

Aplicação de ondaleta em série temporal NDVI/MODIS para avaliação da fenologia de fisionomias campestres no Rio Grande do Sul

Andreise Moreira¹
Denise Cybis Fontana¹
Tatiana Mora Kuplich²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto
Avenida Bento Gonçalves 9500 - 91501-970 - Porto Alegre - RS, Brasil
andreisem@gmail.com; dfontana@ufrgs.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Centro Regional Sul de pesquisas Espaciais - CRS
Caixa Postal 5021, CEP 97105-970 - Santa Maria - RS, Brasil
tatiana.kuplich@inpe.br

Abstract. The aim of this study was to unveil the phenology of different types of grasslands from the Pampa and Mata Atlântica biome in the Southern Brazil in a temporal series of NDVI data using wavelet transform. Relationship of the NDVI series with the Southern Oscillation Index (SOI), a measure related to El Niño and La Niña events, was also assessed. The grassland types were taken from a map derived after floristic, soil, elevation and climate data were combined, for Rio Grande do Sul State. NDVI MODIS data from 2000 to 2012 were sampled for the 10 different grassland types and these data were the input for a wavelet transform using DOG as the wavelet mother. Results indicated, for the “campos de altitude” a very clear year cycle, denoting the biomass increase and decrease during spring/summer and autumn/winter, respectively. For the remaining grassland types, the wavelet power graph showed the importance of cycles ranging from 4 to 8 years, pointing to the influence of El Niño and La Niña events on the vegetation growth and phenology. The wavelet analysis allowed identifying variations in the time series data analysed. The spectra of local and global wavelet power showed where and when these variations occurred. It could be observed changes in intra-sazonal patterns for the time series of NDVI/MODIS, with increased values during El Niño and decreased during La Niña events.

Palavras-chave: vegetation index, wavelet transform, grassland vegetation, weather variation, índice de vegetação, transformada de ondaleta, vegetação campestre, variação meteorológica.

1. Introdução

A vegetação campestre presente no estado do Rio Grande do Sul (RS) concentra aproximadamente 75% da vegetação campestre do Brasil (Overbeck et al., 2007), classificada recentemente como parte de 2 diferentes biomas: Mata Atlântica e Pampa (IBGE, 2004). O Bioma Pampa ocupa cerca de 63% do território do Estado e pode ser encontrado na Depressão Central, Serra do Sudeste e região da Campanha, na metade sul do Estado. Esse tipo de campo é semelhante aos pampas do Uruguai e Argentina (Behling et al., 2009).

Os campos do Bioma Mata Atlântica são encontrados na região do Planalto Riograndense, e se estendem pelos estados de Santa Catarina e Paraná. Também conhecidos como Campos de Cima da Serra são formados por extensões de áreas campestres associadas com a floresta de araucária (*Araucaria angustifolia*) (Behling et al., 2009). Os campos sulinos possuem grande biodiversidade e espécies vegetais de alto valor forrageiro, com predomínio de vegetação herbácea. A estimativa do número de espécies de gramíneas varia de 3.000 a 4.000, sendo característica a co-existência de espécies C3 e C4, com diferentes eficiências na produção de biomassa (Quadros e Pillar 2002, Overbeck et al., 2007).

As características geográficas do RS como clima, topografia e heterogeneidade dos solos associadas às variações florísticas locais permitiram classificar a vegetação campestre destes biomas em regiões fisionômicas (Boldrini, 1997), ou unidades espaciais homogêneas. Considerando a altitude, declividade, tipo de solo, vegetação e uso da terra foram definidas

fisionomias campestres para o RS como pode ser observado na Figura 1 (Boldrini, 2009; Hasenack et al., 2010).

Diversos estudos com base no NDVI têm analisado a dinâmica da vegetação em séries temporais (Paruelo et. al., 2001; Huete et al., 2002; Kuplich et al., 2013), destacando-se ainda, a utilização de dados obtidos a partir do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). As séries temporais de imagens permitem obter informações sobre a fenologia da vegetação e definição de padrões comportamentais diretamente relacionados a condições de temperatura do ar, umidade, insolação e disponibilidade hídrica (fatores climáticos). A avaliação do padrão fenológico também pode ser relacionada a variações meteorológicas em larga escala, neste caso, associados a estações mais chuvosas (El Niño) ou mais secas (La Niña) (Li e Kafatos, 2000; Jacobsen et al., 2004).

