

Estudo das variações da reflectância de imagens RapidEye em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul

William Gaida¹
Fabio Marcelo Breunig²
Lênio Soares Galvão³
Thiago Sousa Teles³

¹ Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Programa de Pós-graduação em Geografia
Av. Roraima, 1000, Santa Maria, RS, 97105-970, Brasil
ufsm.william@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria – DEF-FW/UFSM
Linha Sete de Setembro, s/n, BR 386 km 40 - 98400-000 – Frederico Westphalen - RS, Brasil
fabiobreunig@gmail.com

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
lenio@dsr.inpe.br; ts.teles@hotmail.com

Abstract: At leaf scale, the spectral features of vegetation are mainly associated to photosynthetic pigment, leaf internal structure and water concentration, allowing the use of remote sensing techniques to monitoring forest areas. However, external factors such as topographic characteristics affect the spectral response of the target. Thus, the objective of the study was to evaluate the reflectance of a forest area as a function of local topographic variation. The study was carried out in the *Parque Estadual do Turvo* (PET), in South Brazil, using RapidEye images. The methodology included the use of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) global digital elevation model (GDEM). Topographic variables as slope, aspect and topographic illumination factor were obtained using ASTER GDEM. For a local evaluation, two RapidEye images from June 28, 2012 and October 17, 2012 were acquired. The results showed that the red edge and near infrared bands presented a higher dependence on topographic variables, considering their higher coefficient of variation. North oriented slopes presented greater values of reflectance due to orthogonal illumination. Because the RapidEye images are widely used for several applications, caution is recommended when one considers studying areas with highly undulated topography to correct for topographic effects. These preliminary results require more studies including field inspection integration to remote sensing derived results.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, estudos florestais, fator de iluminação, geometria de iluminação, relevo, remote sensing, forest studies, topographic lighting factor, illumination geometry, relief.

1. Introdução

O sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado como ferramenta de obtenção de dados em estudos de áreas florestais por permitir avaliações temporais e espaciais, capturando a dinâmica desses ecossistemas (Carvalho Júnior et al., 2006). Como exemplo, pode-se mencionar aplicações como estudos fenológicos e monitoramento de ocorrências de desmatamento (Ponzoni e Shimabukuro, 2010), bem como o monitoramento de atributos biofísicos e bioquímicos da vegetação (Asner, 1998). A possibilidade de se trabalhar com séries temporais de dados de sensoriamento remoto para o estudo da vegetação é fundamental para o entendimento de dinâmicas sazonais de florestas.

Na busca por dados com melhor detalhamento e que permitam identificar determinadas influências que a superfície terrestre pode exercer sobre as florestas, exige-se a utilização de imagens com média a alta resolução espacial. Neste sentido, as imagens obtidas por meio da constelação de satélites RapidEye são de grande importância por permitirem uma análise com

maior detalhamento das feições, devido a sua resolução espacial nominal de 5 metros, cobrindo as faixas espectrais do visível e infravermelho próximo com cinco bandas (azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e borda vermelha) (RapidEye A. G., 2012). Outra característica destes satélites é a disponibilização de um grande número de imagens de um mesmo local devido à característica da constelação ser composta por cinco satélites idênticos e em mesma órbita, capazes de coletar imagens sobre grandes áreas, com alta capacidade de revisita e boa acurácia geométrica e radiométrica das imagens (Felix et al., 2009).

Um aspecto importante das imagens RapidEye e de grande importância para estudos florestais diz respeito às faixas espectrais cobertas. Além das bandas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, estes sensores possuem a banda *Red Edge* (borda vermelha) localizada na região do espectro eletromagnético entre 690 e 730 nm. Nesta região ocorre uma mudança abrupta da reflectância, em consequência da concentração da clorofila, o que permite a realização estudos sobre a vegetação com o uso destes sensores (Felix et al., 2009).

As feições espectrais da vegetação são originadas principalmente pelas diferentes concentrações de pigmentos fotossintéticos presentes na folha, pela estrutura interna das folhas e pela concentração de água (Marcussi et al., 2010). A vegetação caracteriza-se como um dos alvos mais complexos devido às variações das suas propriedades físico-químico-biológicas, a presença de múltiplos componentes refletores, a não uniformidade de estruturas, as características do substrato (Epiphany et al., 1996) e efeitos externos como a mistura espectral, geometria de iluminação e observação e as características topográficas da região.

