

Reflectância de uma superfície vegetada em função da geometria de aquisição

JORGE LUIZ MARTINS NOGUEIRA¹
ELISABETE CARIA MORAES¹
EDUARDO JORGE DE BRITO BASTOS²
ENIO SALVATORE CARMINE ESPOSITO³
MORGANA LÍGIA DE FARIA FREIRE²

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201-970, São José dos Campos, SP, Brasil
{bete, nogueira}@met.inpe.br

²UFPb - Universidade Federal de Paraíba
Caixa Postal 518, 58109-980, Campina Grande, Pb, Brasil
eduardo@lapim.dca.ufpb.br

³Centro Técnico Aeroespacial
Caixa Postal 6044, 12231-970, São José dos Campos, SP, Brasil

Abstract. This work describes a study of the bidirectional reflectance factor of a natural surface ("batatais" grass sample) as function of different view and illumination angles. The measurements were made at INPE Radiometry Laboratory using a Spectron SE-590 spectroradiometer. Analysing the data using polar coordinate graphs to plot the bidirectional reflectance factor for the bands one to four of TM Landsat sensors, the authors notes that the grass sample has an anisotropic behaviour for all configuration, and the anisotropy increasing according to principally the source's zenith angle.

Keywords: fator de reflectância, vegetação, anisotropia.

1 Introdução

O conhecimento do comportamento espectral de alvos é importante para a extração de informações a partir de imagens obtidas pelos sensores a bordo dos satélites ambientais. Além disso, é relevante nas definições de novos sensores, no processamento de dados brutos e na forma de aquisição dos dados (geometria de coleta dos dados, frequência, altura de imageamento, resolução, etc.).

Por outro lado, é importante caracterizar a reflectância dos alvos visando sua utilização em modelos de transferência radiativa (por exemplo, modelos de simulação de sinal de satélites) ou na determinação precisa dos albedos característicos da superfície, úteis para modelagem do tempo e do clima.

As superfícies naturais não são perfeitamente lambertianas, pois a radiância espectral varia em função dos ângulos zenitais e azimutais de visada e iluminação. Essa característica de anisotropia, principalmente na região do espectro solar devem ser levadas em consideração, já que o sensoriamento remoto é baseado nas medidas de radiação eletromagnética refletida ou emitida pelas superfícies. Além disso, a reflectância é função tanto da radiância incidente como da refletida. Apesar de muitas aplicações do sensoriamento remoto supor a lambertianidade de superfícies (Novo, 1992), diversos trabalhos evidenciam o comportamento

anisotrópico nas várias formas de aquisição de dados.

A anisotropia é uma propriedade relevante que deve ser analisada nos estudos de comportamento espectral de alvos e na transferência radiativa em ondas curtas do sistema terra-atmosfera, pois as superfícies naturais usualmente apresentam padrões de reflectância anisotrópicas. O comportamento anisotrópico da reflexão é comprovado através de diversas determinações experimentais utilizando detectores direcionais a bordo de aeronaves, através de observações de radiância detectada por sensores a bordo de satélites geoestacionários e através de medidas em campo (Brennan e Bandeen, 1970; Kriebel, 1978; Tanré et al, 1983) e em laboratório (Candeias et al, 1990).

É evidente a importância da caracterização espectral não-isotrópica, quando se pretende transformar dados de reflectância em informações sobre as propriedades dos elementos que compõem a superfície terrestre. Contudo, alguns trabalhos sugerem que o fluxo refletido no intervalo espectral da radiação solar pode ser considerado aproximadamente isotrópico em média azimutal, pelo menos para direções de incidência e de reflexão não muito afastadas da vertical (Davis e Cox, 1982). Jackson et al (1990) mostraram a importância de considerar as propriedades não lambertianas das superfícies na análise de imagens obtidas por

sensores oblíquos. Portanto, é importante conhecer os efeitos que afetam as características da reflexão dos alvos para estudos de sensoriamento remoto.

