

A variação fenológica de tipologias campestres do bioma Pampa pela abordagem ondaleta

Andreise Moreira¹
Tatiana Mora Kuplich¹
Eliana Lima da Fonseca²

¹ Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE
Caixa Postal 5021 - 97105-970 - Santa Maria - RS, Brasil
andreisemoreira@yahoo.com.br
tmk@dsr.inpe.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 15001- 91501-970 - Porto Alegre - RS, Brasil
elianafonseca@ufrgs.br

Abstract. This article shows the results of a NDVI (MODIS) time series analysis for investigating differences in Pampa biome grasslands phenology. Wavelet transformation, which has been used for analysis of meteorological images time series, was applied to a 8 years series (2000 - 2008) of MOD13 NDVI products. NDVI bands were sampled for 7 different grass types, which were defined after RADAMBRASIL vegetation map updated in 2004 by IBGE. The results demonstrated a strong seasonality of the grassland types selected for study. The peak of power observed in the scalograms occurred between 8 and 16 months, and refer to the growing season of the grassland types, which happens in the warmer months of the year, starting in the spring and extending into the autumn, with an average of 8 months. For the years of anomalously warm winters, the pattern of growth remained and the energy peaks still characterized the phenology of the Pampa biome, which is a function of temperature and humidity. The wavelet approach, while using a relatively small data set, has shown potential in identifying periods in which there were anomalies in the behavior of vegetation. Future studies will contribute for the better understanding of this ecosystem dynamics. Also, meteorological data will be combined with NDVI data still in a wavelet approach.

Palavras-chave: grassland, phenology, NDVI/MODIS, wavelet, campo, fenologia, NDVI/MODIS, wavelet.

1. Introdução

O 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. Os campos do bioma Mata Atlântica são as áreas situadas no Planalto Sul-Brasileiro formando mosaicos com floresta ombrófila mista (floresta com araucárias) que ocorrem a nordeste do estado do Rio Grande do Sul, até a planície costeira e as encostas do Planalto de Santa Catarina e Paraná. Os campos do bioma Pampa ocorrem na Depressão Central, na Serra do Sudeste, na região das Missões e da Campanha, na metade sul do Rio Grande do Sul. Estes campos mantêm semelhança com o pampa do Uruguai e da Argentina (Behling et al., 2009). O Bioma Pampa possui uma área original aproximada de 178.000 km², dos quais 23% (41000 km²) atualmente possuem vegetação campestre nativa, com uso predominante para pecuária (MMA, 2007).

Não existe consenso na terminologia empregada para descrever os campos do RS (Marchiori, 2002). Mesmo assim, utiliza-se a classificação fitogeográfica do IBGE (1992), usada no projeto RADAMBRASIL, atualizada em 2004 e retomada no projeto PROBIO - Mapeamento dos Remanescentes dos Biomas Brasileiros (MMA, 2007). Apesar da aparente semelhança entre os campos no RS, existem variações florísticas e de valor forrageiro induzidas pelos diferentes substratos (solos rasos e fundos, com afloramentos rochosos, etc), clima e regimes de pastejo (Porto, 2002; Quadros e Pillar, 2002). De uma maneira geral, os campos “finos” da região sudoeste do Estado têm maior frequência de gramíneas prostradas,

ao passo que os demais campos são “grossos” ou “mistos”, caracterizados por apresentarem gramíneas entouceiradas de maior porte (Quadros e Pillar, 2002).

A vegetação presente no Pampa é uma das mais ricas do mundo em espécies de gramíneas, formando uma matriz de campos, que podem ser entremeado de matas ciliares nas margens dos rios (Boldrini, 2009). Na região da Serra do Sudeste, a vegetação apresenta maior número de arbustos e árvores de baixo porte (Boldrini, 2009), sendo classificada como Estepe pelo IBGE (1992). As demais áreas amostradas (Missões, Campanha e Depressão Central) apresentam campos classificados como Savana Estépica, de acordo com a ocorrência de *Acacia caven* (espinilho) (Cordeiro e Hasenack, 2009).

