

Aplicação do MLME em imagens MODIS para o estudo do comportamento de fitofisionomias da Floresta Atlântica e sua relação com a variabilidade pluviométrica.

Yhasmin Mendes de Moura¹

Egídio Arai²

Yosio Edemir Shimabukuro²

João Roberto dos Santos²

Gilberto Fisch³

René Antonio Novaes²

Alana Almeida de Souza²

¹ Universidade de Taubaté (UNITAU)
Bolsista de Iniciação Científica – CNPq/PIBIC/INPE
12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil
yhasmin@dsr.inpe.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{egidio, yosio, jrsantos, rene, alana}@dsr.inpe.br

³ Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) – CTA
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - 12228-908 - São José dos Campos - SP, Brasil
gfisch@uol.com.br

Abstract. The objective of this work is to evaluate the variation of vegetation types “forest”, “mangrove” and “restinga”, found in the Atlantic Forest domain, using MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectral Radiometer*) images and the climate parameters to detect variation of this phenology. The methodology focusses on the application of a linear spectral mixing model on the reflectance images to compare the average values of these vegetation types between fraction images and the reflectance surface. We used MODIS sensor reflectance images for the entire year of 2006, and we also applied the Linear Mixture Model for the generation of fraction images of soil, shadow and vegetation. The data of rainfall are related to meteorology radar TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*). This process was performed using the software ENVI 4.4 which permitted to analyse the average behavior of spectral variation of the reflectance images and the fraction images. The results showed which of the vegetation fraction could be detected with higher accuracy. The increase of the vegetation proportion for the forest and mangrove possibly identify better the structural changes of vegetation in the periods of seasonal climate conditions. We conclude that the vegetation types found in the Atlantic Forest domain shows correspondence to the hydrology variation in this region.

Palavras-chave: fraction images, Atlantic Forest, remote sensing, imagens fração, Floresta Atlântica, sensoriamento remoto.

1. Introdução

O uso de produtos e técnicas de extração de informações derivadas de dados sensoriados em estudos florestais vem mostrando significativos avanços. Nos últimos anos percebe-se um aumento de estudos relacionados às variáveis ambientais e a detecção de mudanças fenológicas ou não da vegetação, através da utilização das imagens MODIS (Li et al, 2001, Gurgel e Ferreira 2003 e Ribeiro et al, 2007). Toda essa tecnologia tem demonstrado potencialidade no acompanhamento da dinâmica de uso e cobertura da terra e seus possíveis impactos, inclusive com os índices de vegetação (que são formulações derivadas de modelos lineares ou não de bandas espectrais) permitindo representações de avaliação das condições fenológicas da cobertura florestal, em nível regional ou global (Lee et al., 2003).

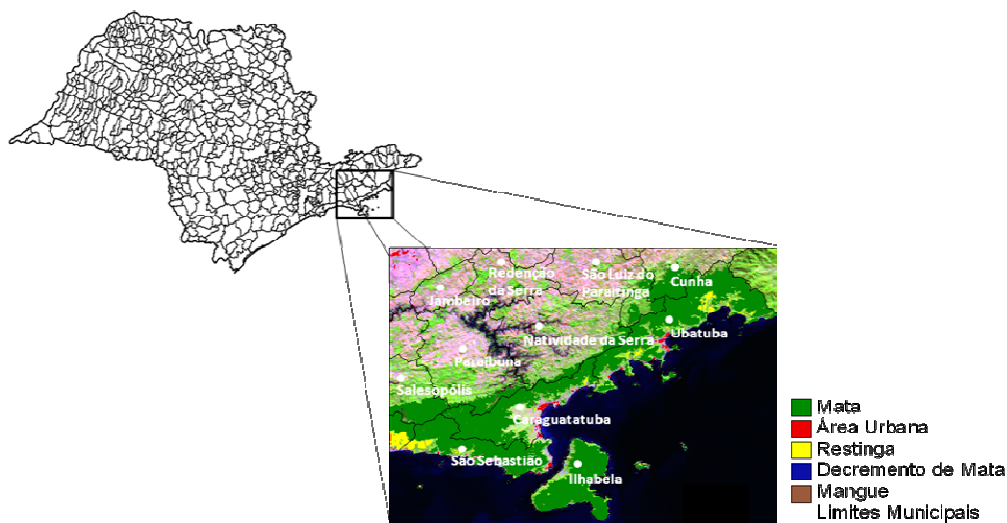
Em imagens de sensoriamento remoto, a resposta espectral de determinado alvo contida num pixel é derivada de uma mistura de informações de superfície captadas pelo sensor, que

através da resolução espacial do sistema imageador integram estas informações em um único valor. A aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral se fundamenta em separar diferentes componentes do pixel ou *endmembers* (Haertel e Shimabukuro, 2005) estimando sua proporção dentro de cada pixel na geração de imagens fração solo, sombra e vegetação.

