

Análise da dinâmica sazonal de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica com base em índices de vegetação do sensor MODIS/TERRA

Analysis of the seasonal dynamics of some Atlantic Forest biome physiognomies with basis of vegetation indices derived from MODIS/TERRA sensor

Elói Lennon Dalla Nora ¹
Denise Zanatta Martini ²

Resumo

Composições de dezesseis dias de índices de vegetação do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), com resolução espacial de 250 metros, a bordo do satélite TERRA, foram utilizadas para caracterizar a dinâmica sazonal no ano de 2008 de duas fitofisionomias do bioma Mata Atlântica e analisar a sua dinâmica espectral. Os índices Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Enhanced Vegetation Index (EVI), calculados a partir dos dados do sensor MODIS e uma base comum de *pixels*, foram comparados entre si e com uma base de dados de ordem climática (temperatura e precipitação), para cada fitofisionomia. Os resultados indicaram que os fragmentos de floresta estacional decídua e floresta ombrófila mista apresentam um padrão sazonal comum, porém, com variações de amplitude em relação a cada índice. O EVI apresentou-se mais sensível às variações anuais da vegetação em relação ao NDVI, demonstrando-se mais eficiente. Para ambas as formações florestais se estabelece uma correlação positiva entre o perfil EVI e NDVI com as variações de temperatura. A dinâmica espectral/temporal revelou um contraste marcante sob condições sazonais distintas convergindo com o padrão apresentado pelos índices de vegetação. Os dados produzidos indicam potencialidades da utilização do sensor MODIS para o monitoramento contínuo das formações florestais sulinas com resolução espacial moderada e alta resolução temporal.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; índices de vegetação; MODIS; sazonalidade.

¹ MSc.; Biólogo; Doutorando em Ciência do Sistema Terrestre pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE; E-mail: eloi.dallanora@igbp.inpe.br

² Bióloga; Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões; E-mail: denisemartini@fw.uni.br

Abstract

Moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) 16-day vegetation index composites with 250 meters of spatial resolution from TERRA satellites were used to characterize the seasonal dynamics in the period of 2008 of two physiognomies of Atlantic Forest biome and to analyze its spectral dynamics. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI), calculated from the data of MODIS sensor and a common base of pixels, were compared between themselves and with a climatic database (temperature and precipitation), for each physiognomy. The results showed that the fragments of seasonal deciduous forest and mixed rain forest present a common seasonal pattern, however, with variations of amplitude in relation to each index. The EVI was more sensible and hence, more efficient to annual variations of the vegetation compared to the NDVI. For both forest formations a positive correlation between profile EVI and NDVI with variations of temperature was established. The spectral/temporal dynamic showed a marked contrast under distinct seasonal conditions converging with the pattern presented for the vegetation indices. Data indicate potentialities of the use of MODIS sensor for the continuous monitoring of the south forest formations with moderate space resolution and high temporal resolution.

Key words: remote sensing; vegetation indices; MODIS; seasonal.

Introdução

O conhecimento da dinâmica temporal da vegetação revela padrões, processos e mecanismos, os quais podem ser usados para fazer previsões e orientar estratégias de proteção e conservação dos recursos florestais. Os métodos propostos para este tipo de abordagem se diversificam tanto no procedimento técnico empregado como na área de concentração. Entretanto, a velocidade de supressão dos remanescentes florestais em decorrência do desenvolvimento econômico exige a utilização de métodos capazes de produzir diagnósticos precisos a respeito dos recursos florestais e capazes de subsidiar planos imediatos de conservação.

Atualmente diversas instituições públicas e privadas têm dedicado esforços voltados ao monitoramento do bioma Mata

Atlântica e seus ecossistemas associados. Estas pesquisas visam, em grande parte, avaliar a riqueza de espécies, as relações ecológicas entre populações e comunidades, além dos padrões intrínsecos de cada ecossistema visando conhecer e compreender a diversidade biológica deste bioma. Informações desta ordem são imprescindíveis e fundamentais, entretanto, onerosas, pois demandam tempo e nem sempre podem ser disponibilizadas em tempo hábil para áreas de grande extensão.