A geometria aquisição de dados, os parâmetros relativos ao alvo e os parâmetros atmosféricos são os efeitos que influenciam a medida da reflectância de um alvo, e que portanto afetam diretamente a distribuição e a intensidade da reflectância. Entretanto, em laboratório, parâmetros atmosféricos e parâmetros relativos ao alvo podem ser controlados. Assim sendo, tem-se condições de analisar apenas os efeitos da geometria (ângulos zenital e azimutal da fonte de iluminação e de visada do sensor), através das medidas de reflectância na caracterização do comportamento isotrópico ou anisotrópico das superfícies consideradas.

Para levar em conta as propriedades direcionais das superfícies naturais tem-se a função de distribuição da reflectância bidirecional (Slater, 1980; Milton, 1987; Tanré et al, 1989). A função de distribuição da reflectância bidirecional (FDRB) é a reflectância medida em todas as possíveis direções fonte-alvo-sensor, descrevendo a contribuição de cada componente da irradiância incidente para a formação da radiância final do elemento da superfície na direção de reflexão (Steffen, 1995). Além disso, apesar de ser uma medida ideal para o sensoriamento remoto (Ponzoni, 1991) a FDRB não pode ser medida diretamente. A FDBR pode ser substituída por uma aproximação viável denominado fator de reflectância bidirecional (FRB) (Steffen e Moraes, 1992). O fator de reflectância bidirecional é definido como a razão entre a radiância do alvo pela radiância de uma superfície lambertiana ideal, medidos sob as mesmas condições de iluminação e observação, quando os ângulos de iluminação e observação envolvidos forem menores do que 20° (Milton, 1987). A partir das medidas do fator de reflectância bidirecional para diferentes geometria, pode-se caracterizar o comportamento não lambertiano para um determinado comprimento de onda ou intervalo espectral.

Com a finalidade de estudar a influência dos fatores geométricos que interferem no comportamento espectral de alvos e na sua assinatura espectral, este trabalho objetiva verificar o comportamento anisotrópico de superfícies naturais (amostra de grama) através de medições em laboratório do fator de reflectância bidirecional para diferentes geometrias de iluminação e visada.

2 Materiais e Método

2.1 Descrição dos materiais

Os materiais empregados para a realização do experimento consistiram de:

- Espectrorradiômetro composto de uma unidade processadora (CE500) acoplada a uma unidade detectora (Model CE 390-WB S/N 1445) e um coletor com ângulo de visada de 6 graus.
- Iluminante composto de uma fonte de luz halógena direcional e com potência de 250 watts, cuja característica é a de fornecer um fluxo constante de radiação eletromagnética em direção ao alvo.
- Nivelador também denominado inclinômetro. É um dispositivo que possui uma escala graduada para o posicionamento da cabeça detectora em relação ao ângulo zenital .
- Placa Spectralon usada como referência padrão do laboratório de radiometria..
- Amostra de Grama Batatais.
- Régua utilizada para manter a distância sensor-alvo-fonte constante
- Tripés.
- Microcomputador PC AT-286, utilizado para armazenamento dos dados transmitidos via saída serial da unidade processadora CE 500.
- Programa Espectro (Steffen et al, 1993), utilizado para processamento dos dados.

2.2 Metodologia

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Radiometria (LARAD) do INPE, o qual é constituído de uma sala enegrecida para evitar interferência de outras fontes de iluminação. A sala foi preparada de forma a facilitar as medições. Desta forma, colocou-se uma base circular negra no piso e fez-se marcações espaçadas de 30 em 30 graus a partir do zero, que correspondem aos ângulos azimutais a serem medidos pelo sensor.

amostra de grama bem homogênea e densa, de forma a não poder ser observado o solo, foi transplantada para uma caixa de papelão pintada de negro e regularmente hidratada de forma a não proporcionar um estresse hídrico.

O iluminante foi fixado em um tripé com inclinômetro e estacionado a zero graus de ângulo azimutal. A unidade detectora fixada em um tripé com inclinômetro.

Posicionada a amostra de grama no centro geométrico da base circular, iniciou-se as medições de radiância variando-se a fonte de iluminação de zero a sessenta graus (ângulo zenital), em intervalos de 15 graus e fixa no azimute zero graus. Para cada posição da fonte fez-se medições com o espectrorradiômetro variando o seu ângulo zenital da mesma forma que a fonte de iluminação e variando o seu azimute em intervalos de 30 graus. Assim sendo, foram tomadas 49 medições para cada ângulo de iluminação, totalizando 235 medições realizadas para a amostra de grama e para a placa de referência.