Os fatores que conduziram à atual fisionomia e diversidade dos campos, assim como a distribuição florística e espacial das diferentes comunidades campestres, ainda não são suficientemente conhecidas para previsão de suas dinâmicas em face das perturbações em curso (Overbeck et al. 2007). Nos últimos anos os campos têm sido substituídos pela silvicultura, com introdução de *Pinus* e eucalipto, incentivado por indústrias privadas e por órgãos gestores (Overbeck et al. 2009). A taxa de conversão dos campos para áreas agrícolas tem sido da ordem de 1000 km² por ano (Cordeiro e Hasenack, 2009).

Em função da expansão das atividades exercidas em áreas de campo, a conservação e manutenção da biodiversidade deste bioma são temas atuais (Bencke, 2009), tornando cada vez mais necessário o conhecimento do estado de conservação e dinâmica da vegetação campestre. Para isso, produtos derivados de imagens adquiridas por sensoriamento remoto, como os índices de vegetação, oferecem alternativas para o monitoramento da vegetação.

Os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais, que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila e biomassa verde (Jensen, 2009). Entre os principais índices de vegetação disponíveis destaca-se o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) calculado através da relação (Equação 1):

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{RED})}{(\text{NIR} + \text{RED})} \quad (1)$$

Onde: NIR e RED são as reflectâncias espectrais medidas nas regiões do infra-vermelho próximo e vermelho, respectivamente.

Neste estudo optou-se pelo uso de dados do NDVI, obtidos do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), o qual possibilita construir perfis sazonais e temporais da dinâmica da vegetação, permitindo comparações intra e inter-anuais. Os dados NDVI do sensor MODIS, disponibilizados como um mosaico dos pixels de maior valor para um período de 16 dias facilita a análise de dados de vegetação e clima, pois minimiza o problema de cobertura de nuvens e ruídos (Roseback et al. 2009). Antes das plataformas Terra e Aqua (que transportam o sensor MODIS), análises temporais de NDVI eram feitas com base em dados AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo dos satélites NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (Pettorelli et al.; 2005; Fontana et al., 2007).

A verificação de padrões anuais e inter-anuais do comportamento da vegetação pode ser realizada por meio da geração de espectros de potência a partir da Transformada de Ondaleta. A Transformada de Ondaleta (wavelet) é uma função matemática que permite analisar sinais não estacionários, decompondo e descrevendo séries temporais em tempo e frequência, assim, acusa quais frequências existem no sinal e em qual intervalo de tempo ocorrem (Morettin, 1999). É uma ferramenta de análise de fenômenos que variam no tempo, revelando onde ou quando a energia do sinal analisado é transferida de um período/frequência para o outro (Burrus e Gopinath e Guo, 1998). A análise de ondaletas tem sido usada para a descrição da

dinâmica sazonal da vegetação no Brasil, evidenciando sua relação com o clima (Gurgel e Ferreira, 2003; Rosembach et al., 2009).

Nesse sentido, o estudo objetivou aplicar a Transformada de Ondaleta para identificar as mudanças ocorridas na fenologia de diferentes tipologias campestres para o período de 2000 a 2008, com base na análise do NDVI.

2. Metodologia de Trabalho

Para este estudo, utilizou-se uma série temporal, de dados de NDVI obtidos pelo sensor MODIS através do produto MOD13Q, que possui resolução espacial de 250m e composição de imagens a cada 16 dias, para o período de fevereiro de 2000 a dezembro de 2008, totalizando 204 imagens. Lançado em 1999 a bordo da plataforma Terra e posteriormente abordo 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 (MODIS, 2010).