Para a análise de séries temporais de dados, dois enfoques podem ser utilizados. A análise pode ser desenvolvida no domínio temporal, com uso de modelos paramétricos (número finito de parâmetros) ou no domínio de frequências por meio de modelos não-paramétricos (número infinito de parâmetros). No domínio das frequências pode-se utilizar a análise espectral, a qual consiste em decompor uma série de dados em componentes de frequências onde a existência do espectro é a característica fundamental (Morettin, 1999).

Na análise fenológica da vegetação a aplicação da Transformada de Ondaleta ou Wavelets (TO) é uma alternativa que vem sendo empregada (Percival et al., 2004; He et al., 2007; Martínez e Gilabert, 2009). A TO, no que se refere à análise de sinais, consiste em decompor uma série temporal em diferentes níveis de resolução tempo-frequência, permitindo identificar onde ou quando a energia do sinal analisado é transferida de um período/frequência para o outro e em qual intervalo de tempo ocorrem (Morettin, 1999; Bueno et. al., 2008).

A TO possui a capacidade de capturar simultaneamente as componentes de alta e baixa frequência de um sinal temporal, tal como uma pequena onda que vai ao ápice e decai em um curto período de tempo, podendo captar o comportamento local e global de um sinal temporal (Bueno et. al., 2008; Pimentel e Silva, 2011). A ondaleta é obtida a partir de uma função padrão, conhecida como ondaleta mãe, na qual o tipo escolhido deve permitir melhor realçar as características do sinal estudado.

Este trabalho objetivou, a partir de séries temporais de dados NDVI das fisionomias campestres do RS e da aplicação da Transformada de Ondaleta, verificar a associação entre a fenologia da vegetação campestre e variações meteorológicas de larga escala (eventos de El Niño e La Niña).

1.1 Área de Estudo

O estudo teve como foco, as áreas campestres do estado do RS. Para tanto, foram utilizados 30 polígonos amostrais definidos para cada uma das 10 fisionomias campestres presentes no Estado, obtidas com base em Boldrini (1997), Hasenack et al. (2010) e Boldrini e Longhi-Wagner (2011). Estes autores classificaram a vegetação campestre em 10 regiões fisionômicas, considerando as características geográficas do Estado e a florística da vegetação.

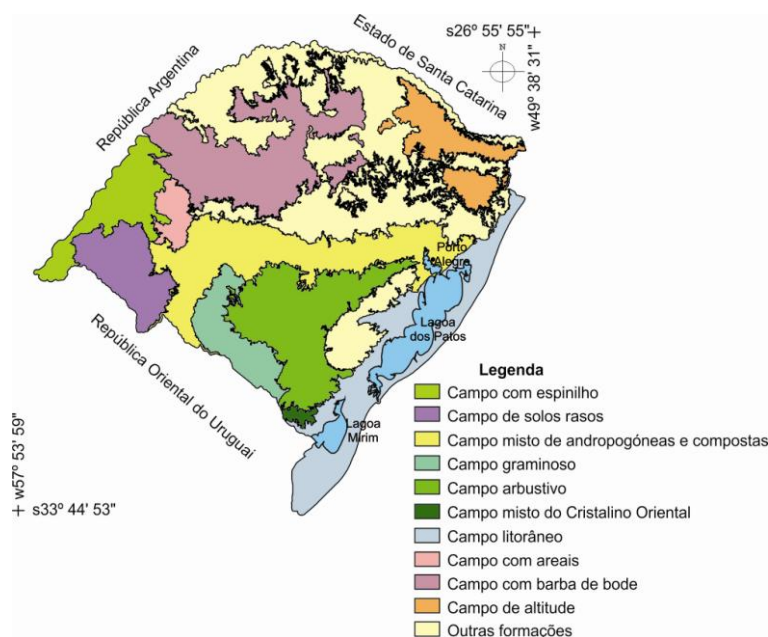


Figura 1. Fisionomias campestres do estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: Adaptado de Hasenack et al. (2010).

2. Metodologia de Trabalho

Foi utilizada uma série temporal de dados de NDVI/MODIS, do produto MOD13Q1, que possui resolução espacial de 250m e composição de imagens de máximo valor a cada 16 dias. O período analisado compreende fevereiro de 2000 a dezembro de 2012, totalizando 296 imagens. Lançado em 1999 a bordo da plataforma Terra e posteriormente abordado da plataforma Aqua (2002), o sensor MODIS possui alta sensibilidade radiométrica (12 bits) e opera com 36 bandas espectrais com cobertura global a cada 2 dias.

