

Estudo preliminar da anisotropia de superfícies observada através de imagens MODIS

Elisabete Caria Moraes¹
Gabriel Pereira¹
Fernando Yuzo Sato¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{bete, gabriel, yuzo}@dsr.inpe.br

Abstract. This work has as main goal to investigate the effect of anisotropy of surface components, which was assessed with surface reflectance for different view angles. We analyzed the in-band bidirectional reflectance derived from MODIS multi-angle images and simulated by laboratorial measurements. The in-band bidirectional reflectance factors simulated (equivalent to the first seven spectral bands of MODIS sensor) from vegetated surface (grass, “Batatais”) were obtained with portable spectroradiometer FieldSpec ® 3 in the Radiometry Laboratory (LARAD/INPE) and compared with surface reflectance from MOD09GA/MODIS product. Results show that vegetated surfaces reflectances obtained in laboratory and by satellites images exhibit an anisotropic behavior. In the laboratory, the preferential directions of reflection showed a strong dependence between the illumination, the view angle and the wavelength, however, we observed that view angles of the highest reflectances values observed for the vegetated region differ from those observed by the satellite images. This is probably due to different lighting conditions and the different architectures of the canopies, which have height (vertical structure), density (horizontal structure), layout, organization and arrangement of individuals very different to the vegetated areas treated. Furthermore, the analysis of the view angle shows a strong anisotropy for the Cerrado stricto sensu, an intermediate anisotropy for the forest region (in general, both areas showed the highest in-band reflectances values in the view angle above of 50 degrees) and a small anisotropy to bare soil, with the largest variations of the reflectances observed at view angles greater than 45 degrees.

Palavras-chave: remote sensing, anisotropy, multi-angle imaging, sensoriamento remoto, anisotropia, imageamento multiangular.

1. Introdução

A compreensão da interação da energia eletromagnética com os objetos naturais é primordial para a extração de informações provenientes de imagens de satélites ambientais. Esta compreensão é viabilizada através da espectrorradiometria, que permite estudar o comportamento espectral de superfícies com controle das condições de iluminação e observação (Nogueira et al., 1996, Milton, 2009). Este conhecimento possibilita a definição de novos sensores, das melhores configurações geométricas para a aquisição dos dados orbitais e é relevante na obtenção de informações básicas para a calibração dos sensores orbitais (Huete, 1997, Rolin et al., 2000).

Em geral as aplicações em sensoriamento remoto consideram as superfícies naturais como sendo isotrópicas, porém as superfícies naturais usualmente apresentam padrões de reflectância anisotrópicas (Miesch, 2002; Cui et al., 2009). A radiância solar espectral proveniente de uma superfície varia em função dos ângulos zenitais e azimutais de iluminação e observação e dependem das propriedades físicas, químicas e biológicas da superfície. Liesenberg et al. (2007) ressalta que a reflectância espectral de superfícies naturais é influenciada pelo comprimento de onda e pelo ângulo de visada. Essa característica de anisotropia deve ser considerada na avaliação dos dados extraídos de imagens de satélites, principalmente daqueles que realizam a aquisição de dados com multiangular.

Atualmente a grande disponibilidade de imageamento multiangular por sensores orbitais, tais como Câmera Imageadora de Alta Resolução do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CCD/CBERS), sensores a bordo do *Satellite Pour l'Observation de la Terre* (SPOT), *Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances* (POLDER), *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), *Multi-angle Imaging*

SpectroRadiometer (MISR) e *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) abordo do satélite Terra, requer atenção especial na análise de seus produtos, visto a necessidade de melhor compreensão das características anisotrópicas da superfície monitorada, pois caso anisotropia das superfícies não for considerada no processamento de imagens de satélites, ocorrerá alteração na intensidade de seus produtos. Esta alteração pode estar associada ao método de correção atmosférica (Vermote et al., 2002) e ao aumento do tamanho do pixel em função ao ângulo de visada do sensor (Van Leeuwen et al., 1999). Segundo Vermote e Vermeulen (1999) os modelos de correção atmosférica consideram a superfície como lambertiana (isotrópica), o que pode ocasionar erros que variam de 0,02 a 0,11 no valor de refletância, dependendo da atmosfera e do comprimento de onda.