Todas as geometrias de iluminação e aquisição realizadas com a amostra de grama batatais foram repetidas com a placa de referência. Manteve-se um padrão constante de distâncias, fonte-alvo-sensor, a fim de permitir a manipulação/operações dos dados. A distância entre o alvo e o sensor foi de 0,8m e a distância entre o alvo e a fonte de iluminação foi de 1,3m. Constatou-se que para pequena variação nessas distâncias ocorreu uma sensível flutuação nos resultados medidos. Buscou-se manter iluminada sempre a mesma região para manter os efeitos de adjacência constante.

Realizadas as medições de radiâncias da amostra de grama e da placa de referência, tratou-se os dados, utilizando o programa espectro, e gerou-se os espectros do fator de reflectância bidirecional da amostra. A representação espacial foi feita através de apresentação em sistema de coordenadas polares, o qual possui duas variáveis, uma angular e a outra radial representada pelo ângulo azimutal do sensor e o próprio fator de reflectância bidirecional para cada posição da fonte de iluminação.

3 Resultados

A Figura 1 apresenta a assinatura espectral da amostra de grama, e evidência através dos intervalos de comprimento de onda referente ao sensor TM do Landsat, os fatores que condicionam o seu comportamento.

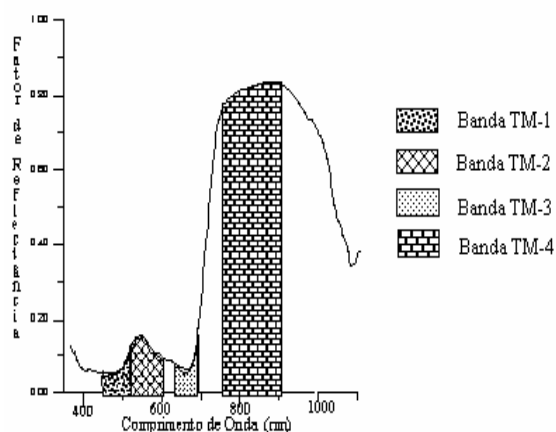


Fig. 1 - Assinatura espectral da amostra de grama "batatais".

Os efeitos físicos responsáveis por este perfil são:

- De 450 nm a 520 nm (banda TM-1), a reflectância é baixa, em torno de 0,08 dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 480 nm, principalmente os carotenóides.
- De 520 nm a 600 nm (banda TM-2) ocorre um pequeno aumento na resposta espectral da grama com um pico em 545 nm não atingindo, porém, níveis superiores a 0,17, sendo este o responsável pela percepção da cor verde da grama.

- De 630 nm a 690 nm (banda TM-3) a absorção de radiação pela clorofila prevalece, mantendo-se a níveis de 0,08 de reflectância.

- De 760 nm a 900 nm (banda TM-4), temos a região dominada pela alta reflectância da vegetação, devido a estrutura interna das folhas.

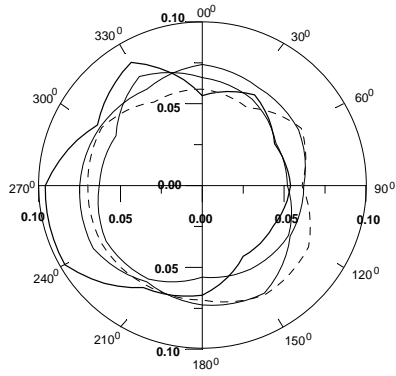
Os dados do fator de reflectância bidirecional são apresentados para a amostra de grama "Batatais" em função dos ângulos de iluminação e de visada. As Figuras 2, 3, 4 e 5 mostram uma representação polar dos fatores de reflectância integrados para as quatro bandas do sensor "Thematic Mapper" (TM-1; TM-2; TM-3; TM-4), respectivamente.