Os valores de NDVI foram obtidos dos 30 polígonos amostrais das 10 fisionomias vegetais campestres do estado do RS. As imagens NDVI foram pré-processadas no aplicativo *Modis Reprojection Tools* (MRT), definindo-se Datum (WGS 84), Coordenadas (Lat/Long) e criação de mosaico entre as imagens h13v11 e h13v12 que compreendem a área de estudo. Posteriormente, as imagens foram importadas e processadas no aplicativo ENVI, criando-se um bloco de imagens e feita a extração dos valores médios para cada polígono.

Atribuiu-se às áreas campestres os valores das médias de NDVI extraído das 30 amostras para cada fisionomia campestre, com variação entre 0,19 km² a 148,75 km² (3 a 2380 pixels). O aplicativo MatLab foi usado para a geração do espectro de potência e espectro de potência global, com uso da TO. O algoritmo utilizado para este fim foi desenvolvido por Torrence e Compo (1998). Após realização de testes entre diferentes ondaletas, optou-se por utilizar a ondaleta contínua DOG (*Derivative of Gaussian*), que permite identificar variações nos padrões anuais e inter-anuais de padrão fenológico da vegetação em escala tempo-frequência.

Os valores médios de NDVI foram plotados em um gráfico junto aos valores do Índice de Oscilação Sul (SOI), no intuito de identificar períodos em que variações meteorológicas de larga escala, associados a estações com precipitação acima da normal (El Niño) ou abaixo de valores médios (La Niña), influenciaram na fenologia da vegetação campestre.

O componente atmosférico do ENOS (El Niño – Oscilação Sul) é chamado de Oscilação Sul e é calculado por meio do SOI, este por sua vez, representa a diferença da pressão atmosférica em relação ao nível do mar entre Tahiti, na Polinésia Francesa e Darwin, na Austrália. Os valores negativos do SOI (-8) representam eventos de El Niño e os valores positivos (+8) representam eventos de La Niña (Halpert e Ropelewski, 1992; Trenberth, 1997).

3. Resultados e Discussão

A série temporal (2000-2012) com valores médios de NDVI permitiu identificar que a dinâmica fenológica e sazonal da vegetação campestre para as 10 fisionomias estudadas mostra similaridade (Figura 2). O NDVI apresenta aumento nos valores durante as estações quentes do ano (primavera e verão) e diminuição nas estações mais frias (outono e inverno).

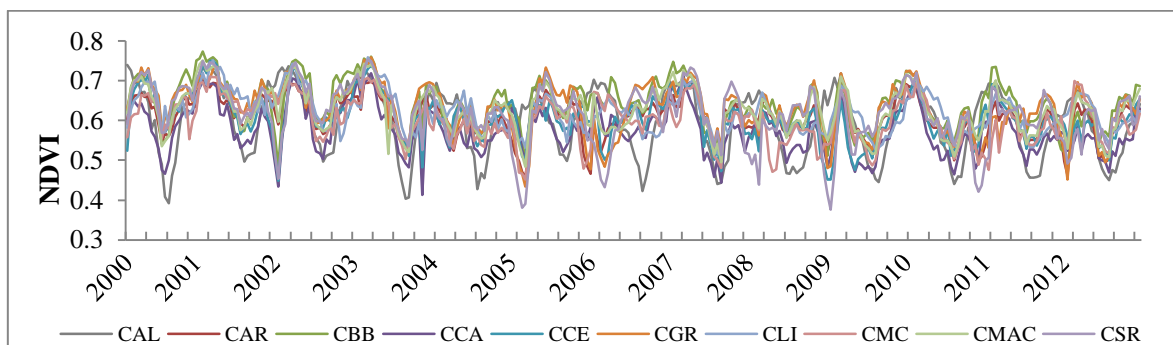


Figura 2. Valores médios de NDVI/MODIS de fisionomias campestres do RS (CAL – Campo de altitude, CAR – Campo arbustivo, CBB – Campo com barba de bode, CCA – Campo com areas, CCE – Campo com espinhilo, CGR – Campo graminoso, CLI – Campo litorâneo, CMC – Campo Misto do Cristalino Oriental, CMAC - Campo misto de andropogôneas e compostas e CSR – Campo de solos rasos) para o período de 2000 a 2012.

