

COMPARAÇÃO ENTRE A REFLECTÂNCIA HEMISFÉRICA DE FOLHAS E A REFLECTÂNCIA BIDIRECIONAL DE UM DOSSEL

Edileuza Lopes Sette Silva² e F. M. V. O. L. O. G. E. P. O. Z. O. N. I.

RESUMO - Foram coletadas folhas de espécies pertencentes a um dossel arbóreo da Reserva Florestal "Prof. Augusto Ruschi", localizada no Município de São José dos Campos (SP), cujos fatores de reflectância hemisférica foram determinados mediante o uso de um radiômetro dotado de esfera integradora. Esses fatores foram comparados com aqueles referentes à reflectância direcional aparente do dossel do qual as folhas faziam parte. Essa reflectância foi estimada por intermédio de dados orbitais TM/Landsat. Os resultados indicaram que, em termos espectrais (e relativos), as espécies foram mais diferenciadas entre si nas regiões do verde e do vermelho. Considerando-se o fator de reflectância médio das espécies e a reflectância aparente do dossel, as maiores diferenças absolutas foram identificadas na região do infravermelho, enquanto, em termos relativos, as maiores diferenças foram na região do visível. No uso do fator de reflectância hemisférica de folhas, como parâmetro de entrada de modelos de reflectância de dosséis, deve-se levar em consideração as diferenças relativas e absolutas entre as reflectâncias das folhas e a reflectância do dossel, à época da avaliação de seus desempenhos. Pelos resultados alcançados neste trabalho, espera-se que os modelos dotados de tais características apresentem desempenhos melhores na região do visível.

Palavras-chave Sensoriamento remoto da vegetação, reflectância espectral de folhas, e reflectância espectral de dosséis.

COMPARISON BETWEEN THE HEMISPHERICAL REFLECTANCE OF DETACHED LEAVES AND THE BIDIRECTIONAL REFLECTANCE OF A CANOPY

ABSTRACT - The hemispherical spectral reflectance factors of detached leaves from a forest canopy located in São José dos Campos (SP) were measured using an integrating sphere and a spectroradiometer. These factors were compared to the

¹ Recebido para publicação em 11.07.995

Aceito para publicação 04.12.995

² Museu Integrado de Roraima - RR, Parque Anauá, s/nº, 69300-000 - Boa Vista-RR. ³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR, Avenida dos Astronautas, 1758, 12227 - 010 São José dos Campos - SP.

apparent directional reflectance of that canopy determined by TM/Landsat images. Considering spectral and relative terms, the species could be easily identified in the green and red spectral regions. Comparing the average hemispherical reflectance factor of the species and the apparent directional reflectance of the canopy, the greatest absolute differences were found in the infrared region, while in relative terms the greatest differences were found in visible spectral region. Using the hemispherical reflectance factors as a canopy reflectance model input parameter, one has to consider both relative and absolute differences among the leaf and canopy reflectances in the model performance evaluation. Canopy models that have presented more sensitivity to hemispherical reflectance of leaves will reach best performances in the visible region.

Key words: Remote sensing of vegetation, spectral reflectance of leaves, spectral reflectance of canopies.

1. INTRODUÇÃO

Na aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo da cobertura vegetal, a fração da radiação eletromagnética (REM) incidente, refletida por dosséis, tem sido coletada e registrada por sensores dispostos em plataformas posicionadas em diversos níveis de aquisição, incluindo o nível orbital.