Ao analisar esta bandas verificou-se a existência de dois efeitos nos gráficos relativos a cada banda: A medida que se aumenta o ângulo zenital de iluminação, ocorre um decréscimo nominal do fator de reflectância até o ângulo de 45°. Para o ângulo de 60°, não se observa esta linearidade na resposta da amostra. Este efeito é observado sistematicamente dentro de cada banda do TM. O segundo efeito diz respeito ao retroespalhamento, o qual é ligeiramente maior que radiação espalhada para frente, ou seja, na direção de iluminação.

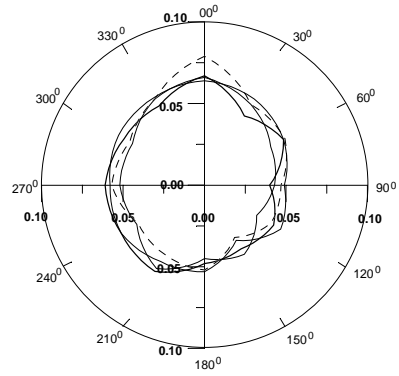
O efeito de retroespalhamento também ocorre em todas as bandas do sensor para todos os ângulos zenitais da fonte. Para o ângulo de 60°, surge um retroespalhamento mais pronunciado em relação à radiação espalhada para frente, devido principalmente ao aumento do sobreamento nas folhas da grama.

A explicação para estes efeitos reside na constituição espacial desse dossel, de forma que existem direções preferenciais de espalhamento da radiação incidente. Estas direções tornam-se mais influentes à medida que se aumenta o ângulo de iluminação da fonte e, conseqüentemente, o sobreamento das camadas anteriores se sobrepõem às camadas posteriores.

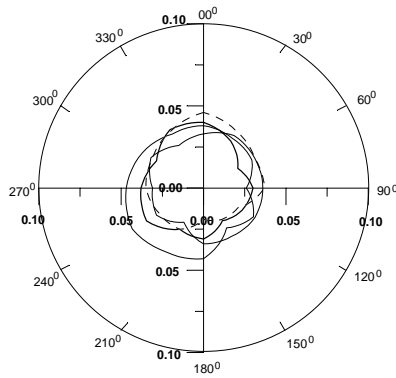
BANDA 1



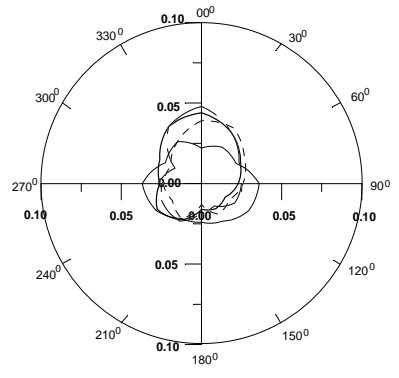
A - FONTE ($\theta_0 = 0^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)



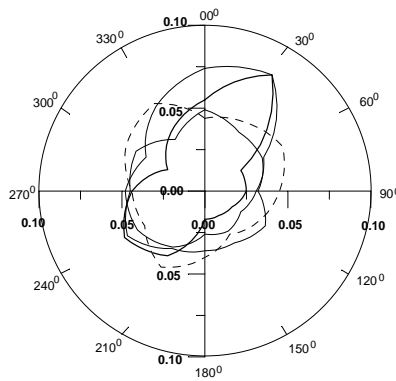
B - FONTE ($\theta_0 = 15^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)



C - FONTE ($\theta_0 = 30^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)



D - FONTE ($\theta_0 = 45^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)



E - FONTE ($\theta_0 = 60^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)

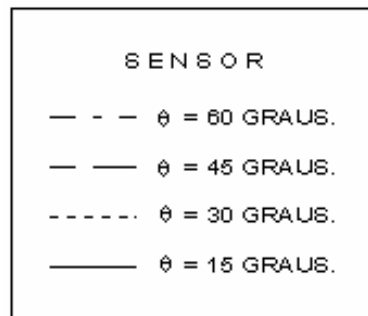
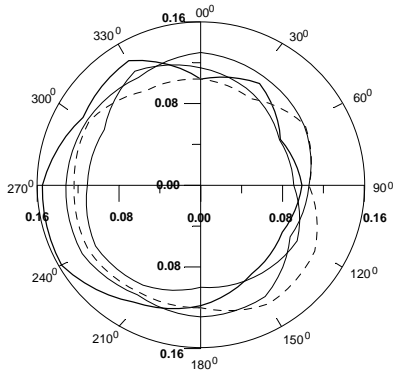
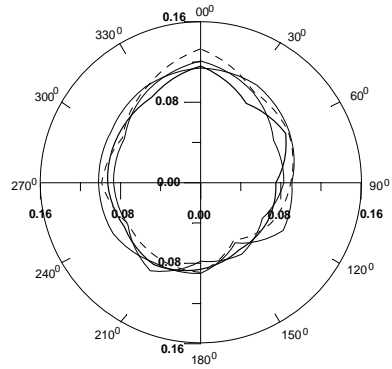