Neste trabalho, as amostras de vegetação campestre foram obtidas junto às seguintes tipologias, em acordo com o mapa síntese do projeto PROBIO para o bioma Pampa (MMA, 2007): Estepe com afloramento rochoso (EAR), Estepe formação pioneira com influência fluvial/lacustre (EFPIFL), Estepe gramíneo lenhosa (EGL), Estepe gramíneo lenhosa com afloramento rochoso (EGLAR), Savana estépica formação pioneira com influencia fluvial/lacustre (SEFPIFL), Savana estépica gramíneo lenhosa (SEGL), Savana estépica gramíneo lenhosa com afloramento rochoso (SEGLAR).

As imagens adquiridas foram importadas e processadas no aplicativo SPRING 5.1. Para cada imagem criou-se um polígono e o recorte das áreas que correspondem a 21 amostras de campo, que agrupadas representam as sete tipologias campestres apresentadas no mapa PROBIO (MMA, 2007), localizadas na região da Campanha, Serra do Sudeste e Depressão Central, no estado do Rio Grande do Sul, entre os paralelos 25° e 30° como se observa na Figura 1.

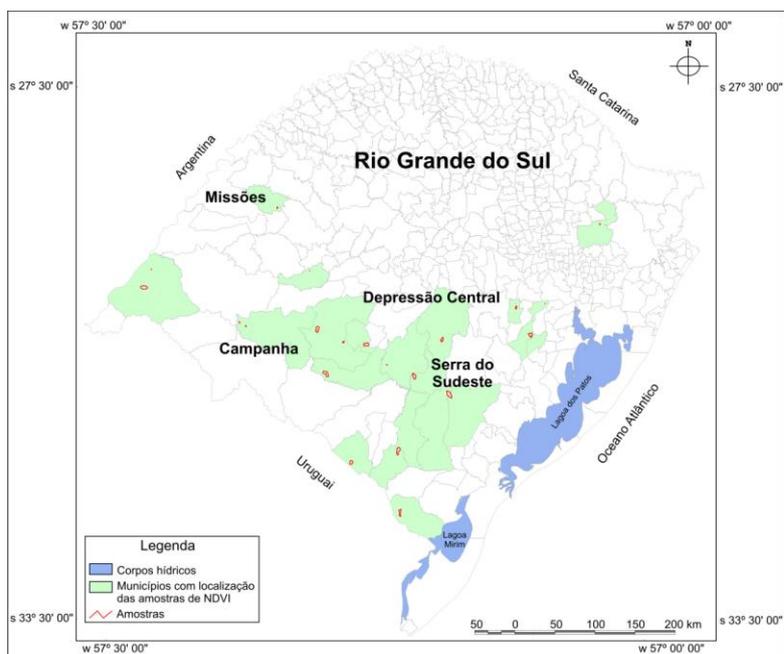


Figura 1. Distribuição dos polígonos das amostras de campo.

O relevo da região varia entre plano a suave ondulado, com altimetria que não ultrapassa os 200m. O clima, segundo a classificação Köppen, é subtropical úmido (Cfa), com invernos moderadamente frios, apresentando temperaturas abaixo de 0°C, entre junho e agosto, meses

mais frios e verões quentes com temperatura que varia de 22°C a mais de 24°C, nos meses de dezembro a março (Suertegaray, 1998). A precipitação pluvial média anual varia entre 1.250 e 1.500mm, com diminuição dos índices pluviométricos observado durante o verão (Cordeiro e Soares, 1977).

Atribuiu-se às tipologias campestres EAR, EFPIFL, EGL, EGLAR, SEFPIFL, SEGL, SEGLAR, os valores das médias extraído das 21 amostras, que possuem área com variação entre 0,07 km² a 33,3 km². Para cada formação criou-se uma planilha de dados, os quais foram importados no aplicativo MatLab para a geração do espectro de potência, com uso da Transformada de Ondaleta. Após uma série de testes, optou-se por utilizar a função ondaleta mãe de Morlet, que permitiu identificar variações sutis nos padrões anuais e inter-anuais de comportamento fenológico da vegetação em escala tempo-frequência.