O sensor MODIS fornece uma base de dados global diária em 36 bandas (banda azul: 648 nm e 250 m, banda verde: 858 nm e 250 m, banda vermelha: 470 nm e 500 m, banda infravermelho próximo (NIR): 555 nm e 500 m, banda infravermelho médio (SWIR1): 1240 nm e 500 m, banda SWIR2: 1640 nm e 500 m, banda SWIR3: 2.130 nm e 500 m, e as demais bandas possuem a resolução espacial de 1 km) e apresenta uma varredura de 55° para cada lado da órbita (Rudorff et al., 2007). Estas bandas encontram-se em regiões do espectro eletromagnético que sofrem pouca influência dos gases atmosféricos, porém na geração de seus produtos são realizadas a correção atmosférica para a minimização dos outros efeitos, como absorção e espalhamento de aerossóis. Estes produtos também sofrem as correções radiométrica e geométrica, sendo que esta última permite alta qualidade no georreferenciamento de suas imagens, como por exemplo, acurácia de 50 metros dos *pixels* no nadir para as bandas de 250 metros (Wolfe et al., 2007).

Considerando a relevância da compreensão da influência da anisotropia na estimativa da refletância da superfície oriunda de imagens de satélite, este trabalho objetiva avaliar as diferenças espectrais na refletância de três diferentes superfícies, e caracterizar a variação da lambertianidade nos intervalos espectrais das bandas do MODIS para diferentes condições de visada.

2. Metodologia de Trabalho

Para entender os efeitos da geometria de visada em superfícies naturais foram analisadas, para as sete bandas espectrais do MODIS, as refletâncias da superfície *in band* diárias (produto MOD09GA) de três tipos de superfícies (floresta, cerrado e solo exposto) obtidas durante o mês de junho de 2007 com diferentes ângulos de observação do sensor. Na análise foram desconsiderados os casos em que os pixels estavam sobre o efeito de nuvens ou sombras. Para minimizar o efeito de variação da área do *pixel* central da cena analisada devido a diferentes ângulos de imageamento foram selecionadas regiões com características homogêneas (Figura 1) de forma que o aumento do *pixel* contivesse os mesmos padrões de elementos da superfície do pixel imageado no nadir. Também foi realizada a simulação das refletâncias *in band* do MODIS para uma superfície vegetada (grama "Batatais") no Laboratório de Radiometria com intuito de verificar se a anisotropia era similar àquela obtida em campo pelo próprio sensor MODIS.

2.1. Área de Estudo

As áreas de estudo encontram-se predominantemente nas regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil como destacada na Figura 1, a qual engloba em seu mosaico os tiles H12V09, H12V10, H13V09 e H13V10 em projeção geográfica do produto refletância da superfície. O elemento da cena tratado neste estudo é o pixel central das áreas de floresta, cerrado e solo exposto, cujas coordenadas são, respectivamente, 09° 05' S e 53° 11' W, 10° 54' S e 58° 08' W, e 09° 47' S 49° 11' W.

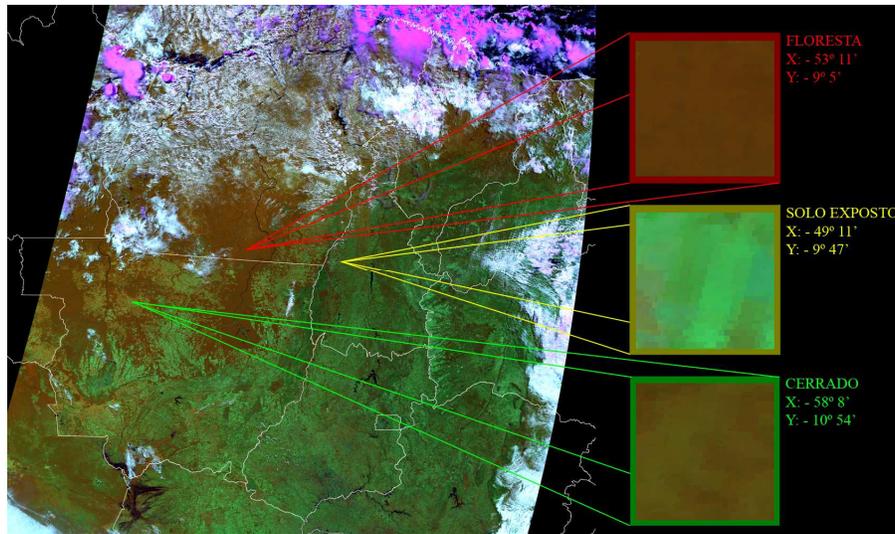


Figura 1. Composição colorida das bandas 1B, 2R e 6G do produto MOD09GA do sensor MODIS/Terra das áreas de estudo.

