

Dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil utilizando análise de Fourier

Cláudia Cristina dos Santos
Nelson Jesus Ferreira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos
{claudiac, nelson }@itid.inpe.br

Abstract: This study deals with the time variability of vegetation cover over southern Brazil during the 1982-1999 period. The methodology employed is based on the use of Fourier analysis applied to monthly composites of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) images from the AVHRR-NOAA (Advanced Very High Resolution Radiometer/National Oceanic and Atmospheric Administration) sensor. The obtained results show that the vegetation cover in that region has a well defined annual cycle having relatively high amplitudes in the north region of Rio Grande do Sul and Paraná states. The associated phase reveals a maximum around January. The semiannual cycle stands out in northern Rio Grande do Sul and north-sector of Paraná.

Palavras-chave: NDVI, vegetation cover, Fourier, cobertura vegetal

1. Introdução

Nas últimas décadas, atenção considerável tem sido dada aos índices de vegetação calculados a partir do sensor AVHRR da série NOAA (Batista et al. (1997); Fontana e Berlato,(1997); Puchalski, (2000); Gurgel e Ferreira, (2003)). Esses dados apresentam resolução espacial de 1,1 x 1,1 km no nadir, no entanto, são utilizados muitas vezes na forma degradada, com resolução de 8 x 8 km. 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 (Barbosa, 1998). Deste modo, eles fornecem uma fonte bastante efetiva para análise de variações climáticas em diversas escalas de tempo.

Liu et al. (1991), utilizaram dados de NDVI obtidos de imagens AVHRR/NOAA no modo GAC (Global Area Coverage), no período de junho de 1981 a agosto 1987 sobre a América do Sul. Foram observadas dependências regionais bem definidas, com a variabilidade de áreas secas no nordeste, sudoeste e noroeste do continente e na região amazônica. Eles verificaram que na maioria das regiões, o NDVI demora cerca de um mês para responder à precipitação, ou seja, a maior correlação entre o NDVI e a quantidade de precipitação ocorre quando ele é comparado com a precipitação do mês anterior. No Brasil, Batista et al. (1997), analisaram a composição mensal do NDVI (AVHRR/NOAA) da região amazônica, para o período de agosto de 1981 a junho de 1991. Eles averiguaram que os tipos de vegetação dominantes podem ser diferenciados, e que é possível identificar variações da cobertura vegetal associadas a mudanças climáticas. As composições de NDVI revelaram uma forte sazonalidade no cerrado e especialmente na caatinga, enquanto que os demais tipos de cobertura florestal mostraram uma pequena variação através dos anos. As composições anuais de NDVI mostraram uma clara e significativa redução nos anos secos, associada ao evento ENSO. Barbosa (1998) avaliou composições mensais de NDVI das imagens AVHRR/NOAA e totais mensais de precipitação do nordeste do Brasil, indicando que as distribuições espacial e temporal do NDVI dessas variáveis têm padrões semelhantes e são estatisticamente correlacionadas. Almeida e Batista (1998), analisaram a relação entre precipitação e NDVI derivada de dados AVHRR, na bacia do rio Amazonas, no período de

janeiro de 1982 a dezembro de 1990. Eles encontraram uma baixa correlação entre NDVI e precipitação, e um *lag* de dois meses como tempo de resposta entre precipitação e o NDVI.

Recentemente Jacobsen et al (2002) analisaram os padrões de comportamento do NDVI e da precipitação associados aos eventos El Niño e La Niña no Rio Grande do Sul. Eles observaram que esses fenômenos modulam a variabilidade anual da cobertura vegetal na região devido aos efeitos que eles exercem sobre a precipitação. Gurgel e Ferreira (2003) utilizando a análise por componentes principais estudaram as conexões entre NDVI/AVHRR e clima no Brasil focalizando o comportamento das grandes manchas de cobertura vegetal. Eles observaram que a primeira componente reflete o comportamento médio do NDVI, a segunda e terceira componentes estão associadas com os modos verão/inverno e primavera/outono do ciclo anual, sendo modulados por eventos ENSO. Além disso, a quarta componente possibilita identificar efeitos de queimadas na região central. Com o intuito de aprimorar o conhecimento da dinâmica da cobertura vegetal na região sul como um todo o presente estudo tem como objetivo caracterizar a variabilidade temporal do NDVI nessa região e associar o padrão da amplitude e fase dos ciclos anual e semi-anual.