3. Resultados e Discussão

Uma abordagem por ondaleta foi utilizada para identificar as escalas de variação nas tipologias de campo, representadas em um gráfico de potência com picos de energia de NDVI em diferentes escalas de tempo-frequência. Em termos de amplitude do NDVI, observa-se acentuada sazonalidade em todas as tipologias selecionadas, que foram agrupadas em função de semelhanças no formato dos escalogramas. Os valores médios de NDVI (parte superior das figuras) denotam a dinâmica nos dados, geralmente com valores decrescentes de janeiro até o final do inverno (setembro), quando inicia a primavera e os valores aumentam novamente. Variações neste “padrão” são observadas para todas as tipologias, demonstrando a influência de variáveis meteorológicas nos valores de NDVI.

Observa-se assim que a tipologia de campo EAR, Figura 2 e EFPIFL, Figura 3 mantém semelhanças quando avaliado o NDVI. Ambas, possuem picos de energia concentrado entre 16 e 32 meses, correspondente ao ciclo inter-anual, com frequência mantida para os anos de 2000 a 2003 e entre 2005 a 2008, com diminuição significativa em 2004. Para a tipologia EFPIFL a diminuição no pico de energia ocorre com maior intensidade entre 2004 e 2007, dada a sua formação ser característica de áreas aluviais, influenciadas por variações nos índices de precipitação.

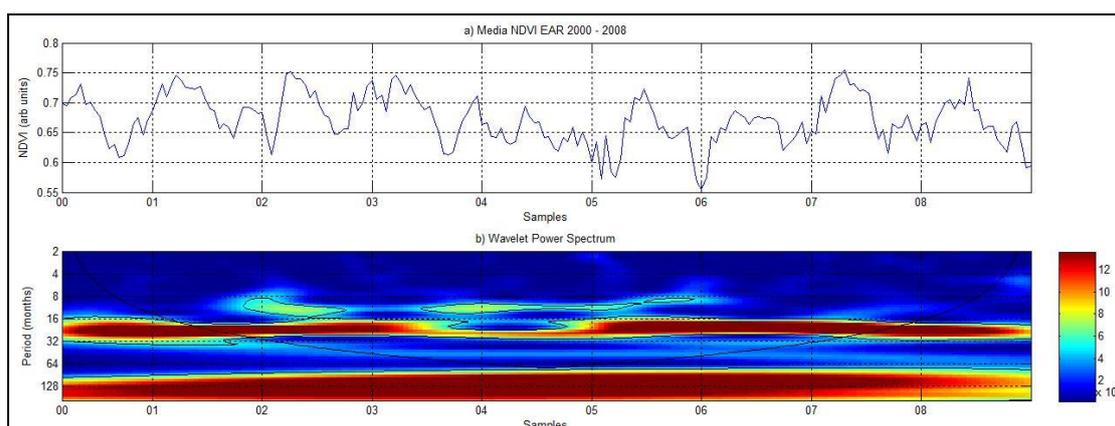


Figura 2. Escalograma da série NDVI, ondaleta mãe de Morlet.