2.2. Experimento de Laboratório

O Larad é constituído de uma sala enegrecida para evitar interferência de outras fontes de iluminação. Durante o experimento manteve-se um padrão constante de distâncias, fonte-alvo-sensor, a fim de garantir a confiabilidade na obtenção das medidas de radiância. Utilizou-se a fonte halógena de iluminação de 250 Watts fixada num ângulo zenital de 45° e ângulo azimutal de 270° (em relação ao plano de visada da Figura 2a). A distância entre a grama e o sensor foi de 0,25m e a distância entre a grama e a fonte de iluminação foi de 1,2m. Foram obtidas medidas de radiância espectral da superfície de grama e de uma superfície lambertiana ideal (placa *spectralon* de 100% de reflectância) para os ângulos sólidos caracterizados pelo ângulo zenital de visada do espectrorradiômetro de 60°, 45°, 30°, 15°, 0°, -15°, -30°, -45° e -60° nos planos azimutais de 0° a 180° (Figura 2a) e de 45° a 225° (Figura 2b) e de 135° a 315° (Figura 2c).

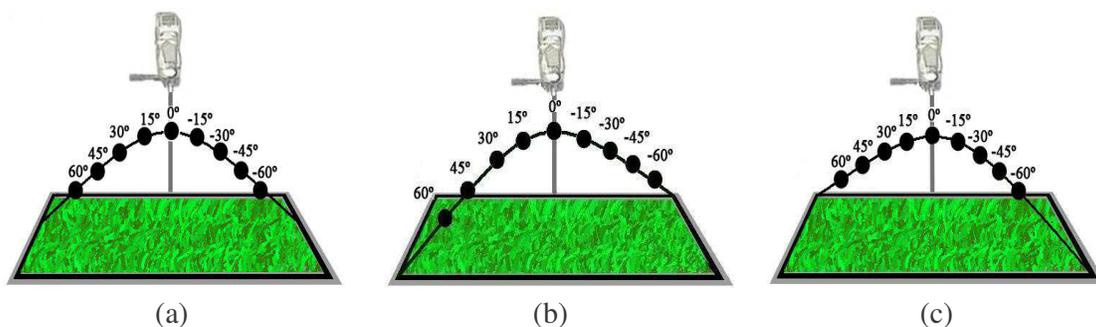


Figura 2. Esquema de coleta de dados radiométricos da coleta em laboratório: (a) visada de 0° a 180°, (b) visada de 45° a 225° e (c) visada de 135° a 315°

3. Resultados e Discussão

No período de um mês a variação do ângulo de iluminação solar é pequena, uma vez que as imagens tratadas são obtidas em dias consecutivos pelo sensor MODIS, portanto este fator pouco influenciará na geração dos produtos de reflectância de superfície. Durante o mês de junho as áreas de floresta, de cerrado e de solo exposto não apresentaram variação significativa em sua reflectância de superfície para um mesmo ângulo de visada, o que permite avaliar o efeito da anisotropia destas superfícies.

A Figura 3 apresenta a média das reflectâncias de superfície agrupadas a cada 5° de ângulos de visada de imageamento realizado durante o mês de junho de 2007 para cada uma das sete primeiras bandas do MODIS referentes às cenas correspondentes a floresta, cerrado e solo exposto. Na Figura 4 é mostrado para cada superfície citada o percentual de desvio da reflectância de superfície em relação ao valor de reflectância da superfície observado na visada mais próxima ao nadir para cada agrupamento de ângulo de visada tratado na Figura 3.

