



Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul

Tatiana M. Kuplich¹, Andreise Moreira² & Denise C. Fontana³

RESUMO

Com este trabalho objetivou-se identificar a dinâmica fenológica das principais tipologias vegetais do Rio Grande do Sul, para o período de 2000 a 2010, utilizando-se dados de Enhanced Vegetation Index, através da transformada de ondaleta. A identificação da fenologia em ciclos ou padrões sazonais em séries temporais de índices de vegetação, obtidos por sensores orbitais, permite a observação de anomalias e os efeitos de mudanças climáticas ou ambientais. Um perfil temporal do Enhanced Vegetation Index foi construído para o Rio Grande do Sul e retiradas amostras para quatro tipologias vegetais: campo nativo, floresta ombrófila mista, cultivo de soja e de arroz. Essas amostras foram submetidas à transformada de ondaleta, que permitiu a decomposição da série e apresentação dos dados em relação ao tempo e frequência com que os eventos fenológicos ocorreram. Os dados apresentaram regularidade na dinâmica das tipologias vegetais testadas, com ciclos anuais de maior vigor e crescimento vegetal nas estações de primavera e verão e menor no outono e inverno.

Palavras-chave: índice de vegetação melhorado, ondaleta, fenologia, sensoriamento remoto

Time series of vegetation index for different vegetation types in Rio Grande do Sul

ABSTRACT

The objective of this study was the identification of the phenology dynamics of the main types of vegetation of Rio Grande do Sul state, for the period from 2000 to 2010, using Enhanced Vegetation Index data through the wavelet transform. The identification of cycles or seasonal patterns in time series of vegetation indices obtained by orbital sensors allows the observation of anomalies and effects of climate and environmental change. A temporal profile of Enhanced Vegetation Index was built for the Rio Grande do Sul region, where samples of the four main plant typologies were selected: native grassland, mixed ombrophilous forest, soybean and rice crop. These samples were submitted to the wavelet transform, which allowed the decomposition of the series and presentation of data in relation to time and frequency with which the phenological events have occurred. The data showed regularity in the dynamics of vegetation types tested, with annual cycles of plant growth and higher Enhanced Vegetation Index values in spring and summer and lower Enhanced Vegetation Index values in autumn and winter.

Key words: enhanced vegetation index, wavelet, phenology, remote sensing

¹ CRS/INPE, C. P. 5021, CEP 97105-970, Santa Maria, RS. Fone: (55) 3301-2055. Email: tmk@dsr.inpe.br

² CRS/INPE, Santa Maria, RS. Fone: (55) 3301-2001. E-mail: andreisem@gmail.com

³ UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 7712, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS. Fone: (51) 3308-7413. Email: dfontana@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

A fenologia da vegetação e a ocorrência de eventos, como floração e frutificação, são controladas pelo clima e por fatores bióticos, e têm influência direta no balanço de carbono e produtividade de ecossistemas (Aber & Melillo, 2001). A identificação da fenologia em ciclos ou padrões sazonais em séries temporais de dados de vegetação permite a observação de anomalias e efeitos de mudanças climáticas ou ambientais nesses ciclos. Informações sobre a dinâmica fenológica dos ecossistemas e sistemas agrícolas quando precedem ações de conservação e manejo, possibilitam prever ritmos de crescimento e produção, aumentando as chances de sucesso dessas ações.

O registro frequente de imagens por sensores orbitais cobrindo grandes áreas da superfície terrestre permite a construção e a análise de séries temporais de dados de vegetação. A observação e a análise dessas séries podem auxiliar no reconhecimento de padrões e na detecção de eventuais mudanças ou anomalias associadas a perturbações antrópicas ou naturais. Assim, a utilização de séries temporais de imagens orbitais para detecção de mudanças globais e de cobertura da terra é uma das importantes aplicações atuais dos dados de sensoriamento remoto (Martinez & Gilabert, 2009; Freitas et al., 2011).

Existem diversas ferramentas para análise de séries temporais de dados de vegetação, incluindo abordagens estatísticas como componentes principais e espectrais. Outras técnicas, como a análise de Fourier e transformada de ondaletas, também vêm sendo utilizadas e demonstradas como adequadas em estudos sobre diferentes tipos de vegetação (Martinez & Gilabert, 2009). A transformada de ondaletas tem sido usada para descrição da dinâmica sazonal da vegetação (Percival et al., 2004) e das relações entre clima e fenologia (Li & Kafatos, 2000) dentre outras. No Brasil, o controle do clima sobre a vegetação também foi evidenciado com suporte das ondaletas (Rosemback et al., 2009).

A transformada de ondaletas (“wavelets”) é uma função matemática que permite decompor e descrever uma série de dados temporais em diferentes escalas de tempo e frequência (Graps, 1995; Percival et al., 2004; He et al., 2007). É uma ferramenta de análise comumente usada em estudos de séries de dados meteorológicos, pois auxilia na identificação de ciclos e nas suas frequências de ocorrência, assim como eventuais perturbações nesses ciclos. Os gráficos gerados pela aplicação da transformada de ondaleta permitem a observação da variação dos dados quanto ao tempo de ocorrência (eixo x) e a periodicidade (eixo y). É possível supor, também, a associação dessas variações, no caso a resposta da vegetação, a eventos meteorológicos de longa ou curta duração (Rosemback et al., 2009).

Neste trabalho o foco se detém nas formações vegetais, nativas e cultivadas, que cobrem o bioma Pampa e bioma Mata Atlântica no Rio Grande do Sul. Nesses dois biomas as principais atividades desenvolvidas são a pecuária e a agricultura, com os cultivos de soja, arroz, milho e trigo (IBGE, 2006).