Para corrigir ou mesmo amenizar os efeitos causados pelo relevo, alguns autores têm proposto o uso do fator topográfico de iluminação. Lamparelli et al. (2011) mencionam que este fator é baseado em uma técnica de processamento de imagens, na qual são utilizados algoritmos que consideram o modelo digital de elevação acrescido das informações da geometria de visada de uma imagem orbital. O produto resultante da utilização desta técnica expressa as variações de iluminação ao longo do terreno (Canavesi, 2008).

Estudos combinando produtos gerados pela constelação RapidEye e dados geomorfológicos são escassos, especialmente no que tange a ambientes subtropicais em que um outro parâmetro, representado pelo caráter decidual de algumas espécies de plantas, pode aumentar ainda mais a complexidade embutida nas imagens de satélite e produtos derivados. Assim, uma avaliação dessa complexidade frente aos parâmetros geomorfológicos representa um passo inicial para entender como os produtos de sensoriamento remoto são dependentes dos aspectos geomorfológicos locais.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a magnitude das variações da reflectância de superfície em função das variações topográficas locais do Parque Estadual do Turvo (PET) utilizando dados da constelação RapidEye do ano de 2012.

2. Área de estudo

Situado no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, o PET possui uma área de 17.491,4 hectares, o que o caracteriza como o maior fragmento preservado de floresta subtropical decídua do estado. Localizado no município de Derrubadas (Figura 1), o parque criado pelo Decreto Estadual número 2.312, de 11 de março de 1947 foi a primeira unidade de conservação integral do Rio Grande do Sul (SEMA/RS, 2005).

No aspecto geomorfológico, o PET apresenta relevo bastante dissecado, com presença de vales profundos, situados sobre derrames basálticos da Formação Serra Geral, tendo como característica a distinção de classes de solos nas distintas fases do relevo. A área do parque está inserida na Unidade Geomorfológica denominada Planalto de Santo Ângelo, integrante da Região Geomorfológica Planalto das Missões, que pertence ao Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares. Regionalmente, apresenta os modelados de dissecação homogênea e diferencial e na área do PET o modelado é de dissecação diferencial com forte controle estrutural e aprofundamento dos vales que variam de 55 a 140 metros (SEMA/RS, 2005).