2. Dados e Metodologia

Foram utilizados neste estudo um conjunto de imagens de NDVI 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 Homoloxine e para o período de 1982 a 1999.

2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

O NDVI é expresso pela razão entre a diferença da medida da reflectância nos canais do infravermelho próximo (0,70 – 1,30 μm) e vermelho (0,55 – 0,70 μm) e a soma desses canais (Rouse et al., 1974), ou seja,

$$\text{NDVI} = (\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$$

onde, ρ_1 e ρ_2 , representam respectivamente, os valores da reflectância na região do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético de objetos na superfície terrestre.

Os valores de NDVI para as áreas com vegetação dependem da sua arquitetura, densidade e umidade e variam entre 0,1 e 0,6. Grande parte dos sensores remotos orbitais, são sensores ópticos, pois operam na faixa de 0,38 - 15 μm do espectro eletromagnético, a qual está subdividida em quatro sub-regiões: visível (azul, verde e vermelho), infravermelho próximo, médio e termal. O dossel da vegetação verde, por exemplo, absorve fortemente a radiação solar incidente na região do vermelho (0,55 – 0,70 μm), devido à presença de alta quantidade de pigmentos de clorofila e de carotenos existentes na folha. Por outro lado, a vegetação verde tem uma alta reflectância na região do infravermelho próximo (0,70 – 1,30 μm), devido às características estruturais das folhas e efeitos fenológicos do dossel. Desta forma, muitas combinações entre a reflectância dos canais da região do vermelho e do infravermelho próximo têm sido propostas. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) tem sido amplamente utilizado por proporcionar um forte sinal da vegetação, e oferecer um bom contraste com outros objetos da superfície terrestre.

2.1 Análise de Fourier

O objetivo da análise de Fourier é conseguir representar uma função usando uma base constituída por funções seno e co-seno. Essas funções são escolhidas para ter frequências que exibem múltiplos inteiros de uma frequência fundamental determinada pelo tamanho da amostra de uma série de dados. Em geral os primeiros harmônicos consegue explicar a maior parte da variação total da série. Uma série de dados y_t consistindo de n pontos pode ser representada exatamente somando-se a série de $n/2$ funções harmônicas expressas por:

$$y_t = \bar{y} + \sum_{k=1}^{n/2} \left\{ C_k \cos \left[\frac{2\pi kt}{n} - \phi_k \right] \right\}$$
$$y_t = \bar{y} + \sum_{k=1}^{n/2} \left\{ A_k \cos \left[\frac{2\pi kt}{n} \right] + B_k \sin \left[\frac{2\pi kt}{n} \right] \right\}$$

onde t é o tempo, k é o número de harmônicos, A_k e B_k são coeficientes e ϕ é ângulo de fase.

As amplitudes e fases dos harmônicos podem ser convenientemente representadas por ponteiros (flechas) onde o comprimento do segmento de reta é proporcional a amplitude C_k e a direção na qual este aponta (orientação angular) representa o ângulo de fase ϕ . Neste contexto, a direção da flecha aponta para o mês no qual um dado harmônico é maximizado.