Em função da expansão dessas atividades em áreas florestais e campestres, a conservação e a manutenção da biodiversidade desses biomas são temas atuais (MMA, 2007; PROBIO, 2010;

Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, 2011) tornando-se cada vez mais necessário o conhecimento da dinâmica fenológica de suas coberturas vegetais. Para isto, produtos derivados de imagens adquiridas por sensoriamento remoto, como os índices de vegetação, surgem como suporte fundamental.

Os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais que, em geral, realçam o comportamento espectral da vegetação e se relacionam com a abundância relativa e parâmetros biofísicos da vegetação, como biomassa, índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde e teor de clorofila (Jiang et al., 2008). Dentre esses índices se destaca o EVI (Enhanced Vegetation Index), desenvolvido para o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo dos satélites Terra e Aqua (Justice et al., 1998).

O EVI foi criado com o intuito de aprimorar a detecção da vegetação em regiões com maiores densidades de biomassa e para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel. Os dados de EVI foram utilizados neste trabalho por cobrir um intervalo maior de valores, além de terem mais sensibilidade para áreas de vegetação com alta biomassa (Huete et al., 2002; Galford et al., 2008). De maneira geral, pela quase inexistência de saturação os valores de EVI são menores que os de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) para a mesma formação vegetal.

Diversos estudos com base em índices de vegetação analisaram a dinâmica da vegetação em séries temporais (Spanner et al., 1990; Huete et al., 2002; Baldi & Paruelo, 2008; Rosemback et al., 2010). Esses índices minimizam a variabilidade causada por fatores externos à vegetação e servem como indicadores do crescimento e vigor da vegetação, mostrando-se adequados para o monitoramento de mudanças fenológicas nas formações vegetais e áreas agrícolas no Brasil (Fontana et al., 2007; Rizzi & Rudorff, 2007).

O objetivo principal neste trabalho foi a identificação da dinâmica fenológica das principais tipologias vegetais do Rio Grande do Sul, para o período de 2000 a 2010, utilizando-se dados de EVI, por meio da transformada de ondaleta.

MATERIAL E MÉTODOS

O Rio Grande do Sul está localizado no extremo meridional do Brasil, entre as latitudes 27° 05' e 33° 45' S e longitudes 49° 43' e 57° 39' W. Referente aos aspectos físicos geográficos destaca-se do relevo o Planalto Meridional, situado na metade norte do Estado e suas bordas, que correspondem à chamada Serra Geral. A sudoeste se encontra a Cuesta do Haedo e ao centro tem-se a Depressão Central. Ao sul localiza-se o Escudo Sul-Rio-Grandense ou Serra do Sudeste e a leste tem-se a Planície Costeira (SEPLAG, 2002).

O clima do Estado é classificado conforme Köppen como temperado ou “C”, tipo úmido ou “Cf”, com as variedades “Cfa” e “Cfb” (sub-tropical e temperado, respectivamente) (Jacóbsen et al., 2004; Peel et al., 2007). Quanto à temperatura do ar verifica-se grande variação sazonal com verões quentes e invernos rigorosos. As temperaturas médias variam entre 15 e 18 °C, com mínimas de até -10 °C e máximas de 40 °C (SEPLAG, 2002).

Com relação à precipitação pluvial, o Rio Grande do Sul apresenta distribuição relativamente equilibrada ao longo de todo o ano, com diminuição durante o verão. O volume, no entanto, é diferenciado. Na metade sul do Estado a precipitação pluvial média se situa entre 1.299 e 1.500 mm e na metade norte a média está entre 1.500 mm e 1.800 mm, com intensidade maior a nordeste do Estado (SEPLAG, 2002). A variabilidade anual da precipitação pluvial para o Rio Grande do Sul é elevada, pois está suscetível aos efeitos de aumento e redução de precipitação provocados pelo fenômeno El Niño e La Niña, respectivamente (Jacóbsen et al., 2004).

Referente ao período de estudo, abrangeram-se 11 anos, de fevereiro de 2000 a dezembro de 2010. Utilizou-se uma série temporal de dados de EVI obtidos pelo sensor MODIS através do produto MOD13Q1, com resolução espacial de 250 m e composição de imagens em mosaicos com pixel de maior valor para períodos de 16 dias reduzindo, desta forma, a cobertura de nuvens nos dados, totalizando 230 imagens (<ftp://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD13Q1.005/>). O EVI é calculado através da Eq. 1.

$$EVI = \frac{G(IVp - \text{vermelho})}{(L + IVp + C1 \text{ vermelho} - C2 \text{ azul})} \quad (1)$$

em que:

G - fator de ganho ($G = 2,5$)

L - fator de ajuste para a interferência do solo ($L = 1$)

C1 - coeficiente de ajuste dos efeitos atmosféricos para o vermelho ($C1 = 6$)