Fig.2 - Curvas de reflectância bidirecional em função das variáveis geométricas de iluminação e visada - amostra de grama batatais - Banda TM1.

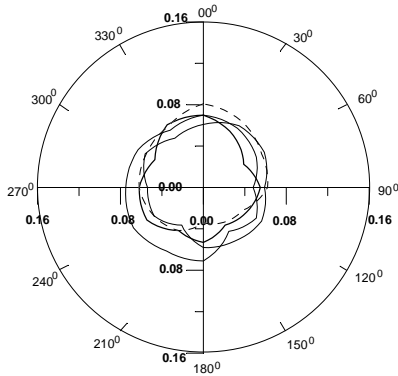
BANDA 2



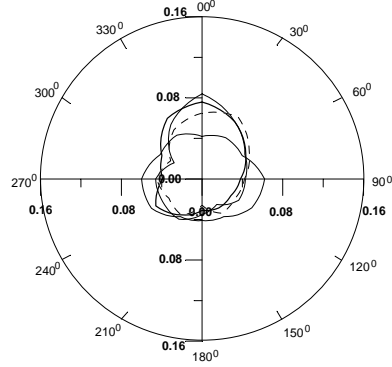
A- FONTE ($\theta_0 = 0^\circ, \phi_0 = 0^\circ$)



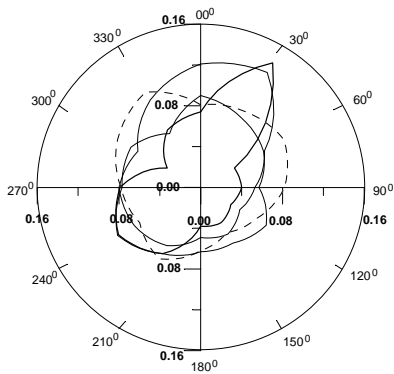
B- FONTE ($\theta_0 = 15^\circ, \phi_0 = 0^\circ$)



C- FONTE ($\theta_0 = 30^\circ, \phi_0 = 0^\circ$)



D- FONTE ($\theta_0 = 45^\circ, \phi_0 = 0^\circ$)



E- FONTE ($\theta_0 = 60^\circ, \phi_0 = 0^\circ$)

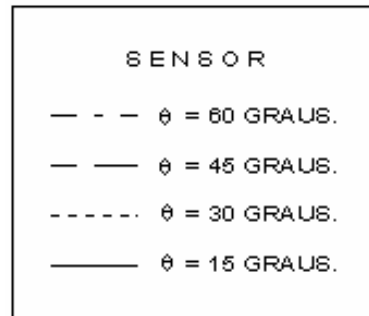
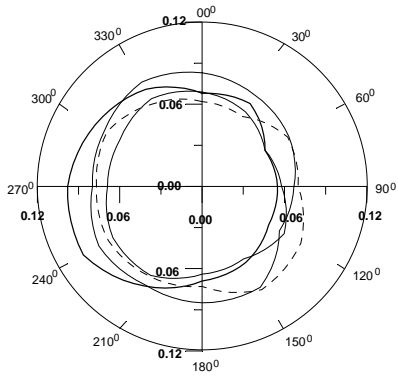
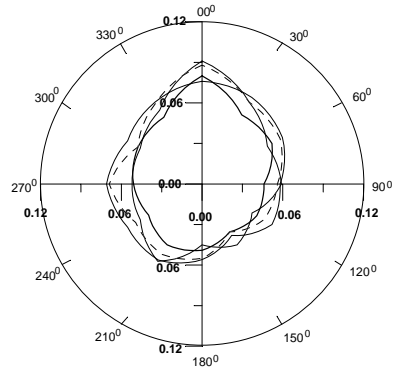


Fig.3 - Curvas de reflectância bidirecional em função das variáveis geométricas de iluminação e visada - amostra de grama batatais - Banda TM2.

