

## **Análise da Variabilidade Espacial e Temporal do NDVI sobre o Brasil**

HELEN DA COSTA GURGEL<sup>1</sup>  
NELSON JESUS FERREIRA<sup>1</sup>  
ALFREDO JOSÉ BARRETO LUIZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-097 - São José dos Campos - SP, Brasil  
helen.gurgel@bol.com.br  
nelson@met.inpe.br  
barreto@ltid.inpe.br

**Abstract** This work studies the variability of the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) over Brazil. For this purpose, NDVI data, obtained from NOAA-AVHRR between January/82 and December/93, were analyzed, using the statistical tool Cluster Analysis. The cluster analysis of NDVI data, sorted seven great vegetation groups that appear in Brazil and showed the annual and interannual variation, as well as these groups response time to precipitation. The Cluster Analysis of NDVI demonstrated the potentiality of this variable in characterizing the main features of vegetation that prevail in the Brazilian territory. In addition, annual and interannual variability of these vegetation groups related to the climatic variability.

**Keywords:** NDVI, AVHRR/NOAA, Cluster Analysis, Climatic Variability.

### **1. Introdução**

Nas últimas décadas, com o advento do sensoriamento remoto orbital, tornou-se possível o monitoramento da evolução espacial e temporal das mudanças na cobertura da superfície terrestre. Valendo-se de sensores multiespectrais, fenômenos como queimadas, desmatamentos, expansão urbana e mudanças na cobertura vegetal, passaram a ser estudados de forma objetiva.

A vegetação tem uma assinatura espectral específica quando comparada com a grande maioria dos alvos terrestres, assim, vários estudos relacionados à identificação e mapeamento da vegetação têm se baseado na premissa de contraste espectral entre a reflectância da vegetação e os elementos de fundo da cena. A combinação entre a reflectância da vegetação nas faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, tem sido denominada índice de vegetação. Um dos índices de vegetação mais conhecidos é o índice de vegetação por diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) no qual a diferença entre a reflectância no canal do infravermelho próximo e no do vermelho é dividida pela sua soma (Rouse et al., 1974).

Recentemente, atenção considerável tem sido dada aos índices de vegetação calculados a partir do sensor AVHRR da série NOAA. O NDVI calculado a partir dos dados do AVHRR é frequentemente utilizado para o monitoramento regional ou global da vegetação, por compensar parcialmente mudanças de condições de iluminação, declive superficial, aspectos de visadas, e opacidade atmosférica. Diversos estudos já foram feitos utilizando estes dados, tal como o de Potter e Brooks (1998), que realizaram uma análise global entre a variabilidade anual do clima e a variabilidade sazonal do NDVI; e o de Batista et al. (1997), que utilizando dados de NDVI da

Amazônia, do período de 1981 a 1991, determinaram os tipos de vegetação dominantes e ainda identificaram variações interanuais associadas a mudanças nas condições ambientais.

O objetivo deste trabalho é identificar e avaliar os padrões espaciais e temporais de variabilidade do NDVI no Brasil, nas escalas anual e interanual e diagnosticar as principais características associadas às mudanças de grande escala de NDVI.

## 2. Dados e Metodologia

O conjunto de imagens de NDVI utilizado foi produzido pelo Grupo de Estudos de Monitoramento e Modelamento do Inventário Global (GIMMS - *Global Inventory Modeling and Monitoring Study*) da GSFC/NASA (*Goddard Space Flight Center/National Aeronautics & Space Administration*). Essas imagens são composições mensais, disponibilizadas com resolução espacial de 8 km x 8 km, na projeção Goode Interrupted Homolosine, em formato binário de 8 bits, e abrange o período de 1982 a 1993 totalizando 144 imagens. Os dados cobrem todo o território brasileiro e as informações relativas aos oceanos e aos grandes corpos d'água estão mascaradas com valor um. Informações completas sobre estes dados podem ser encontradas em Goddard (1999).