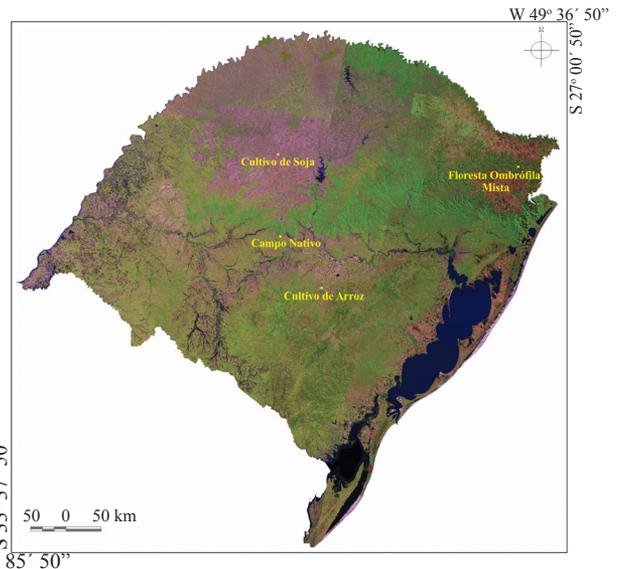
C2 - coeficiente de ajuste dos efeitos atmosféricos para o azul ($C2 = 7,5$)

IVp - reflectância na região espectral do infravermelho próximo

Vermelho e azul - representam a reflectância nas regiões espectrais do vermelho e azul (Huete et al., 1997; Justice et al., 1998).

Obtiveram-se as imagens EVI através do aplicativo MODIS Reprojection Tools (MRT). Posteriormente, as imagens foram importadas para o aplicativo SPRING 5.1, efetuado o recorte de acordo com os limites (polígono) do Rio Grande do Sul e extraídas de médias de EVI para este polígono. Também foram recortadas amostras das seguintes tipologias vegetais (com as coordenadas correspondentes): campo nativo ($-29^{\circ} 43' 35''$, $-53^{\circ} 45' 38''$), floresta ombrófila mista ($-28^{\circ} 42' 39''$, $-50^{\circ} 29' 13''$), cultivo de soja ($-28^{\circ} 36' 16''$, $-53^{\circ} 41' 08''$) e cultivo de arroz ($-29^{\circ} 11' 09''$, $-50^{\circ} 26' 05''$) com o objetivo de caracterizar a vegetação do Estado e analisar o comportamento espectral dessas tipologias ao longo do ano e no período em estudo (2000-2010) (Figura 1).

A amostra de campo nativo está localizada nas parcelas experimentais do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria. A amostra de floresta ombrófila mista localiza-se ao sul do município de Bom Jesus. As amostras de cultivos de soja e arroz são áreas de estudo do projeto SULFLUX (Rede Sul-Brasileira de Fluxos Superficiais e Mudança Climática) localizado nos municípios de Cruz Alta e Cachoeira do Sul, respectivamente.



Fonte: Atlas Socioeconômico do estado do Rio Grande do Sul (www.scp.rs.gov.br)

Figura 1. Localização dos pontos amostrais sobre o estado do Rio Grande do Sul. Mosaico de 22 imagens Landsat/Thematic Mapper de 1999 e 2000, elaborados pelo Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM)

Para cada tipologia vegetal amostraram-se os valores de EVI extraídos das imagens MODIS. As amostras possuem área com variação entre 0,50 km² (4 pixels) e 1 km² (16 pixels). Para cada tipologia vegetal criou-se uma planilha de dados importados para o 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 Dog, parâmetro 2, com nível de significância de 0,05 que permitiu identificar variações anuais e interanuais no padrão fenológico da vegetação em escala tempo-frequência.

Os dados meteorológicos do período em estudo (2000-2010), utilizados para verificação da distribuição dos valores médios das variáveis precipitação pluvial e temperatura do ar foram adquiridos do BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa), FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária), CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos), Defesa Civil do Rio Grande do Sul e EMBRAPA Monitoramento por Satélite.

Dados meteorológicos diários foram obtidos em 20 estações meteorológicas e organizados em tabelas no Excel. Desses dados diários se extraíram valores médios mensais para cada estação meteorológica e, em seguida, obtida a média mensal para o Estado, a qual foi correlacionada com valores médios mensais de EVI para o período de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em termos de amplitude do EVI para o Estado observa-se, nos valores médios, variação sazonal deste índice ao longo do período analisado denotando a dinâmica nos dados. Pela curva percebe-se que o EVI mantém um padrão temporal, geralmente com valores decrescentes do verão (janeiro) até