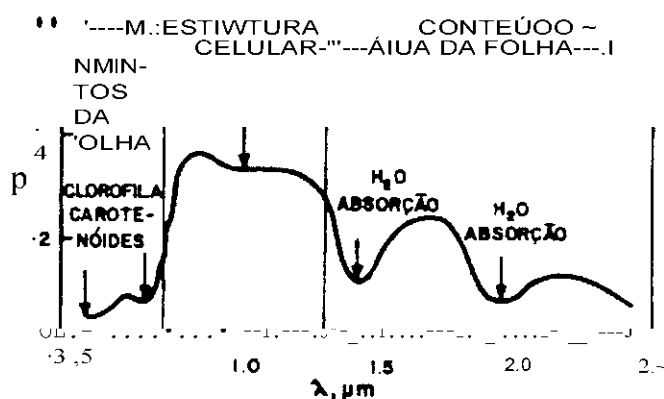
As características espectrais e de intensidade dessa fração de REM refletida são dependentes das de todos os elementos da vegetação, principalmente das folhas (tipo, arranjo espacial etc), das geometrias de iluminação e de visada e das características do solo no qual a vegetação se desenvolve (GOEL, 1988).

A *reflectância* expressa a característica de refletir a REM por parte de um objeto e é determinada por meio da relação na intensidade do fluxo de REM refletido pela intensidade do fluxo de REM incidente, que resulta no chamado fator de reflectância, que pode ser direcional (ou bidirecional) quando determinado mediante a adoção de geometrias de iluminação e de visada ou hemisférico (ou difusa) quando determinado por intermédio de esferas integradoras, não sendo especificada alguma das geometrias mencionadas.

Considerando-se uma folha isoladamente, são muitos os fatores que influenciam sua **reflectância**, dentre eles podem ser citados a estrutura anatômica, o estágio de maturidade, o seu estado sanitário, a sua composição química, o tipo e a concentração de pigmentos fotossintetizantes.

A Figura 1, mostra-se uma curva típica da reflectância de uma folha verde sadia, onde sua forma nos comprimentos de onda do visível se deve à ação predominante

da clorofila, embora outros pigmentos, como carotenos, xantofilas e antocianinas, exerçam um papel importante. Nesta porção do espectro a maior parte da energia incidente é absorvida e muito pouco transmitida, havendo uma menor absorção em 0,55 μm , com um pico de reflectância na região do verde (SWAIN e DAVIS, 1978).



FONTE: NOVO (1989)

FIGURA 1 - Curva de reflectância espectral de uma folha verde sadia. FIGURE 1 - Spectral reflectance curve of a healthy green leaf.

No infravermelho próximo, entre 0,70 μm e 1,10 μm , há um grande espalhamento interno em virtude da interação da REM com o mesófilo, levando a uma absorção muito pequena e a um grande aumento na reflectância e na transmitância. Para a maior parte das plantas verdes nessa região, há 45 a 50% de reflectância, 45 a 50% de transmitância e menos que 5% de absorção (SWAIN e DAVIS, 1978).

Ainda segundo esses autores, na região do infravermelho médio há forte absorção por causa da presença da água, nos comprimentos de onda de 1,40, 1,90 e 2,70 μm , sendo a absorção em 2,70 μm a maior. Nessa região ocorrem picos de reflectância em 1,60 e 2,20 μm , entre as bandas de absorção da água. À medida que o conteúdo de água da planta diminui, a reflectância no infravermelho médio aumenta fortemente.

Medindo reflectância, transmitância e absorção em folhas de 20 plantas de interesse agrícola, na faixa entre 0,55 e 1,00 μm , GAUSMAN et al, (1973) observaram que a reflectância média das folhas em 0,55 μm se situava na faixa de $13,3\% \pm 2,8$ e a absorção em $76,9\% \pm 5,8$. Em 1,00 μm , a reflectância era de $48\% \pm 3,9$; a transmitância, de $47,9\% \pm 3,7$; e a absorção, de $4\% \pm 1,7$.

Nesse mesmo trabalho, feijão, abacate, sorgo e amarantus apresentaram, em 0,50 μm , reflectâncias médias de 18,5; 12,4; 17,2; e 8,9%, respectivamente. Em 1,00 μm , as reflectâncias foram de 56,2; 49,7; 45,1; e 47%, na mesma ordem anterior.