A análise de agrupamento foi realizada no conjunto de dados de NDVI, em uma janela de 6° N a 33°30'S e 34°30'W a 74°30'W sobre a América do Sul na faixa compreendida entre os extremos norte/sul e leste/oeste do Brasil. Porém, devido ao tamanho da área de estudo e também ao grande número de imagens, foi necessário fazer uma reamostragem do tamanho do pixel, passando-o de 8 km para 64 km, a fim de viabilizar a análise. Esta reamostragem foi realizada através da média de uma janela de 4 x 4 pixels.

A técnica de classificação que mais se adequou ao objetivo de identificar regiões semelhantes quanto ao índice de vegetação, foi à análise de agrupamentos. Devido ao grande volume de dados utilizou-se o algoritmo de agrupamento (clustering) chamado Fastclus, que é baseado na distância Euclidiana, do aplicativo SAS. Os dados utilizados foram arranjados na forma de uma matriz, na qual as linhas correspondiam aos pixels e as colunas aos valores de NDVI para cada um dos 144 meses considerados. Os valores de latitude e longitude de cada pixel foram normalizados e compuseram mais duas colunas de atributos.

## 3. Resultados

Utilizou-se a análise de agrupamento para verificar a possibilidade de se localizar no espaço geográfico, a partir dos dados de NDVI as grandes formações vegetais brasileiras e assim obter o comportamento temporal do NDVI dessas formações, além de tentar identificar os tipos de vegetação onde os efeitos das anomalias climáticas foram mais evidentes.

A descrição da variabilidade da precipitação utilizada para a compreensão dos resultados da análise de agrupamento realizada nos dados de NDVI foi baseada em Rao e Hada (1990).

A análise dos resultados obtidos na análise de agrupamento, foi baseada na interpretação dos nove grupos que estão ilustrados na **Figura 1**, comparando e relacionando-os a um ou mais tipos de vegetação, baseando-se no mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 1993). As análises de cada grupo serão apresentadas nos tópicos a seguir:

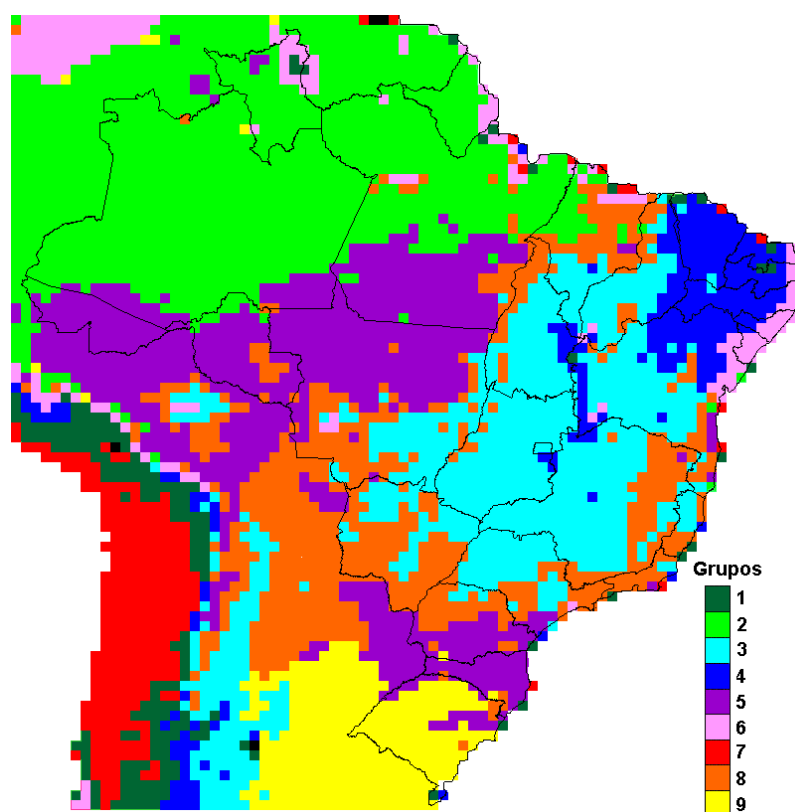


Figura 1 – Resultado da análise de agrupamento realizada nos dados de NDVI.