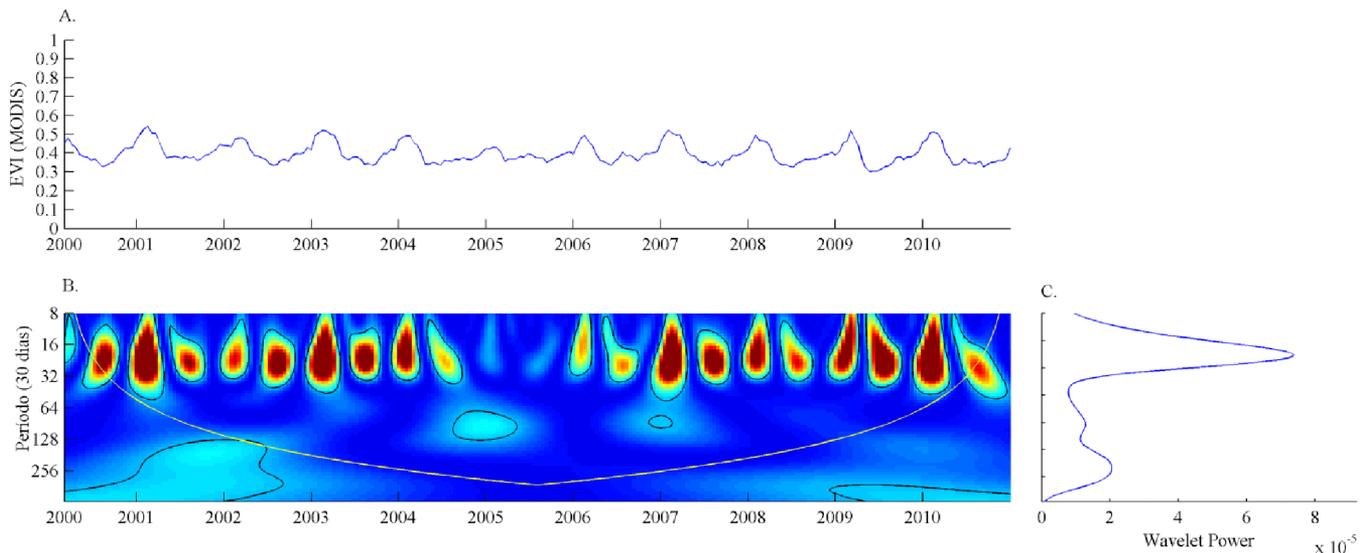


Figura 2. Série temporal EVI usada para a Transformada de Ondaleta para o Rio Grande do Sul (A), Espectro de potência local (B) e Espectro de potência global (C)

o final do inverno (setembro) quando inicia a primavera e os valores aumentam novamente (Figura 2A).

Observa-se, entretanto, que a amplitude dos dados é baixa se comparada com a das demais coberturas analisadas (campo nativo, floresta ombrófila mista, cultivo de soja e arroz). Como a cobertura dominante do Rio Grande do Sul, em torno de 45% (Cordeiro & Hasenack, 2009) são as fisionomias campestres, o comportamento observado para o estado se assemelha ao das áreas de campo nativo (Figura 3A).

Com relação ao espectro de potência local ou escalograma, os picos de energia estão acima da linha em branco que cruza a série possuem 0,05 de significância estatística (Figura 2B). Para o EVI do Rio Grande do Sul é possível observar a ocorrência de dois picos distintos de variância em diferentes escalas temporais.

O primeiro pico ocorre entre 16 e 32 observações, o que corresponde em média a 24 observações ou 1 ano (as medidas de EVI são representadas por períodos com intervalo de 16 dias) para a série. Este pico evidencia a dinâmica anual dos dados com ganho de massa foliar verde de julho a março e senescência (ou dormência/queda das folhas/colheita) no outono e inverno. Tal dinâmica foi relatada para dados NDVI do Rio Grande do Sul e relacionada a períodos de preparo e plantio de culturas agrícolas de primavera-verão e de outono-inverno (Jacóbsen et al., 2004).

Também se observa, mesmo com menor intensidade, um pico interanual em torno de 256 observações, que corresponde a 128 meses ou aproximadamente 10 anos, que é próximo ao período total considerado. Embora este esteja fora do cone de influência, apresenta-se bem marcado devendo ser analisado por meio de anomalia para verificação de possível influência no padrão sazonal da vegetação. A observação de picos de energia em escalas semelhantes à duração total da série denota a necessidade de uma série maior para observação de eventual recorrência e constituição de um padrão.

A análise do espectro de potência local permite, ainda, observar perturbação no padrão sazonal entre os anos 2004-2006, com diminuição de picos de variância neste período. Os dados EVI também mostram a redução dos valores máximos no verão nesta mesma época. Possivelmente esta mudança no padrão

esteja associada à variabilidade das condições meteorológicas no período. A variabilidade anual do NDVI do Rio Grande do Sul foi relacionada a fenômenos climáticos oceano-atmosfera de grande escala El Niño e La Niña, já que esses exercem grande impacto nas condições meteorológicas, notadamente precipitação pluvial e temperatura do ar (Jacóbsen et al., 2004).

Para os períodos nos quais foram encontradas perturbações nos padrões sazonais esperados para o EVI, ocorreram os fenômenos El Niño (2004-2005) e La Niña (2005-2006) (CPC-NCEP-NOAA, 2012). Jacóbsen et al. (2004) observaram que aumentos (El Niño) e diminuições (La Niña) na precipitação pluvial do Estado no período de 1981 a 2000 tiveram efeitos na forma de anomalias positivas e negativas de NDVI, respectivamente, com defasagem temporal entre tais efeitos. Para o estudo aqui realizado, a ocorrência de El Niño e La Niña não foi, entretanto, suficiente para justificativa de perturbação dos padrões sazonais de EVI observados.

Para as amostras de campo nativo o padrão sazonal do EVI, em linhas gerais, segue o do Rio Grande do Sul, com valores de EVI decrescentes do verão ao inverno e retomada do vigor vegetal na primavera e verão (Figura 3A). No escalograma, o padrão cíclico anual é denotado com diminuição de variância para os anos de 2004-2005, quando os valores de EVI foram mais baixos em relação ao restante da série (Figura 3B). O escalograma mostra a quase ausência de picos neste período.

Considera-se que as amostras de campo coletadas nas imagens EVI sobre as parcelas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria representam a fenologia típica de campo nativo, uma vez que a área é usada apenas para pastejo de gado, desde os anos 1970.

A inexistência de picos de energia na escala anual dos escalogramas para alguns anos, como para 2004, 2005 e 2006 na amostra de campo nativo, sugere a ocorrência de anomalias no desenvolvimento vegetal, possivelmente relacionadas a fenômenos meteorológicos com efeitos locais ou regionais.

