

## Caracterização espectral e temporal da vegetação nativa do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita – RS, com produtos MODIS

Fábio Marcelo Breunig<sup>1,2</sup>  
Lênio Soares Galvão<sup>1</sup>  
Antonio Roberto Formaggio<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{breunig, lenio, formag}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Faculdade de Tecnologia Thereza Porto Marques  
R. São Sebastião 25 - 12308-320 – Jacareí – SP, Brasil

**Abstract.** We use the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) to characterize both the spectral and temporal variations in reflectance and in vegetation indices of the Mixed Ombrophilous and Deciduous Seasonal Forests from the “Parque Estadual do Turvo” (PE Turvo) and “Terra Indígena do Guarita” (TI Guarita). The two study areas are located in northwest of Rio Grande do Sul state, Brazil. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI) were studied. A total of 241 MODIS 16-days composite images were used. Scatter plots between the reflectance of the red and near infrared (NIR) bands, the NDVI and the EVI were generated. Correlations for both forest areas were computed and the magnitude of the relationships was evaluated. To identify specific temporal features, Morlet-6 wavelet transformation was used. Results showed that PE Turvo always presented a lower reflectance in the red and a higher in the NIR than TI Guarita. The NDVI presented lower values for PE Turvo due to the higher influence of red band reflectance on this index when compared to EVI. In general, EVI was less sensitive to the presence of bare soil in TI Guarita than NDVI. Finally, wavelet analysis allowed identifying two periods where NDVI and EVI spectra gave indications of physiological changes in vegetation, which were coincident with lower precipitation. These results are not conclusive and more studies are necessary in order to improve the knowledge about those sub-tropical forests.

**Palavras-chave:** remote sensing, vegetation indices, reflectance, sensoriamento remoto, índices de vegetação, reflectância.

### 1. Introdução

A conservação e o monitoramento contínuo de áreas florestais é um desafio em todo o Brasil. No Rio Grande do Sul (RS), grande parte da vegetação nativa do bioma Mata Atlântica foi devastada e atualmente essas áreas são utilizadas predominantemente para a agricultura. Algumas áreas de vegetação nativa, atualmente protegidas pela legislação, preservam as características naturais da região. No RS, o Parque Estadual do Turvo (PE Turvo) figura como uma das áreas nativas em melhor estado de conservação. O PE Turvo é o refúgio de mamíferos ameaçados como o *Puma concolor* e o *Leopardus pardalis* (Kasper et al., 2007). Ainda com alta taxa de cobertura vegetal nativa, a Terra Indígena do Guarita (TI Guarita) concentra o maior contingente populacional do povo Kaingang e apresenta distintos níveis de degradação ambiental, principalmente associado ao uso e ocupação do solo e queimadas nos períodos mais secos do ano (SEMA, 2005). Apesar de inventário florestal realizado pela secretaria estadual do meio ambiente (Brack et al., 1985; SEMA, 2010), trabalhos sobre o monitoramento com técnicas de sensoriamento remoto não foram encontrados na literatura para as citadas áreas.

Imagens de satélites apresentam uma vasta aplicabilidade em áreas como meteorologia, oceanografia e em estudos ambientais. Entre as aplicações ambientais, a identificação, o mapeamento e o monitoramento de áreas florestais têm apresentado importância em escala local, regional e global. No contexto do monitoramento de áreas florestais, sensores de amplo campo de visada permitem uma maior frequência de recobrimento temporal e,

consequentemente, aumentam a probabilidade de obter imagens livres de nuvens. O sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), a bordo da plataforma orbital Terra (EOS AM), foi lançado em 1999, coletando dados em duas bandas com resolução espacial de 250 m (b1 e b2 do MODIS) e em cinco bandas com resolução de 500 m (b3 a b7) nas faixas espectrais do visível, do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho de ondas curtas (SWIR) (Justice et al., 1998; Huete et al., 1999). As imagens de uma dada área são obtidas a cada um ou dois dias. Além da reflectância de superfície, o MODIS fornece dois índices de vegetação em composições de 16 dias. O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é mais sensível à clorofila (b1 MODIS, referente à banda do vermelho) e o Enhanced Vegetation Index (EVI) é mais sensível a variações estruturais do dossel (ex. Índice de Área Foliar - LAI, arquitetura e fisionomia da planta) (Huete et al., 2002, Latorre et al., 2007).