### 3.1 Primeiro Grupo

Como a área de estudo engloba o entorno do Brasil, o primeiro grupo (verde escuro) encontrado pela análise de agrupamento foi à região dos Andes. Apesar de pequenas áreas do Brasil, que possuem baixos valores de NDVI ( $\pm 0,30$ ), terem sido classificadas neste grupo, ele não foi analisado, pois situa-se fora da área de estudo.

### 3.2 Segundo Grupo

O segundo grupo (verde claro) representa a região da floresta ombrófila densa (**Figura 1**), do norte do Brasil. Devido à pequena resolução espacial dos dados (64 km x 64 km), algumas áreas de floresta de transição no noroeste do Amazonas foram classificadas neste grupo. Como pode ser observado na **Figura 2**, este tipo de vegetação não apresenta um ciclo anual muito nítido. O máximo de NDVI desta formação vegetal, geralmente ocorre em junho, dois meses após o período de chuvas que vai de fevereiro a abril. Uma outra característica observada é a ocorrência de dois períodos de NDVI baixo; um entre fevereiro e março e outro entre setembro e novembro. O primeiro período, que aparentemente é mais marcante que o segundo, deve estar relacionado à contaminação de nuvens, que são muito frequentes nesta época do ano em praticamente toda a região Amazônica (Batista et al., 1997). O segundo período está relacionado à época de diminuição das chuvas na região, que se estende de julho a outubro.

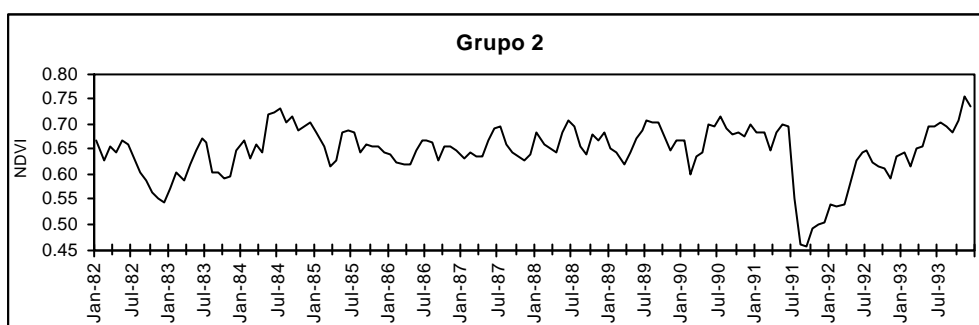


Figura 2 - Média mês-ano do segundo grupo da análise de agrupamento de NDVI.

Observar-se à ocorrência de duas quedas acentuadas (**Figura 2**) no NDVI nos anos de 1982/83 e 1991/92, que são anos de El Niño. No segundo caso, a queda foi mais marcante que a primeira, porém o El Niño deste período foi menos intenso que o de 1982/83. Deve-se destacar que neste período houve a erupção do vulcão Pinatubo (Filipinas, Junho de 1991), o que também pode ter ocasionado uma diminuição do NDVI (Tanré et al., 1992).

### 3.3 Terceiro Grupo

O terceiro grupo (azul claro) representa o cerrado (**Figura 1**) que apresenta um ciclo anual bastante nítido (**Figura 3**), possuindo valores máximos de NDVI entre março e maio, relacionados com o período das chuvas. A grande variabilidade do NDVI é decorrente da queda das folhas de grande parte dos indivíduos desta formação vegetal, durante o período de seca.

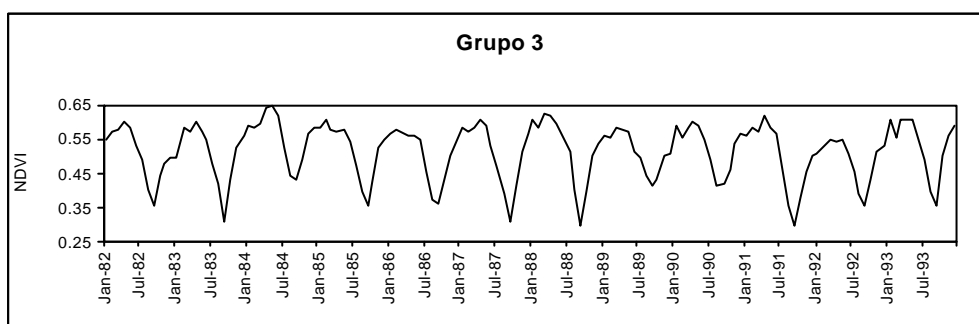


Figura 3 - Média mês - ano do terceiro grupo da análise de agrupamento de NDVI.