Para a área de floresta ombrófila mista (Figura 4A), o padrão sazonal anual aparece bem marcado no perfil temporal de EVI, no espectro de potência (Figura 3B) e no espectro de

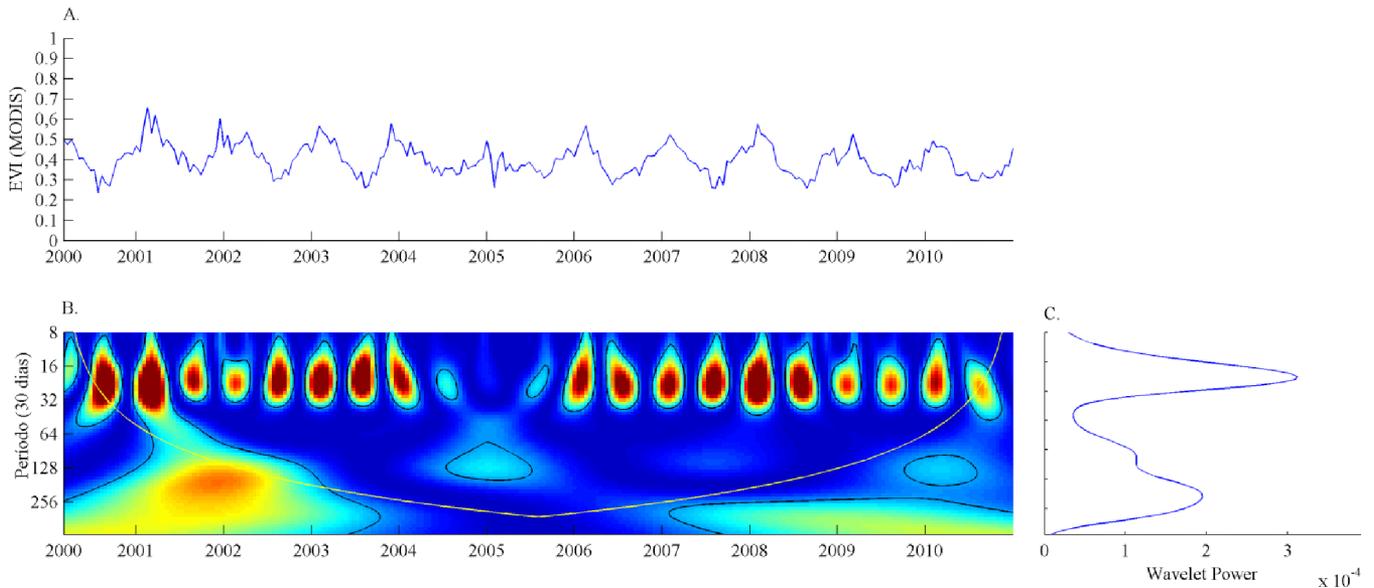


Figura 3. Série temporal EVI usada para a Transformada de Ondaleta para amostra de campo nativo - Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (A), Espectro de potência local (B) e Espectro de potência global (C)

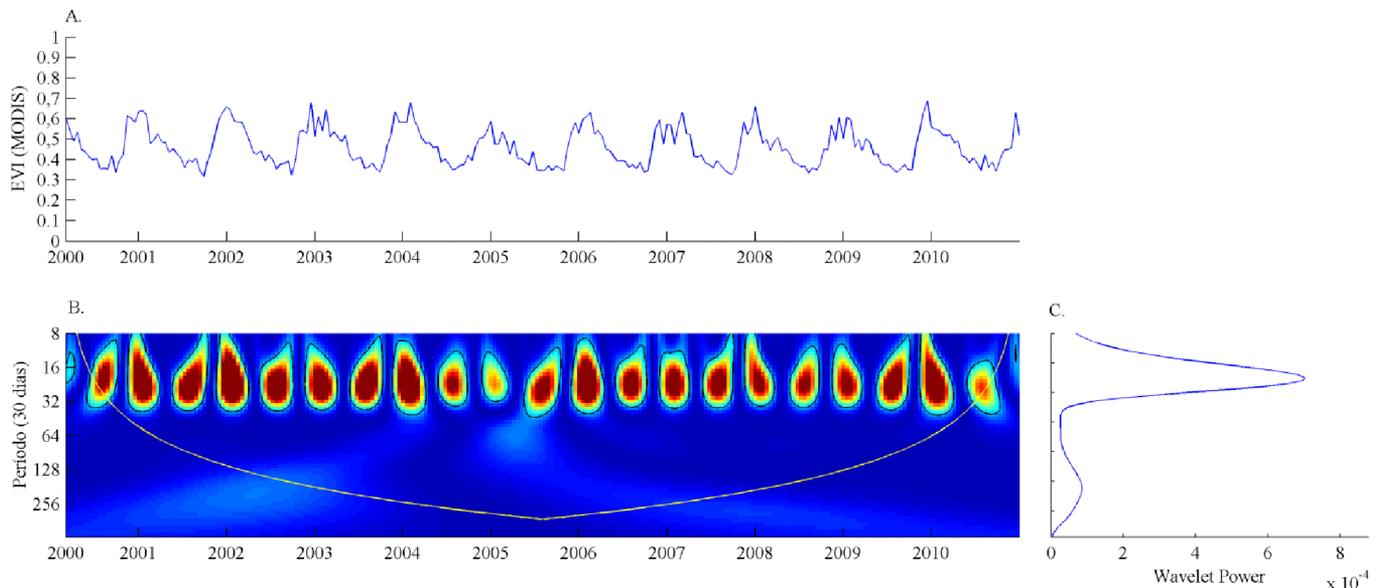


Figura 4. Série temporal EVI usada para a Transformada de Ondaleta para amostra de floresta ombrófila mista (A), Espectro de potência local (B) e Espectro de potência global (C)

potência global (Figura 4C). O pico de energia ocorre entre 16 e 32 observações, apresentando altos valores de EVI para o verão e início do outono e valores decrescentes para inverno e início da primavera.