Neste contexto, as técnicas de sensoriamento remoto apresentam grande potencial ao mapeamento e avaliação das condições estruturais dos recursos florestais, além do monitoramento dos ciclos anuais da vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Esta abordagem, subsidiada por fontes de dados de ordem orbital, vem apresentando grandes avanços tanto na metodologia de

análise quanto na tecnologia empregada. Os sensores remotos orbitais atualmente disponíveis apresentam características capazes de fornecer parâmetros precisos e monitorar continuamente os recursos florestais.

Em função de sua alta resolução temporal, o sensor MODIS, a bordo dos satélites TERRA e AQUA, tem se revelado como uma ferramenta ideal para o monitoramento da vegetação. Segundo Huete et al. (2002), as composições de dezesseis dias contendo os índices de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e EVI (Enhanced Vegetation Index) apresentam grande potencial para monitorar padrões temporais e espaciais da atividade fotossintética, incluindo a avaliação de aspectos fenológicos e a detecção de mudanças.

Os índices de vegetação configuram-se em combinações de dois ou mais comprimentos de onda capazes de realçar as propriedades da vegetação. Estes índices podem ser empregados na avaliação dos aspectos sazonais de formações florestais distintas em estudos regionais e globais (FRANÇA; SETZER, 1998; GURGEL; FERREIRA, 2003; DESSAY et al., 2004; FERREIRA; HUETE, 2004; SANO et al., 2005; LIESENBERG et al., 2007).

Nesta perspectiva, o presente trabalho teve por objetivo analisar a dinâmica sazonal de duas fitofisionomias do bioma Mata Atlântica (floresta estacional decídua e floresta ombrófila mista) com base nos índices de vegetação NDVI e EVI obtidos a partir do sensor MODIS e avaliar o comportamento espectral de cada fitofisionomia sob condições sazonais extremas, suas correlações com variáveis climáticas locais e analisar a capacidade dos dados do sensor MODIS

no monitoramento contínuo de formações florestais sulinas.

Materiais e Métodos

Área de estudo

As áreas de estudo (Figura 1) representam duas unidades de conservação legalmente protegidas localizadas na região norte do estado do Rio Grande do Sul (Parque Estadual do Turvo - PET) e na região meio-oeste do estado de Santa Catarina (Parque Nacional das Araucárias - PNA). As unidades de conservação constituem uns dos últimos remanescentes florestais primários de floresta estacional decídua (PET) e floresta ombrófila mista (PNA) de grande porte localizados na região sul do Brasil.

O Parque Estadual do Turvo situa-se entre as coordenadas 27°07' a 27°16' de latitude Sul e 53°48' a 54°04' de longitude Oeste a norte do estado do Rio Grande do Sul no município de Derrubadas. Junto ao rio Uruguai, faz divisa com o estado de Santa Catarina e com a província argentina de Misiones. Trata-se de uma unidade de conservação de proteção integral, que não abriga populações tradicionais, com aproximadamente 17.491,4 hectares de extensão composta por floresta estacional decídua.

A unidade de conservação apresenta relevo acidentado com altitudes variando entre cem e quatrocentos metros, nascentes de vários arroios, leito rochoso do rio Uruguai formando cachoeiras longitudinais ao rio. Segundo a classificação de Köppen (1948), o Parque Estadual do Turvo enquadra-se no tipo climático Cfa, denominado subtropical ou virginiano que corresponde às regiões onde as temperaturas médias do mês mais

quente são superiores a 22°C e, no mês mais frio, a temperatura oscila entre -3°C a 18°C.