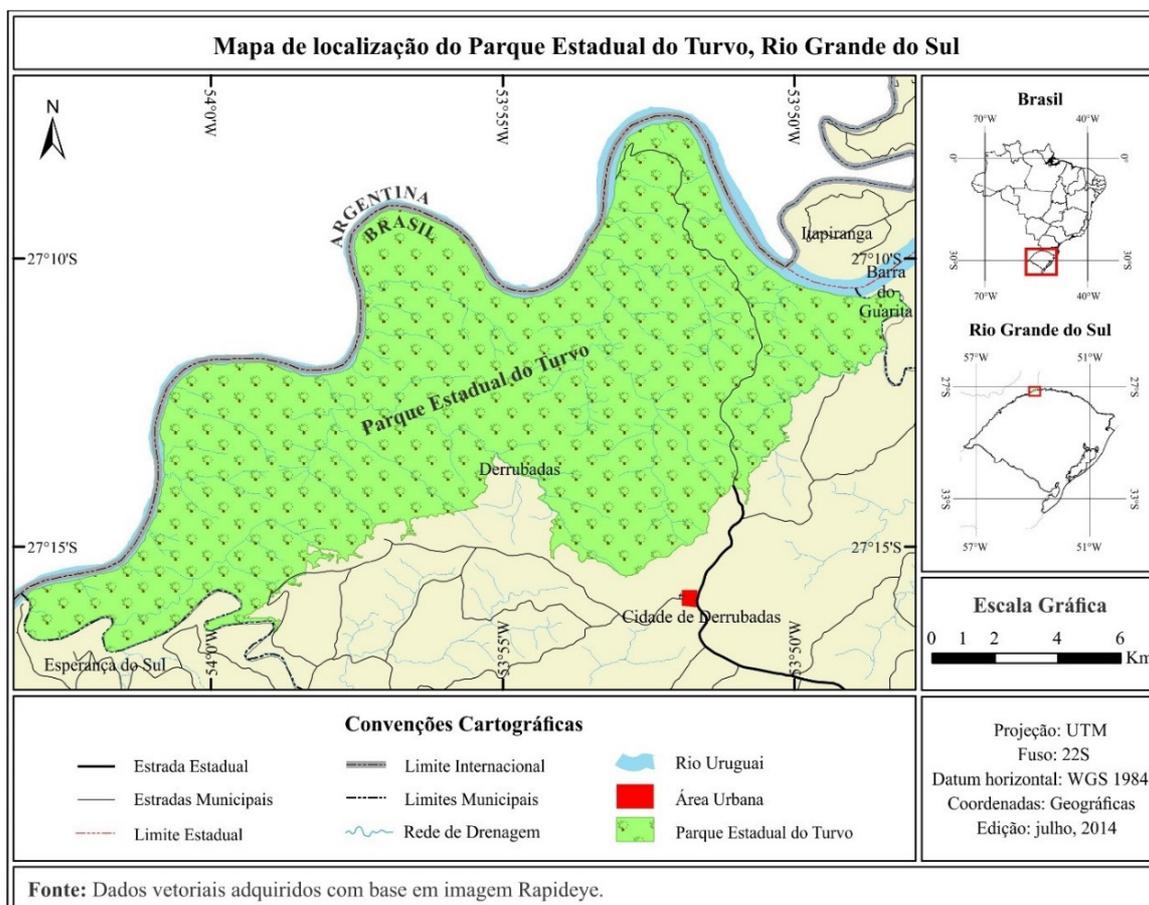


Figura 1. Mapa de localização do Parque Estadual do Turvo (PET) no noroeste do Rio Grande do Sul.

3. Metodologia de Trabalho

Para a realização do trabalho fez-se necessária a aquisição e pré-processamento de dados de sensoriamento remoto para a avaliação da influência do sombreamento, causado por variações topográficas locais, na resposta espectral e índices de vegetação da floresta do PET. Foram adquiridas por meio de *download* de um repositório da NASA (disponível no endereço eletrônico: https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool) duas séries temporais do produto MOD13Q1 (*Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m*) contendo os índices de vegetação Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Enhanced Vegetation Index (EVI) para o período entre 2000 (início da operação da plataforma *Terra*) e 2012.

Os índices de vegetação NDVI e EVI foram avaliados por meio da média do valor de cada índice para a área do parque (por data), sendo estes dados processados em um pacote estatístico e avaliados graficamente permitindo verificar a dinâmica da vegetação do PET. Estes dados foram utilizados como determinantes na escolha das datas das imagens RapidEye que foram adquiridas para as datas de 29 de junho de 2012 (maior dependência de sombreamento) e 17 de outubro de 2012 (menor dependência de sombreamento). Os dados RapidEye foram adquiridos em nível de processamento 3A (*RapidEye Ortho Product – Radiometric, sensor and geometric corrections applied to the data*) que contempla a correção atmosférica, geométrica e a ortorretificação. Os valores dos pixels das bandas RapidEye foram transformados de números digitais para valores de reflectância de superfície por meio da utilização do módulo *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes* (FLAASH) do aplicativo ENVI 5.0 (EXELIS, 2014).

Ainda durante a etapa do pré-processamento, foi adquirido o modelo digital de elevação *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation*

Model version 2 (ASTER GDEM 2) para a área de estudo por meio de *download* do repositório da ERSDAC (*Earth Remote Sensing Data Analysis Center*) disponível no endereço: gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp. Este modelo digital de elevação foi utilizado na elaboração das variáveis topográficas de orientação de vertentes e declividade, sendo realizada por meio da ferramenta *Topographic modeling* do aplicativo ENVI 5.0 (EXELIS, 2014).

Após a geração das duas variáveis topográficas, estas foram classificadas por meio da ferramenta *Density Slicing*, disponível no aplicativo ENVI 5.0, sendo atribuídas as classes de orientação de vertentes de acordo com as oito direções: norte ($0^\circ - 22,5^\circ$; $337,5^\circ - 360^\circ$), nordeste ($22,5^\circ - 67,5^\circ$), leste ($67,5^\circ - 112,5^\circ$), sudeste ($112,5^\circ - 157,5^\circ$), sul ($157,5^\circ - 202,5^\circ$), sudoeste ($202,5^\circ - 247,5^\circ$), oeste ($247,5^\circ - 292,5^\circ$) e noroeste ($292,5^\circ - 337,5^\circ$). Para a classificação da variável declividade foram utilizadas as classes definidas por Granell-Pérez (2001), na qual foram utilizadas sete classes: $0^\circ - 2^\circ$, $2^\circ - 5^\circ$, $5^\circ - 15^\circ$, $15^\circ - 25^\circ$, $25^\circ - 35^\circ$, $35^\circ - 45^\circ$ e $> 45^\circ$.