O padrão sazonal observado está diretamente relacionado à floresta amostrada, a qual é do tipo ombrófila mista, mas apresenta espécies caducifólias, que perdem suas folhas no outono e no inverno como, por exemplo: ipê amarelo (*Tabebuia pulcherrima*), louro (*Cordia trichotoma*) e angico-branco (*Albizia austrobrasílica*) (Schumacher et al., 2011). Assim, o espectro de potência denota a sazonalidade da floresta e os baixos valores do índice de vegetação nos meses anteriores a outubro para a amostra estudada.

As amostras em áreas agrícolas selecionadas nas áreas experimentais do projeto SULFLUX, apresentam

comportamento sazonal bem marcado caracterizando as épocas de plantio, crescimento, maturação e colheita (Figuras 5A e 5B). Para a amostra em plantio de soja, a presença de dois picos de EVI anuais indica o cultivo alternado com culturas de inverno, no caso de trigo (Figura 5A).

O espectro de potência global apresenta um pico entre 6 e 12 meses, denotando os dois ciclos agrícolas (Figura 5C). De 2005 a 2008 o aumento de EVI no inverno foi bem menor que no restante da série indicando a ausência de plantio nesta estação ou a prática de algum outro tipo de manejo de solo. O espectro de potência local (Figura 5B) indica regularidade na variância, com pequena diminuição entre os anos de 2005-2006, também verificado no perfil de EVI (Figura 5A).

Para a amostra em cultura de arroz (Figura 6A), o padrão típico de EVI é crescente a partir de outubro (plantio) com

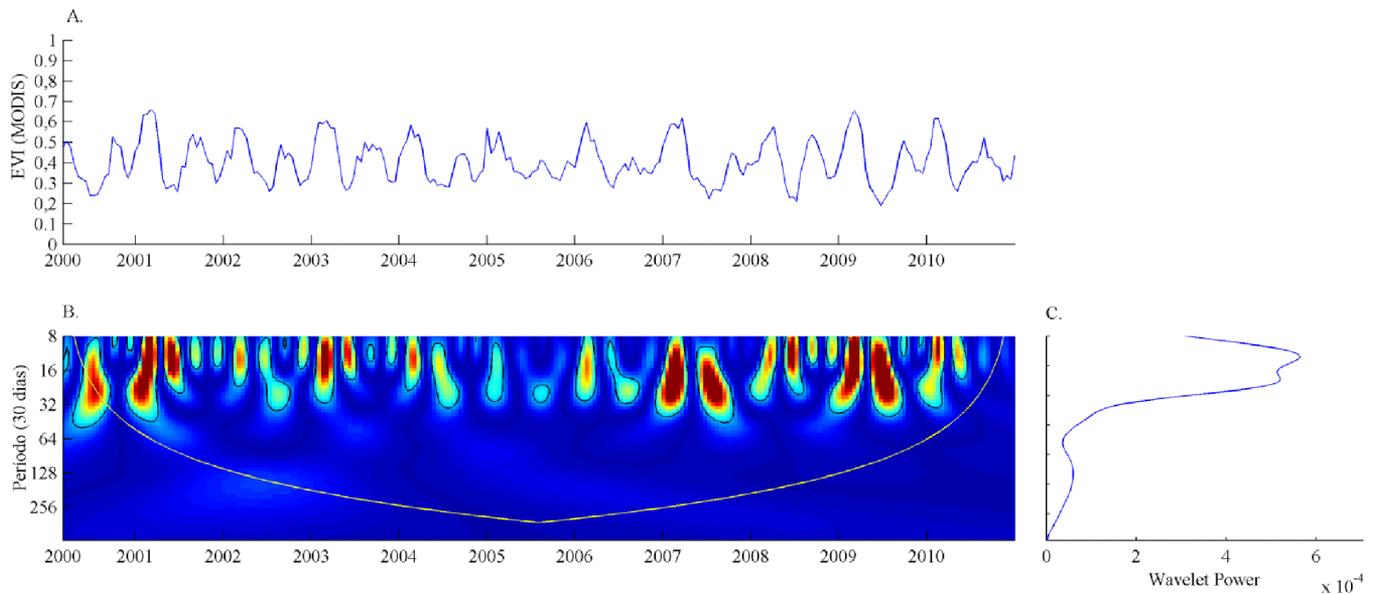


Figura 5. Série temporal EVI usada para a Transformada de Ondaleta para amostra de cultivo de soja (A), Espectro de potência local (B) e Espectro de potência global (C)

