralmente sensibilizam distintamente as bandas espectrais componentes de sensores orbitais. A partir dos valores NDVI mensais pôde-se verificar o comportamento em "função senoidal" dos cerrados ao longo do ano, tendo como valores médios o índice de 0.39866 e 0.32134 para as unidades de porte "arbóreo" e "herbáceo/arbustivo" respectivamente. O gradiente do valor NDVI para diferentes períodos sazonais, em um momento de excesso hídrico à outro de déficit hídrico, é estimado em torno de 32%, ficando demonstrado que a componente sazonal exerce ampla influência na baixa produção de fitomassa fotossinteticamente ativa ao avanço de períodos de seca.

Os resultados de análise do perfil temporal e estimativa NDVI, para as classes de cerrado de porte "arbóreo" e "herbáceo/arbustivo", demonstram que os dados em padrão GAC (Global Area Coverage) do AVHRR/NOAA permitem o monitoramento sinóptico das condições da fitomassa fotossinteticamente ativa destas unidades. Isto pode facilitar o conhecimento dos padrões geográfico e temporal da extensa região dos cerrados, tanto das áreas de vegetação remanescentes, como aquelas em processo produtivo e sobretudo, nas de fronteira com outros domínios vegetacionais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. J.C. Tucker e Dr. W.W. Newcomb, pesquisadores do Goddard Space Flight Center/NASA (Maryland, EUA), pela cessão dos dados GAC do AVHRR/NOAA e ao CNPQ/MCT

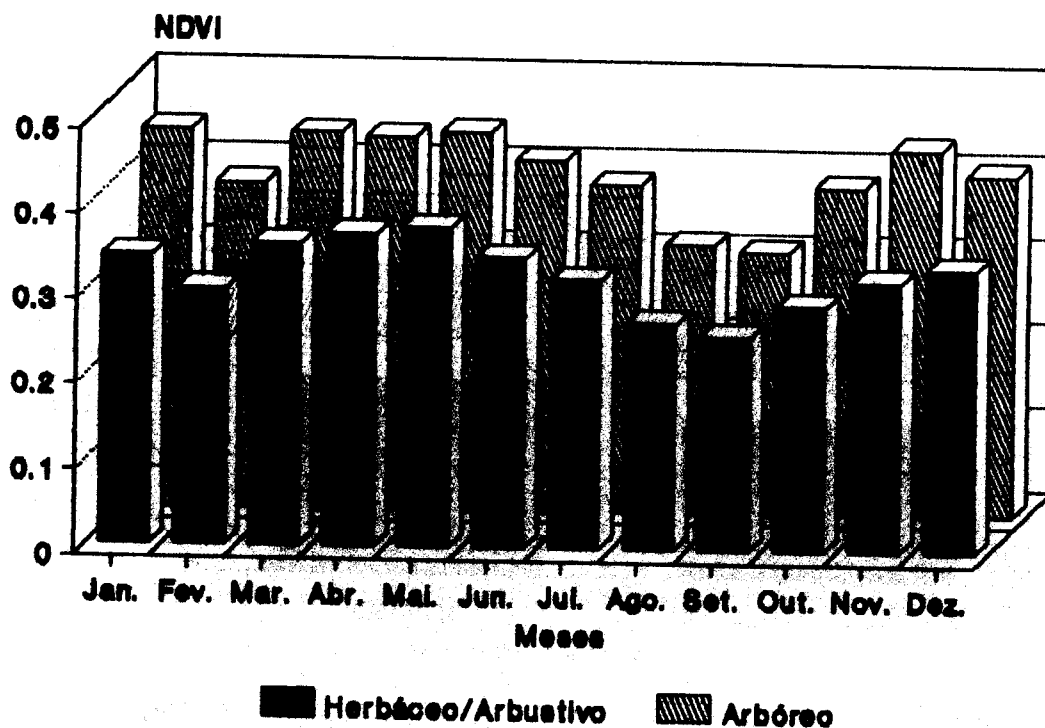
pelo suporte financeiro para a viagem técnica à NASA.