Através da Figura 3a observa-se que para a floresta as maiores reflectâncias em todas as bandas ocorreram quando os imageamentos foram feitos com o ângulo de visada entre 55° e 60°, embora valores de reflectâncias da mesma ordem de magnitude também foram observados para as visadas entre 40° e 45° nas bandas vermelho e SWIR3. Na Figura 4a observa-se que os percentuais de desvios da reflectância em relação aos respectivos valores obtidos no nadir variaram de 48% na banda do azul a 10% na banda do SWIR1. Os menores valores de reflectância observada em todas as bandas ocorreram com o imageamento realizado nos ângulos de visada entre 50° e 55°, sendo verificados também os maiores desvios negativos da reflectância (Figura 4a), ou seja, nas bandas do visível a diminuição da reflectância em relação àquelas observadas no nadir foram superiores a 45% e nas demais faixas os desvios apresentaram menores amplitudes (-13%, -15%, -23% e -31%, no NIR, SWIR1, SWIR2 e SWIR3, respectivamente).

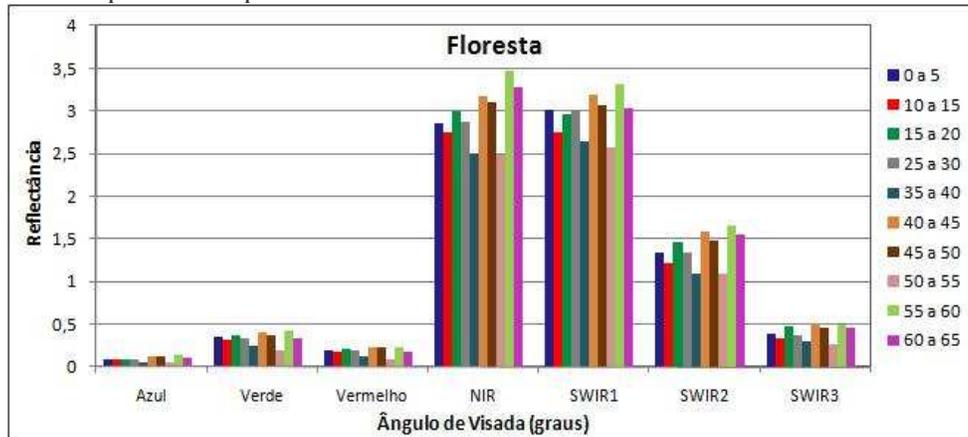
As maiores reflectâncias observadas para o Cerrado *Stricto sensu* (Figura 3b) ocorreram no imageamento realizados com os ângulos de visada entre 50° e 55°, contudo reflectâncias e desvios de magnitudes equivalentes foram observadas nas bandas azul e NIR para imageamento com visadas entre 60° e 65°. Os percentuais de desvios *in band* nestes ângulos de visada variaram muito de banda para banda, com percentuais que oscilaram de 48% (NIR) a 23% (SWIR3) (Figura 4b). Os menores valores de reflectância não apresentaram um ângulo de visada preferencial. Na faixa do visível as maiores reflectâncias ocorreram nos ângulos de visadas entre 45° e 50° com percentual de desvio variando de -11% a -15%. Na banda do NIR as visadas com as maiores reflectâncias ocorreram entre 30° e 35° com desvios da ordem de -5%, enquanto que na banda do SWIR1 as maiores reflectância foram observadas nas visadas entre 60° e 65° com desvios de -42%. Nas bandas do SWIR2 e SWIR3 os maiores valores ocorreram nas visadas entre 40° e 45°, os quais apresentaram desvios de -8% e -13%, respectivamente).

Para o solo exposto (Figura 3c) observa-se que em geral as maiores reflectâncias encontradas foram observadas nos ângulos de visadas de 40° a 45° para as bandas do visível e SWIR3 e nos ângulos de visada de 50° a 55° para as demais bandas. O maior desvio observado em relação à visada mais próxima do nadir foi de 34% banda do azul (Figura 4c). Os menores valores de reflectância não apresentaram um ângulo de visada preferencial, sendo as menores reflectâncias das bandas do azul e SWIR2 encontradas nos ângulos de visada de 30° a 35°, para as bandas do NIR e SWIR1 estes valores foram verificados nos ângulos de visada de 20 a 25°, enquanto que para as bandas do verde, vermelho e SWIR3 os menores valores foram observados nos ângulos de visada de 60° a 65°. A amplitude do percentual de desvio variou de 8,9% na banda do azul a -9% na banda do SWIR3.