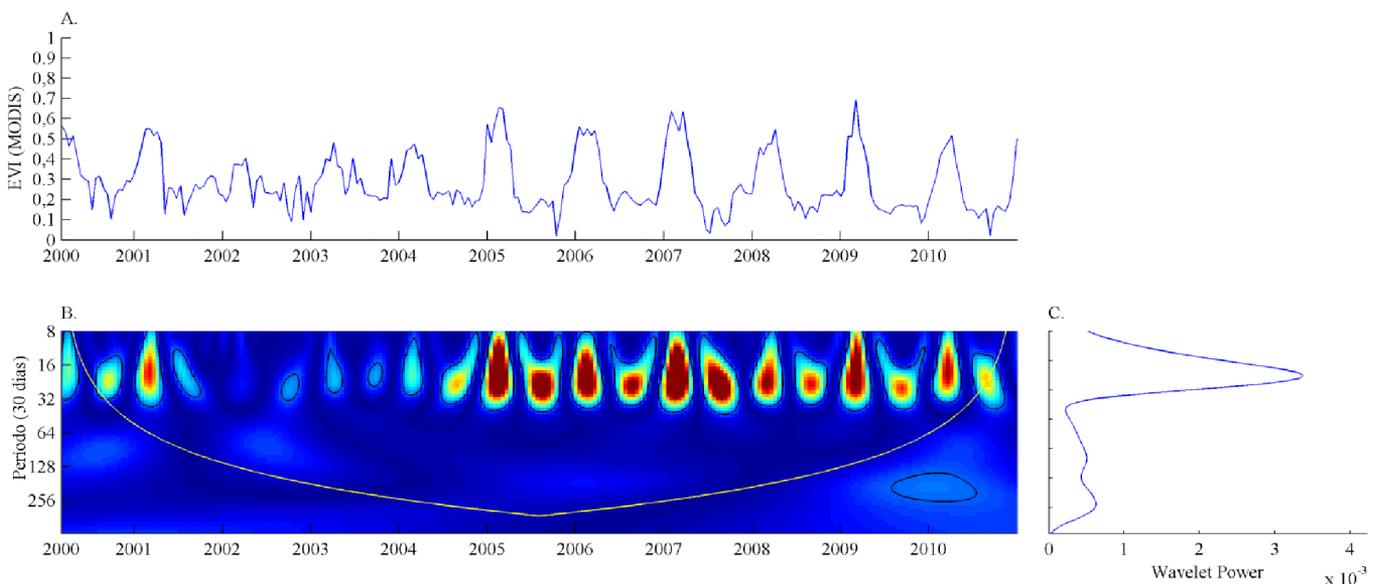


Figura 6. Série temporal EVI usada para a Transformada de Ondaleta para amostra de cultivo de arroz (A), Espectro de potência local (B) e Espectro de potência global (C)

decréscimo em março (colheita). Este padrão é observado apenas a partir de 2004, indicando desenvolvimento vegetal distinto nas estações anteriores.

No outono e no inverno a área é utilizada para pastejo de gado sendo visíveis no perfil temporal, os valores mais baixos de EVI para essas estações (Figura 6A) condizentes com os valores encontrados para áreas de vegetação campestre (Figura 3A). O espectro de potência global apresenta um pico em torno de 12 meses indicando o ciclo anual e a regularidade na variância, a partir de 2005 (Figura 6C).

A partir da análise dos dados de EVI através da transformada de ondaleta, observa-se que o padrão fenológico da vegetação é bem definido, geralmente associado a uma distribuição média das variáveis meteorológicas. A Figura 7A mostra que para valores médios de precipitação pluvial existe uma relação

entre os dados, mesmo que não imediata. Pôde-se identificar, especialmente durante o verão dos anos de 2001, 2002, 2003, 2004, 2007 e 2010, que incrementos nos valores de precipitação pluvial são coincidentes com os incrementos nos valores de EVI.

Com relação aos valores médios de temperatura do ar e de EVI (Figura 7B) percebe-se forte relação entre os dados. Pode-se observar que durante a primavera e o verão, quando ocorre o aumento da temperatura, também há aumento nos valores de EVI.

Da mesma maneira, a diminuição no EVI ocorre com quedas na temperatura do ar associadas às estações de outono e inverno. Em análise de série temporal de 19 anos de NDVI (derivado de bandas AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer) a redução do crescimento vegetal, indicado pelos

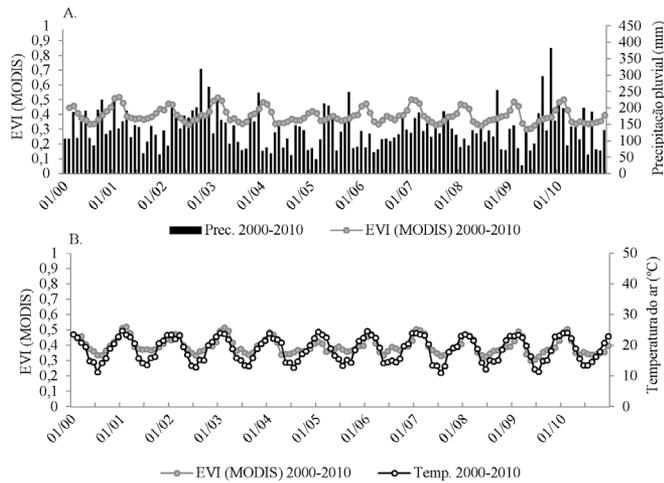


Figura 7. Padrão de distribuição de variáveis meteorológicas e dados de EVI (MODIS) para a série temporal 2000 - 2010. EVI e Precipitação pluvial (A) e EVI e Temperatura do ar (B)

baixos valores de NDVI, foi associada à redução da temperatura do ar e insolação nos meses de inverno (Fontana et al., 2007).

A fenologia da vegetação e os ciclos de ganho e perda da massa foliar (representados pelos dados EVI) são controlados pelo clima, principalmente pela temperatura do ar e disponibilidade hídrica (Aber & Melillo, 2001). A relação entre temperatura do ar e vigor vegetal é mais visível do que em relação à precipitação pluvial (Figura 7B). Dependendo da estação, entretanto, a disponibilidade de água pode ter papel fundamental no crescimento vegetal, sobretudo em épocas de restrição hídrica (Fontana et al., 2007).