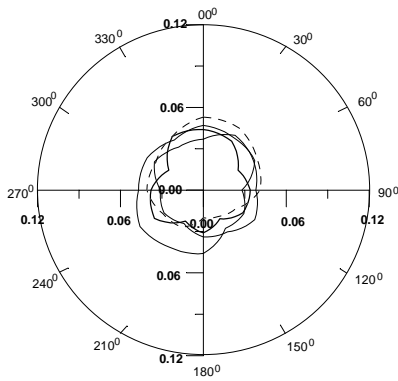
BANDA 3



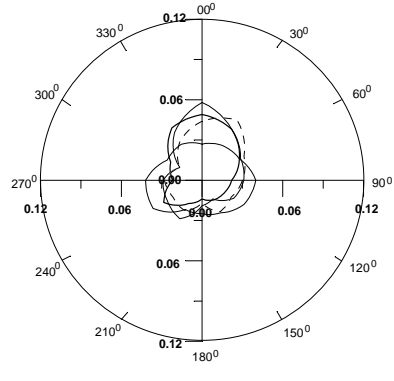
A - FONTE ($\theta_0 = 0^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)



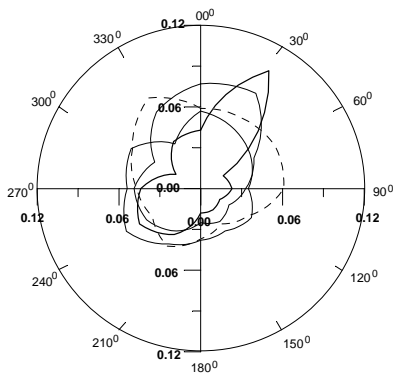
B- FONTE ($\theta_0 = 15^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)



C- FONTE ($\theta_0 = 30^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)



D- FONTE ($\theta_0 = 45^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)



E - FONTE ($\theta_0 = 60^\circ$, $\phi_0 = 0^\circ$)

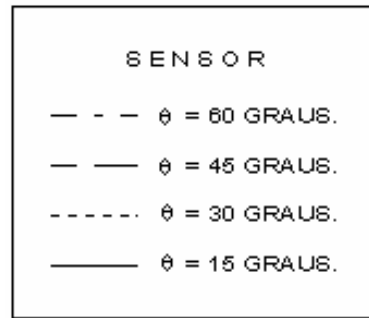
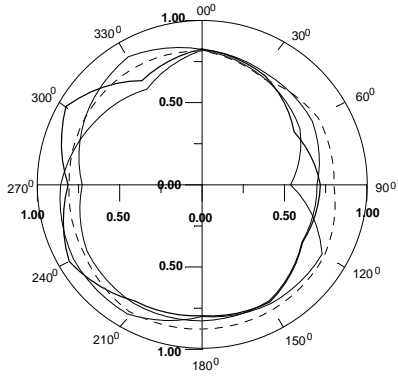
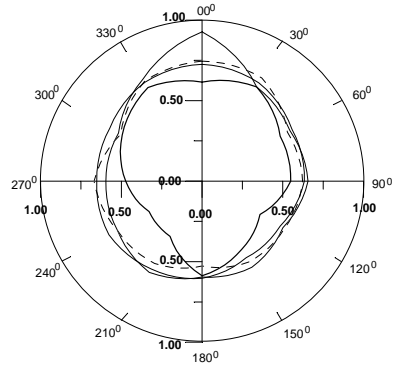


Fig.4 - Curvas de reflectância bidirecional em função das variáveis geométricas de iluminação e visada - amostra de grama batatais - Banda TM3.

