

## **Análise da variabilidade temporal do NDVI/MODIS na Região Sul do Brasil.**

Roberta Rosemback<sup>1</sup>  
Jorge Conrado Conforte<sup>1</sup>  
Yosio Edemir Shimabukuro<sup>1</sup>  
Nelson Jesus Ferreira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{roberta, , conrado, yosio, nelson }@ltid.inpe.br

**Abstract.** This study deals with the multiple time scale variability of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) from MODIS sensor in Southern Brazil during the Feb 2000 – Feb 2006 period. The analysis was done using the wavelet transform of a 16 days NDVI time series. The obtained results allow to depict several cycles of the vegetation cover in that region. The most evident periods are the annual and semi-annual cycles, but scales smaller fluctuations are also present. Apparently these cycles are associated with the prevailing vegetation types and the regional climate behavior.

**Palavras-chave:** remote sensing, wavelets, NDVI, sensoriamento remoto, ondeleta.

### **1. Introdução**

O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), hoje gerado a partir de imagens de diversos sensores orbitais, vem sendo usado para as análises da cobertura vegetal há mais de duas décadas. O índice gerado sistematicamente pelo AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*)-NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) foi amplamente utilizado para a classificação de diferentes coberturas vegetais, observação do comportamento médio e anomalias, detecção de mudanças, entre outras aplicações (Ornelas de Anda et al., 1992; Gurgel e Ferreira, 2003). A disponibilidade desse dado é quase diária, porém a melhor resolução espacial que apresenta é de 1,1 km, o que restringe sua aplicação.

Com o objetivo de entender e monitorar as mudanças globais de maneira integrada, instituições de cunho científico de diversos países criaram o programa ESE (*Earth Science Enterprises*), o qual compreende o EOS (*Earth Observing System*) da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). O EOS é um programa de longa duração que prevê o lançamento de diversos satélites para a medição também diária da superfície da terra, oceanos e atmosfera. O satélite Terra, de passagem diurna (10:30 hs.), foi o primeiro lançado, em 1999, e começou a fornecer dados em Fevereiro de 2000 (Anderson, 2003). O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), a bordo deste satélite, tem como principal característica a ampla cobertura espacial e espectral. Este sistema fornece uma série de produtos, entre eles, o NDVI, que com o intuito de dar continuidade à aquisição de dados realizada pelo AVHRR, é gerado automaticamente na forma de mosaicos de 16 dias, cuja melhor resolução espacial disponível é de 250m.

Esta evolução trouxe novas perspectivas às análises a cerca da dinâmica da vegetação. O monitoramento da cobertura vegetal em tempo real e o estudo mais acurado do comportamento de determinadas formações vegetais frente às adversidades climáticas locais que decorrem de eventos climáticos globais são exemplos (Jin and Sader, 2005; Valeriano et al.; 2005). Contudo, poucos estudos enfocam a influência de fenômenos não-cíclicos como os meteorológicos de curta duração (geadas, veranicos etc.).

O enfoque deste trabalho é a utilização dos dados MODIS como diagnóstico preliminar desses eventos em uma amostra de Mata Atlântica, no Estado do Paraná. Pretende-se

futuramente aplicar a metodologia aqui apresentada na identificação de tais perturbações, inclusive as causadas por ações antrópicas, na cobertura vegetal da Região Sul do Brasil.

Muitos são os métodos estatísticos utilizados na manipulação de imagens NDVI, que variam de acordo com o objetivo de cada estudo, Li e Kafatos (2000). A transformada de ondeletas foi escolhida para esta abordagem pois suas propriedades matemáticas facilitam a análise de fenômenos periódicos e aperiódicos em diversas escalas de tempo.

## 2. Área de estudo

Com o objetivo restrito de analisar a dinâmica da cobertura (e não do uso) da terra, foi selecionada uma área de vegetação conhecida na qual não houvesse a possibilidade de mudanças durante o período estudado.

A amostra selecionada (3 X 3 pixels) para o emprego da metodologia pertence a uma área de proteção integral, o Parque Nacional do Iguaçu. Este parque foi criado em 1939 e tombado como patrimônio natural da humanidade em 1986, pela Unesco. É uma importante reserva florestal de Mata Atlântica, classificada como Floresta Estacional Semidecidual - Submontana, segundo o IBGE (2004).