Apesar da importância dessas duas áreas florestais, poucos estudos têm avaliado sua dinâmica. Compreender a dinâmica sazonal dessas florestas permitirá entender como as variações climáticas (ambientais) podem afetar a flora e a fauna da região. Além disso, permitirá identificar os períodos mais propensos à ocorrência de queimadas, bem como verificar o impacto do uso antrópico de áreas florestais, inclusive por populações indígenas.

Assim, o objetivo do presente estudo foi utilizar dados de reflectância de superfície e dos índices de vegetação NDVI e EVI do sensor MODIS/Terra para avaliar a dinâmica espectral e temporal das florestas de Mata Atlântica do Parque Estadual do Turvo e da Terra Indígena do Guarita para os anos de 2000 a 2010.

## 2. Metodologia

### 2.1. Caracterização da área de estudo

Localizadas na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul - Brasil (Figura 1), as áreas de estudo apresentam clima do tipo Cfa (classificação de Köppen), denominado subtropical, com temperaturas médias do mês mais quente (janeiro) superiores a 22° C e no mês mais frio (julho) oscilando entre -3° C e 18° C. A precipitação anual é de aproximadamente 1.665 mm, bem distribuída ao longo do ano (SEMA, 2005). O relevo da região é caracterizado por apresentar regiões planas nas áreas mais elevadas e por maior declividade nas áreas próximas aos rios. A altitude média do PE Turvo é de 301 m e da TI Guarita é de 370 m.

A Terra Indígena do Guarita (TI Guarita) está localizada em três municípios gaúchos: Tenente Portela, Redentora e Erval Seco. A TI do Guarita é ocupada por mais de cinco mil indígenas dos povos Kaingang, Guarani Mbya e Guarani Ñandeva, ao longo de uma área superior a 23 mil hectares. A área faz parte do bioma Mata Atlântica, com Floresta Ombrófila Mista (31.33 %) e Floresta Estacional Decidual (68.67 %) (ISA, 2010). A TI do Guarita apresenta diferentes níveis de degradação (SEMA, 2005). Nos períodos secos as queimadas são um problema comum.

O Salto do Yucumã (maior cachoeira longitudinal do mundo, com aproximadamente 1800 metros de comprimento) é a principal atração turística do PE Turvo, que está localizada na fronteira do Brasil com a Argentina, no município de Derrubadas, RS. A área total do PE Turvo é de 17.491 hectares, ocupados com Floresta Estacional Decidual (bioma de Mata Atlântica), representada por mais de 229 espécies pertencentes a 63 famílias. Entre as principais espécies encontradas estão: “*Nectandra megapotamica*” (canela-preta), “*Alchornea triplinervia*” (tanheiro), “*Cupania vernalis*” (camboatá-vermelho), “*Luehea divaricata*” (açoita-cavalo), “*Casearia sylvestris*” (chá-de-bugre), “*Parapiptadenia rigida*” (angico-vermelho), “*Patagonula americana*” (guajuvira), “*Matayba elaeagnoides*” (camboatá-branco), “*Allophylus edulis*” (chal-chal). (SEMA, 2005; 2010). O PE Turvo é refúgio de espécies animais em extinção, como *Puma concolor* e o *Leopardus pardalis* (Albuquerque, 1977;

Brack et al., 1985; Kasper et al., 2007). No território argentino, existe uma grande área florestal preservada, que representa uma extensão do PE Turvo, separada pelo rio Uruguai.