Em estudos que enfocam as mudanças estruturais da vegetação e suas associações com o clima, observa-se a utilização de sensores remotos com alta resolução temporal, tais como MODIS, para análise das mudanças dos parâmetros biofísicos associados à fenologia vegetal (Roy e Joshi 2002, Xavier e Vettorazi 2004, Smith e Smith 2005, Shabanov et al. 2005, White et al. 2005, Huete et al. 2006) As mudanças nos padrões de diversos tipos de formações vegetais, como o período de crescimento, a taxa de acumulação de biomassa e a taxa de senescência, podem ser fortemente influenciadas pela temperatura e precipitação (Anderson e Shimabukuro, 2007). Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é analisar através das imagens MODIS as variações fenológicas dos tipos de formação vegetal encontrados em área sob domínio da Floresta Atlântica, bem como correlacioná-las com parâmetros climáticos da região através da proporção de vegetação e as médias de reflectância de cada fisionomia.

2. Materiais e Métodos

A área de estudo (Figura 1) inclui os municípios de Redenção da Serra, São Luiz do Paraitinga, Cunha, Natividade da Serra, Paraibuna, Jambeiro, Salesópolis, Ubatuba, Caraguatatuba, São Sebastião e Ilhabela, que abrigam grande parte dos remanescentes de Mata Atlântica no Estado de São Paulo (SMA, 2006). Na figura 2 é apresentado o esquema que representa as etapas desenvolvidas neste trabalho.



Foram geradas imagens sintéticas fração-solo, sombra e vegetação a partir das imagens originais do sensor MODIS/TERRA do ano de 2006, totalizando 35 imagens para análise (desconsiderou-se aquelas com elevada cobertura de nuvens). Todo o processamento foi realizado no software ENVI 4.4, que após a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral, permitiu a realização de cálculo médio estatístico da proporção de vegetação encontradas dentro de cada fisionomia analisada. A base da aplicabilidade do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) está fundamentada na identificação prévia dos pixels considerados

“puros”, que por formulação matemática, permite gerar a partir de imagens primárias, outras imagens sintéticas de fração-solo, sombra e vegetação (Cross et al., 1991).

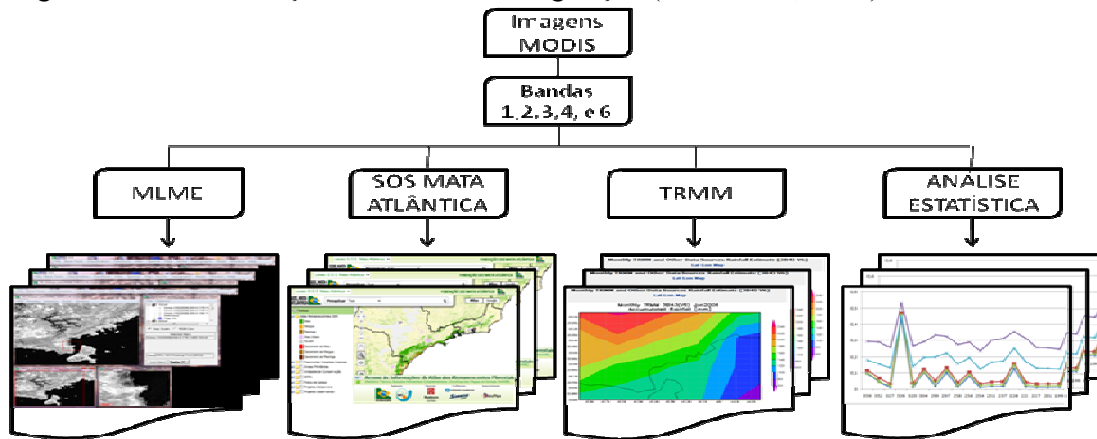


Figura 2. Metodologia do trabalho.