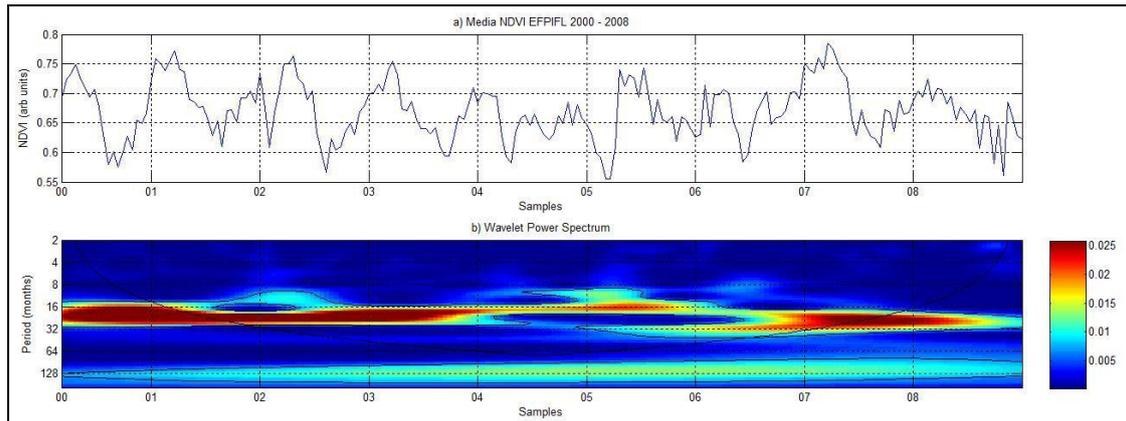


Figura 3. Escalograma da série NDVI, ondaleta mãe de Morlet.

Para as tipologias EGLAR, SEGL e SEGLAR, conforme Figura 4, 5 e 6, além do pico de energia concentrar-se entre 16 e 32 meses, pode-se observar variações intra-anuais, entre 8 e 16 meses para os anos de 2002 a 2004 e entre 2007 e 2008 para a tipologia EGLAR, Figura 4, e para os anos de 2002, 2005 a 2006 e 2007 a 2008 para as tipologias SEGL, Figura 5 e SEGLAR, Figura 6. Estes picos de energia, entre 8 e 16 meses, referem-se à época de crescimento das espécies que ocorre nos meses quentes do ano, iniciando-se na primavera e se estendendo até o outono, com média de 8 meses. Da mesma maneira, em anos de invernos anormalmente quentes, o crescimento é contínuo, ou seja, os picos de energia observados caracterizam a fenologia do bioma Pampa, que ocorre em função da temperatura e umidade.

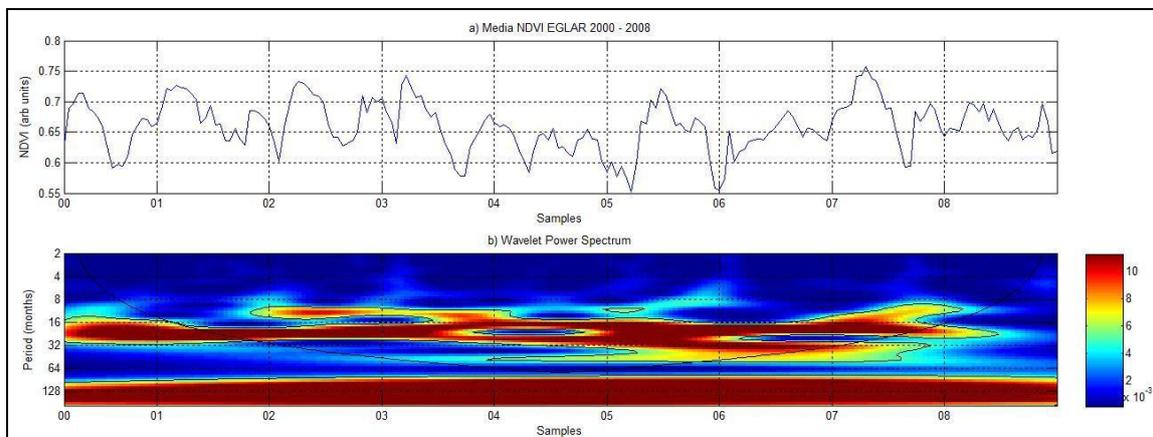


Figura 4. Escalograma da série NDVI, ondaleta mãe de Morlet.