O Parque Nacional das Araucárias, criado através de decreto federal em outubro de 2005, está situado nos municípios de Ponte Serrada e Passos Maia no meio-oeste do estado de Santa Catarina entre as coordenadas 26°39' e 26°52' de latitude Sul e 52°01' e 51°46' de longitude Oeste, abrangendo uma área contínua de 12.841 hectares. Nessa área, são encontradas espécies características da floresta ombrófila mista, a floresta com araucárias, e muitas delas fazem parte da lista oficial de espécies ameaçadas de extinção.

O Parque Nacional das Araucárias apresenta um relevo irregular com uma variação altimétrica situada em torno de 550 metros a cima do nível do mar e

declividade que varia desde terrenos planos e ondulados até montanhosos e escarpados. Situa-se dentro da formação Serra Geral pertencendo ao grupo geológico São Bento, constituindo-se basicamente por rochas vulcânicas e solos classificados como terra roxa estruturada. O clima na região, segundo Köppen (1948), classifica-se como temperado frio, apresentando uma temperatura média anual de 18,9° C.

Aquisição e análise dos dados MODIS/TERRA

Para a realização do trabalho foi utilizado um banco de dados contendo 23 datas dos produtos MOD13Q1 (MODIS/TERRA) correspondentes ao ano de 2008. Os dados incluem os índices de vegetação NDVI e EVI com 250 metros de resolução espacial,

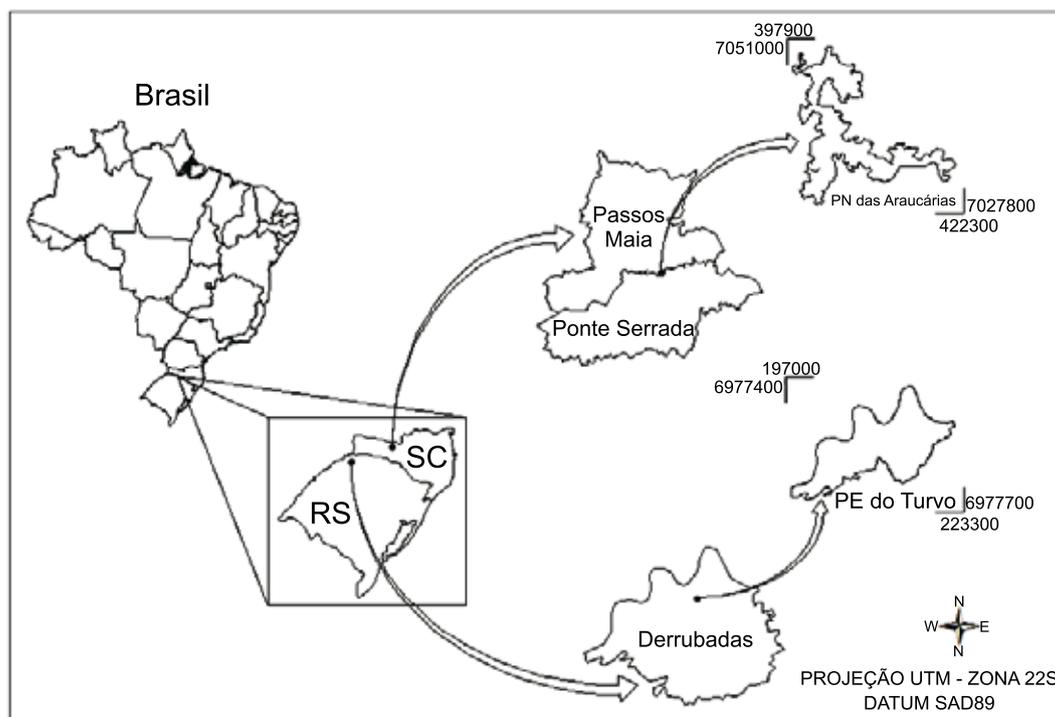


Figura 1. Distribuição geográfica das áreas de estudo

quatro bandas espectrais radiometricamente calibradas, georeferenciadas e espacialmente co-registradas entre si: azul (459-479 nm), vermelho (620-670 nm) infravermelho próximo (841-876 nm) e infravermelho de ondas curtas (2105-2155 nm) e informações da geometria de aquisição dos dados.