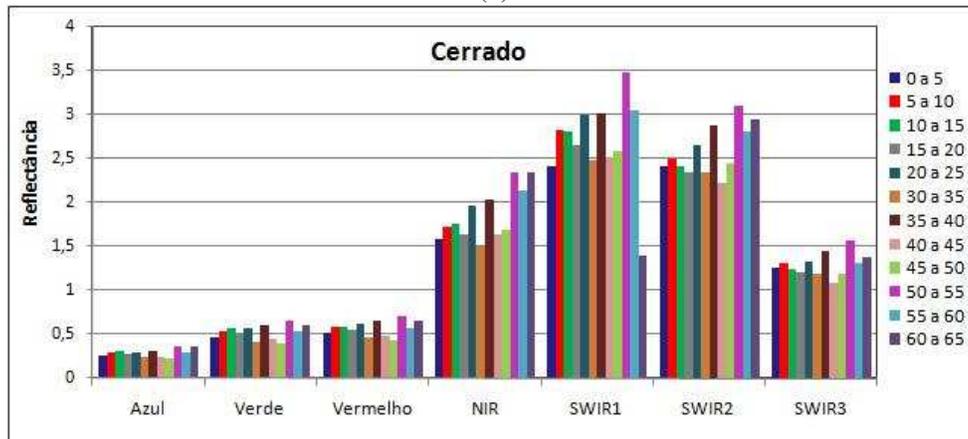
Em geral observa-se que todas as superfícies são anisotrópicas, fato desconsiderado na grande parte de seus estudos. Verifica-se que o solo exposto apresenta menor anisotropia do que as superfícies vegetadas. Ao se comparar a anisotropia observada entre as superfícies vegetadas, verifica-se que a floresta apresenta menor variação do que o Cerrado *Stricto sensu*. Este fato pode ser justificado devido à maior uniformidade de rugosidade observada em uma floresta primária. Segundo Carvalho Junior (2005) no Cerrado *Stricto sensu* há uma grande variação do dossel devido à presença de estrato herbáceo e a cobertura arbóreo-arbustiva, que apresentam fitofisnomias muito distintas na disposição, organização e arranjo dos indivíduos na

comunidade, bem como na altura (estrutura vertical) e densidade (estrutura horizontal) de seus indivíduos.

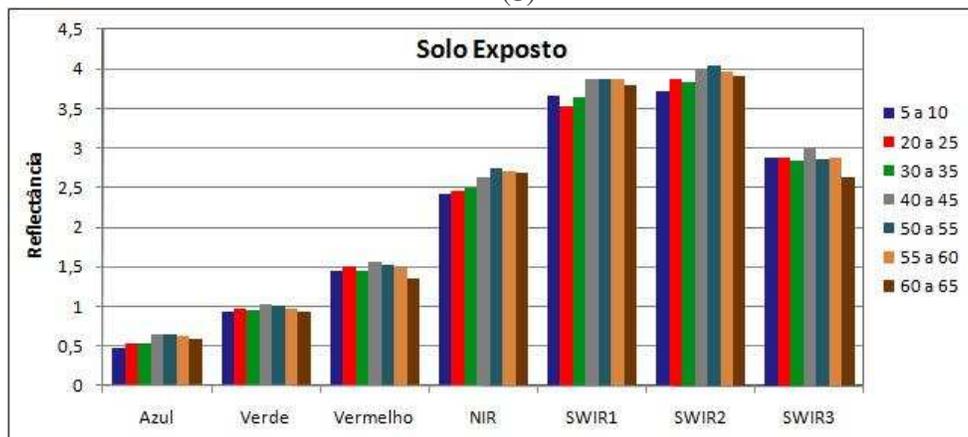
Embora na estimativa da reflectância da superfície através de imageamento orbital multivisada pode ter ocorrido alguma influência da variação no tamanho do pixel, uma vez que a área deste está relacionada com a geometria de visada (Van Leeuwen et al., 1999), precauções foram realizada para minimizar este possível efeito, como por exemplo, a seleção das áreas tratadas apresentavam a cobertura da superfície uniformidade, de forma que o aumento do pixel central, devido ao aumento do ângulo de visada, contivesse o mesmo elemento de superfície do pixel no nadir.