As espécies componentes deste tipo de formação florestal, das quais cerca de 20% a 50% são caducifólias, ou seja, perdem as folhas durante o inverno, são condicionadas ao clima e adaptadas às suas severas variações, IBGE (2004).

A região é caracterizada por dois climas: um clima tropical, com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada, com temperatura média em torno de 22° C; e outro subtropical, sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo intenso frio de inverno, com temperatura média inferior a 15° C.

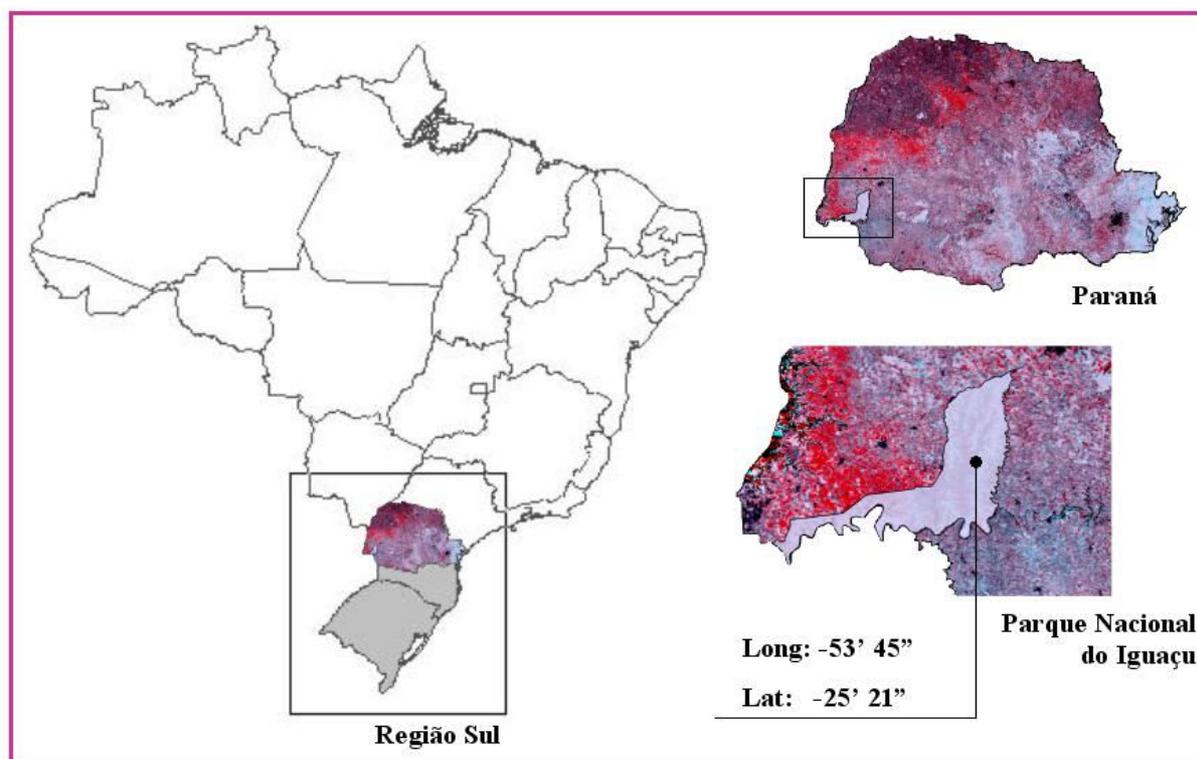


Figura 1. Localização da área de estudo

### 3. Materiais e Método

#### 3.1. Produto MOD13

O dado bruto do sistema MODIS não é disponibilizado para os usuários, mas sim uma série de produtos. O produto MOD13, de nível 3 na hierarquia de processamento, contém, entre outros dados, as imagens NDVI em composições de 16 dias com resolução espacial de 250m.

Essas composições são geradas através do modelo de reflectância bidirecional de Walthall (BRDF), quando o número de imagens sem nuvens do conjunto é maior que 5. Os parâmetros do modelo BRDF são utilizados para normalizar e interpolar a reflectância de superfície no ângulo de visada ao nadir. Quando o número de imagens sem nuvens é menor que 5, é utilizado o modelo CV-MVC (*Constraint View angle Maximum Value Composite*), através do qual são registrados os maiores valores de NDVI da série para um determinado pixel. Assim, fatores como nebulosidade, variações do ângulo de iluminação e geometria de visada, vapor de água, aerossóis etc., são minimizados.