O algoritmo utilizado para gerar o produto MOD13 opera *pixel-a-pixel* e requer múltiplas observações (dezesseis dias) do produto reflectância de superfície (Fator de Reflectância Bidirecional – MOD09/TERRA) como dado de entrada para gerar os índices NDVI e EVI. O produto MOD09 já é corrigido dos efeitos atmosféricos. Uma vez que todos os dados do período de dezesseis dias são coletados, o algoritmo aplica um filtro nos dados com base na qualidade, ou seja, cobertura de nuvens e geometria de visada (HUETE et al., 1999).

Um conjunto comum de dez *pixels* para cada formação florestal foi considerado para cada uma das composições de dezesseis dias do sensor MODIS para cada índice de vegetação durante o ano de 2008. A seleção do conjunto comum de dez *pixels* de cada fitofisionomia foi baseada na análise de mapas de vegetação (IBGE, 2004) e na execução de campanhas de campo em cada unidade de conservação. Os valores médios dos índices NDVI e EVI foram extraídos e plotados em função de 23 datas julianas de aquisição. Cada data juliana utilizada corresponde ao período médio da composição de dezesseis dias. Perfis espectrais elaborados a partir de dados do sensor TM/Landsat-5 de diferentes datas e representando condições extremas de sazonalidade também foram plotados em função do comprimento de onda.

Em relação aos índices de vegetação utilizados, o NDVI fundamenta-se no comportamento antagônico da reflectância

da vegetação nas regiões espectrais do vermelho e infravermelho próximo. Em princípio, quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, menor será a reflectância na região do vermelho devido à maior oferta de pigmentos fotossintetizantes. Por outro lado, maior será a reflectância verificada na região do infravermelho próximo devido ao espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética nas diferentes camadas de folhas (ROUSE et al., 1973; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Dessa forma, a razão de bandas consegue realçar a diferença do comportamento espectral dos alvos nestas regiões do espectro eletromagnético. A normalização é feita através da equação 1.

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{IVP}} - \rho_{\text{V}}) / (\rho_{\text{IVP}} + \rho_{\text{V}}) \quad \text{Equação 1.}$$

Onde:

ρ_{IVP} - Fator de reflectância bidirecional na região do infravermelho próximo

ρ_{V} - Fator de reflectância bidirecional na região do vermelho

O EVI foi desenvolvido para otimizar a resposta da vegetação verde melhorando a sensibilidade para as variações estruturais e arquitetônicas do dossel de fitofisionomias com maior densidade de biomassa em relação ao NDVI e reduzindo as influências atmosféricas e influência do solo (HUETE et al., 2002). O EVI pode ser obtido a partir da equação 2.

$$\text{EVI} = (\text{NIR} - \text{Vermelho}) / (\text{L} + \text{NIR} + \text{C1 vermelho} - \text{C2 azul}) \quad \text{Equação 2.}$$

Onde:

L é o fator de ajuste para o solo; G é o fator de ganho e C1 e C2 são coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera. Os valores dos coeficientes adotados pelo algoritmo do EVI são: L=1, C1=6, C2=7,5

e $G=2,5$ (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007, HUETE et al., 1997; JUSTICE et al., 1998).

Resultados e Discussão

A dinâmica sazonal exibida pelas formações florestais em análise converge para um padrão anual comum. Entretanto, variações de amplitude se estabelecem tanto entre os índices de vegetação como entre as fitofisionomias (Figura 2). O NDVI, de forma geral, apresentou valores superiores aos exibidos pelo EVI e com menor variabilidade, revelando-se menos sensível às variações estruturais de dossel. Já o EVI exibiu um perfil temporal mais dinâmico e capaz de realçar as diferenças fenológicas inerentes a cada formação florestal.