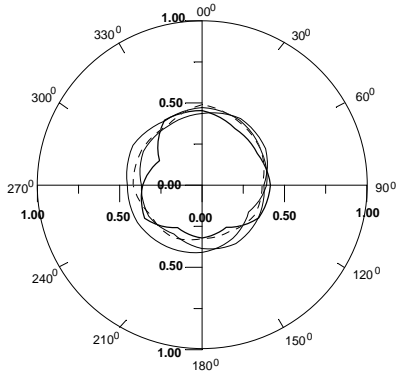
BANDA 4



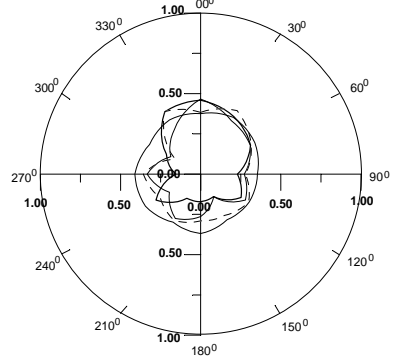
A- FONTE ($\theta_o = 0^\circ$, $\phi_o = 0^\circ$)



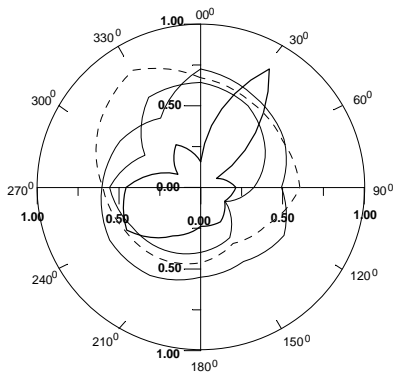
B- FONTE ($\theta_o = 15^\circ$, $\phi_o = 0^\circ$)



B - FONTE ($\theta_o = 30^\circ$, $\phi_o = 0^\circ$)



D - FONTE ($\theta_o = 45^\circ$, $\phi_o = 0^\circ$)



E - FONTE ($\theta_o = 60^\circ$, $\phi_o = 0^\circ$)

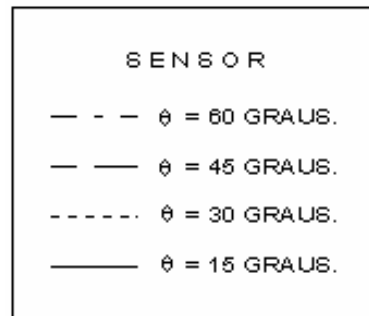


Fig. 5- Curvas de reflectância bidirecional em função das variáveis geométricas de iluminação e visada - amostra de grama batatais - Banda TM4.

Estes resultados concordam com a avaliação feita por Kimes (1983) para algumas espécies de vegetação, onde verificou-se que as propriedades direcionais das superfícies vegetadas dependem da sua arquitetura, ou seja sua homogeneidade. Também, há uma dependência com o seu espaçamento, pois o solo tem uma forte característica de espalhamento para trás (retroespalhamento), influenciando significativamente na região do visível.

Ao analisar as bandas 1, 2 e 3, correspondentes as faixas do espectro visível verificam-se semelhanças nas respostas espectrais da amostra para cada geometria de aquisição. Deste modo, pode-se concluir que existe um comportamento isotrópico entre as bandas do visível, sendo que a geometria do dossel da planta o principal responsável pelas variações da resposta espectral para ângulos de visada e observação menores que 45° . A partir desses ângulos, o efeito de sombreamento das camadas posicionadas mais próxima à fonte de iluminação nas camadas mais distantes torna-se pronunciado, proporcionando resultados aleatórios, difíceis de serem interpretados.

A representação polar do fator de reflectância no espectro infra-vermelho próximo da banda 4 do TM, Figura 5, apresenta um comportamento isotrópico mais acentuado em relação às bandas do visível, principalmente com o decréscimo do ângulo zenital de iluminação.

Jackson et al, (1990), concluíram algo semelhante em relação ao trigo e as bandas HRV-2 e HRV-3 do SPOT. Além disso, concluíram que o efeito da arquitetura da amostra e o sombreamento de um elemento por outro são consideravelmente menores para o infravermelho próximo do que para a região visível.

4 Conclusões

A análise das medidas do fator de reflectância bidirecional para diferentes ângulos de visada e iluminação demonstram a necessidade de levar em consideração as propriedades não lambertianas de superfícies, principalmente quando o imageamento da superfície terrestre é realizado com satélites de órbita oblíqua.