As fisionomias vegetais analisadas foram disponibilizadas pelo SOS Mata Atlântica (<http://mapas.sosma.org.br/dados/>), em formato *shape*, sendo elas: Mata, Mangue, Restinga e Decremento de Mata. A leitura destes *shapes* foi realizado no software ENVI 4.4, posteriormente foram também realizadas funções estatísticas para cálculo médio das imagens de refletância de superfície que permitiram analisar o comportamento espectral das fisionomias tratadas anteriormente, para as bandas 1 (620 – 670nm), 2 (841 – 876nm), 3 (459 – 479nm), 4 (545 – 564nm), e 6 (1628 – 1652nm) do sensor MODIS, e também para as imagens frações geradas pelo MLME. Depois de verificada a consistência dos dados, eles foram analisados na forma de gráficos através de planilha eletrônica do Excel.

Os dados utilizados para análise da pluviosidade da região são referentes ao radar meteorológico TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), dos quais os parâmetros foram definidos como índice de chuva em mm/hr, para os meses do ano de 2006.

3. Resultados e Discussão

A tabela 1 mostra a representatividade em termos de remanescentes florestais nos municípios estudados.

Municípios	Área (ha)	Veg. Nat. Rem. (ha)	%
São Luis do Paraitinga	73.700	15.946	21,6
Redenção da Serra	31.700	5.288	16,7
Paraibuna	73.500	15.558	21,2
Jambeiro	19.800	1.644	8,3
Cunha	133.300	35.048	26,3
Caraguatatuba	48.000	35.894	74,8
Ilhabela	33.600	29.704	88,4
Ubatuba	68.200	62.055	91
São Sebastião	47.900	34.131	71,3
Salesópolis	41.800	14.458	34,6
Natividade da Serra	84.800	21.766	25,7

Tabela 1. Área dos remanescentes florestais.

Fonte: Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. **Relatório de Qualidade Ambiental do Estado de São Paulo**, 2006. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/>.

Pode-se observar que grande parte dos municípios possui ainda um significativo percentual de fragmentos ou manchas contínuas da tipologia da vegetação Atlântica, na

maioria acima de 20% (exceto Redenção da Serra e Jambeiro), o que permite uma adequada acurácia no levantamento com imagens orbitais de moderada resolução espacial, como aquelas do sensor MODIS.

A Figura 3 apresenta o índice pluviométrico da região, a partir de dados TRMM em unidades de mm/hr. Nesse gráfico observa-se o comportamento típico da precipitação da região, com estações chuvosa e seca, bem definidas. As maiores intensidades de precipitação são encontradas nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, e os menores nos meses de junho, julho e agosto. Este indicador pluviométrico é de fundamental importância, já que o vigor vegetativo está amplamente associado à variação hídrica.

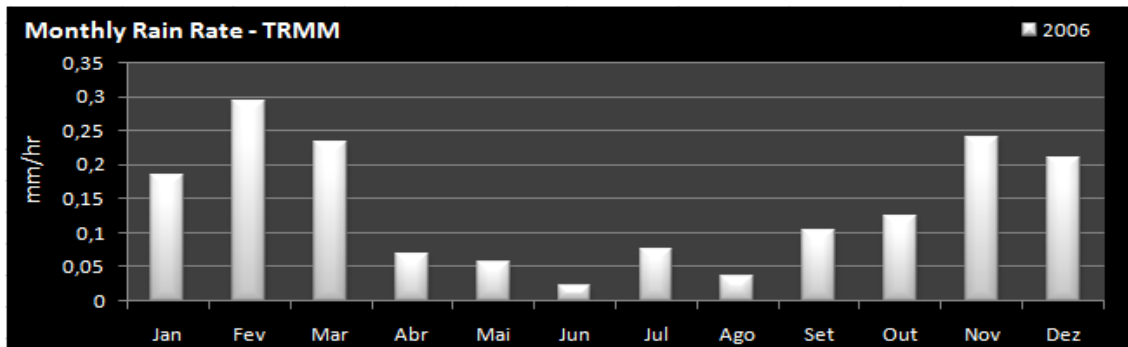


Figura 3. Índice de precipitação em mm/hr mensais para o ano de 2006.

Fonte: http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM_V6.3B43.shtml. Banco de dados da NASA.