Os padrões observados nas figuras 2a e 2b têm sido registrados na bibliografia como um padrão típico de florestas sulinas (GURGEL et al., 2003). As diferenças entre índices, obtidos a partir de fragmentos comuns, estão associadas principalmente às suas formulações matemáticas distintas (HUETE et al., 2002). Por outro lado, a característica decidual de cada fitofisionomia parece determinar a magnitude das variações sazonais entre os fragmentos.

Como pode ser observado, os índices de vegetação apresentam-se condizentes com o que preceitua a bibliografia no que tange à dinâmica sazonal de ambas as fitofisionomias (LEITE, 2002; OLIVEIRA FILHO et al., 2006; VELOSO et al., 1991). Segundo estes autores, na floresta estacional decídua (figura 2a), a queda das folhas é mais intensa, está presente durante o ano todo e intensifica-se durante a estação do ano mais severa (inverno) quando mais de 50% dos indivíduos arbóreos perdem suas folhas. Já a floresta ombrófila mista (Figura 2b) apresenta uma perenidade muito mais expressiva, onde a cobertura do dossel apresenta pouca ou nenhuma variação entre estações do ano.

Esta tendência corrobora com o perfil visualizado nos índices em relação às duas formações florestais. A característica decídua, de intensidade distinta, altera as relações de reflectância entre comprimentos de onda situados na região do vermelho (620 a 700 nm) e infravermelho próximo (700 a 1300 nm). Estas alterações provocadas pela perda de biomassa vegetal em função de características físicas adversas determinam a amplitude das variações ilustradas nos índices de vegetação em relação a cada tipo fitofisionômico. Neste caso, o comportamento fenológico da vegetação apresenta estreita

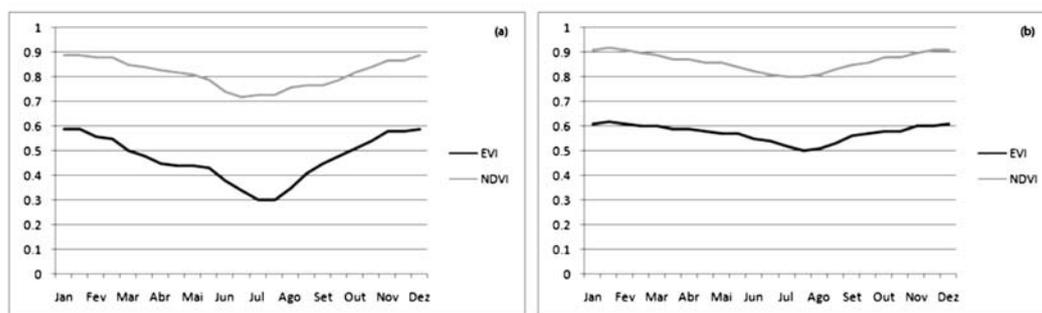


Figura 2. Dinâmica sazonal do (a) NDVI e EVI para a floresta estacional decídua e (b) NDVI e EVI para a floresta ombrófila mista, obtidos a partir do sensor MODIS/TERRA

relação com sua dinâmica espectral, tornando possível seu monitoramento mediante o emprego dos índices.

Para ilustrar melhor esta relação, na figura 3 estão apresentados dois perfis espectrais de cada fitofisionomia. É possível observar que, durante a estação mais favorável ao desenvolvimento vegetativo, ocorre um contraste marcante entre a região do vermelho e infravermelho próximo. A maior disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes absorve com maior intensidade a radiação na faixa do vermelho e uma forte reflectância é registrada na faixa do infravermelho próximo em decorrência da incapacidade dos estratos vegetativos em absorver ou transmitir esse tipo de radiação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Esta condição é o fator que determina os valores mais expressivos nos índices de vegetação durante os meses de novembro a fevereiro (Figura 2), demonstrando maior vigor vegetativo.

biomassa vegetal reduz a oferta de pigmentos fotossintetizantes e faz com que a reflectância na faixa do vermelho seja ligeiramente superior à observada na estação anterior. Consequentemente a radiação na faixa do infravermelho passa a ser refletida apenas parcialmente, apresentando grandes reduções. Nesta condição, a amplitude de variação entre os comprimento de onda é reduzida e determina os valores mais baixos registrados pelos índices de vegetação durante os meses de junho a agosto.