O período de estudo engloba as imagens de Fevereiro de 2000 a Fevereiro de 2006 (139 imagens). A cena (*tile*) correspondente à área de estudo é a H-13 V-11.

#### 3.2. Pré-processamento

A aquisição de dados MODIS é originalmente feita em 12 bits. As imagens, depois de processadas, são armazenadas e disponibilizadas ao usuário em 16 bits, no formato HDF. Através do aplicativo NASA-MRT (*Modis Reprojection Tool*), as 139 imagens foram convertidas ao formato GEOTIFF e tiveram a projeção alterada para as adequações do estudo e dos recursos computacionais. A resolução radiométrica das imagens foi degradada de 16 para 8 bits por meio do software ConverterMODIS para que pudessem ser inseridas no banco de dados criado no SPRING 4.2 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas).

#### 3.3. Análise de Ondeletas

*Wavelets*, ou ondeletas, são funções matemáticas que separam o dado em componentes de diferentes frequências. A idéia fundamenta-se na superposição de funções que se faz capaz de uma análise em diferentes escalas. As propriedades das matrizes envolvidas na ondeleta são similares às usadas na transformada de Fourier (muito utilizada para extrair informações de sinais periódicos), porém com funções básicas mais complexas, Graps (1995).

Se a janela é grande, não se detecta pequenas feições, mas se é pequena sim. As janelas da ondeleta são flexíveis, e com esta ferramenta é possível notar tanto as feições gerais quanto as mais finas. O procedimento consiste em adotar uma função-mãe, e a partir de sua compressão ou expansão, observar, respectivamente, as altas e baixas frequências, Graps (1995).

Esta função deve ser quadraticamente integrável dentro de um intervalo real, ou espaço  $[L^2(\mathbb{R})]$ , ou seja, deve apresentar energia finita. Define-se matematicamente a função ondeleta numa escala  $\mathbf{a}$  e posição  $\mathbf{b}$ , onde  $\mathbf{a}$  e  $\mathbf{b}$  são valores reais, e  $\mathbf{a} > 0$ , como sendo:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad 3.5.1$$

A transformada em ondeleta contínua da função  $f(t)$  é definida pela seguinte equação:

$$(W_{\psi}f)(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad 3.5.2$$

onde  $f(t)$  é a função que constitui a série de dados a ser analisada. O termo  $1/\sqrt{a}$  é utilizado para normalizar a energia de cada ondeleta.

A ondeleta aqui utilizada é a de Morlet, que visa analisar a variação temporal brusca ou suave. A função de Morlet é dada pela seguinte expressão:

$$\psi(t) = e^{iw_0t} e^{-t^2/2}, \quad 3.5.3$$

As ondeletas geradas utilizam  $w_0 = 6$  e são calculadas da seguinte maneira:

$$\psi_{(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{a}} e^{iw_0\left(\frac{t-b}{a}\right)} e^{-\left(\frac{t-b}{a}\right)^2/2}. \quad 3.5.4$$

Tendo em vista que os fenômenos climáticos globais e suas conexões com a resposta da vegetação são temas muito explorados e compreendidos, a ondeleta vem colaborar por ter aplicações em meteorologia no que se refere à quantificação das relações tempo-escala dos fenômenos atmosféricos. No caso deste estudo, é um artifício matemático que auxilia na detecção de perturbações no comportamento padrão da vegetação frente a fenômenos climáticos não-cíclicos ou de menor escala.

#### 4. Resultados

Inicialmente para se ter uma visão geral da variabilidade temporal do NDVI na região de estudo apresenta-se um histograma cumulativo dessa variável durante o período de estudo. Deve se destacar que os métodos estatísticos normalmente utilizados nas análises de NDVI, como o histograma cumulativo ou a média sazonal, são eficientes na detecção das oscilações causadas por eventos de grande escala e na observação do comportamento médio, porém não são capazes de caracterizar adequadamente flutuações de alta frequência.

Na **Figura 2** é possível observar, no mês de Agosto dos anos 2000 e 2001, valores muito baixos de NDVI em relação aos outros anos, o que representa uma redução significativa do vigor da vegetação. Este período foi caracterizado pela ocorrência do fenômeno La Niña, que causou uma diminuição das chuvas nos meses de Junho, Julho e Agosto na região. Por outro lado, do ponto de vista da variabilidade sazonal observa-se que os valores mais altos de NDVI ocorrem no verão, quando a vegetação está no auge de seu vigor.