(a)

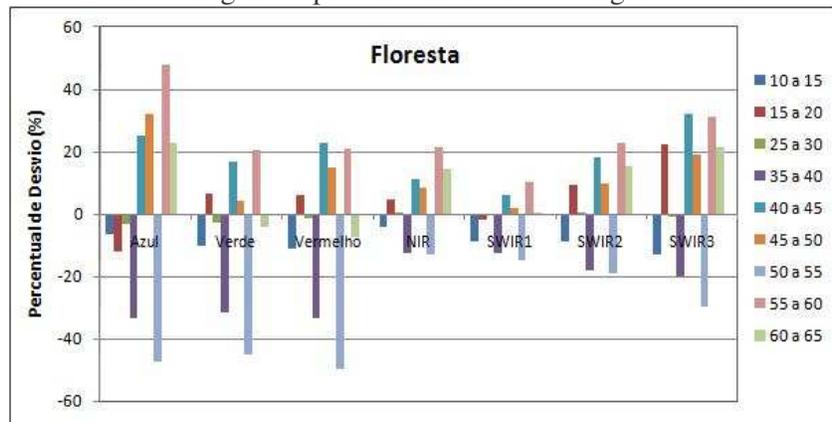


(b)

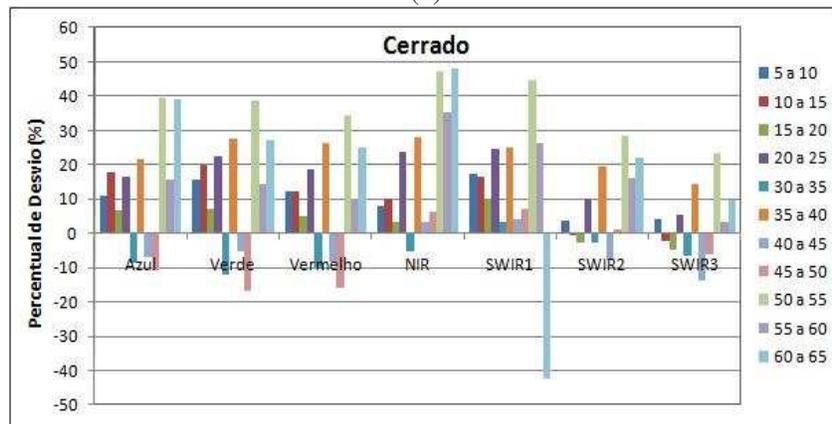


(c)

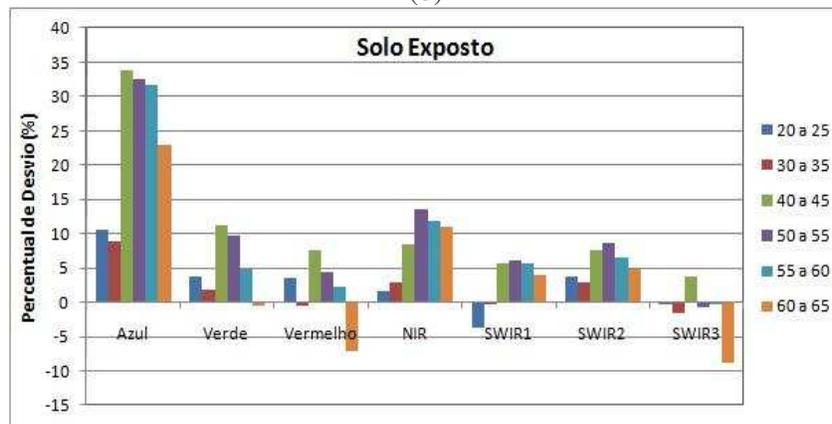
Figura 3. Reflectâncias *in band* das superfícies (a) Floresta, (b) Cerrado *Stricto sensu* e (c) Solo Exposto para as sete bandas do MODIS com diferentes ângulos de visada de imageamento deste sensor. Legenda apresenta intervalos de ângulos de visadas em graus.