Com a aplicação da TO e geração do espectro de potência (Figura 3A a 12A) e espectro de potência global (Figura 3B a 12B) foi possível verificar a sazonalidade da vegetação campestre para as 10 fisionomias avaliadas. Nestas, o ciclo anual encontra-se bem marcado, variando entre 1 e 23 repetições, que caracterizam 1 ano de amostragem. Com relação ao espectro de potência, os picos de energia que estão acima da linha em branco que cruza a série possuem 95% de significância estatística.

Para as fisionomias CAL (Figura 3A) e CLI (Figura 4A) o padrão fenológico da vegetação mantém-se regular durante praticamente todo o período analisado. A amostra CAL apresenta pico de energia com menor intensidade entre 2005-2006 e o CLI entre 2000-2001, 2004-2005, 2006-2007 e 2008-2009. Possivelmente, esta mudança no padrão esteja associada à variabilidade das condições meteorológicas do período.

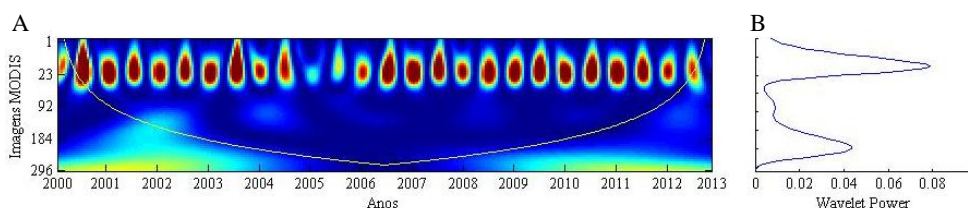


Figura 3: Espectro de potência (A) e Espectro de potência global (B) para a amostra Campo Litorâneo (CAL).

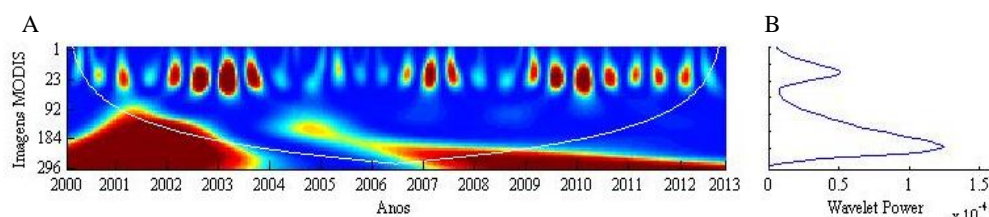


Figura 4: Espectro de potência (A) e Espectro de potência global (B) para a amostra Campo litorâneo (CLI).

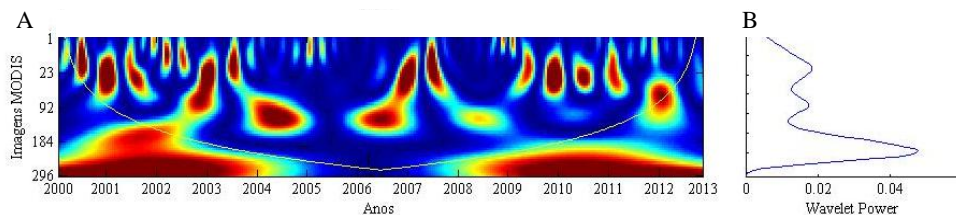


Figura 5: Espectro de potência (A) e Espectro de potência global (B) para a amostra Campo barba de bode (CBB).

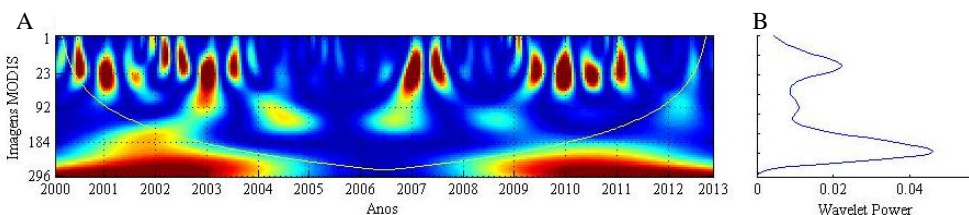


Figura 6: Espectro de potência (A) e Espectro de potência global (B) para a amostra Campo com areas (CCA).