Nas vinte espécies estudadas, a amplitude de variação da reflectância foi maior para o comprimento de onda de 1,00 μm . Aqueles autores interpretaram o fato como sendo consequência da maior absorção da radiação na região do visível pelos pigmentos, já que nessa faixa as plantas absorvem de 80 a 90% da radiação ou seja, em termos absolutos, a variação da reflectância é menor na região do visível, se comparada com a variação no infravermelho.

Apesar de as folhas constituírem os principais elementos da vegetação, do ponto de vista da interação entre esta e a REM, suas reflectâncias, quer sejam expressas por fatores de reflectância direcionais ou hemisféricos, não explicam inteiramente aquelas reflectâncias referentes a um dossel do qual pertencem.

Quando a REM atinge um dossel, interage com as folhas e com os demais elementos da vegetação nos diversos níveis verticais de seu perfil. Parte dessa REM incidente, que é refletida ou emitida, pode ser medida e registrada por sensores. No caso de sensores imageadores, o registro das intensidades dessa REM, fruto do processo de interação mencionado, é materializado por intermédio dos chamados níveis de cinza da imagem.

Os níveis de cinza são proporcionais às intensidades da REM refletidas ou emitidas, medidas em uma superfície de área definida e em várias faixas do espectro eletromagnético. As variações dessas intensidades dependem das características físico-químicas dos elementos sujeitos ao processo de interação; de sua orientação espacial; de sua densidade; dos demais parâmetros geométricos referentes à fonte de REM (normalmente o Sol) e ao sensor (geometrias de iluminação e de visada); e, ainda, da atmosfera, cuja influência confere à reflectância de objetos presentes na superfície da Terra, medida por intermédio de produtos orbitais, o termo aparente.

O estudo da reflectância de dosséis tem sido auxiliado pelos modelos de reflectância, os quais se propõem estabelecer uma conexão lógica entre os parâmetros relativos à própria vegetação, ao sensor e à fonte de REM e a sua reflectância espectral. Esses modelos têm apresentado grande sensibilidade a fatores de reflectância espectral hemisférica de folhas, muitas vezes subestimando a influência de demais parâmetros geométricos (iluminação e visada) e espectrais .:

PONZONI (1993), testando a sensibilidade de um destes modelos, denominado SAIL ("Scattering by Arbitrarily Inclined Leaves"), com relação à variação dos valores de parâmetros de entrada para três tipos de dosséis, concluiu que os valores de reflectância calculados pelo modelo foram próximos dos referentes às reflectâncias espectrais hemisféricas das folhas das espécies estudadas, as quais constituem parte dos parâmetros de entrada do modelo. Esse autor mencionou, ainda, que modelos que apresentam essa mesma característica fornecerão estimativas da reflectância do dossel muito próximas dos valores dos fatores de reflectância das folhas e para a região do visível, uma vez que, em termos absolutos, as folhas são muito "parecidas" e os modelos devem apresentar maior desempenho nessa região espectral.

Os níveis de cinza de imagens orbitais referentes a áreas ocupadas por cobertura vegetal guardam em si as características de reflexão dos dosséis e podem ser usados como termo comparativo entre os dados resultantes do processamento de tais modelos ou, ainda, ser considerados como parâmetros de entrada no procedimento de inversão dos modelos. Contudo, não se conhecem quais as diferenças entre os fatores reflectância espectral hemisférica de folhas isoladas constituintes de um dossel e reflectância direcional aparente desse mesmo dossel. Esse conhecimento é importante na avaliação do desempenho destes modelos, uma vez que este desempenho será melhor nas regiões espectrais, onde as diferenças entre ambos os parâmetros forem mínimas.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as diferenças entre fatores de reflectância hemisférica de folhas isoladas, bem como a reflectância direcional aparente de um dossel, esta última medida por intermédio de produtos orbitais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Critério de escolha e caracterização da área de estudo

O Horto Municipal de São José dos Campos, ou Reserva Florestal "Professor Augusto Ruschi", está localizado no Bairro do Costinha, com uma área de 2.467.436,75 m². Recentemente, foi objeto de um estudo fitossociológico minucioso, realizado por SILVA (1989), no qual os indivíduos, dentro das classes inventariadas, foram bem identificados taxonomicamente.