Referências

- Assad, E.D.; Setzer, A.; Moreira, L. Estimativa da precipitação através dos índices de vegetação do satélite NOAA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal-RN. 1988. Proceedings, v.2, p.425-429.
- Goward, S.M.; Dye, D.; Kerber, A.; Kalb, V. Comparison of North and South American biomes from AVHRR observations. Geocarto International, 1: 27-39, 1987.
- Holben, B.; Fraser, R.S. Effects of atmosphere and view and illumination geometry on visible and near infrared radiance from the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). Remote Sensing of Environment, 9: 115-129, 1983.
- Nelson, R.; Holben, B. Identifying deforestation in Brazil using multiresolution satellite data. International Journal of Remote Sensing, 7(3):429-448, 1986.
- Santos, J.R. Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite Landsat. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Curitiba, Univ. Paraná, 1988. 156p.

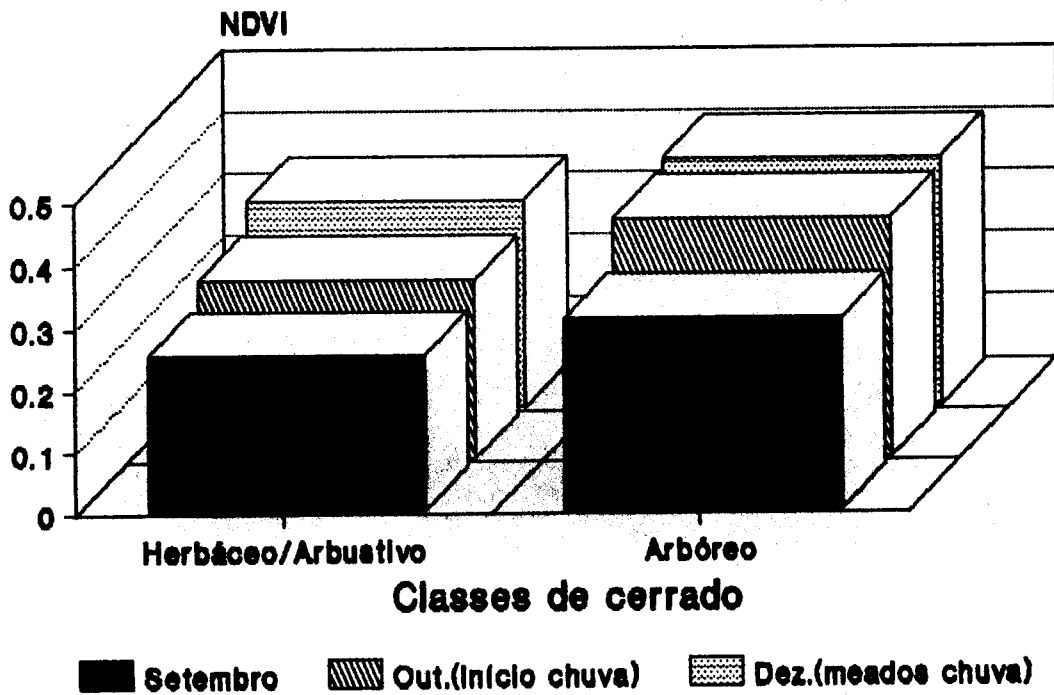
Tabela 1 - Localização dos pontos amostrais para os cerrados de porte arbóreo e porte herbáceo/arbustivo

Amostra	Cerrado Arbóreo	Cerrado Herbáceo/Arbustivo
01	9° 01'S e 45° 02'W	18° 39'S e 45° 38'W
02	13° 37'S e 45° 51'W	6° 52'S e 45° 47'W
03	6° 52'S e 47° 00'W	10° 49'S e 47° 38'W
04	17° 02'S e 47° 01'W	18° 01'S e 47° 51'S
05	14° 05'S e 48° 39'W	11° 38'S e 51° 00'W
06	11° 37'S e 49° 52'W	13° 39'S e 51° 39'W
07	19° 02'S e 54° 39'W	14° 48'S e 55° 38'W
08	15° 03'S e 56° 37'W	19° 04'S e 56° 47'W
09	16° 02'S e 57° 00'W	14° 49'S e 59° 38'W
10	13° 51'S e 59° 39'W	-