Em laboratório, as distâncias entre fonte/alvo/sensor são relativamente menores quando comparadas as distâncias envolvidas em nível orbital. A percepção da textura dos alvos torna-se menos evidente na medida em que o sensor se afasta. Comparando o sinal da radiação de uma superfície vegetada, medida no nível orbital, com o sinal obtido desta mesma área no nível terrestre, desconsiderando-se o efeito da camada atmosférica,

tem-se uma resposta mais homogênea. Isto ocorre, principalmente, devido ao efeito da rugosidade do alvo, que é menos pronunciado, fazendo com que tenha uma resposta mais próxima do lambertiano.

A amostra de grama, embora fosse aparentemente homogênea demonstrou ser bastante rugosa em laboratório, devido as proporções entre as distâncias envolvidas nas medições. Este efeito levou a um resultado anisotrópico na medida em que o ângulo de visada e iluminação aumentavam. Contribuindo para o aumento da anisotropia, tem-se o efeito do sombreamento, causado pelas diferentes disposições das camadas de grama, tornando mais pronunciado com ângulos zenitais de iluminação elevados. No caso deste experimento a reflectância medida para trás (retroespalhamento) foi maior para todos os ângulos de iluminação, sendo que para o ângulo de iluminação de 60° esse efeito torna-se mais pronunciado com um valor de pico em torno do ângulo de visada de 30° .

Ao comparar-se a resposta espectral da grama entre as bandas do sensor TM, nota-se uma homogeneidade numérica entre as bandas do visível. Já no infravermelho próximo (banda TM-4), existe uma diferença significativa devido a interação da radiação incidente estar relacionada com a estrutura interna da folha e não com os pigmentos. Além disso, o efeito de sombreamento é consideravelmente menor no infravermelho. Sendo assim, a reflectância nas bandas do visível possuem uma certa isotropia, o que não ocorre com o infravermelho.

5 Referências Bibliográficas

- Brennan, D.R.; Banteen, W.R. Anisotropic reflectance characteristics of natural earth surfaces. *Applied Optics*, 1970, 9(2): 405-411.
- Candeias, A.L.B.; Faria, K.; Chaves, M.A.; Antunes, M.H.; Gonçalves, S.M.S. Comparação entre os fatores de reflectância bidirecional de uma cobertura vegetal obtida com o espectrorradiômetro Spectron SE-590 adaptado com e sem o uso do filtro Kodak Wratten nº 12. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 6, Manaus, 1990. Anais, p. 776-780.
- Davis, J.M.; Cox, S.K. Reflected solar radiances from regional scale scenes. *Journal of Applied Meteorology*, 1982, 21(11): 1698-1712.
- Jacson, R.D.; Teillet, P.M.; Slater, P.N.; Fedosejevs, G.; Jasinski, M.F.; Aase, J.K.; Moran, M.S. Bidirectional measurements of surface reflectance for view angle corrections of oblique imagery. *Remote Sensing of Environment*, 1990, 32: 189-202.

Kimes, D.S. Dynamics of directional reflectance factor distributions for vegetation canopies. *Applied Optics*, 1983, 22(9): 1364-1372.

Kriebel, K.T. Measured spectral bidirectional reflection of four vegetated surfaces. *Applied Optics*, 1978, 17(2): 253-259.

Milton, E.J. Principles of field spectroscopy. *International Journal of Remote Sensing*, 1987, 8(12): 1807-1827.

Novo, E.M.L.M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 2ed. Editora Edgard Blucher Ltda, 1992, 308p.

Slater, P. N. Remote sensing: optics and optical systems. Reading, Addison-Wisley, 1980, 575p.

Steffen, C.A.; Moraes, E.C. Radiometria espectral. In: Tutorial em Radiometria. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10-14 de maio, Curitiba, 1993.

Steffen, C.A. Reflectância. Publicação didática, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995. 9p. (INPE - 5638 -PUD/070)

Tanré, D.; Herman, M.; Deschamps, P.Y. Influence of atmosphere on space measurements of directional properties. *Applied Optics*, 1983, 22(5): 733-741.

Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E. Espectral properties of vegetation: notas de aulas dadas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1991, 15p.