As análises derivadas das imagens de refletância de superfície e das imagens fração para cada fisionomia estão apresentadas na Figura 5, onde o eixo y representa as medidas de refletância e as proporções de vegetação e solo (%), e o eixo x representa as datas das imagens MODIS que foram utilizadas neste trabalho.

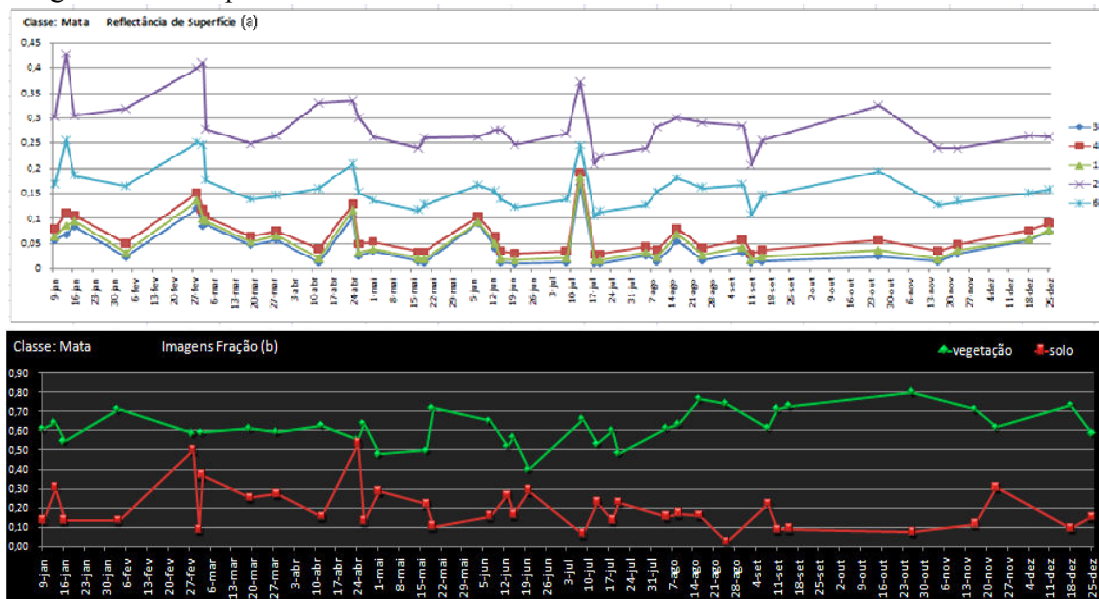


Figura 5. Gráficos de refletância (a) e de proporção de vegetação e solo (b) da fisionomia MATA para o ano de 2006.

Na fisionomia MATA, os valores de refletância de superfície tiveram algumas influências por conta da presença de nuvens, como demonstram as datas de 27-fev. e 13-jul., que apresentaram nos seus resultados valores altos, e não foram acompanhados pela proporção

representadas pela fração vegetação. Já na data de 11-set. há um aumento de proporção vegetação sem obter um comportamento semelhante para a refletância, isto pode estar associado à mudança do índice pluviométrico que teve um aumento significativo do mês de agosto para setembro. Neste caso, mesmo tendo valores dos níveis de refletância mais baixos, a fração vegetação conseguiu detectar um aumento na proporção de vegetação. As datas que apresentaram menores valores tanto de refletância quanto de proporção de vegetação estão no mês de junho, o qual também apresentou o menor índice pluviométrico de todo o ano, e por conta de ser um período mais seco, a fisionomia perde seu vigor vegetativo, influenciando em seus valores.

No entanto, pode-se observar que há maior influência de superfícies de fundo, como o aumento da proporção apresentado pela fração solo, principalmente nas datas 24-abr e 19-jun. A primeira pode estar associada às mudanças dos padrões pluviométricos que vinham apresentando altos índices de precipitação, ocorrendo, contudo uma queda brusca no mês de abril; na segunda data, junho, por haver menores valores de precipitação.