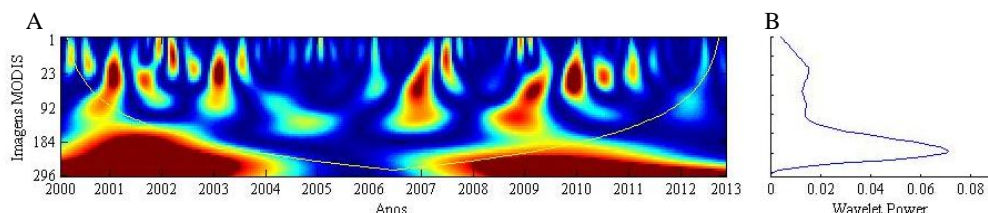


Figura 7: Espectro de potência (A) e Espectro de potência global (B) para a amostra Campo com espinilho (CCE).

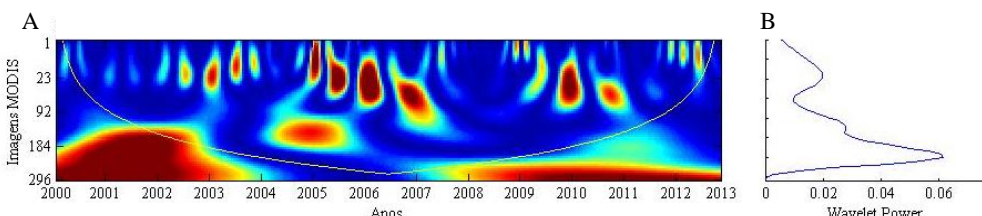


Figura 8: Espectro de potência (A) e Espectro de potência global (B) para a amostra Campo gramíneo (CGR).

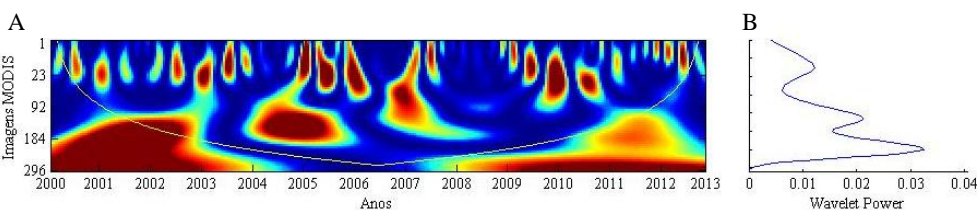


Figura 9: Espectro de potência (A) e Espectro de potência global (B) para a amostra Campo arbustivo (CAR).

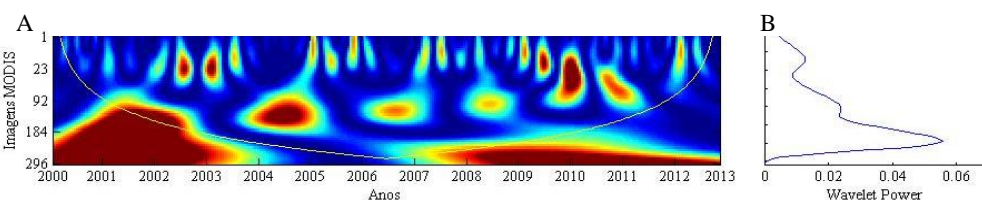


Figura 10: Espectro de potência (A) e Espectro de potência global (B) para a amostra Campo misto do Cristalino Oriental (CMC).

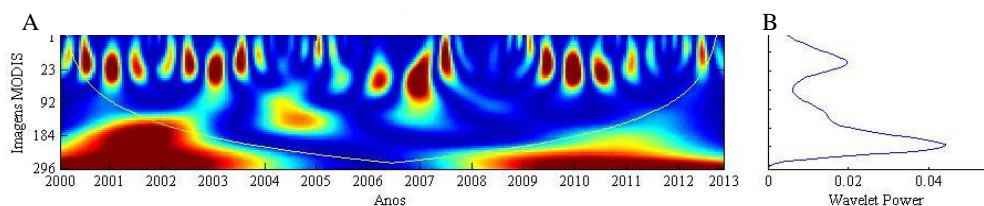


Figura 11: Espectro de potência (A) e Espectro de potência global (B) para a amostra Campo misto de andropogônneas e compostas (CMAC).