(a)



(b)



(c)

Figura 4. Percentual de desvio das reflectâncias *in band* das superfícies (a) Floresta, (b) Cerrado *Stricto sensu* e (c) Solo Exposto para as sete bandas do MODIS com diferentes ângulos de visada de imageamento deste sensor em relação à visada próxima ao Nadir. Legenda apresenta intervalos de ângulos de visadas em graus.

O espectro de reflectância considera as propriedades direcionais das superfícies naturais, portanto sua representação é uma função de distribuição da reflectância espectral bidirecional. Para a condição de iluminação fixa, conforme apresentado na Figura 2, e as condições de

observação variando zenitalmente a cada 15° de $+60^\circ$ a -60° em três planos azimutais de visada (0° a 180° , 45° a 225° e 135° a 315°) as reflectâncias *in band* simuladas para as bandas do MODIS mostraram comportamentos anisotrópicos da superfície vegetada diferenciados (Figura 5). Verificaram-se características anisotrópicas nos três casos e uma forte dependência angular na direção preferencial de suas máximas reflectâncias. Para a situação do plano de azimutal de visada de 0° a 180° a direção preferencial de reflectância foi de $+60^\circ$ zenital, enquanto que nos outros planos a direção preferencial era dependente da banda espectral. No plano azimutal de visada de 45° a 225° os maiores valores de reflectância foram observados no ângulo zenital de visada de -30° nas bandas referentes ao verde, NIR, SWIR1, SWIR2 e SWIR3, e no plano azimutal de visada de 135° a 315° os maiores valores de reflectância foram observados no ângulo zenital de visada de -60° nas bandas azul e vermelho.

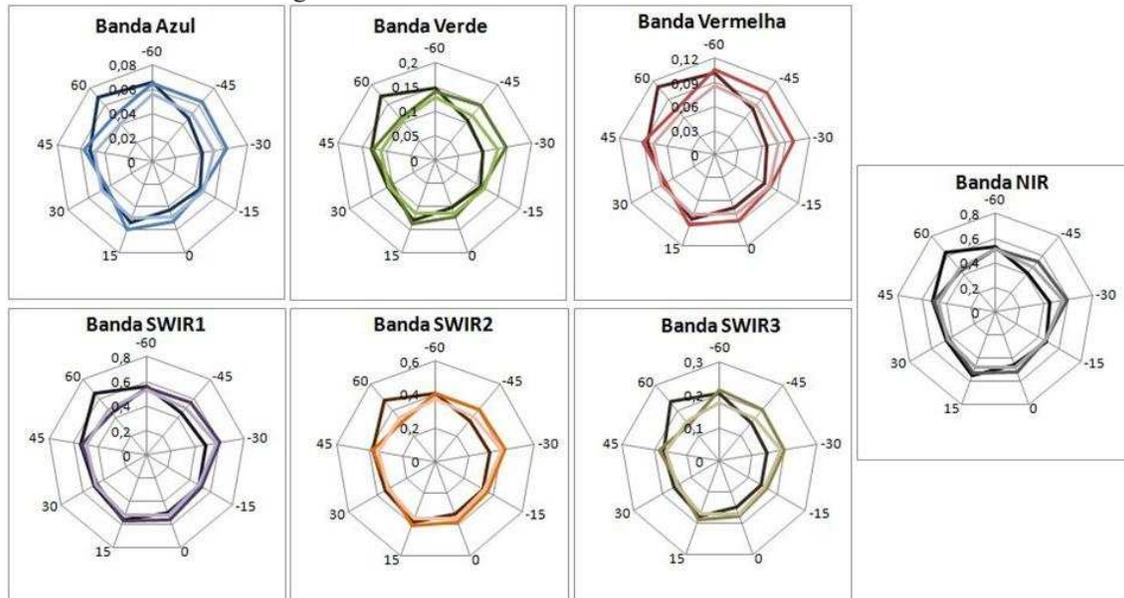


Figura 5. Fator de reflectância bidirecional *in band* simulado em laboratório em função da geometria de observação para os planos azimutais de visada de 0° a 180° (cor mais escura), de 45° a 225° (coloração intermediária) e de 135° a 315° (cor escura).

4. Conclusão

Nos estudos da reflectância de superfície *in band* feitos em laboratório e através das imagens multiangular do sensor MODIS verificou-se que as superfícies vegetadas e o solo exposto apresentaram características anisotrópicas.