3. Resultados e Discussões

3.1 Variabilidade anual

A variabilidade anual do NDVI na região sul do Brasil é bastante acentuada, principalmente quando se compara o padrão espacial da cobertura vegetal durante os meses de inverno e verão (**Figura 1**). De um modo geral este comportamento é governado pelo clima e pelo diversos usos da terra, principalmente atividade agrícola (soja, milho, trigo, feijão, etc.). Em termos de grandes manchas da cobertura vegetal observam-se o domínio dos seguintes tipos de vegetação:

a) Estepe

No sul do país, na fronteira com o Uruguai e a Argentina, destaca-se a Campanha Gaúcha. Este tipo de vegetação ocorre onde as plantas são submetidas a dupla estacionalidade: uma fisiológica, provocada pelo frio das frentes frias, e outra seca, mais curta, com déficit hídrico. A Campanha Gaúcha é constituída por uma superfície plana apresentando uma vegetação essencialmente campestre, com o domínio das gramíneas, que cobre as superfícies conservadas do planalto da campanha e da depressão do rio Ibicuí –Rio Negro.

b) Savana Estépica

A savana estépica é um tipo de vegetação em geral de cobertura arbórea e várias cactáceas, cobrindo um estrato gramíneo presente Campanha Gaúcha. Entre a serra da Bodoquena (MS) e o rio Paraguai, encontra-se a segunda maior área de ocorrência da savana estépica no Brasil. Como parte da campanha gaúcha, este tipo de vegetação se localiza na porção sul-sudoeste do Rio Grande do Sul.

c) Campos Sulinos

São formações campestres não savânicas localizadas no interior do Paraná e de Santa Catarina, em meio à região da floresta ombrófila mista e os campos do sul do Rio Grande do Sul, na região Campanha Gaúcha (Leite & Klein, 1990).

d) Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica)

Este tipo de vegetação é constituída por grandes árvores nos terraços aluviais e nos tabuleiros e árvores de porte médio nas encostas marítimas. Este tipo de vegetação, além

da região amazônica, e costa atlântica, desde o sul de Natal, no Rio Grande do Norte, até o Espírito Santo, também ocorre em “bolsões” contidos entre o litoral e as serras marginais ao oceano, ampliando a sua área de ocorrência sobre as encostas das mesmas até Osório, no Rio Grande do Sul.

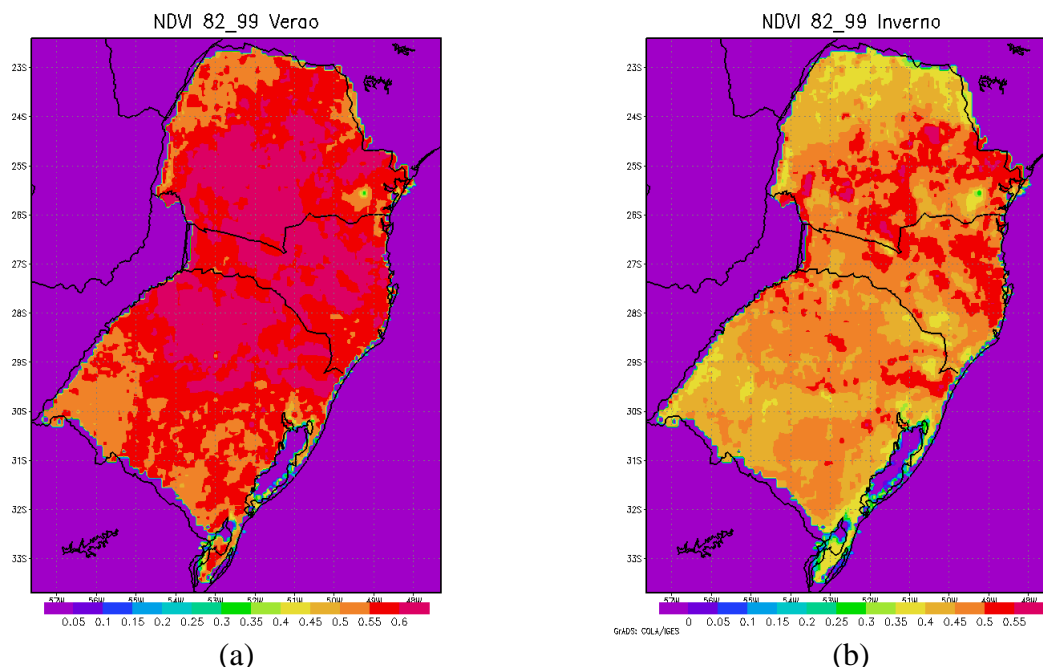


Figura 1: Variabilidade anual do NDVI na região sul do Brasil no período de 1982 a 1999. (a) Verão; (b) Inverno.