Observa-se também que no período seco dos anos 1983, 87, 88 e 91 o NDVI apresentou uma queda acima da média (**Figura 3**). Nestes anos, com exceção de 1988, ocorreram eventos de El Niño que ocasionaram uma diminuição na precipitação na região central do Brasil (Gurgel, 2000). Além disso, em 1988 ocorreu o maior número de focos de fogo já registrados em toda a região central do Brasil nesta região (Setzer, 1999). De acordo com Tanré et al. (1992), os aerossóis resultantes das queimadas, ocasionam uma redução nos valores do NDVI.

### 3.4 Quarto Grupo

O quarto grupo (azul escuro) representa a caatinga. Esta vegetação apresenta um ciclo anual bem definido, com um período seco marcante (**Figura 4**). Os valores mais altos de NDVI ocorrem entre os meses de abril e maio, que é o final da época das chuvas. Os meses de setembro e outubro apresentam os menores valores de NDVI. Este é o período mais seco desta região.

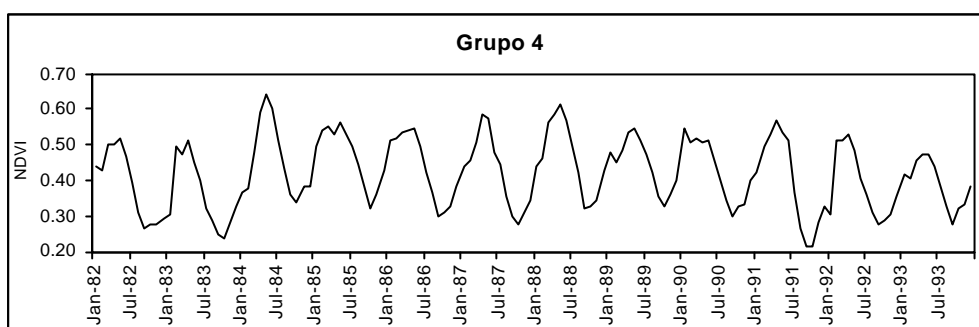


Figura 4- Média mês-ano do quarto grupo da análise de agrupamento de NDVI.

No período da ocorrência de El Niño em 1982/83 e 1991/93, os valores de NDVI ficaram abaixo da média, apresentando uma acentuada queda nos meses mais secos. Entretanto, esse decréscimo não foi tão acentuado como os que ocorreram no grupo 2 e 3. Aparentemente isto ocorre porque normalmente grande parte dos indivíduos da caatinga perdem as folhas na época seca. Isto também explica a fraca anomalia observada na época seca durante o El Niño de 1986/87.

### 3.5 Quinto Grupo

Quinto grupo (roxo) representa a floresta ombrófila aberta e a floresta ombrófila mista (**Figura 1**). O primeiro tipo de vegetação se localiza em toda borda sul da floresta ombrófila densa e o segundo abrange o estado de Santa Catarina e o sul do Paraná. Estes tipos de vegetação possivelmente foram classificados num único grupo, por apresentarem padrões florestais semelhantes com valores de NDVI bem próximos, e um ciclo anual comum. As formações vegetais deste grupo apresentam um ciclo anual pouco nítido (**Figura 5**). O mês de setembro, que é o final do período de seca, se destaca dos demais por apresentar os menores valores de NDVI. O período em que ocorrem os maiores valores de NDVI não são bem definidos, iniciando-se em novembro e estendendo-se até junho quando ocorrem os valores máximos. Isto talvez ocorra porque em novembro (início do período chuvoso) observa-se bastante nebulosidade na região, ocasionando uma diminuição no NDVI. Já no outono a nebulosidade diminui, elevando gradualmente o valor do NDVI.