Na etapa seguinte, após a modelagem topográfica da área de estudo, foi calculado o fator topográfico de iluminação. Este fator foi elaborado a partir dos dados de orientação de vertentes e de declividade juntamente com os parâmetros relativos à geometria de iluminação solar no momento de aquisição das cenas RapidEye no aplicativo ENVI 5.0 por meio da ferramenta *Band Math* com a utilização da Equação 1:

$$FI = (((\cos(\varphi_{x,y} - \varphi_s))^2 + (\cos(\theta_{x,y} - \theta_s))^2)^{0.5}) \quad (1)$$

onde: $\varphi_{x,y}$ refere-se a orientação das vertentes ou ângulo azimutal da imagem; φ_s o ângulo azimutal solar no momento de aquisição da imagem; $\theta_{x,y}$ a declividade ou ângulo zenital da imagem; θ_s ao ângulo zenital solar no momento da aquisição da imagem.

Após o cálculo do fator topográfico de iluminação, foram definidas três classes de iluminação com base na classificação proposta por Canavesi (2008): iluminado (1,094 – 1,420), plano (0,960 – 1,094) e escuro (0,370 – 0,960).

A etapa seguinte consistiu na aquisição dos valores médios dos pixels das bandas RapidEye e dos índices de vegetação para cada classe de cada variável. Desta forma, em cada classe das variáveis foram amostrados aleatoriamente 1000 pixels. Para evitar contaminação de pixels, procurou-se extrair os pixels de fragmentos de maior porte de cada classe. Após esse procedimento, os dados foram analisados estatisticamente e graficamente.

Para agregar os resultados gerados pelas diferentes abordagens do trabalho foi realizada uma avaliação integrada dos resultados, procurando discutir os resultados de forma holística. Assim, os resultados permitiram elaborar uma discussão sintética sobre suas inter-relações entre as diferentes variáveis em estudo: parâmetros da vegetação, parâmetros da modelagem topográfica e do fator de iluminação e, parâmetros extraídos das imagens de satélite (reflectância e índices de vegetação).

4. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos mostraram que a característica decidual da floresta aliada a redução da atividade fotossintética faz com que ocorra um aumento nos valores médios de reflectância nas bandas do visível na cena RapidEye do mês de junho em relação aos valores apresentados na cena datada de outubro. Em outubro, a floresta apresenta grande produção de clorofila.

Na data de junho, as variações dos valores de reflectância entre as classes de declividade foram mais acentuadas em função do maior sombreamento das vertentes causada pelo baixo ângulo de elevação solar de $37,93^\circ$. No entanto, na cena de outubro, que apresentava um maior ângulo de elevação solar ($71,25^\circ$) e, conseqüentemente, menor sombreamento, as variações de reflectância entre as classes de declividade ocorreram de forma menos acentuada. Analisando os gráficos da Figura 2 é possível identificar que na cena de junho os menores valores de reflectância foram encontrados na classe de $25^\circ - 35^\circ$, que apresenta-se associada a áreas dos vales onde há

maior sombreamento. No entanto, os maiores valores foram verificados para a classe 45°-90°, a qual está associada as áreas de topo que apresentam maior incidência de radiação, mesmo com baixos ângulos de elevação solar (maior quantidade de encostas ortogonais ao ângulo de incidência de radiação), o que pode induzir a uma maior reflectância em todas as bandas.

Para a cena de outubro, os menores valores de reflectância foram encontrados nas classes de 15° - 25° e 25° - 35°, enquanto que os maiores valores também foram verificados na classe de 45° - 90, igualmente como ocorre no mês de junho.

Os maiores coeficientes de variação (CV) na cena de junho foram identificados nas bandas da borda do vermelho e infravermelho próximo, sendo 0,2384 e 0,2399 respectivamente. Para as bandas do visível foram encontrados os seguintes coeficientes de variação: 0,1941 para a banda do azul, 0,1543 para a banda do verde e 0,1309 para a banda do vermelho. Desta forma, a análise dos CV mostrou que as bandas da borda do vermelho e infravermelho próximo foram mais sensíveis aos efeitos topográficos. No entanto, a análise dos coeficientes de variação da imagem de outubro mostrou que a banda do azul apresentou-se mais sujeita as variações de declividade que as demais bandas, apresentando um CV de 0,1032.