O terreno é montanhoso, com altitudes variando entre 640 e 1040 m, com numerosos riachos nas vertentes, que, no passado, foram utilizados para captação de água para a cidade. Mesmo tendo sido explorada no cultivo de café, a floresta regenerou-se naturalmente, e é certo não ter havido interferência humana há, pelo menos, 60 anos (SILVA, 1989).

O clima apresenta estação seca no inverno com totais mensais inferiores a 50 mm, entre abril e setembro e total médio anual de 1.100 mm. A temperatura média do ar caracteriza um clima ameno variando de 17,7°C em julho a 23,9°C em fevereiro, com média anual de 21,3°C. A umidade relativa média é de 76%, sem grande variação anual, com ventos de SE durante todo o ano com velocidade entre 2 e 3 km/h (SILVA, 1989).

O solo caracteriza-se por uma associação Latossolo Vermelho Amarelo Álico pouco profundo, Latossolo Vermelho Amarelo Câmbico Álico e Cambissolo Latossólico Álico, todos de textura argilosa moderada a proeminente. No sopé da montanha predominam solos aluviais distróficos de textura média a moderada (Lepsch e Oliveira, 1987, apud SILVA, 1989). A vegetação de porte arbóreo da região é classificada como Floresta Estacional Tropical Perenifolia do Planalto Centro-Sul.

Após exame da área, com o uso de fotografias aéreas, foram escolhidas parcelas em relevo plano, porque assim ficavam minimizados os efeitos de sombra do relevo acidentado.

SILVA (1989), em seu inventário na área plana, que denominou estação 1, coletou 241 indivíduos, em 29 famílias. A área basal estimada por ha foi de 47,68 m², com altura máxima de 25 m e média de 11,10 m. No estudo de SILVA (1989), as espécies estudadas no presente trabalho apresentaram os seguintes índices de Valor de Importância (IVI): *Euterpe edulis* 25,4 (açaí); *Guappira opposita* 9,89 (joão mole); *Maytenus boaria* 2,03 (abriboca); *Guapira tomentosa* 1,51 (carne-de-vaca); *Matayba guianensis* 1,46 (camboatá); *Picramnia regnelli* 0,38 (tariri); *Nectandra* sp. 0,32 (canela); e uma Vochysiaceae (pau-terra) indeterminada.

2.2. Registro e processamento de dados orbitais

O Horto Municipal foi localizado na imagem TM, órbita ponto 219/76E, e na carta do IBGE, folha SF-23-4D-II-1, MI 2769/1, na escala 1 :50.000. Em seguida, foi realizada a operação denominada registro, por meio do programa SITIM, desenvolvido pelo INPE, para georeferenciar a imagem com a carta planialtimétrica, que foi digitalizada por intermédio do Sistema de Informações Geográficas (SIG), também desenvolvido pelo INPE.

Após o registro, foi feita a correção atmosférica na imagem para remover os valores de reflectância causados pelos efeitos da atmosfera, tomando-se como base o nível de cinza da sombra nas bandas referentes ao visível e ao espelho d'água e nas bandas referentes às regiões do infravermelho próximo e médio.

Após a correção atmosférica, utilizou-se o programa REFLETE, desenvolvido pelos profissionais do Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais do INPE (L TID/INPE), para obtenção das imagens ditas imagens de reflectância, nas quais cada um de seus elementos constituintes representam o valor de reflectância da superfície.