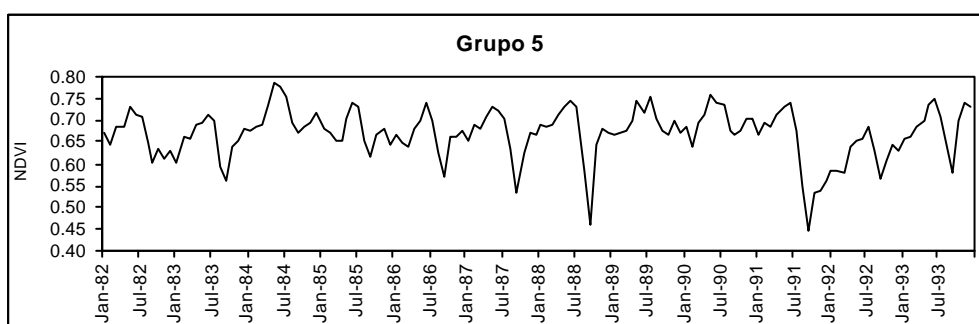


Figura 5 - Média mês-ano do quinto grupo da análise de agrupamento de NDVI.

A variabilidade dos tipos de vegetação deste grupo também apresenta oscilações em anos de El Niño (1982/83, 1986/87 e 1991/92). Porém, o El Niño de 1982/83, que foi o mais forte, não causou tanto impacto como nos demais grupos. Observa-se também, que setembro de 1988 é o mês que mais se destaca no período analisado, este foi o ano que apresentou em toda a região central do Brasil, um dos maiores números de focos de fogo já registrados.

### 3.6 Sexto Grupo

O sexto grupo (rosa) é o menor grupo e representa a vegetação das regiões da zona da mata nordestina (litoral leste do nordeste) e dos campos de Roraima. A vegetação desta região está bastante alterada, sendo a agricultura, a principal cobertura vegetal. As vegetações deste grupo apresentam um ciclo anual nítido (**Figura 6**). Em junho e julho, final da época chuvosa, ocorrem os maiores NDVI. Os menores valores ocorrem entre fevereiro e março, alguns meses antes do início das chuvas. Possivelmente, isto se dá devido à capacidade de retenção de água pelo solo nesta região, pois a vegetação consegue atravessar o período seco (outubro a dezembro) sem que ocorra uma queda marcante no NDVI.

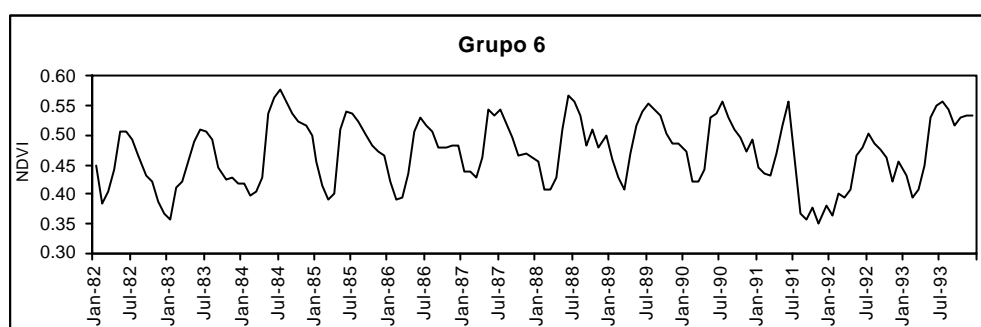


Figura 6 - Média mês-ano do sexto grupo da análise de agrupamento de NDVI.