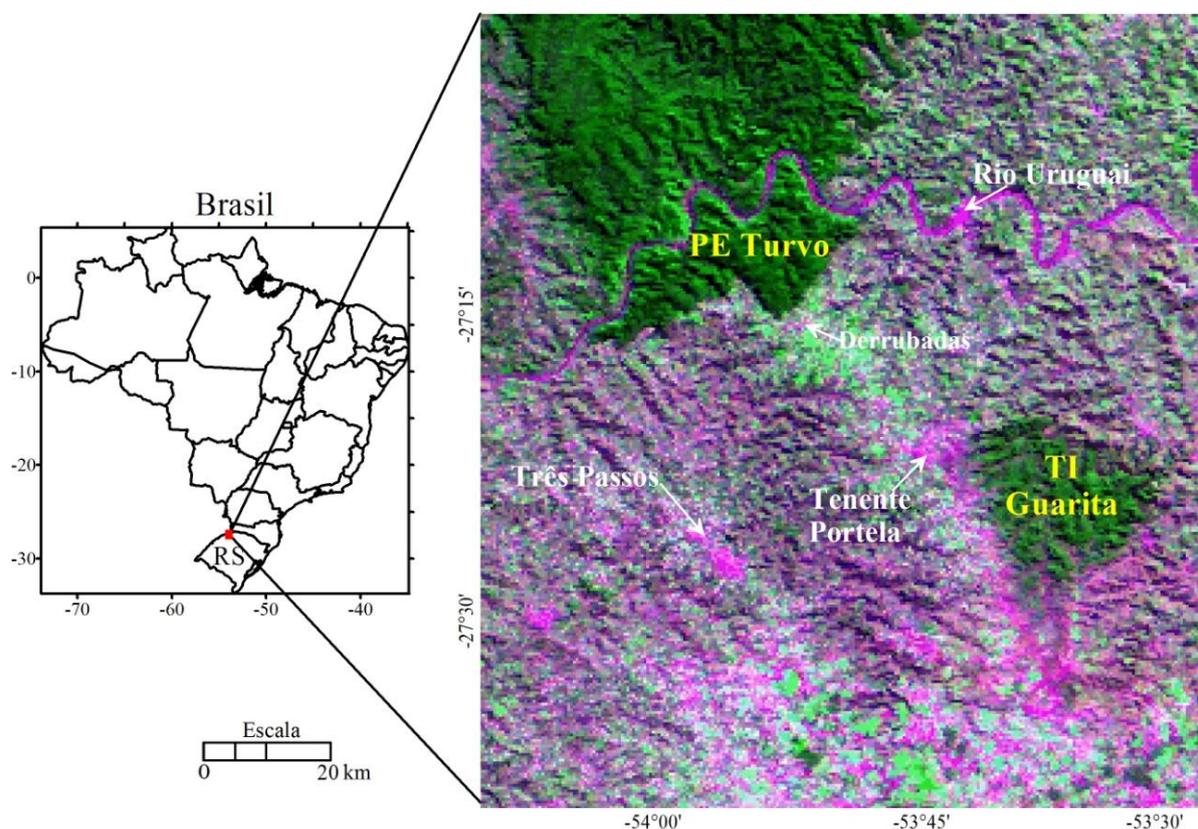


Figura 1. Localização do Parque Estadual do Turvo (PE Turvo) e da Terra Indígena do Guarita, (TI Guarita) no noroeste do Rio Grande do Sul. Composição colorida falsa-cor RGB-(b1, b2, b3) do sensor MODIS para a data de 26 de junho de 2010.

## 2.2. Aquisição e pré-processamento das imagens de satélite

Imagens MODIS utilizadas no trabalho foram da coleção 5, obtidas do Warehouse Inventory Search Tool (WIST) (EOSDIS, 2009). Foram utilizadas 241 composições de 16 dias com resolução espacial de 250 metros do produto MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V005 (MOD13Q1) para o período de 18 de fevereiro de 2000 a 28 de julho de 2010. Do produto MOD13Q1 foram utilizadas as imagens de reflectância de superfície da banda 1 (620-670 nm), banda 2 (841-876 nm) e banda 3 (459-479 nm) e os índices de vegetação NDVI e EVI.

O MODIS Reprojection Tool (MRT) (Dwyer e Schmidt, 2006) foi utilizado para converter os dados para coordenadas planares (UTM, WGS-84). As imagens foram analisadas no ambiente de análise de imagens ENVI<sup>®</sup> e IDL<sup>®</sup> (ITT, 2009). Os limites das florestas foram criados com um limiar de pelo menos dois pixels distantes da borda para evitar a mistura espectral com alvos externos às áreas de estudo.