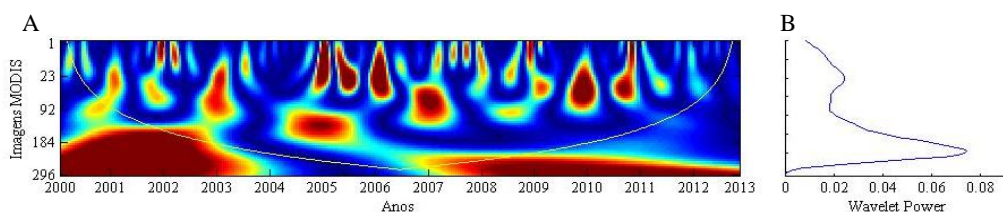


Figura 12: Espectro de potência (A) e Espectro de potência global (B) para a amostra Campo de solos rasos (CSR).

Também é possível identificar picos inter-anuais bem marcados, nos espectros de potência e espectros de potência global, em torno de 92 e 184 observações, para as fisionomias CAR (Figura 4A e 4B), CBB (Figura 5A e 5B), CCA (Figura 6A e 6B), CCE (Figura 7A e 7B), CGR (Figura 8A e 8B), CMC (Figura 10A e 10B), CMAC (Figura 11A e 11B) e CSR (Figura 12A e 12B). Denota-se estes picos à influência de eventos de El Niño e La Niña na dinâmica de crescimento e desenvolvimento vegetal e alteração no padrão fenológico para estas fisionomias campestres.

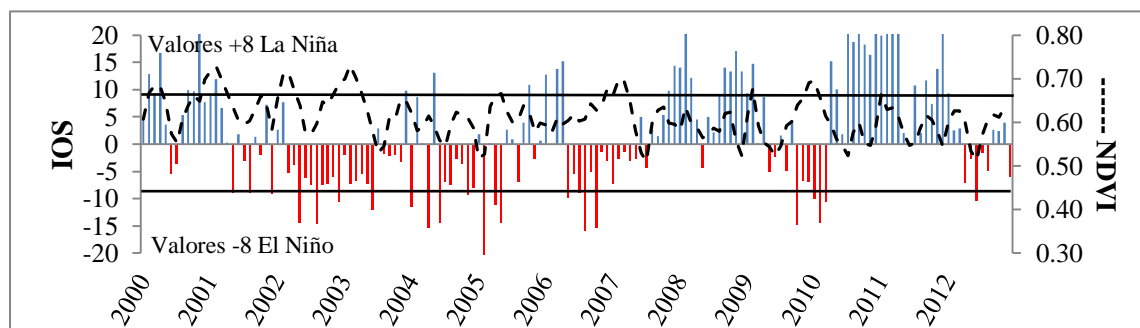


Figura 13. Índice de Oscilação Sul e valores médios mensais de NDVI/MODIS das 10 fisionomias campestres para o período de 2000 a 2012.

Na Figura 13 observa-se que durante eventos de El Niño, caracterizado por IOS negativo (-8), e eventos de La Niña, com IOS positivo (+8), houve alteração no padrão sazonal da vegetação campestre. Destaca-se principalmente os períodos: 2004-2005 (El Niño - moderado), 2006-2007 (El Niño - fraco), 2009-2010 (El Niño - fraco), 2000 (La Niña - moderado), 2007-2008 (La Niña - moderado), 2008-2009 (La Niña - moderado), 2010-2011 (La Niña - moderado) e 2011-2012 (La Niña - fraco). Tais alterações são consequência de variações nos elementos precipitação pluvial e temperatura do ar, associadas a estações mais chuvosas (El Niño) ou mais secas (La Niña).

Além destes, fatores geográficos locais como altitude, declividade, tipo de solo e outros, também podem contribuir para a variação dos dados. Ainda, a variabilidade nos valores encontrados para o NDVI pode estar condicionada as variações florísticas e de valor forrageiro induzido por diferentes substratos (solos rasos e fundos, com afloramentos

rochosos, etc) e/ou regimes de pastejo (Porto e Pillar, 2002; Quadros e Pillar, 2002) e por tratar-se de diferentes fisionomias campestres.