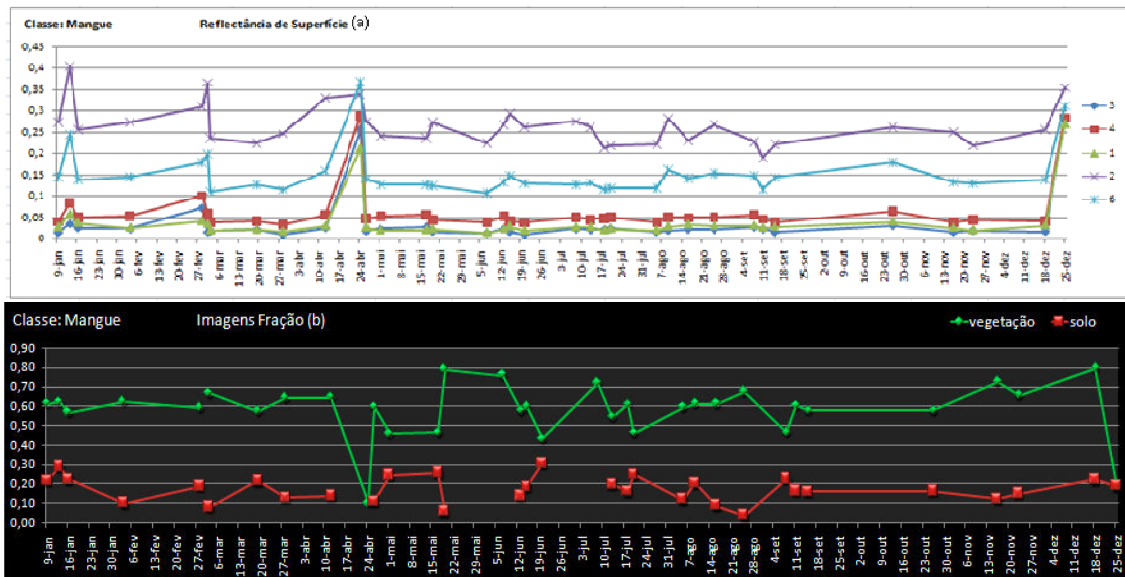


Figura 6. Gráfico de refletância (a) e de proporção de vegetação e solo (b) da fisionomia MANGUE para o ano de 2006.

Na fisionomia MANGUE, há influência de nuvem no período mais chuvoso identificadas nas datas 25-dez, 13-jan e 02-mar. Nesta última data há ausência de valor nas frações vegetação e solo, pois há dificuldade em detectar o pixel puro representativo para a área desta fisionomia. Isto irá acontecer com mais intensidade nesta fisionomia, que por se encontrar em áreas sob influência diária do nível das marés, não encontra naquela fisionomia uma curva característica do solo. Num período de transição de estações, entre agosto e setembro, observa-se uma característica semelhante à fisionomia MATA, ou seja, um aumento da proporção na fração vegetação e diminuição da refletância (11-set), demonstrando também para esta fisionomia que a fração vegetação permite identificar variações no padrão estrutural típico dessa vegetação no período investigado.