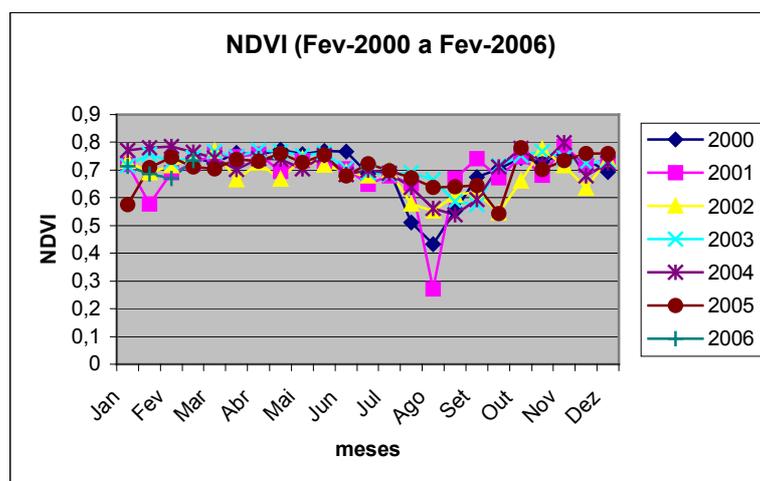


Figura 2. Histograma cumulativo de NDVI da área para o período de Fev. 2000 a Fev.2006

No que se refere a análise dos dados históricos de NDVI, a transformada de ondeletas é comumente aplicada a séries temporais relativamente grandes, desta forma, preserva a significância estatística e possibilita identificar os ciclos presentes numa seqüência de dados. O conjunto de imagens disponível até o presente pelo sistema MODIS é ainda pequeno, portanto neste estudo foram utilizadas apenas 139 datas (por volta de 5 anos). Apesar dessa limitação os resultados obtidos sugerem que a técnica utilizada tem um grande potencial para detectar a variabilidade temporal da cobertura vegetal em uma dada região.

A **Figura 3** mostra o diagrama de escalas (escalograma) com o espectro de ondeletas da área de estudo, no domínio tempo versus freqüência. No cone de influência (semi-círculo amarelo) destacam-se as escalas de variabilidade que apresentam significância estatística. Superposto ao cone encontra-se o espectro de potência da ondeleta no qual pode-se observar em que escala temporal estão os picos de variabilidade.

Observa-se um ciclo anual bem definido, um ciclo semi-anual moderado e uma fraca variabilidade nas escalas menores que 3 meses e meio, aproximadamente. No caso do ciclo anual, destaca-se que a magnitude do mesmo tem uma variabilidade interanual e que em alguns anos ocorre uma nítida interação de escalas com o ciclo semi-anual e mesmo com variabilidades de freqüências maiores. Parte desse comportamento é modulado pela variabilidade climática natural, mas o tipo da cobertura vegetal é o fator primordial dessa dinâmica. Influências climáticas associadas à variabilidade interanual de períodos mais longos, tipo El Niño ou La Niña, não são detectados uma vez que a série temporal utilizada é relativamente pequena.

No caso das freqüências maiores, a variabilidade do NDVI mostrada pode estar associada a mudanças eventuais das condições meteorológicas locais, como geadas ou períodos de seca. Nesse contexto, observa-se na figura oito perturbações bem definidas no comportamento de NDVI na escala mensal.

A partir desse diagnóstico pode-se dar início a uma nova fase de investigação, a fim de se compreender as relações entre esses eventos locais, a dinâmica da cobertura vegetal, e as conexões com clima e tempo.