## 2.3. Análise dos dados

Os dados foram analisados com base na média da reflectância e desvio padrão de cada banda e dos índices de vegetação. Para avaliar as diferenças espectrais existentes entre ambas as florestas e os impactos do uso antrópico das terras indígenas, gráficos de espalhamento e estatísticas básicas foram calculadas ( $R^2$ , RMSE). Para caracterizar a dinâmica dos índices de vegetação, foram elaborados gráficos com os perfis temporais do NDVI e do EVI. Todas as análises foram feitas utilizando 2028 pixels para o PE Turvo e 4472 pixels para a TI Guarita.

A análise wavelet (ITT, 2010) foi utilizada para identificar as principais variações temporais dos espectros médios de NDVI e EVI. Foi utilizada a função wavelet de Morlet de ordem 6 no espaço bidimensional (ITT, 2010). Os dados foram confrontados com as variações de precipitação que ocorreram no período. Procurou-se ainda identificar o período do ano em que se verificam as maiores variações em cada parâmetro analisado.

Os dados de precipitação mensal acumulada e diária para os anos de 2000 a 2010 foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2010). Foram utilizados os dados da estação localizada no município de Iraí – RS, localizada próxima (50 km) à área de estudo.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Reflectância de superfície

A avaliação da reflectância média das bandas do vermelho (Figura 2a) e do azul mostrou uma maior reflectância da TI Guarita em relação ao PE Turvo. Por outro lado, a TI Guarita apresentou uma menor reflectância para a banda do infravermelho próximo (NIR) (Figura 2b). Os perfis temporais mostraram que as diferenças no vermelho são percentualmente mais acentuadas quando comparadas às do NIR. Este resultado reflete a maior presença de solo exposto na TI Guarita, o que pode ser uma consequência da ocupação antrópica (indígena) (SEMA, 2005). Ainda observando os gráficos da Figura 2, verificou-se uma maior variação dos dados em relação à média para o período de outubro a fevereiro. Este resultado está associado à maior presença de nuvens e à menor disponibilidade de imagens MODIS que integram as composições de 16 dias. Ainda podemos especular uma possível relação com a geometria de iluminação e de visada, por poder causar estas dispersões.

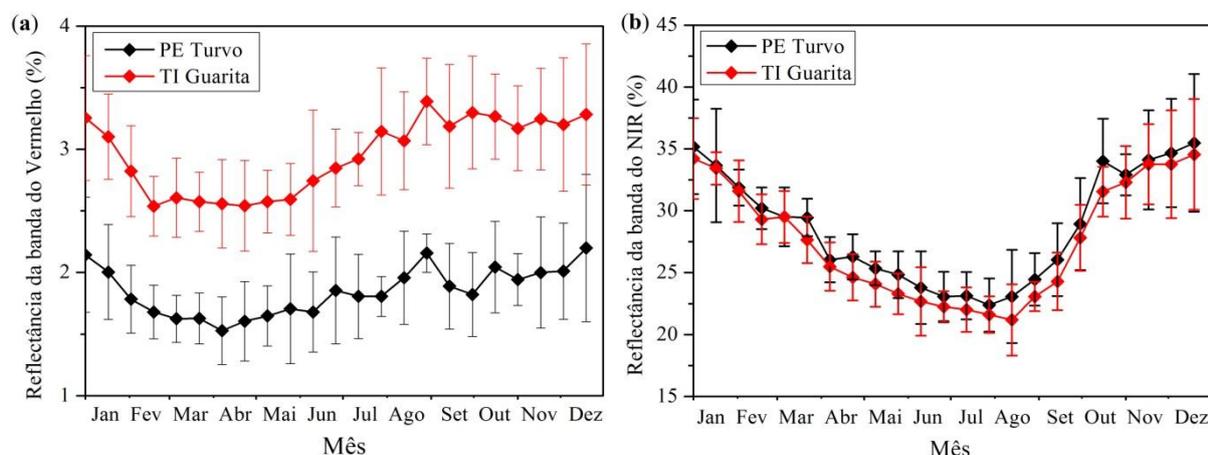


Figura 2. Reflectância MODIS da banda do (a) vermelho e do (b) infravermelho próximo (NIR). Os traços representam mais e menos um desvio padrão em relação à média, calculado com base nas composições de 2000 a 2010.