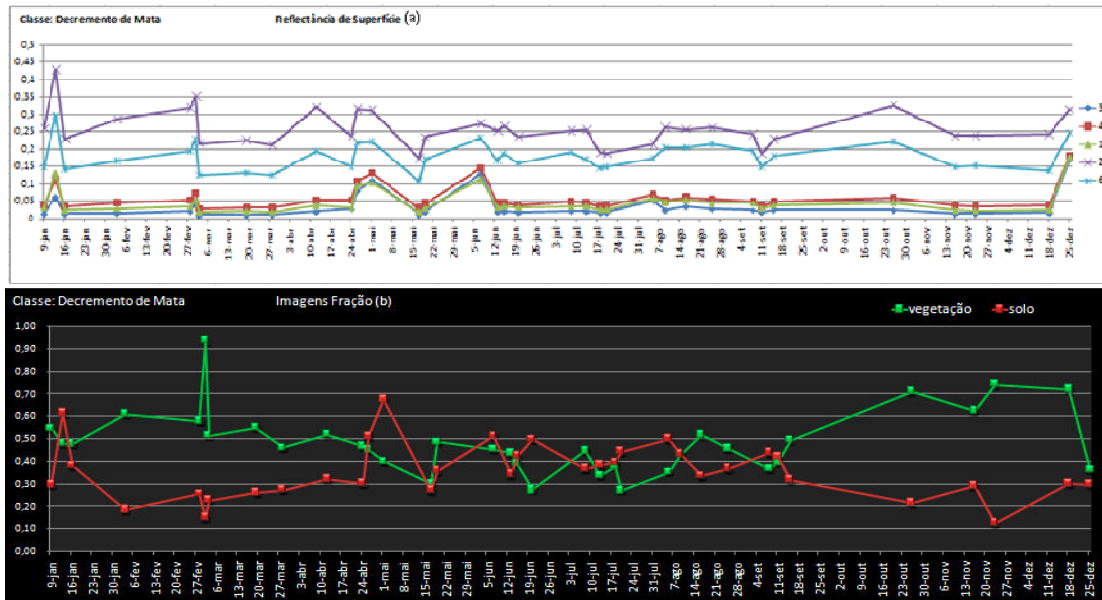


Figura 7. Gráfico de refletância da fisionomia DECREMENTO DE MATA (a) e respectivas configurações de proporção de vegetação e solo para o ano de 2006 (b).

No caso da fisionomia DECREMENTO DE MATA, designada como perda ou degradação da cobertura vegetal primária, a fração solo aparece repetidas vezes maior que a fração vegetação, o que qualifica esse produto MODIS para detectar tais resultantes de processo antrópico na região, considerando a resolução e escala do fenômeno investigado.

Este comportamento pode ser ainda melhor observado nas datas dos meses com menor índice pluviométrico (13-jan, 1-mai, 7-jun, 20-jun, 20-jul, 5-ago, 8-set), onde a proporção solo foi maior que a fração vegetação, mostrando que houve influência do regime pluviométrico. Isto demonstra que mesmo em áreas com pouca proporção de vegetação e mais áreas de superfícies de fundo, como solo, a vegetação tende a ter um acompanhamento do regime pluviométrico para esta região.

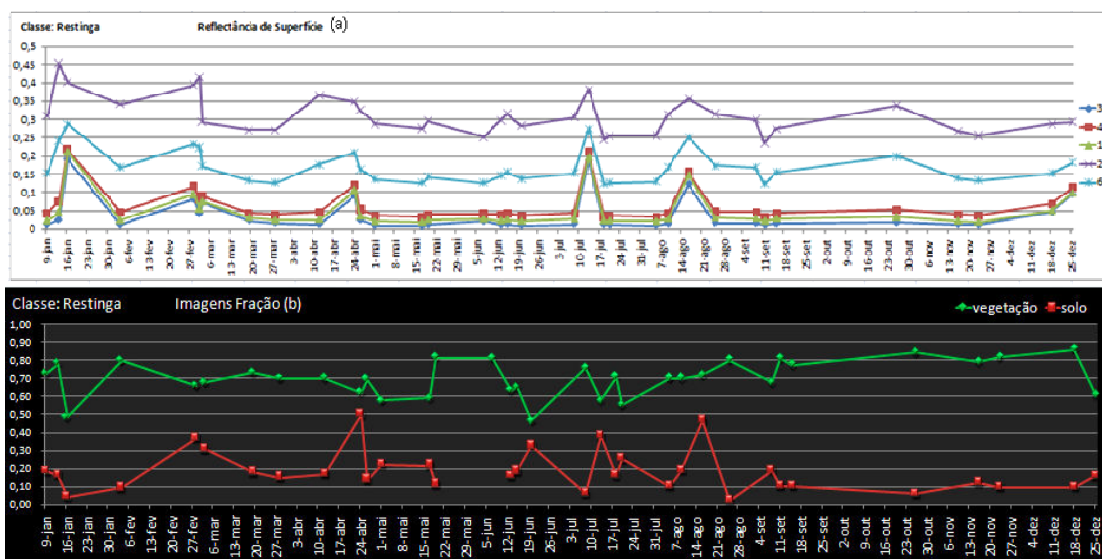


Figura 8. Gráfico de refletância da fisionomia RESTINGA para o ano de 2006 (a) e das respectivas proporções de vegetação e solo para o ano de 2006 (b).

Na fisionomia RESTINGA há algumas datas no período chuvoso que também influenciaram no comportamento da vegetação apresentadas nas datas 16-jan, 28-fev, 11-set e 25-dez, por haver certo percentual de cobertura de nuvens que interferiram tanto na refletância quanto na geração das imagens fração. Um exemplo de caso na análise dessa fisionomia foi encontrado para o mês de julho (13-jul), onde a proporção vegetação sofreu uma queda e os valores de refletância foram altos, visto que mesmo estando na estação seca houve presença elevada de nuvens. Comparado aos meses de junho e agosto teve um índice pluviométrico bastante superior, o que pode ter interferido nos valores desta data.