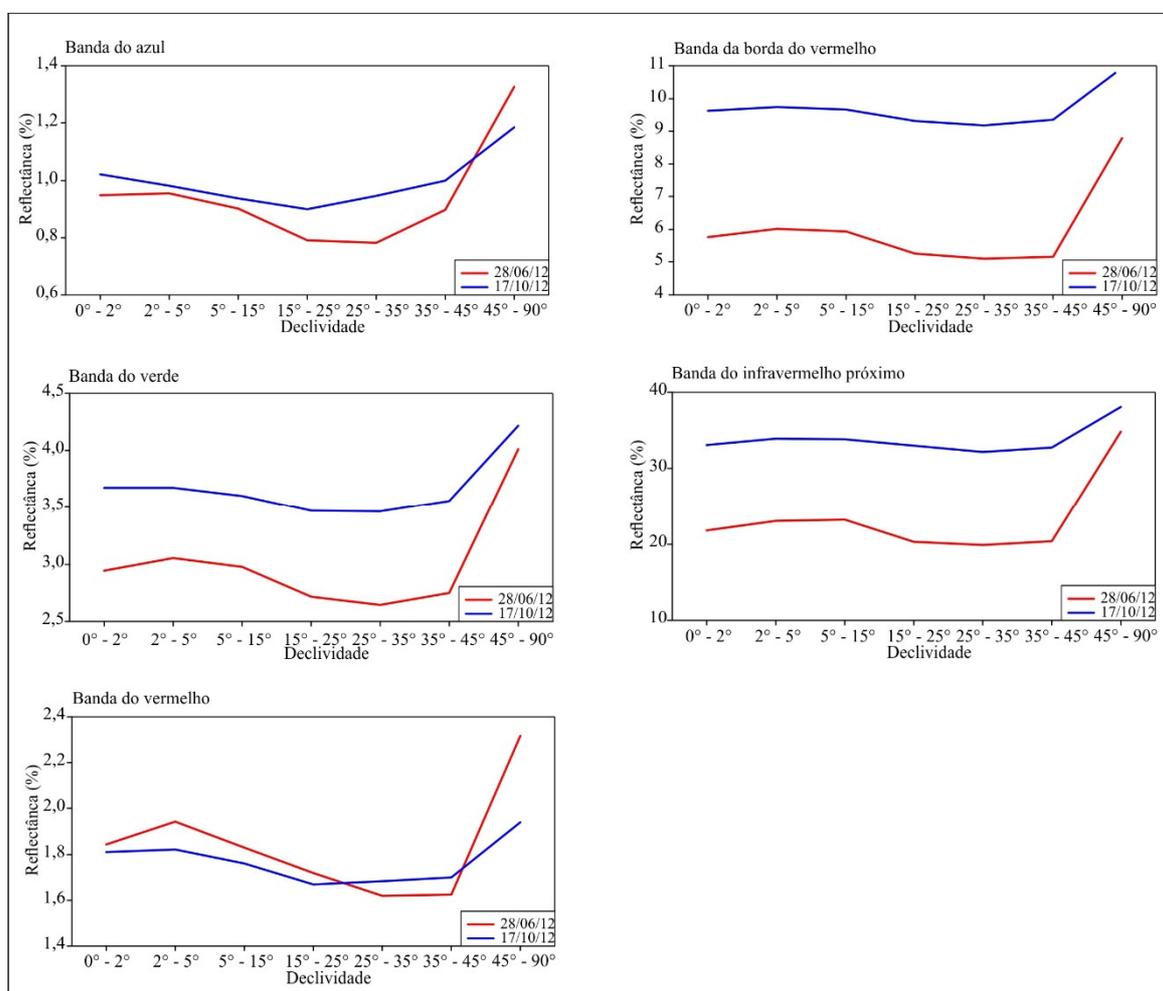


Figura 2. Gráficos da reflectância das bandas RapidEye em função da variável topográfica de declividade para duas datas de aquisição das imagens.

Os dados de reflectância das bandas da cena RapidEye de 28 de junho de 2012 mostraram a existência de variações nos valores da reflectância associados às direções de orientação das vertentes apresentando características distintas entre as direções com maior ou menor iluminação (Figura 3). Dentre estas características foi possível verificar, por meio dos dados, a ocorrência de

uma redução nos valores de reflectância das bandas nas classes correspondentes a vertentes com orientação nas direções sudeste, sul, sudoeste e oeste.