O experimento de laboratório mostrou a dependência espectral da direção preferencial de reflexão de uma superfície vegetada, que por sua vez está intrinsecamente relacionada com a distribuição angular da folhagem da vegetação. Esta dependência também foi notada na análise da reflectância *in band* das superfícies vegetadas extraídas do imageamento do MODIS.

Observou-se que a floresta e o Cerrado *Stricto sensu* apresentaram maiores variações na reflectância do que o solo exposto em todas as bandas analisadas, indicativo de maior anisotropia destas superfícies. Para os três tipos de superfície verificou-se que os maiores valores de reflectância da superfície ocorreram em situações de imageamento com altos ângulos de visada lateral (55° a 60° para a floresta, 50° a 55° para o cerrado, e entre 40° e 55° para o solo exposto) em todas as bandas do MODIS. No entanto para os menores valores de reflectâncias somente a floresta apresentou ângulos preferenciais de visadas (50° e 55°) para todas as bandas do MODIS. O Cerrado *Stricto sensu* apresentou as maiores variações na reflectância da superfície dentro de cada banda, o que caracteriza possuir maior anisotropia do

que a floresta. As diferenças anisotrópicas observadas entre a floresta e o Cerrado *Stricto sensu* se devem provavelmente as distintas arquiteturas dos dosséis, que apresentam altura (estrutura vertical), densidade (estrutura horizontal), disposição, organização e arranjo dos indivíduos destas áreas vegetadas muito diferentes.

Agradecimentos

Os autores externam seus agradecimentos aos pesquisadores Egidio Arai e Marco Adami pelas informações disponibilizadas e aos alunos de pós-graduação em Sensoriamento Remoto do INPE Francielle da Silva Cardozo, Gabriel de Oliveira e Matheus Pinheiro Ferreira pelo apoio nas atividades realizadas relacionadas à coleta dos dados radiométricos. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio (2010/07083-0).

Referências Bibliográficas

Cui, Y.; Mitomi, Y.; Takamura, T. An empirical anisotropy correction model for estimating land surface albedo for radiation budget studies. **Remote Sensing of Environment**, v.113, n.1, p.24-39, 2009. (doi:10.1016/j.rse.2008.08.007)

Galvão, L. S., Ponzoni, F. J., Epiphanyo, 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

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.1-2, p.276-286. 2007.

Milton, E. J.; Schaepman, M. E.; Anderson, K.; Kneubühler, M.; Fox, N. Progress in Field spectroscopy, **Remote Sensing of Environmental**, v.11, n.3, p.92-109, 2009. (doi:10.1016/j.rse.2007.08.001)

Miesch, C. ; Briottet, X.; Kerr, Y. Bidirectional reflectance of a rough anisotropic surface. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.15, p.3107-3114, 2002. (doi: 10.1080/01431160110119407).

Nogueira, J. L. M.; Moraes, E. C.; Bastos, E. J. B.; Esposito, S. C.; Freire, M. L. F. Reflectância de uma superfície vegetada em função da geometria de aquisição. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8, 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p. 941-949. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00014-5. Disponível em: <<http://martem.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.02.11.12/doc/T126.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2010.

Ruddorf, B. F. T., Shimabukuro, Y. E., Ceballos, J. C. O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 423 p.

Van Leeuwen, W. J. D., Huete, A. R., Laing, T. W. MODIS Vegetation Index Compositing Approach: A Prototype with AVHRR Data. **Remote Sensing of Environment**, v.69, n.3, p.264-280. 1999.

Vermote, E. F., Vermeulen, A. **Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09)**. Algorithm Theoretical Background: National Aeronautics and Space Administration, 1999. 107 p. (NASA contract NAS5-96062). Disponível em: < http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/ATBD/atbd_mod08.pdf>. Acesso em: 05.maio.2010.

Vermote, E.F., Saleous, N. Z. El, Justice, C. O. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.97-111, 2002.

Wolfe, R. E., Nishihama, M.; Fleig, A. J., Kuyper, J. A., Roy, D. P., Storey, J. C.; Patt, F. S. Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. **Remote Sensing of Environment**, v.83, n.1-2, p.31-49, 2002.