4. Conclusões

A análise das fisionomias encontradas em área de Mata Atlântica mostrou estar amplamente associadas às variações hídricas da região, visto que o comportamento da vegetação demonstrou acompanhar o regime de chuvas. No entanto, pode-se verificar que para algumas fisionomias, MATA e MANGUE, houve uma maior eficácia por parte das imagens fração vegetação na detecção das mudanças fisiológicas, demonstrando que o tratamento metodológico para análises da influência dos parâmetros meteorológicos, como precipitação, pode ser realizado a partir da utilização do MLME. Cabe salientar, a importância da realização de estudos que utilizem outros tipos de produtos MODIS, o que pode permitir à análise da sensibilidade de certos parâmetros sensoriados, como aqueles derivados, por exemplo, de índices de vegetação.

Agradecimentos: Ao Programa Institucional de Bolsas de iniciação Científica (PIBIC) junto ao CNPq pelo financiamento da bolsa.

Referências Bibliográficas

- Anderson, L. O.; Shimabukuro, Y. E., Classificação espectro-temporal de formações vegetais. In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. cap. 20, p.277-294.
- Cross, A. M.; Settle J. J.; Drake N. A.; Paivinen R. T. M.. Subpixel measurement of tropical forest cover using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 12, n. 5, p. 1119 – 1126, 1991.
- Folhes M. T.; Fisch G., Caracterização climática e estudo de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Revista Ambi-Água**, Taubaté, v. 1, n. 1, p. 61-71, 2006.
- 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.
- Haertel V. F.; Shimabukuro Y. E., Spectral Linear Mixing Model in Low Spatial Resolution Image Data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 43, no. 11, 2005.
- http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM_V6.3B43.shtml **Banco de dados da NASA**.
- Huete, A. R.; Kamel, D.; Shimabukuro, Y. E.; Ratana, P.; Saleska, S. R.; Hutyrá, L. R.; Yang, W.; Nemani, R. R.; Myneni, R. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, V. 33, N. 106405, P. 1-4, 2006.
- Lee, R.; Yu F.; Price K. P.; Ellis J.; Shi P. Evaluating vegetation phenological patterns in winter Mongolia using NDVI time-series analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.12, p. 2505 – 2512, 2007.
- Trishchenko, A. P.; Cihlar, J.; Li Z., Effects of spectral response function on surface reflectance and NDVI measured with moderate resolution satellite sensors. **Remote Sensing of Environment**. 2001.

Ribeiro, C. A. D.; Xavier, A. C.; Ferrerira D. S.; Paiva, Y. G. Banco de dados temporal de imagens NDVI do sensor MODIS para o Espírito Santo. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 6075-6081, 2007.

Roy, P. S.; Joshi, P. K., Forest cover assessment in north-east India – the potential of temporal wide swath satellite sensor data (IRS-1C WiFS). **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 22, p. 4881-4896, 2002.

Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Macrozoneamento do Litoral Norte: plano de gestão costeiro**. Série Documentos/ Secretaria do Meio Ambiente São Paulo, 1996.

Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. **Relatório de Qualidade Ambiental do Estado de São Paulo**, 2006. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/>.

SOS Mata Atlântica. Informações dos Atlas dos Remanescentes Florestais. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/dados/>.

Shabanov, N. V.; Huang, D.; Yang, W.; Tan, B.; Knyazikhin, Y.; Myneni, R. B.; Ahl, D. E.; Gower, S. T.; Huete, A. R.; Aragão, L. E. O. C.; Shimabukuro, Y. E., Analysis and optimization of the MODIS leaf area index algorithm retrievals over broadleaf forests. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 42, n. 8, p. 1855-1865, 2005.

Smith, R. L.; Smith, T. M., **Elements of Ecology**. San Francisco: Benjamin Cummings, p. 682, 2003.

White, M. A.; Hoffman, F.; Hargrove, W. W.; Nemani, R. R., A global framework for monitoring phenological responses to climate change. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. L04705, p.1-4, 2005.

Xavier, A. C.; Vettorazzi, C. A., Monitoring leaf area index at watershed level through NDVI from Landsat-7/ETM+ data. **Scientia Agricola**, V. 61, N. 3, P. 243-252, 2004.