4. Conclusões

1. O uso de séries temporais de dados NDVI/MODIS permite obter informações sobre a fenologia da vegetação e a definição de padrões diretamente relacionados a variações meteorológicas em larga escala.
2. A sazonalidade da vegetação campestre apresenta um ciclo anual bem marcado, com variações associadas à variabilidade das condições meteorológicas.
3. Os espectros de potência local e global mostram onde e quando ocorreram estas alterações. Durante eventos de El Niño e La Niña há alteração no padrão sazonal da vegetação campestre, com aumento nos valores de NDVI durante eventos de El Niño e decréscimo durante La Niña.

Agradecimentos

AM agradece a CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da Bolsa de Doutorado.

Referências Bibliográficas

- Behling, H.; Jeske-Pieruschka, V.; Schüler, L.; Pillar, V.P. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: Pillar, V.P. (Org.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. cap. 1, p.13-25.
- Boldrini I.I. Campos do Rio Grande do Sul: caracterização fisionômica e problemática ocupacional. **Boletim do Instituto de Biociências**, n. 56, p.1-39, 1997.
- Boldrini, I.I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V.P. (Org.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. cap. 4, p. 63-77.
- Boldrini, I.I.; Longhi-Wagner, H.M. Poaceae no Rio Grande do Sul: diversidade, importância na fisionomia e conservação, **Ciência & Ambiente**, v. 1, n. 42, p.71-92, 2011.
- Bueno, R.F.; Blitzkow, D.; Junior, E.S.F.; Netto, N.P.; Barbosa, A.C.B. Aplicação da Transformada de Fourier e em Ondaleta às séries temporais de diferenças de altitude, determinadas por GPS, acoplado a Shaker na base USP. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, n. 4, p. 557-570, 2008.
- Halpert, M.S.; Ropelewski, C.F. Surface Temperature Patterns Associated with the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, v. 5, p. 577-593, 1992.
- Hasenack, H.; Weber, E.; Boldrini, I.I.; Trevisan, R. **Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1:500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Centro de Ecologia/The Nature Conservancy, 2010. 22 p.
- He, Y.; Guo, X.; Cheng Si, B. Detecting grassland spatial variation by a wavelet approach. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 7, p.1527-1545, 2007.
- Huete, A.R.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X.; Ferreira, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Mapa de Biomas do Brasil**. 2004. Disponível em: <http://www2.ibge.gov.br/download/mapas_murais/biomas_pdf.zip>. Acesso em: 20.set.2014.

- Jacóbsen, L.O.; Fontana, D.C.; Shimabukuro, Y.E. Efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do estado do Rio Grande do Sul, observados através do NDVI/NOAA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n. 2, p.129-140, 2004.
- Kuplich, T.M.; Moreira, A.; Fontana, D.C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.17, p. 1116-1123, 2013.
- 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, p.239-247, 2000.
- Martínez, B.; Gilabert, M.A. Vegetation dynamics from NDVI time series analysis using the wavelet transform. **International Journal of Remote Sensing**, v. 113, n. 9, p. 1823-1842, 2009.
- Morettin, P.A. **Ondas e Ondaletas: da análise de Fourier à análise de Ondaletas**. São Paulo: USP, 1999. 272 p.
- Overbeck, G.E.; Müller, S.C.; Fidelis, A.; Pfadenhauer, J.; Pillar, V.P.; Blanco, C.C.; Boldrini, I.I.; Both, R.; Forneck, E.D. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.9, n. 2, p. 101-116, 2007.
- Paruelo, J.M.; Jobbágy, E.G.; Sala, O.E. Current distribution of ecosystem functional types in temperate South America. **Ecosystems**, v. 4, p. 683-698, 2001.
- Percival, D.B.; Wang, M.; Overland, J.E. An introduction to wavelet analysis with application to vegetation time series. **Community Ecology**, v.5, p.19-30, 2004.
- Pimentel, E.A.; Silva, J. F. Decomposição de ondaletas, análise de volatilidade e correlação para índices financeiros. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 41, n. 2, p. 441-462, 2011.
- Porto, M.L.; Pillar, V.D. Os campos sulinos : sustentabilidade e manejo. **Ciência & Ambiente**, v. 24, p. 119-138, 2002.
- Quadros, F.L.F.; Pillar, V.D. Transições floresta-campo no Rio Grande do Sul. **Ciência & Ambiente**. v. 24, p. 109-118, 2002.
- Torrence, C.; Compo, G.P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, p. 61-78, 1998.
- Trenberth, K.E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, p. 2771-2777, 1997.