2.3. Coleta de dados botânicos

Na estação I, do inventário de SILVA (1989), foram localizadas espécies freqüentes no dossel da área de relevo plano, representadas por indivíduos de pequeno porte, dos quais foram coletadas pequenas quantidades de folhas bem desenvolvidas. Cada folha foi identificada e acondicionada em saco plástico pequeno e bem fechado, reunindo-se o conjunto de amostras em um recipiente de isopor com gelo.

2.4. Aquisição de coordenadas geográficas

As coordenadas geográficas de locais próximos às árvores coletadas foram adquiridas por meio de um GPS ("Global Positioning System") topográfico, e esses valores foram plotados na carta do 18GE e transferidos, por meio da mesa digitalizadora, para a imagem registrada. Posteriormente, os valores de reflectância destes pontos foram conhecidos, utilizando-se os programas SITIM e SGI alternadamente, após a localização do pixel aproximadamente correspondente ao local de coleta botânica.

2.5. Obtenção de dados radiométricos

As amostras de folhas foram levadas, no dia seguinte à coleta, ao Laboratório do Centro de Ensino e Pesquisa Agrícola (CEPAGRI) da Universidade de Campinas, (UNICAMP), onde, com o uso da esfera integradora e o apoio do programa SMARTER 240, foram medidos e gravados os valores de reflectância hemisférica da face ventral das folhas coletadas, na faixa espectral de 0,40 a 1,1 μm .

A partir dos valores registrados em arquivo ASCII, que foram posteriormente transferidos a uma planilha eletrônica, obtiveram-se os valores médios dos fatores de reflectância hemisférica para toda a faixa espectral e para cada espécie, bem como as médias destes fatores das espécies dentro dos seguintes limites espectrais: banda 81: 0,45-0,52 μm (azul); banda 82: 0,52-0,60 μm (verde); banda 83: 0,63-0,69 μm (vermelho); e banda 84 0,76-0,90 μm (infravermelho próximo). Essas médias foram comparadas com os valores médios de reflectância aparente, determinados a partir dos dados orbitais presentes nas imagens e referentes ao dossel. A comparação foi realizada, tomando-se como base os valores percentuais das diferenças entre elas e a reflectância aparente do dossel.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Resultado da coleta botânica

Foram coletadas folhas de oito árvoretas ou arbustos do subosque das parcelas da estação I, de SILVA (1989), ressaltando-se que seis foram bem identificados até espécie, uma até gênero e uma até família.

Euterpe edulis (açai) - Família Arecaeae - Palmeira com folíolos medindo 2 x 50 cm, membranáceos e paralelinérveos, com nervuras proeminentes que lhe conferem certa aspereza. *Guapira opposita* (joão-mole) - Família Nictaginaceae - de folhas simples e glabras, limbo medindo 2,5 x 8 cm, pecíolo com cerca de 0,5 cm. *Guapira tomentosa* (carne-de-vaca) - Família Nictaginaceae - folhas simples,

glabras, apicioladas e membranáceas, bordas denteadas e limbo ondulado medindo 5,5 x 20 cm; a ondulação da folha acentua o mergulho das nervuras primária e secundária para dentro do plano do limbo, tornando-as proeminentes na face adaxial, o que dá forte aspereza à folha. *Matayba guianensis* (camboatá) - Família Sapindaceae - folhas simples, glabras; limbo grosso, coriáceo e medindo 4,5 x 15 cm; pecíolo lenhoso, com cerca de 1 cm, nervura central proeminente na face adaxial. *Maytenus boaria* (abriboca) - Família Celastraceae - Folíolos pequenos, glabros, medindo 1,5 x 6 cm, membranáceos e delgados; nervuras delicadas, quase imperceptíveis; ráqui e pecíolos finos. *Nectandra* sp. (canela) - Família Lauraceae Folhas simples, coriáceas e grossas; nervuras primária e secundária proeminentes; limbo medindo 7 x 18 cm e pecíolo 1 cm. *Picramia regnelli* (tariri) - Família Simaroubaceae - Folíolos glabros, medindo 4 x 10 cm, coriáceos, delgados, pecíolos medindo cerca de 0,3 cm e ráqui com cerca de 24 cm. Vochysiaceae (pau-terra) - Folhas simples, glabras, coriáceas, alongadas e medindo 16 x 5 cm; nervura central proeminente; nervuras secundárias delicadas; pecíolo lenhoso, com cerca de 2 cm de comprimento.