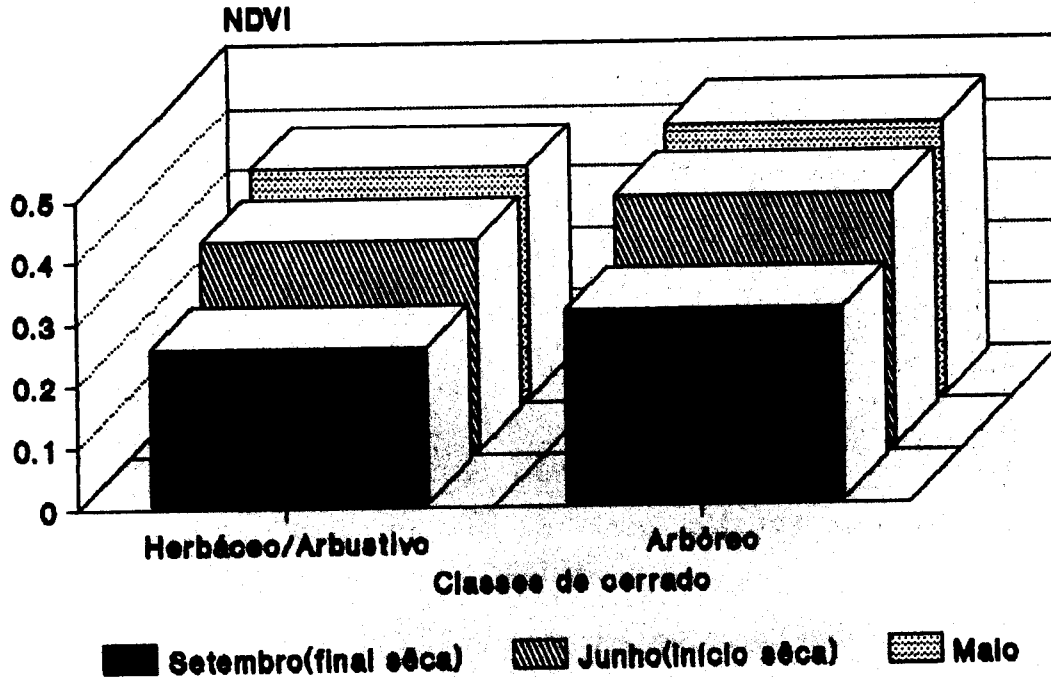
Imagens AVHRR/NOAA de 1990.

Figura 1: Comportamento NDVI para os cerrados brasileiros.



Imagens AVHRR/NOAA de 1990.

Figura 2: Valores NDVI para os cerrados: variabilidade no período chuvoso.



Imagens AVHRR/NOAA de 1990.

Figura 3: Valores NDVI para os cerrados: variabilidade no período de seca.