Na floresta ombrófila mista, em decorrência de sua característica perenifólia (com algumas exceções), a dinâmica sazonal descrita anteriormente é mais sutil e pode não estar associada exclusivamente à fenologia do fragmento. De acordo com alguns pesquisadores, esta diferença poderia estar vinculada às variações de reflectância proveniente das mudanças nas geometrias de visada e iluminação no momento da aquisição dos dados pelo sensor (GALVÃO et al.,

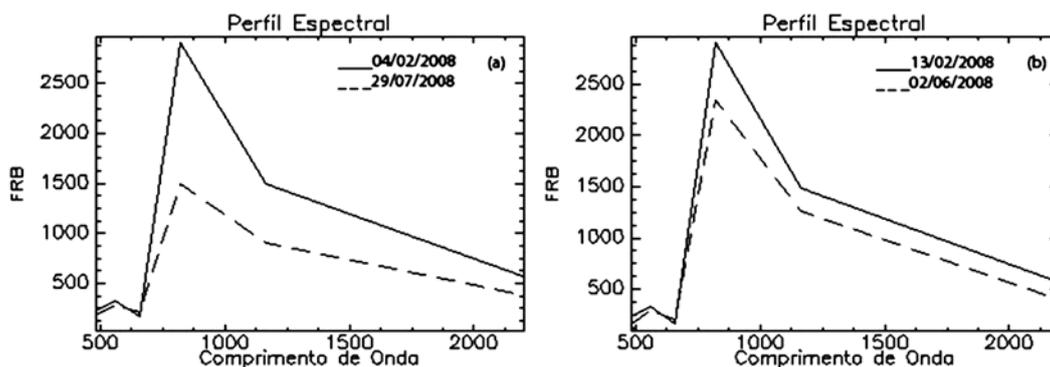


Figura 3. Perfil espectral obtido a partir do sensor TM/Landsat-5 para (a) floresta estacional decidual (04/02/08 e 29/07/08) e (b) floresta ombrófila mista (13/02/08 e 02/06/08)

Entretanto, durante a estação mais severa, observa-se que a floresta estacional decídua apresenta valores de reflectância substancialmente alterados. A perda de

2009; LIESENBERG et al., 2007; XAVIER; GALVÃO, 2005; GALVÃO et al., 2004). Segundo estes autores, no caso da floresta ombrófila mista, tipicamente perenifólia,

variações sutis nos valores de FRB (fator de reflectância bidirecional) podem resultar do aumento do efeito de sombreamento decorrente da elevação solar e não do comportamento fenológico propriamente dito durante os meses de junho a agosto.

Nas figuras 4 e 5, em comparação com as figuras 2a e 2b, é possível observar uma estreita relação entre a dinâmica sazonal da vegetação e as variações de temperatura. Na bibliografia, diversos autores têm associado o comportamento decíduo da vegetação às variações acentuadas de temperatura presentes na região sul do Brasil (FIGUEIREDO FILHO et al., 2005; LIEBSCH; ACRA 2004; SONEGO et al., 2007; LEE, 1989; SMALL; McARTHUR 2002), já que na área de estudo, períodos de estiagem, tipicamente

não ocorrem, mantendo valores médios anuais elevados nas taxas de precipitação pluviométrica (Figura 2b).

Esta relação estabelecida entre a dinâmica da vegetação e as variações de temperatura na determinação das variações fenológicas (especialmente no caso da floresta estacional decídua) converge com a dinâmica obtida pelos índices de vegetação. Evidencia-se que o mecanismo de interação entre o componente biótico e abiótico pode ser monitorado com sucesso através dos índices EVI e NDVI. Como descrito anteriormente, a característica decídua, decorrente das limitações térmicas impostas às formações florestais, alteram a dinâmica espectral da vegetação e, dessa forma, a amplitude de variação dos índices.