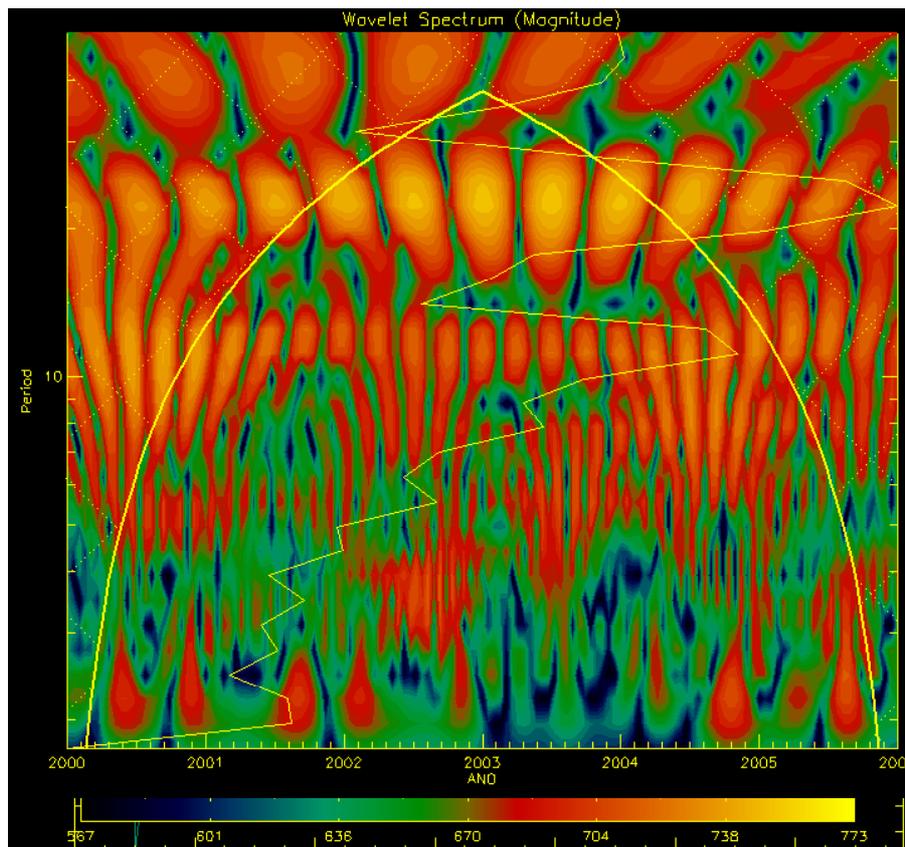


Figura 3. Escalograma - magnitude do espectro das ondeltas de NDVI sobre uma área representativa de Mata Atlântica, durante o período de Fev de 2000 a Fev de 2006. Cada intervalo de tempo representa uma imagem NDVI/MODIS (composição de 16 dias).

## 5. Conclusão

Os resultados preliminares evidenciam que o uso da técnica das transformadas de ondeletas tem um grande potencial para o diagnóstico da dinâmica da cobertura vegetal utilizando-se as imagens NDVI-MODIS. Além disso, ela possibilita identificar bem tanto o ciclo anual como o semi-anual na área de estudo, e evidencia possíveis interações de escalas que podem modular o NDVI em maior ou menor grau em determinadas situações.

## Referências

Anderson, L.O.; Latorre, M.L.; Shimabukuro, Y.E.; Arai, E.; Carvalho Júnior, O. A. Sensor MODIS: uma abordagem geral. São José dos Campos, 2003. (INPE-10131-RPQ/752).

Graps, A. An introduction to wavelets. **IEEE Computational Science and Engineering**, v.2, n.2, p. 50-61, 1995.

Gurgel, H. C.; Ferreira, N. J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n. 18, p. 3595-3609, 2003.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

Jin, S.; Sader, S. A. MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects. *Remote Sensing of Environment*, v. 99, n. 4, p. 462-470, Feb. 2005.

Lasaponara, R. On the use of principal component analysis (PCA) for evaluating interannual vegetation anomalies from SPOT/VEGETATION NDVI temporal series. **Ecological modeling**, v. 94, p. 429-434, 2006.

Li, Z.; Kafatos, M. Interannual variability of vegetation in the United States and its relation to El Niño/Southern Oscillation. **Remote Sensing of Environment**, v. 71, n.3, p. 239-247, 2000.

Ornelas de Anda, J. L. et al. Mapeo de la cobertura forestal de México usando imágenes AVHRR. **Revista SELPER** – Special Edition ISY-WFW Conference, v.8, n.2, 1992.

Valeriano, D. M.; Shimabukuro, Y. E.; Duarte, V.; Anderson, L. O.; Espírito-Santo, F.; Arai, E.; Maurano, L. E.; Souza, R. C.; Freitas, R. M.; Aulicino, L. Detecção do desflorestamento da Amazônia Legal em tempo real – Projeto DETER. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3403-3409. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep-/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.11.29/doc/3403.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2006.