As variações interanuais de reflectância nas bandas do vermelho (Figura 2a) e do azul (resultado não apresentado) mostraram um aumento contínuo de abril ao final de dezembro. Ao avaliar as normais de precipitação, verificou-se que não há um período seco bem definido no noroeste do RS. Assim, essa tendência de aumento pode estar associada à geometria de iluminação e à perda de folhas pela vegetação. Em relação à redução da reflectância na banda do NIR (Figura 2b), ela é muito melhor definida que à do visível e pode estar associada à perda de folhas da vegetação. Neste período mais de 50% dos indivíduos florestais perdem sua folhagem (vegetação decídua – caducifólia) devido à seca fisiológica associada a temperaturas do período mais frio inferiores a 15°C (IBGE, 1992). Outro fator que pode interferir é o aumento do espalhamento da radiação, que ocorre devido ao aumento do ângulo

zenital solar de iluminação (do verão para o inverno).

### 3.2. Índices de Vegetação

O uso dos índices de vegetação é indicado para ressaltar a presença de vegetação e reduzir a influência de fatores externos (geométricos, sombras, atmosféricos, etc.). A avaliação do NDVI mostrou que o PE Turvo apresenta valores superiores aos da TI Guarita (Figura 3a). Apesar da TI Guarita apresentar uma maior presença de áreas agrícolas e solo exposto durante alguns períodos do ano, o EVI médio das duas áreas florestais não mostrou grandes diferenças (Figura 3b). Esse resultado deriva da maior sensibilidade do NDVI à banda do vermelho e do EVI à banda do NIR. Assim, uma pequena presença de solo faz com que os valores de NDVI diminuam enquanto que a alta reflectância do NIR para a vegetação e solo faz com que esse índice não seja sensível a pequenas variações da cobertura do solo, considerando vegetação e solo exposto e/ou vegetação seca.

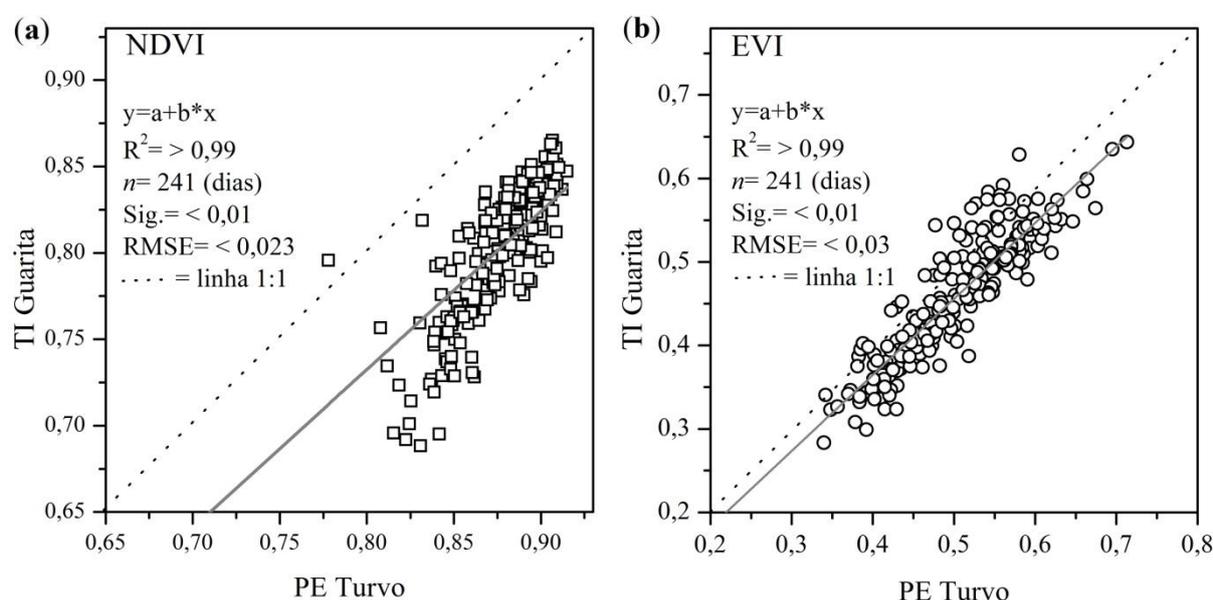


Figura 3. Magnitude da variação do (a) NDVI e do (b) EVI entre as áreas duas florestais estudadas. Foram cruzados os valores médios dos índices de vegetação de cada floresta para cada data da série temporal MODIS de 2000 a 2010.