Todos os indivíduos coletados eram arvoretas do subosque, dentro da floresta, constituindo, portanto, a amostra total de folhas de sombra, bem diferentes das folhas do dossel, "vistas" pelo sensor a bordo do satélite. As folhas do estrato superior do dossel são adaptadas anatômica e fisiologicamente a ambientes bem iluminados e sujeitos à ação do vento, o que lhes diminui o conteúdo hídrico. É de se esperar, portanto, uma defasagem no comportamento espectral da reflectância das folhas da amostra em relação à reflectância medida pelo sensor e expressa na imagem do satélite.

3.2. Processamento da imagem

3.2.1. Registro

No registro da imagem com a carta planialtimétrica, obteve-se uma precisão vertical de 0,4 e horizontal de 0,3, portanto um erro menor que um pixel.

4.2.2. Correção atmosférica

Para a promoção da atenuação atmosférica, foram encontrados como valores de pixels iguais a 14, 10, 9 e 4%, que foram subtraídos das imagens reflectância das bandas do azul (81), verde (82), vermelho (83) e infravermelho próximo (84), respectivamente.

4.3. Caracterização espectral

4.3.1. Espectro total

Na Figura 2, apresentam os gráficos contendo as curvas dos fatores de reflectância hemisférica das espécies consideradas neste trabalho.