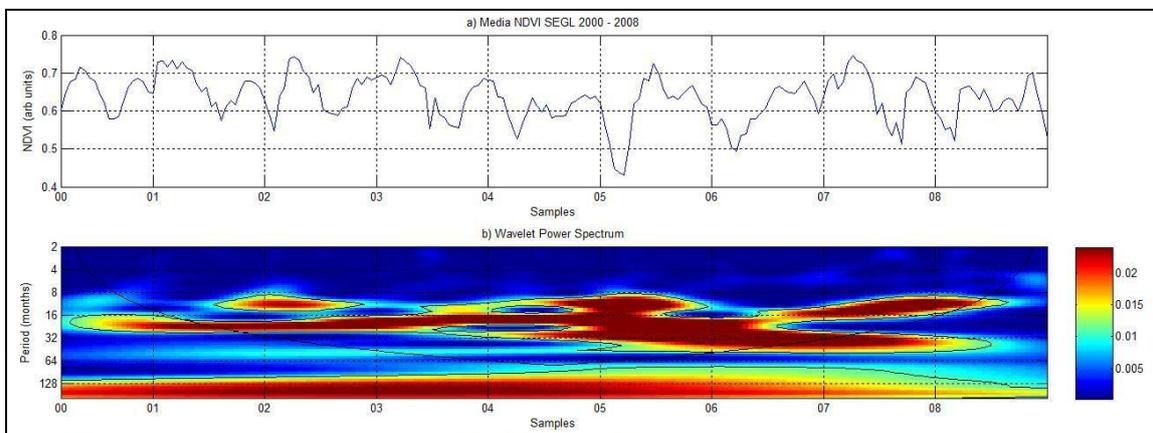


Figura 5. Escalograma da série NDVI, ondaleta mãe de Morlet.

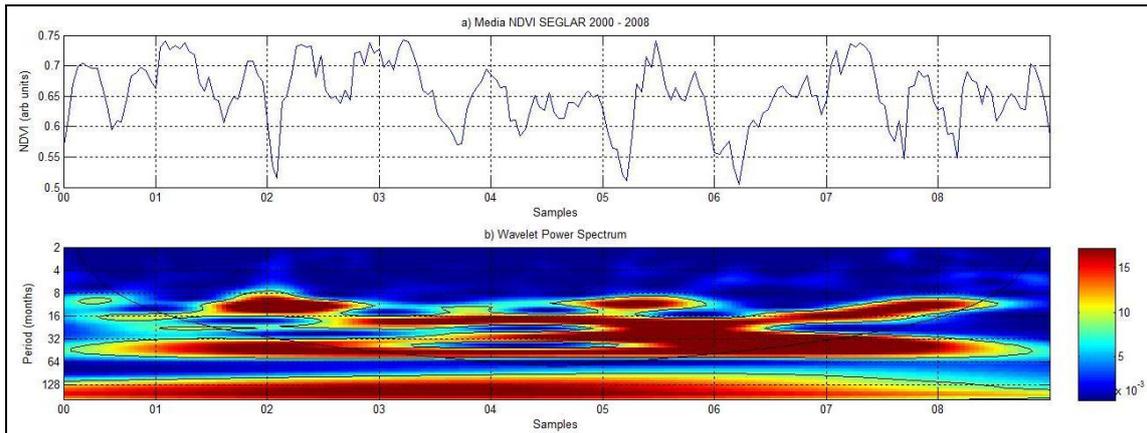


Figura 6. Escalograma da série NDVI, ondaleta mãe de Morlet.

Como observado, a dinâmica dos campos no bioma Pampa é bem característica e não apresenta alterações acentuadas durante o período estudado. No entanto, o comportamento das tipologias EGL, Figura 7 e SEFPFIFL, Figura 8 demonstra picos de energia isolados, os quais ocorrem entre 16 e 32 meses para os anos de 2000 a 2004 para EGL e entre os anos de 2006 a 2008 para SEFPFIFL. Estas anomalias na variabilidade do NDVI podem estar associadas a mudanças eventuais nas condições meteorológicas nos locais de coleta das amostras, como por exemplo, geadas ou períodos de seca.