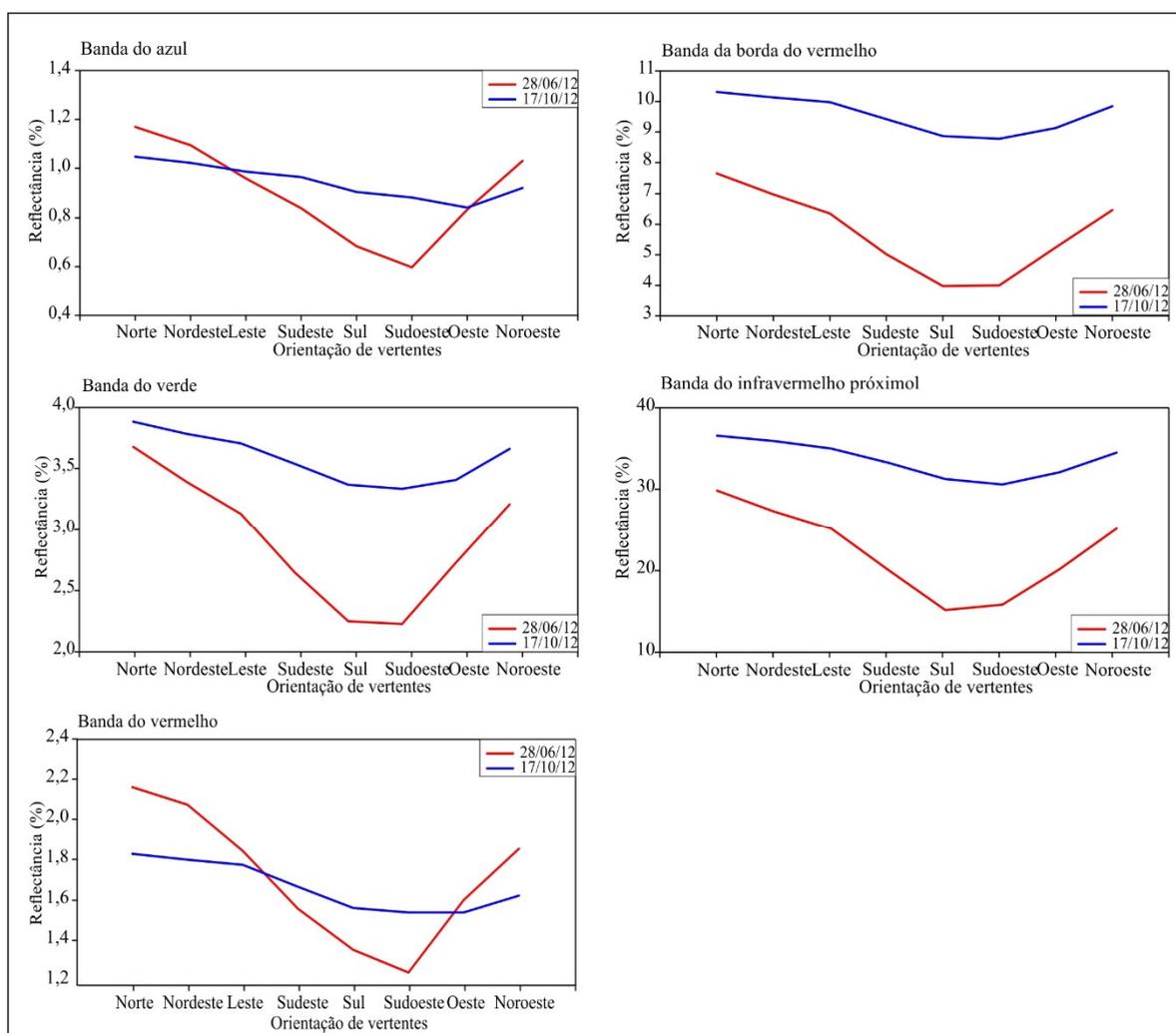


Figura 3. Gráficos da reflectância das bandas RapidEye em função da variável topográfica de orientação de vertentes para duas datas de aquisição das imagens.

No entanto, embora seja perceptível, ao analisar os gráficos da Figura 3, uma suave redução nos valores de reflectância para a cena RapidEye de 17 de outubro de 2012 ocorreu também de forma mais significativa nas vertentes com direção oposta a incidência de radiação solar (sudeste, sul, sudoeste e oeste). Comparando os dados dos valores médios de reflectância das duas cenas (destacando que foram amostrados os pixels de mesma localização nas duas cenas RapidEye) é possível identificar por meio da análise dos coeficientes de variação que o efeito topográfico foi menor nos valores de reflectância da cena de outubro, que apresenta um maior ângulo solar ($71,25^\circ$) em relação a geometria de iluminação presente na cena de junho ($37,93^\circ$). Desta forma, para a cena de junho tem-se os seguintes coeficientes de variação: 0,2220 para a banda do azul, 0,1822 para a banda do verde, 0,1696 para a banda do vermelho, 0,2384 para a banda da borda do vermelho e 0,2399 para a banda do infravermelho próximo. Para a cena de outubro foram verificados: 0,0758 para a banda do azul, 0,0573 para a banda do verde, 0,0638 para a banda do vermelho, 0,0612 para a banda da borda do vermelho e 0,0655 para a banda do infravermelho próximo.