A análise wavelet da série de 10 anos dos espectros médios mostrou a existência de um ciclo anual para ambas as florestas e índices de vegetação (Figura 5). O NDVI mostrou que entre novembro de 2001 e novembro de 2003 ocorreram fortes modificações no índice para o PE Turvo (Figura 5a). A TI Guarita apresentou modificações mais intensas do NDVI no período de dezembro de 2007 a junho de 2009 (Figura 5b). Em relação ao EVI, o PE Turvo mostrou um comportamento semelhante ao NDVI (Figura 5c). Contudo, para a TI Guarita, o EVI apresentou anomalias com máxima variação tanto para o período de novembro de 2001 e novembro de 2003 e quanto para o período de dezembro de 2007 a junho de 2009, inclusive com duração um pouco maior (Figura 5d). Em geral, durante os dois períodos identificados as precipitações acumuladas mensais foram inferiores à normal climatológica.

As variações temporais do NDVI médio são apresentadas na Figura 4a. Novamente as variações do uso de cobertura do solo são claras para o NDVI, visto que este é mais dependente da banda do vermelho. Por outro lado, o EVI, mais sensível ao NIR, apresentou um comportamento semelhante à própria reflectância do NIR (Figura 4b). Em ambos os casos, o PE Turvo apresentou valores superiores. Os gráficos mostram claramente o caráter caducifólio da vegetação e o ciclo fenológico médio de ambas as áreas florestais. Apesar de

não terem sido avaliadas em detalhe, as variações sazonais podem estar associadas à geometria de iluminação (sol x alvo x sensor).

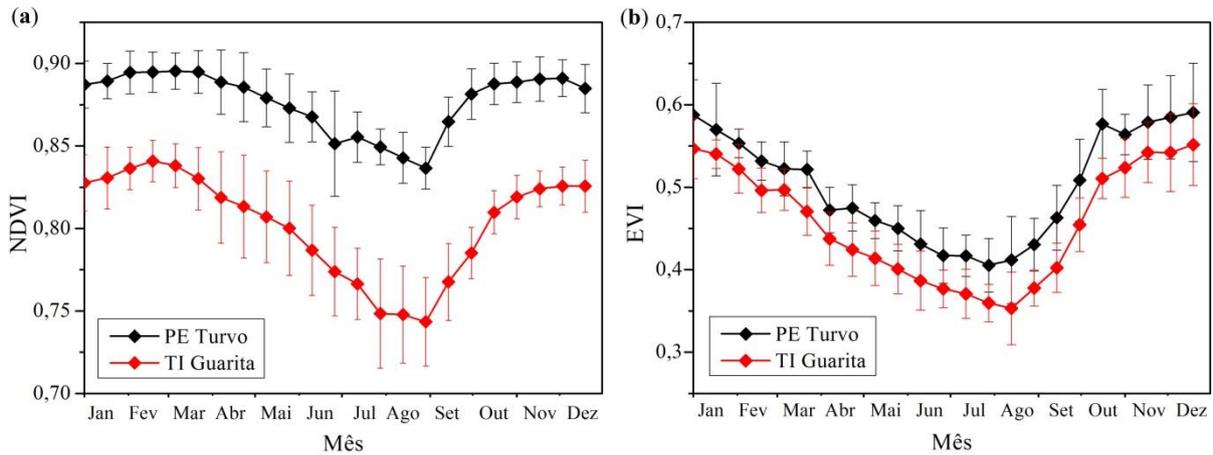


Figura 4. Variação temporal dos índices de vegetação MODIS: (a) NDVI e (b) EVI. Os traços representam mais e menos um desvio padrão em relação à média, calculado com base nas composições MODIS de 2000 a 2010.