3.2. Análise de Fourier

A **Figura 2a** mostra a variabilidade espacial do primeiro harmônico (amplitude e fase) do NDVI sobre a região Sul durante o período de 1982/1999, caracterizando assim, o ciclo anual dessa variável. O primeiro harmônico reflete a presença de culturas e ou cobertura vegetal caracterizadas por um máximo anual de variabilidade. Observa-se que as maiores amplitudes encontram-se principalmente no centro e norte do RS (amarelo), norte do Paraná e sul de Santa Catarina. No que se refere à fase do ciclo anual, a orientação dos vetores indica o início e o fim do cultivo ou do ciclo da cobertura vegetal. Nota-se nestas regiões que em média, ocorre uma maximização deste harmônico entre janeiro e março. Como exemplo de culturas com este tipo de comportamento destaca-se no RS plantio de arroz (nas proximidades da região da lago dos Patos) e soja (região norte). A minimização ocorre entre aos meses julho e setembro. As menores amplitudes refletem a cobertura vegetal que não variam muito ao longo do ano. Esta característica observada reflete o comportamento médio do ciclo anual durante o período estudando e, portanto, podem incluir diferentes tipos de culturas e cobertura vegetal ao longo dos anos.

No que se refere ao segundo harmônico (**Figura 2b**), observa-se que no sul do Brasil, em média, a presença de cultura ou cobertura vegetal com ciclo semi-anual é pequena. Isto é evidente pelo domínio de amplitude baixas nesta região. Por outro lado, no norte do RS e porções norte-oeste do Paraná a amplitude do ciclo semi-anual é relativamente alta, com fase maximizando em março e abril e outubro e novembro, respectivamente. A presença da variabilidade semi-anual, tipicamente esta associada ao cultivo do milho em dois períodos distinto do ano, a safra normal cultivada nos meses mais quentes e a safrinha semeada principalmente em fevereiro, março e abril.