A análise desse grupo também revela que em 1982/83 o NDVI esteve abaixo da média e em 1991/92 os meses que deveriam ter valores altos de NDVI apresentaram valores muito baixos (**Figura 6**). Isto sugere que nestes períodos ocorreu precipitação abaixo do normal. Como consequência, os meses (maio a agosto) que deveriam ter valores altos de NDVI no ano seguinte, apresentaram valores abaixo da média. Observa-se também, que o El Niño de 1987, foi mais ameno que os de 1982/83 e de 1991/92. Neste ano o período de seca não foi tão afetado como nos demais anos de El Niño, apresentando inclusive NDVI um pouco acima da média, no período chuvoso os valores ficaram ligeiramente abaixo da média.

### 3.7 Sétimo Grupo

O sétimo grupo (vermelho), que representa a região da costa do oceano Pacífico, não foi analisado, pois não pertence às formações vegetais brasileiras. Ele foi classificado porque a área de estudo da análise de agrupamento, compreende áreas da América do Sul localizadas no entorno do Brasil.

### 3.8 Oitavo Grupo

O oitavo grupo (laranja), aparentemente não representa um grupo fitogeográfico definido; pode-se dizer que é uma área de transição no entorno do cerrado (**Figura 1**). Provavelmente ele foi classificado devido a reamostragem dos dados que aumentou a área do pixel de 8 km para 64 km, o que ocasionou uma "área de confusão" no entorno do cerrado. A vegetação representada neste grupo possui um ciclo anual nítido (**Figura 7**), o máximo de NDVI ocorre em maio, que é o final da época chuvosa na maior parte da região. O mínimo é bem marcante e ocorre em setembro, no final da época seca.

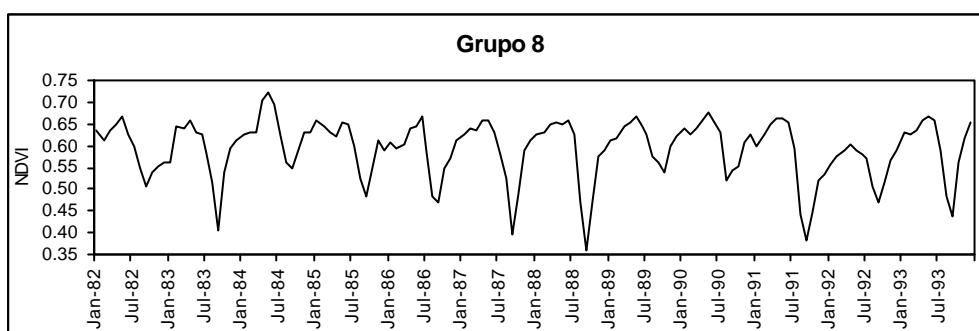


Figura 7 – Média mês-ano do oitavo grupo da análise de agrupamento de NDVI.

Os anos de ocorrência do El Niño, 1983, 1987, e 1991/92, apresentaram um período seco bastante pronunciado principalmente em 1992. Entretanto, foi no ano de 1988 que ocorreram os menores valores de NDVI na época da seca. Este ano como já foi relatado, foi o que apresentou o maior número de focos de incêndio.

### 3.9 Nono Grupo

O nono grupo (amarelo) representa as campanhas gaúchas, a região de estepe do sul do Brasil. Este tipo de vegetação não apresenta um ciclo anual nítido (**Figura 8**), os valores máximos de NDVI geralmente ocorrem entre março e junho e os valores mínimos, melhores definidos, ocorrem no mês de agosto. Nessa região, o período das chuvas é muito variado, o que possivelmente influencia no padrão do ciclo anual. Entretanto, o noroeste do Rio Grande do Sul apresenta um regime de chuvas conforme sugere a variabilidade do NDVI. Como a maior parte deste grupo se localiza nesta região, este deve ter tido um peso maior na caracterização do ciclo anual.