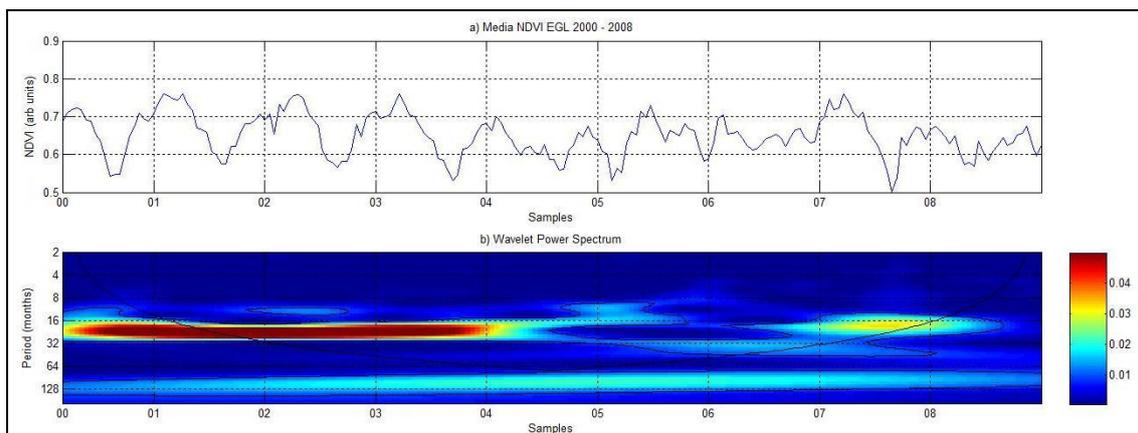


Figura 7. Escalograma da série NDVI, ondaleta mãe de Morlet.

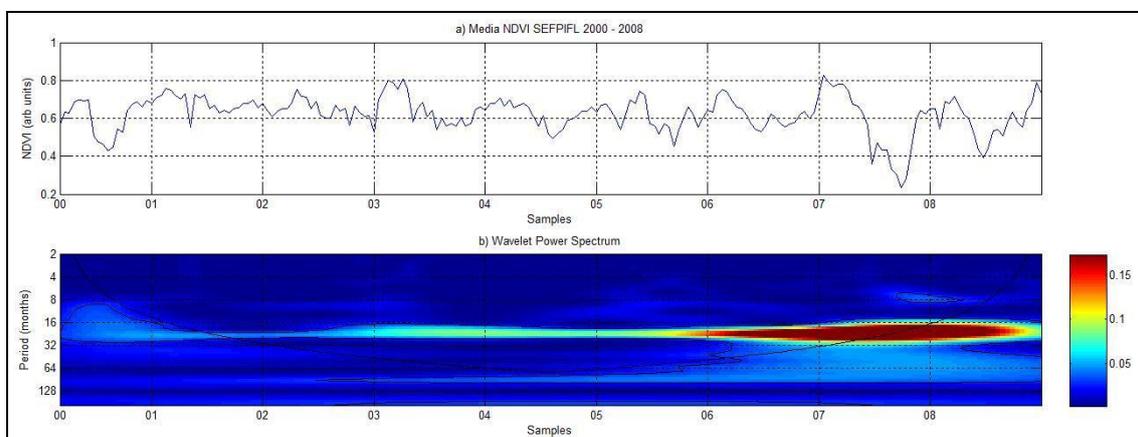


Figura 8. Escalograma da série NDVI, ondaleta mãe de Morlet.

Nos escalogramas das Figuras 8 e 9, a variabilidade presente na série temporal de NDVI, demonstrada por picos de energia entre 2000 a 2004 para a tipologia EGL e entre 2006 a 2008 para a SEFPIFL, justificam-se pela influência do fenômeno El Niño e La Niña. Com base em dados do National Weather Service - Climate Prediction Center (2010) observa-se que entre os anos 2007 a 2008 houve La Niña, com conseqüente diminuição de precipitação e queda dos valores de NDVI.

Dessa maneira, destaca-se que estudos mais aprofundados necessitam ser realizados no intuito de identificar variações no padrão fenológico da vegetação campestre associado a anomalias de precipitação, temperatura e umidade.