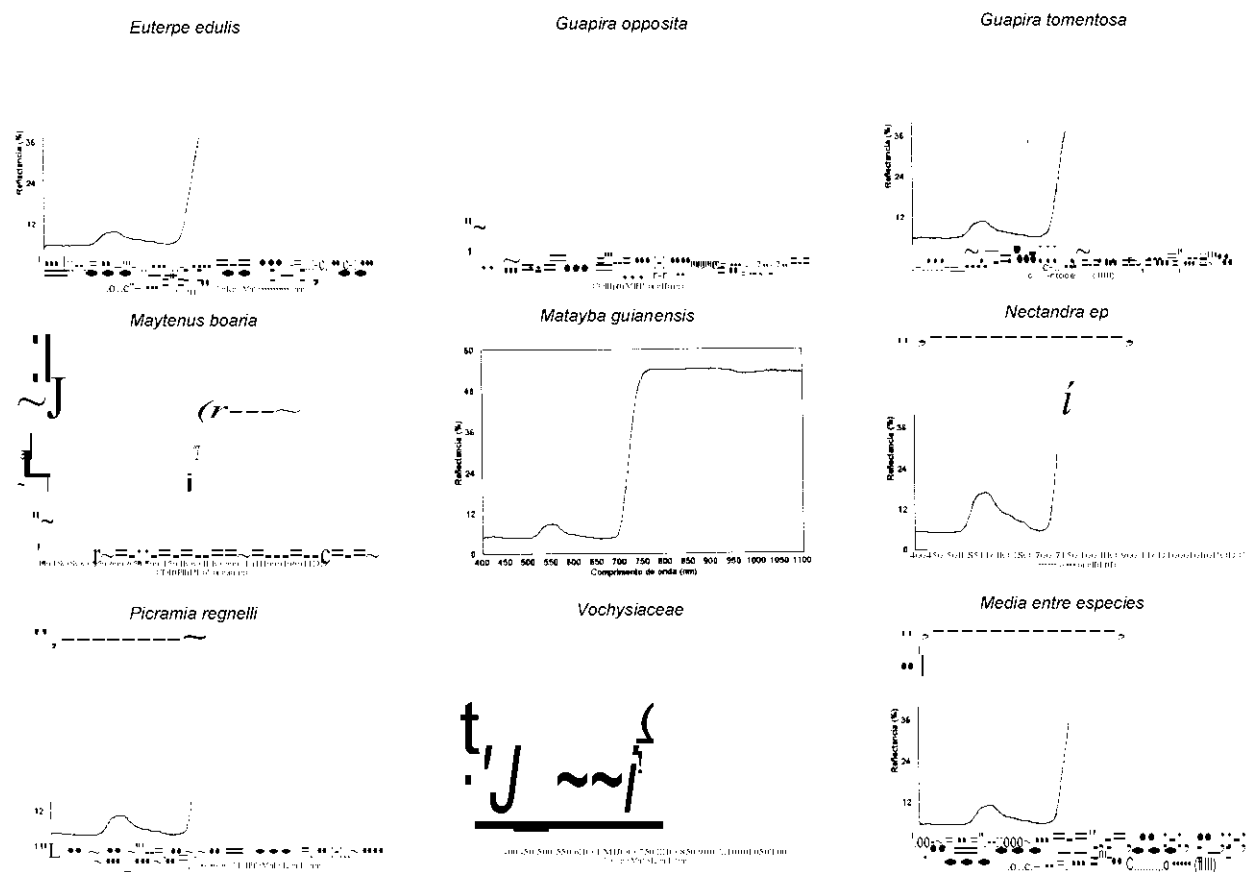


FIGURA 2 - Fatores de reflectância hemisférica das folhas consideradas. FIGURE 2 - Hemispherical reflectance factors of the considered leaves.

Pelo exame das curvas dos fatores de reflectância hemisférica das folhas, vê-se que apresentam a mesma configuração da Figura 1, onde está descrita a curva de reflectância padrão de uma folha verde, com absorção quase total no visível, com um pico de reflectância no verde e alta reflectância a partir de 0,70 μm , correspondendo ao infravermelho próximo.

Todas as folhas apresentaram fatores de reflectância hemisférica de aproximadamente 5,1% no azul (0,45 μm). No verde (0,55 μm), todas ficaram entre 8,6 e 10,95%, exceto *Nectandra* sp., com 16,79%, sendo a média das espécies nesse comprimento de onda de 10,95%. No vermelho (0,65 μm), todas ficaram entre 4,38 e 5,84%, com uma média de 5,11%. No infravermelho próximo, *Picramnia regnelli*, *Guapira opposita* e *Nectandra* sp. apresentaram cerca de 47,45%; *Euterpe edulis* e *Maytenus boaria*, 43,07%; *Guapira tomentosa*, 45,26%; e *Matayba guianensis* e Vochysiaceae, 54,02%, sendo 47,45% a média para esse comprimento de onda.

A Figura 3 ilustra os valores médios dos fatores de reflectância hemisférica de cada espécie e para cada uma das quatro bandas espectrais consideradas.

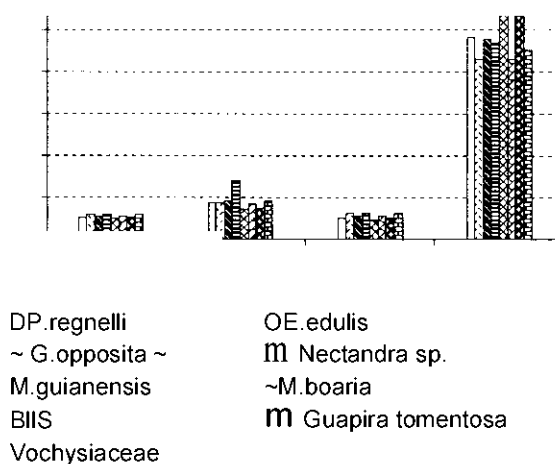


FIGURA 3 - Valores médios dos fatores de reflectância das folhas, para cada banda espectral considerada.
FIGURE 3 - Average of the reflectance factors considering each spectral bando

Como pode ser observado na Figura 3, as maiores variações entre os valores dos fatores de reflectância hemisférica das espécies foram observadas nas bandas 2 e 4. Em termos absolutos, as variações entre os fatores de reflectância na região do visível foram pequenas, quando comparadas com aquelas verificadas na região do infravermelho próximo. Esse resultado bateu com os alcançados por GAUSMAN et al. (1973).