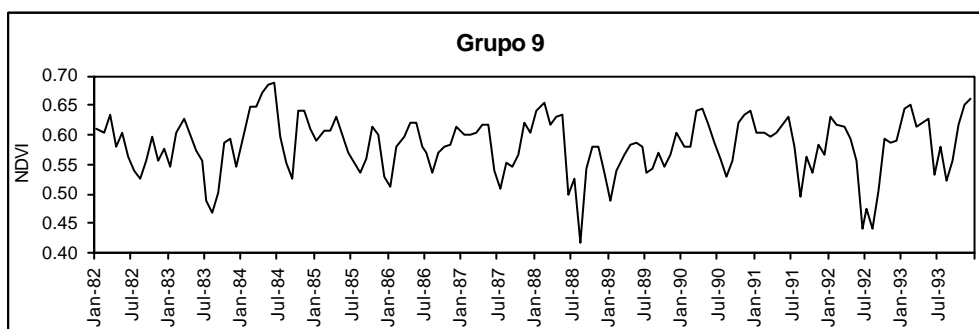


Figura 8 - Média mês-ano do nono grupo da análise de agrupamento de NDVI.

Baixos valores de NDVI são observados, em 1982 e 1992 (anos de El Niño), porém isto não devem ter sido ocasionados por seca e sim por enchentes. Pois, a literatura demonstra que há ocorrência do aumento de chuvas para a região sul do Brasil durante o El Niño (Kousky e Cavalcanti, 1984). Além de que logo após o período de queda do NDVI ocorrem valores acima da média, que devem estar relacionados com o aumento de disponibilidade de água no solo. No final de 1987 e início de 1988, também anos de El Niño, não teve queda no NDVI, apenas valores máximos de NDVI acima da média. Isto deve ter ocorrido porque este evento não foi tão intenso como os demais o que não ocasionou enchentes muito intensas. No final de 1988, ano de La Niña, caracterizado por pouca chuva no sul, houve uma forte queda no NDVI.

#### 4. Conclusões

A análise de agrupamento realizada nos dados de NDVI, revelou a variabilidade anual e interanual e o tempo de resposta à precipitação das grandes manchas de vegetação que ocorrem no Brasil. Os tipos de vegetação localizados em regiões com períodos secos e chuvosos marcantes, como é o caso do cerrado e da caatinga, apresentam ciclo anual bem caracterizado e respondem de forma rápida à ocorrência de chuva. Além disso, constatou-se que os eventos de ENSO, independente da sua intensidade, afetam distintamente os vários tipos de vegetação. O NDVI das vegetações mais densas e verdes durante todo o ano, como é o caso da floresta Amazônica, são os que apresentaram maior variabilidade quando ocorrem anomalias climáticas. Por outro lado, nas regiões onde o El Niño provoca uma diminuição da precipitação e que tem um período seco bem definido, como é o caso de grande parte do Nordeste, o NDVI apresenta pouca variabilidade durante o período seco e um ligeiro decréscimo no período chuvoso.

#### Referências

- Batista, G. T.; Shimabukuro, Y. E.; Lawrence, W. T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 15, p. 3195-3210, Oct. 1997.
- Goddard Distributed Active Archive Center (DAAC). **Pathfinder Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) Land FTP Data**, [on line] <[http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN\\_DOCS/FTP\\_SITE/readmes/pal.html](http://daac.gsfc.nasa.gov/CAMPAIGN_DOCS/FTP_SITE/readmes/pal.html)> Jan. 1999.
- Gurgel, H. C. **Variabilidade Espacial e Temporal do NDVI sobre o Brasil e suas Conexões com O Clima**. São José dos Campos. 114 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) **Recursos Naturais e Meio Ambiente: uma visão do Brasil**. Sueli Sirena Cladeiron – coordenadora. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos naturais e Estudos Ambientais, 1993, 154p.
- Kousky, V. E.; Cavalcanti, I. F. A. Eventos Oscilação - El Niño: Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v. 36 n.11 p. 1888-1899, Nov. 1984.
- Potter, C. S.; Brooks, V. Global analysis of empirical relations between annual climate and seasonality of NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, n.15, p.2921-2948, Oct. 1998.
- Rao, V. B.; Hada, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.
- Rouse, J. W.; Hass, R. H.; Deering, D. W.; Schell, J. A. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Austin: Texas A. M. University, College Station, 1974.
- Setzer, W. A. **Queimadas no Brasil**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José Campos, 1999). Comunicação pessoal.
- Tanré, D.; Holben, B. N.; Kaufman, Y. J. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n. 2, p. 231-248, Feb. 1992.