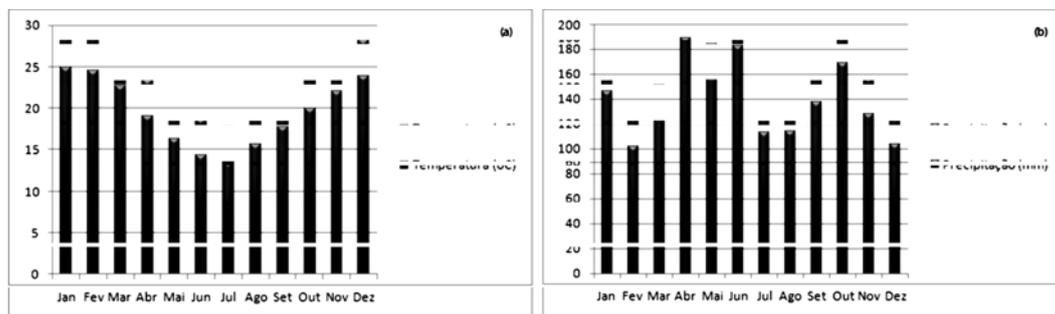


Figura 4. Médias mensais históricas de trinta anos de (a) temperatura e (b) precipitação para o Parque Estadual do Turvo (FEPAGRO, 2009)

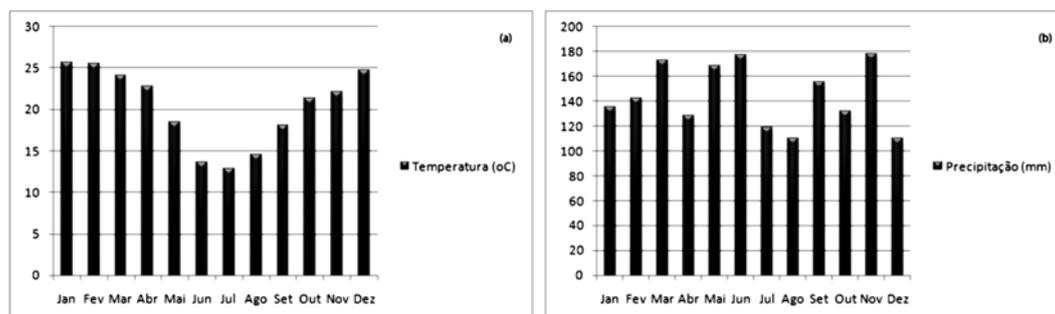


Figura 5. Médias mensais históricas de trinta anos de (a) temperatura e (b) precipitação para o Parque Nacional das Araucárias (EPAGRI, 2009)

Conclusões

1) Os índices de vegetação NDVI e EVI revelaram-se capazes de monitorar com eficiência as variações fenológicas da vegetação em decorrência de sua dinâmica espectral/temporal. A dinâmica observada mostra-se compatível com as características sazonais típicas preconizadas pela literatura a cada fitofisionomia avaliada.

2) Quando comparado com o NDVI, o EVI apresentou uma variabilidade anual maior, revelando-se mais sensível à detecção de mudanças na arquitetura de dossel.

3) A dinâmica sazonal das formações florestais convergem com limitações climáticas

impostas por sua distribuição geográfica estando amplamente correlacionadas às variações de temperatura.

4) A dinâmica espectral das fitofisionomias avaliadas revela forte redução da atividade fotossintética durante a estação mais rigorosa convergindo com as tendências exibidas pelos índices de vegetação e com as variações de temperatura.

5) Os dados produzidos indicam potencialidades da utilização dos dados do sensor MODIS/TERRA para o monitoramento sazonal contínuo das formações florestais sulinas com resolução espacial moderada e alta resolução temporal.