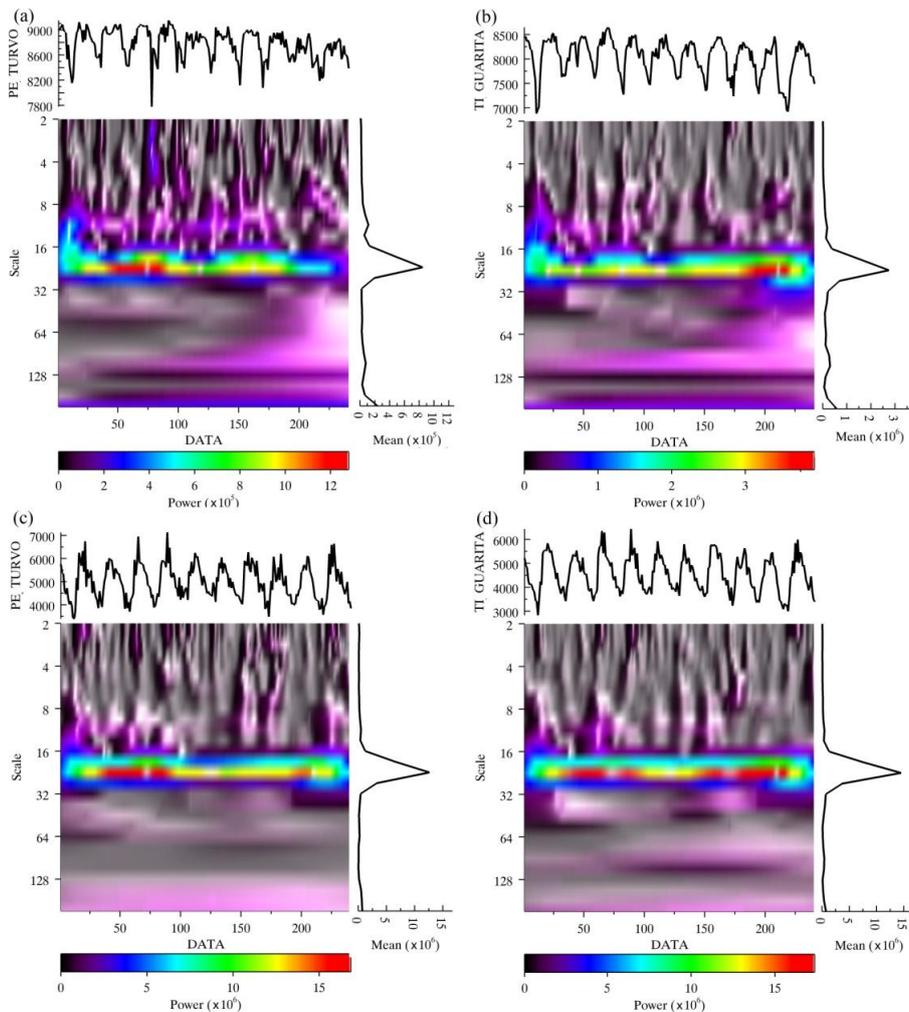


Figura 5. Avaliação wavelet das séries temporais de NDVI do (a) PE Turvo e (b) da TI Guarita e EVI do (c) PE Turvo e (d) da TI Guarita. Os espectros temporais são apresentados no topo dos gráficos. O eixo X refere-se ao dia que identifica a composição MODIS (ex. 1=18/02/2000, 50=07/04/2002, 100=09/06/2004 até 241=28/07/2010, etc.).

#### 4. Conclusões

O Parque Estadual do Turvo e a Terra Indígena do Guarita representam duas áreas de proteção ambiental que estão em distintas condições de conservação. Com base na avaliação dos espectros temporais da reflectância, verificou-se que o Parque Estadual do Turvo apresentou menor reflectância média na banda do vermelho em relação à Terra Indígena do Guarita. O inverso foi verificado para o infravermelho próximo. Contudo, com variações menores. Esse fato parece estar associado a uma maior antropização (indígena) da Terra Indígena do Guarita.

Os índices de vegetação apresentaram valores superiores no Parque Estadual do Turvo. O NDVI possibilitou um melhor acompanhamento das variações temporais de ambas as florestas. O EVI mostrou-se altamente correlacionado com a banda do NIR. Períodos de chuva abaixo da normal climatológica foram identificados através da análise wavelet, com base nas séries de 2000 a 2010 do NDVI e do EVI.