De maneira geral, a análise das variáveis topográficas de declividade e orientação de vertentes permitiu verificar, por meio dos coeficientes de variação, que as bandas da borda do

vermelho e infravermelho próximo apresentam maior influência dos fatores topográficos em função da maior resposta da reflectância da vegetação nestas duas bandas.

Os valores médios das reflectâncias analisados em função do fator topográfico de iluminação (Figura 4) permitiram verificar que as características do relevo, em relação à iluminação ou ao sombreamento, afetam os valores da reflectância dos alvos florestais. Desta forma, analisando os coeficientes de variação foi identificado que existe uma significativa variação da reflectância em relação as duas datas avaliadas, em que a data de junho apresenta maiores variações em virtude do maior contraste entre as áreas iluminadas e sombreadas, fato que ocorre de forma mais branda na data de outubro, na qual o maior ângulo de elevação solar propicia uma maior iluminação das áreas do parque. Assim, o maior valor do coeficiente de variação no mês de junho foi verificado para a banda do infravermelho próximo: 0,0962, enquanto que o menor valor foi verificado para a banda do vermelho: 0,0318. Para a data de outubro, o maior coeficiente de variação foi verificado para a banda do infravermelho próximo: 0,0184, enquanto o menor valor foi encontrado na banda do verde: 0,0184.