Referências

DESSAY, N.; LAURENT, H.; MACHADO, L. A. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; BATISTA, G. T.; DIEDHIOU, A.; RONCHAIL, J. Comparative study of the 1982-1983 and 1997-1998 El Niño events over different types of vegetation in South America. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 20, p. 4063-4077, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA – EPAGRI. **Centro de informações de recursos ambientais e de hidrometeorologia do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis. Disponível em: <<http://ciram.epagri.rct-sc.br/portal/website/>>. Acesso em: 25 jun. 2009.

FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1837-1860, 2004.

FIGUEIREDO FILHO, A.; SERPE, E. L.; BECKER, M.; SANTOS, D. F. Produção estacional de serapilheira em uma floresta ombrófila mista na floresta nacional de Irati (PR). **Ambiência**, Guarapuava, v. 1 n. 2 p. 257-269, 2005.

FRANÇA, H.; SETZER, A.W. AVHRR temporal analysis of a savanna site in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 10, p. 3127-3140, 1998.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - FEPAGRO. **Boletim meteorológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.fepagro.rs.gov.br>>, Acesso em: 01 jul. 2009.

GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J.; EPIPHANIO, J. C. N.; RUDORFF, B. F. T.; FORMAGGIO, A. R. Sun and view angle effects on NDVI determination of land cover types in the Brazilian Amazon region with hyperspectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1861–1879, 2004.

GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J.; LIESENBERG, V.; SANTOS, J. R. Possibilities of discriminating tropical secondary succession in Amazonia using hyperspectral and multiangular CHRIS/PROBA data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 8, n. 14, p. 8-14, 2009.

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.

_____; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 85-90, 2003.

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, v. 1-2, p. 195-213, 2002.

HUETE, A. R.; JUSTICE, C.; Van LEEUWEN, W. MODIS vegetation Index (MOD13). 1999, 142 p. (**Algorithm Theoretical Basis Document**, v. 3; NASA EOS Doc.). Disponível em: <http://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdfs/atbd_mod13.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2009.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J. R. G.; DIFRIES, R.; ROY, D. P.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V. V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A. The Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global research. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249, 1998.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Econômica. 479p. 1948.

LEE, D. W. Canopy dynamics and light climates in a tropical moist decidual forest in India. **Journal of Tropical Ecology**, v. 5, n. 1, p. 65-79, 1989.

LEITE, P. F. Contribuição ao conhecimento fitoecológico do sul do Brasil. **Ciência & Ambiente**, v. 24, n. 2, p. 51-73, 2002.

LIEBSCH, D.; ACRA, L. A. Riqueza de espécies de sub-bosque de um fragmento de floresta ombrófila mista em Tijucas do Sul, PR. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 67-76, 2004.

LIESENBERG, V.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. **Remote Sensing of Environment**, v. 107, n. 2, p. 276-286, 2007.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; JARENKOW, J. A.; RODAL, M. J. N.; 2006. Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution patterns. In Pennington, RT., Lewis, GP. and Ratter, JA. (Orgs.). Neotropical savannas and dry forests: Plant diversity, biogeography and conservation. **Boca Raton: Taylor & Francis**. p. 11-51, 2006.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, p. 5-128, 2007.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of Third ERTS-1 **Symposium, Washington**, DC, 10-14 December, NASA, SP-351, vol. 1, p. 309-317, 1973.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Synthetic Aperture Radar (L-band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, v. 9, n. 15, p. 1-15, 2005.

SMALL, C. J.; MCCARTHY, B. C. Spatial and temporal variability of herbaceous vegetation in an eastern deciduous forest. **Plant Ecology**, v. 164, n. 1, p. 37-48, 2002.

SONEGO, R. C.; BACKES, A.; SOUZA, A. F. Descrição da estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil, utilizando estimadores não-paramétricos de riqueza e rarefação de amostras. **Acta botânica brasílica**, v. 21, n. 4, p. 943-955, 2007.

VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

XAVIER, A. S.; GALVÃO, L. S. View angle effects on the discrimination of selected Amazonian land cover types from a principal-component analysis of MISR spectra. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 17, p. 3797-3811, 2005.