Verifica-se a necessidade de mais estudos, inclusive com medidas de parâmetros biofísicos em campo (ex. índice de área foliar), para compreender melhor as variações espectrais e temporais de ambas as florestas.

#### Referências

- Albuquerque, E.P. Sobre o desaparecimento da fauna da região do Alto Uruguai e a Importância do Parque Florestal Estadual do Turvo na sua preservação. **Roesslária**, v. 1, n. 1, p. 143-149. 1977.
- Brack, P.; Bueno, R.M.; Falkenberg, D.B.; Paiva, M.R.C.; Sobral, M.; Stehmann, J.R. Levantamento florístico do Parque Estadual do Turvo, Tenente Portela, Rio Grande do Sul, Brasil. **Roesslária**, v. 7, n. 1, p. 69-94. 1985.
- Dwyer, J.; Schmidt, G. The MODIS reprojection tool. In Qu, J.J.; Gao, W.; Kafatos, M.; Murphy, R.E.; Salomonson, V.V. (Eds.), **Earth Science Satellite Remote Sensing**. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. Cap. 13, p. 162-177.
- Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS). **Earth Observing System Clearing House (ECHO) / Warehouse Inventory Search Tool (WIST)** Version 10.X [online application]. Greenbelt, MD: EOSDIS, Goddard Space Flight Center (GSFC) National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2009. Disponível em < <https://wist.echo.nasa.gov/api/> >. Acesso em 18 out. 2010.
- 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, n. 1-2, p. 195-213. 2002.
- Huete, A.R.; Justice, C.; Leeuwen, W. MODIS vegetation index (MOD 13). Algorithm Theoretical Basis Document - Version 3. Tucson, Arizona: University of Arizona and University of Virginia, 1999. Tucson, Arizona. Disponível em: < [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod13.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf) >. Acesso em 16 out. 2010.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92 p.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Observações: Condições registradas**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=Gr%E1ficos> >. Acesso em 23 Out. 2010.
- Instituto Socioambiental (ISA). **Povos Indígenas do Brasil**. Disponível em: < <http://www.socioambiental.org/> >. Acesso em 16 Out. 2010.
- ITT - Visual Information Solutions Professional Services Group. **ENVI with IDL**. Attn: Webmaster, 4990 Pearl East Circle, Boulder, CO 80301, USA. 2009.
- ITT - Visual Information Solutions. **IDL Wavelet Toolkit Version 7.1.2**. Attn: Webmaster, 4990 Pearl East Circle, Boulder, CO 80301, USA. 2010.

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.; Lucht, W.; Myneni, R.B.; Knyazikhin, Y.; Running, S.W.; Nemani, R.R.; Huete, A.R.; van Leeuwen, W.; Wolfe, R.E.; Giglio, L.; Muller, J.; Lewis, P.; Barnsley, M.J. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249. 1998.

Kasper, Carlos B.; Mazim, Fábio D.; Soares, José B. G.; Oliveira, Tadeu G. De Fabián, Marta E. Composição e abundância relativa dos mamíferos de médio e grande porte no Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 24, n. 4, p. 1087-1100. 2007.

LATORRE, M.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; ANDERSON, L.O. Produtos para ecossistemas terrestres MODLAND. In: Rudorff, B.F.T; SHIMABUKURO, Y.E.; Ceballos, J.C. (Coord.). **Sensor MODIS e suas Aplicações Ambientais no Brasil**. 1.ed. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. p.23-36.

Miura, T.; Huete, A.R; Yoshioka, H.. Evaluation of sensor calibration uncertainties on vegetation indices for MODIS. **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, v. 38, n. 3, p. 1399-1409. 2000.

Secretaria Estadual do Meio Ambiente – RS (SEMA). Inventário Florestal: Floresta Estacional Decidual. Disponível em: < <http://www.sema.rs.gov.br/default.asp> >. Acesso em 16 out. 2010.

Secretaria Estadual do Meio Ambiente – RS (SEMA). **O Plano de Manejo do Parque Estadual do Turvo -RS**. Porto Alegre: SEMA, 2005. Disponível em: < [www.sema.rs.gov.br/upload/Plano\\_manejo\\_PETurvo.pdf](http://www.sema.rs.gov.br/upload/Plano_manejo_PETurvo.pdf) >. Acesso em 16 out. 2010.