Estudos futuros, com geração de anomalias para dados meteorológicos e de EVI, assim como correlação cruzada (com defasagem de tempo) entre os dados (para apontar o tempo de resposta do EVI às mudanças nas variáveis meteorológicas) serão realizados, possibilitando a quantificação dessas relações e a identificação de mudanças nos padrões sazonais observados.

CONCLUSÕES

1. As séries temporais de Enhanced Vegetation Index podem ser utilizadas para caracterizar a dinâmica fenológica de tipologias vegetais no Rio Grande do Sul.

2. As tipologias consideradas possuem comportamento sazonal bem definido, com período de crescimento e ganho de massa foliar das espécies nas estações quentes do ano (primavera e verão) e decréscimo durante estações frias (outono e inverno).

3. São necessários estudos adicionais para quantificar a relação existente entre a série Enhanced Vegetation Index e a série de variáveis meteorológicas para o mesmo período temporal.

4. A análise por ondaletas é útil neste tipo de abordagem uma vez que identifica os ciclos intra e interanuais de desenvolvimento da vegetação, assim como períodos em que ocorrem anomalias neste comportamento.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (DTI).

LITERATURA CITADA

- Aber, J. D.; Melillo, J. M. *Terrestrial ecosystems*. San Diego: Academic Press, 2001. 556p.
- Baldi, G.; Paruelo, J. M. Land-use and land cover dynamics in South American temperate grasslands. *Ecology and Society*, v.13, p.1-20, 2008.
- Cordeiro, J. L. P.; Hasenack, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V. D. P.; Müller, S. C.; Castilhos, Z. M. S. de; Jacques, A. V. Á. (ed.). *Campos sulinos: Conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. Cap.23, p.285-299.
- CPC-NCEP-NOAA - Climate Prediction Center. Cold and warm episodes by season. Climate prediction center. <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/ensostuff/ensoyears.shtml>. 25 Ago. 2012.
- Fontana, D. C.; Almeida, T. S.; Jacobsen, L. O. Caracterização da dinâmica temporal dos Campos do Rio Grande do Sul por meio de imagens AVHRR/NOAA. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.15, p.69-83, 2007.
- Freitas, R. M.; Arai, E.; Adami, M.; Ferreira, A. S.; Sato, F. Y.; Shimabukuro, Y. E.; Rosa, R. R.; Anderson, L. O.; Rudorff, B. F. T. Virtual laboratory of remote sensing time series: Visualization of MODIS EVI2 data set over South America. *Journal of Computational Interdisciplinary Sciences*, v.2, p.57-68, 2011.
- Fundação SOS Mata Atlântica. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2008 - 2010. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. 122p. <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/atlasrelatoriofinal.pdf>. 15 Abr. 2012.
- Galford, G. L.; Mustard, J. F.; Melillo, J.; Gendrin, A.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.576-587, 2008.
- Graps, A. An introduction to wavelets. *IEEE Computational Science and Engineering*, v.2, p.50-61, 1995.
- He, Y.; Guo, X.; Cheng Si, B. Detecting grassland spatial variation by a wavelet approach. *International Journal of Remote Sensing*, v.28, 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.
- Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Batchil, Y. K.; Leween, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v.59, p.440-451, 1997.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de uso da terra. Manuais técnicos em Geociências. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006. 91p. <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/.shtm>. 11 Abr. 2012.

- 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, p.129-140, 2004.
- Jiang, Z.; Huete, A. R.; Didan, K.; Miura, T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.3833-3845, 2008.
- Justice, C. O.; Vermote, E.; Townshend, J. R. G.; Defries, R.; Roy, D. P.; Hall, D. K.; Salomonson, V. V.; Privette, J. L.; Riggs, G.; Strahler, A. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.36, p.1228-1249, 1998.
- 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.
- Martinez, B.; Gilbert, M. A. Vegetation dynamics from time series using the wavelet transform. *Remote Sensing of Environment*, v.113, p.1829-1842, 2009.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros: Relatório do bioma pampa. Porto Alegre: UFRGS, 2007. 31p.
- Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology Earth System*, v.11, p.1633-1644, 2007.
- 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.
- PROBIO - Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. Monitoramento do bioma pampa 2002 - 2008. Brasília: CRS/IBAMA, 2010. 34p.
- Rizzi, R.; Rudorff, B. F. T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônômico para estimar a produtividade de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.73-80, 2007.
- Rosembach, R.; Ferreira, N. J.; Shimabukuro, Y. E.; Conforte, J. C. Análise de ondaletas aplicada a dados multitemporais de NDVI/MODIS. *Geografia*, v.34, p.559-575, 2009.
- Rosembach, R.; Ferreira, N. J.; Shimabukuro, Y. E.; Conforte, J. C. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.2, p.401-4016, 2010.
- Schumacher, M. V.; Trüby, P.; Marafiga, J. M.; Viera, M.; Szymczak, D. A. Espécies predominantes na deposição de serapilheira em fragmento de floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, v.21, p.479-486, 2011.
- SEPLAG - Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã. Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul: Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã, 2002. <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/default.asp>. 26 Abr. 2012.
- Spanner, M. A.; Pierce, L. L.; Running, S. W.; Peterson, D. L. The seasonality of AVHRR data of temperate coniferous forests: Relationships with leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, v.33, p.97-112, 1990.