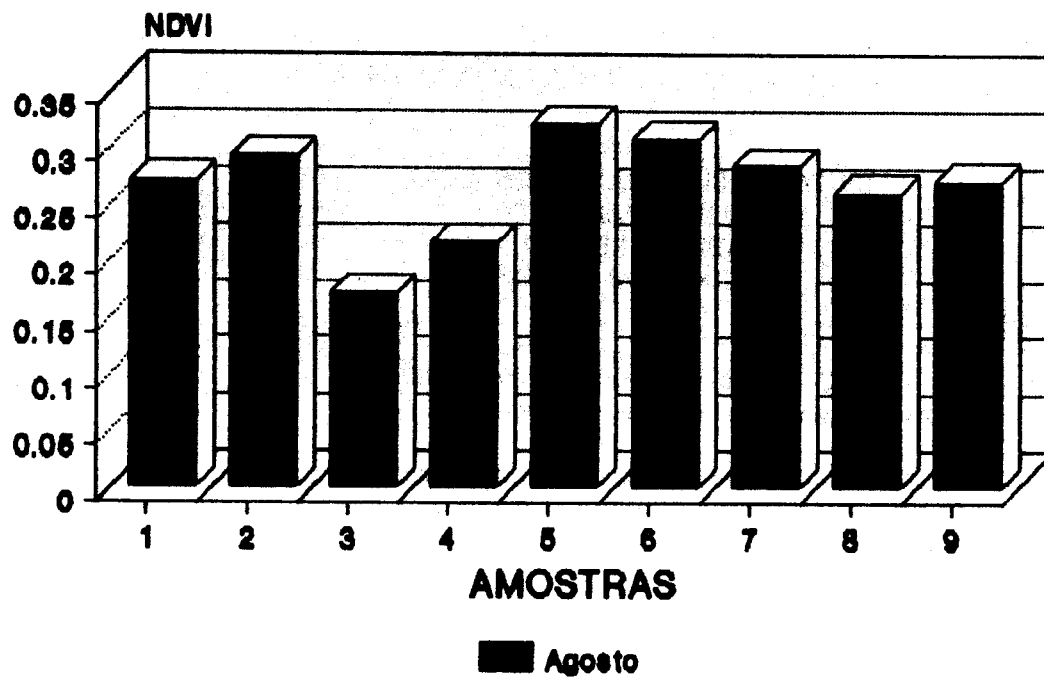


Figura 4: Perfil NDVI de pontos amostrais representativos do cerrado herbáceo/arbustivo (período: agosto).

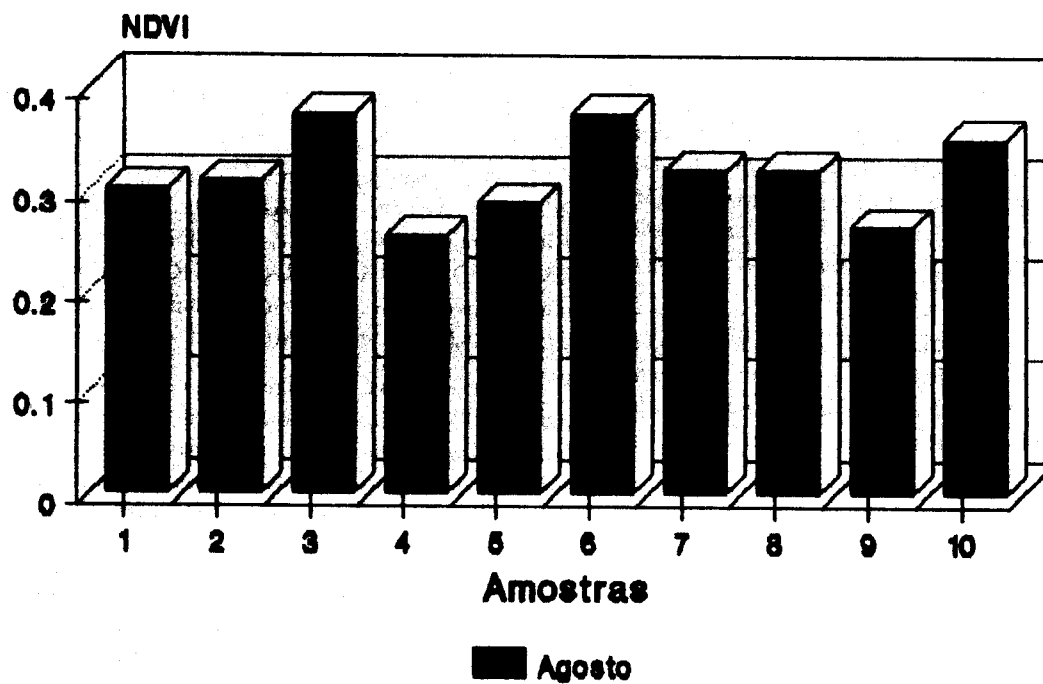


Figura 5. Perfil NDVI de pontos amostrais representativos do cerrado arbóreo (período: agosto).