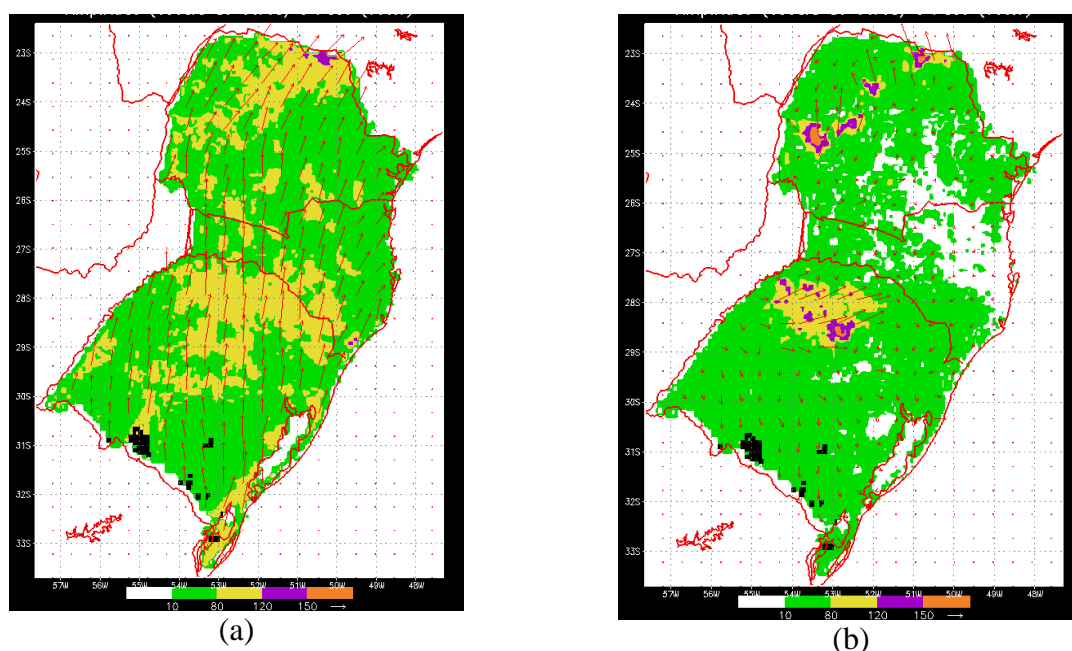


Figura 2: Variabilidade espacial dos harmônicos (amplitude e fase) do NDVI sobre a região Sul durante o período de 1982/1999. A amplitude é observada em escala de cores e a fase na forma de vetores. (a) Primeiro Harmônico e (b) Segundo Harmônico.

4. Considerações finais

Este estudo avalia a dinâmica do NDVI/AVHRR na região sul do Brasil durante o período de 1982 a 1999, enfatizando o uso da análise Fourier. Os resultados obtidos possibilitam identificar o comportamento médio da cobertura vegetal e práticas agrícolas na região. O primeiro harmônico indica que em média o ciclo anual é bem caracterizado, com amplitudes maiores principalmente no norte dos estados RS e Paraná. De um modo geral, a fase deste harmônico apresenta um máximo em torno de janeiro/fevereiro e um mínimo junho/julho. O segundo harmônico é marcante somente no norte do RS e norte-oeste do Paraná. A aplicabilidade desta metodologia para identificar o vigor (amplitude) e o início e fim (fase) de cultivos seria melhor observada se fosse analisado anos específicos, uma vez que a média sobre um longo período esconde a variabilidade das práticas agrícolas.

Referências

- Almeida, E.S.; Batista, G.T. Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 1998, Santos. **Anais ...Santos: INPE, 1998, Sessão Técnica Oral. CD-ROM.** Repositório da URLib:<dpi.inpe.br/lise/2004/07.20.14.26>. Disponível em: <iris.sid.inpe.br:1908/rep/dpi.inpe.br/lise/2004/07.20.14.26>. Acesso em 21 nov. 2004.
- Batista, G.T.; Shimabukuro, Y. E.; Lawrence, W.T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern using NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.15, p.3195-3210, 1997.
- Barbosa, H. A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85.** 169p. (INPE-7237-TDI/690). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.
- Fontana, D. C.; Berlatto, M. A. A influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de agrometeorologia**, santa Maria, v.5, n.1, p. 127-132. 1997
- Gurgel, H. C.and Ferreira, N.J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate, **International Journal of Remote Sensing**, London, v.24, n.18, p.3595-3608, 2003

Jacóbsen, L. O.; Fontana, D. C.; Shimabukuro, Y. E. Efeitos Associados ao El Niño e La Niña na cobertura vegetal do Rio Grande do Sul. **In:** XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-Pr, 2002, CD-ROM

LEITE, P.; KLEIN, R. M. Vegetação. **In:** IBGE. Geografia do Brasil: região Sul. v. 2. Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1990. p. 113-150.

Liu, W. T.; Massambani, O; Festa, M. Normalized difference vegetation index for the south American continent used as a climatic variability indicator. **In:** 24th International Symposium of Remote Sensing of Environment, Rio de Janeiro, 27-31 May 1991 (Ann Arbor:ERIM), pp. 725-732.

Puchalski, L.A. **Efeitos Associados ao El Niño e La Niña na temperatura média, precipitação pluvial e no déficit hídrico no Estado do Rio Grande do Sul.** 83p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

Rouse, J. W., Hass, R. W., Schell, J. A., Deering, D. W., Harlan, J. C., 1974, Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFCT Type III **Final Report**, Greenbelt, MD, USA.