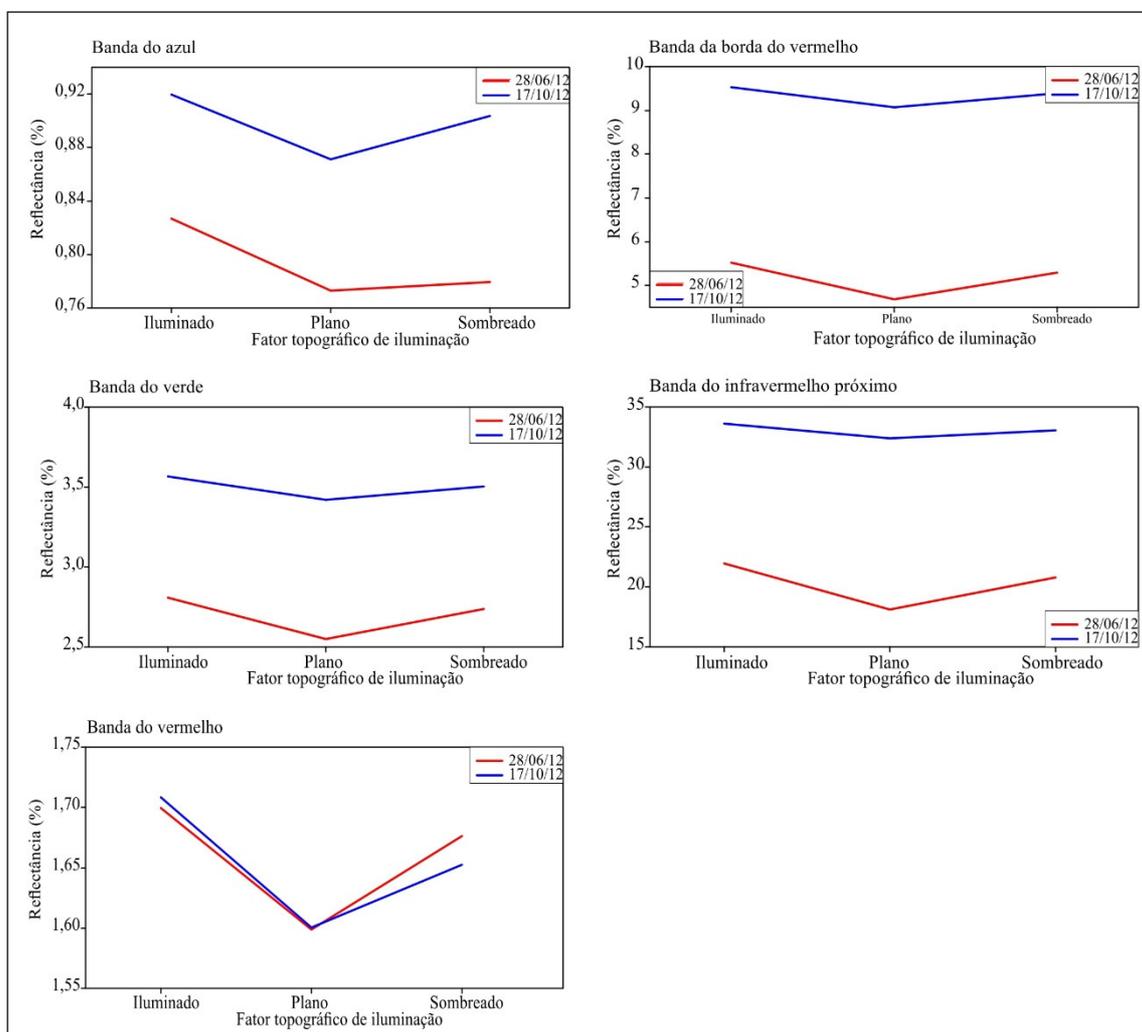


Figura 4. Gráficos da reflectância das bandas RapidEye em função do fator topográfico de iluminação para duas datas de aquisição das imagens.

5. Conclusões

Os resultados mostraram que, além da redução natural dos valores de reflectância causada pelas características decíduais e pelas condições que a floresta apresenta no período de inverno, houve uma acentuação da variação dos valores de reflectância sobre as áreas em que ocorre

sombreamento. A variação dos valores de reflectância causada pelas variações de iluminação foi mais perceptiva nas bandas da borda do vermelho e infravermelho próximo.

Foram identificadas variações significativas associadas a declividade e a orientação de vertentes, tanto para o período de junho (maior quantidade de sombra) quanto para outubro (redução do sombreamento).

Neste sentido, a interpretação de cenas de sensores de alta resolução espacial, como as do RapidEye, em áreas de topografia acidentada, requer uma atenção especial para a correção dos efeitos topográficos. Isto é especialmente importante quando se utilizam índices de vegetação no monitoramento de séries temporais visando estudos fenológicos. Alguns destes índices não se baseiam em normalização de bandas, podendo ser bastante afetados por efeitos topográficos, dependendo da data de aquisição das imagens.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo nº 478085/2013-3), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (processo nº 2013/03908-3) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – bolsa de mestrado) pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- Asner, G. P. Biophysical and Biochemical Sources of Variability in Canopy Reflectance. **Remote Sensing of Environment**, p. 234–253, 1998.
- Canavesi, V. **Aplicação de dados hiperespectrais na extração de informações qualitativas e quantitativas de plantios florestais do gênero Eucalyptus spp.** 2008. 145 f. Tese (Doutorado em sensoriamento remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.
- Carvalho Júnior, O. A.; Hermuche, P. M.; Guimarães, R. F. Identificação regional da Floresta Estacional Decidual na bacia do Rio Paraná a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. **Revista Brasileira de Geofísica**. v.24, n.3, São Paulo. 2006.
- Epiphany, J. C. N.; Formaggio, A. R.; Valeriano, D. DE M.; Oliveira, J. B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 467–474, 1996.
- Exelis Visual Information Solutions – EXCELIS©. ENVI© - Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes (FLAASH). Boulder, USA. 2014.
- Felix, I. M.; Karmierczak, M. L.; Espindola, G. M. Rapideye: a nova geração de satélites de observação da Terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7619-7622.
- Granell-Pérez, M. C. **Trabalhar geografia com cartas topográficas**. Ijuí, RS. Brasil: Editora da UNIJUÍ, 2001. p. 128.
- Lamparelli, R. A. C.; Nery, L.; Roha, J. V. Utilização da técnica por componentes principais (acp) e fator de iluminação, no mapeamento da cultura do café em relevo montanhoso. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.3, p.584-597, maio/jun. 2011.
- Marcussi, A. B.; Bueno, C. R. P.; Miqueloni, D. P.; Arraes, C. L. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 35, 2010, p. 41 - 53.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010, 127p.
- RapidEye A G. **RapidEye Satellite Imagery Product Specifications**. Version 4.0. Brandenburg an der Havel, Germany: Rapideye. Disponível em: <www.Rapideye.com>. 2012.
- 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 >. Acesso em 12 jun. 2013.