4. Conclusões

A caracterização da dinâmica fenológica das tipologias campestres que compõem o bioma Pampa, com base em imagens de NDVI obtidas do sensor MODIS, pôde ser identificada. As tipologias campestres possuem comportamento sazonal bem definido, com período de crescimento das espécies nos meses quente do ano, ou seja, durante a primavera e verão. Como esperado, entretanto, a amostragem do NDVI para as tipologias com base no mapa de vegetação do IBGE não conduziu ao reconhecimento de padrões sazonais distintos para cada tipologia.

A análise por ondaletas demonstra potencial neste tipo de abordagem, uma vez que, identifica períodos em que ocorreram anomalias no comportamento da vegetação. A manipulação dos dados de NDVI, por meio da análise de ondaleta, apresenta uma nova possibilidade de análise da dinâmica da vegetação campestre. Entretanto, diferentes tamanhos de janelas de amostragem dos dados deverão ser testadas para a geração dos escalogramas, assim como a coleta de amostras em locais sabidamente variados em solos, morfometria e florística. Estudos futuros, associando dados meteorológicos à análise de NDVI contribuirão para melhor entendimento da dinâmica deste bioma.

Agradecimentos

A autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Brasil, pela concessão da Bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial.

Referências Bibliográficas

- Behling, H. et al. Dinâmica dos campos no Sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: Pillar, V. D.; Muller, S. C.; Castilhos, Z. M. S.; Jacques, A. V. A. (Org.). **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap. 1, p. 13-25.
- Bencke, G. A. Diversidade e conservação da fauna dos Campos do Sul do Brasil. In: Pillar, V. D.; Muller, S. C.; Castilhos, Z. M. S.; Jacques, A. V. A. (Org.). **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap. 7, p. 101-121.
- Boldrini, I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V. D.; Muller, S. C.; Castilhos, Z. M. S.; Jacques, A. V. A. (Org.). **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap. 4, p. 63-77.
- Burrus, C. S.; Gopinath, R. A.; Guo, H. **Introducion to Wavelets and Wavelet Transforms: a primer**. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 268 p.
- Cordeiro, C. A.; Soares, L. C. A erosão nos solos da região sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia**, n. 39, p. 82-150, 1977.
- Cordeiro, J. L. P.; Hasenack, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V. D.; Muller, S. C.; Castilhos, Z. M. S.; Jacques, A. V. A. (Org.). **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap. 23, p. 285-299.

- Fontana, D. C. et al. Caracterização da dinâmica temporal dos Campos do Rio Grande do Sul por meio de Imagens AVHRR/NOAA. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 15, n. 1, p. 69-83, 2007.
- 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.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p.
- Jensen, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.
- Marchiori, J. N. C. Considerações terminológicas sobre os Campos Sulinos. **Ciência e Ambiente**. n. 24, p. 139-150, 2002.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros: relatório do Bioma Pampa**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. 31 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/portabio>>. Acesso em: 14.set.2010.
- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>>. Acesso em: 14.set.2010.
- Morettin, P. A. **Ondas e Ondaletas: da análise de Fourier à análise de Ondaletas**. São Paulo: USP, 1999. 272 p.
- National Weather Service - Climate Prediction Center. Disponível em: <http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 25.out.2010.
- Overbeck, G. E. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.9, n. 1, p. 101-116, 2007.
- Pettorelli, N et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **Trends in Ecology & Evolution**, n. 20, p. 503-510, 2005.
- Porto, M. L.; Pillar, V. D. Os campos sulinos - sustentabilidade e manejo. **Ciência e Ambiente**. n. 24, p. 119-138, 2002.
- Quadros, F. L. F.; Pillar, V. D. Transições floresta-campo no Rio Grande do Sul. **Ciência e Ambiente**. n. 24, p. 109-118, 2002.
- Rosemback, R. et al. Análise de ondaletas aplicada a dados multitemporais de NDVI/MODIS. **Geografia**. n. 3, p. 559-575, 2009.
- Suertegaray, D. M. A. **Deserto Grande do Sul: Controvérsia**. Porto Alegre: UFRGS, 1998. 74 p.