Com relação à reflectância aparente do dossel, determinada pelas imagens TM/Landsat, foram conhecidas as diferenças absolutas entre ela e os fatores de reflectância hemisférica referentes a cada espécie e entre os valores médios em cada banda espectral, as quais se encontram na Figura 4.

Verificou-se, portanto, que em termos absolutos, as maiores diferenças foram observadas na região do infravermelho (banda 4). As menores diferenças foram identificadas na região do azul (banda 1).

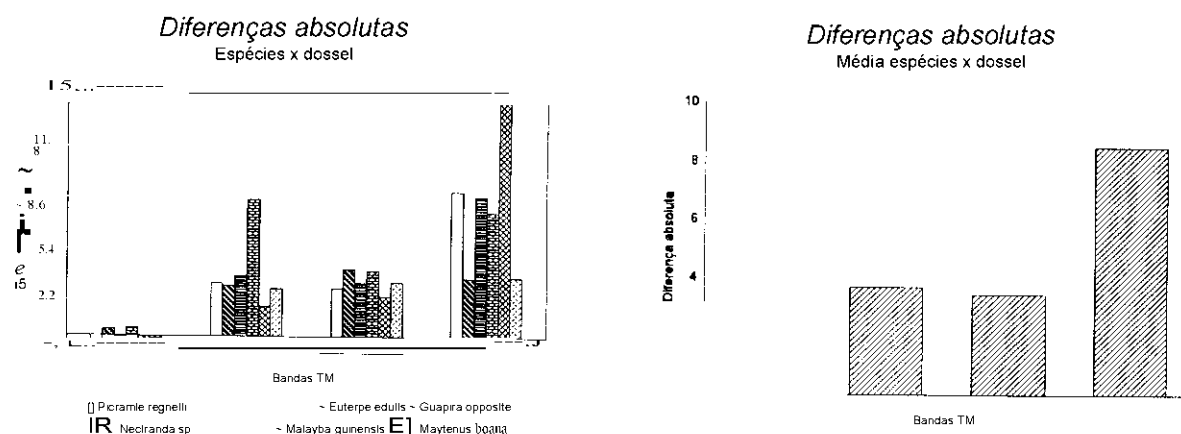


FIGURA 4 - Diferenças absolutas entre a reflectância direcional aparente do dossel e os fatores de reflectância hemisférica de cada espécie e dos valores médios nas quatro bandas espectrais TM/Landsat.

FIGURE 4 - Absolute differences between the canopy directional reflectance and the hemispherical reflectance factors of each species and of the average values in the four spectral bands.

Destacam-se aqui as observações de PONZONI (1993), já apresentadas, quanto ao uso de fatores de reflectância hemisférica de folhas como parâmetros de entrada de modelos de reflectância de dosséis que apresentam maior sensibilidade a esse parâmetro espectral.

Na Figura 5 são apresentados os gráficos referentes às mesmas diferenças mostradas na Figura 4, expressas em termos relativos (percentuais).

Nas bandas TM 2, 3 e 4, todas as espécies apresentaram fatores de reflectância mais altos do que o dossel, com desvio padrão entre a média das espécies e a média do dossel de 0,41 (81), 1,94 (82), 0,62 (83), 4,00 (84) e coeficiente de variação de 7,69% (81), 21,40% (82), 11,35% (83) e 8,39% (84). Esses resultados concordaram com os alcançados por GAUSMAN et al. (1973), que também identificaram diferenças absolutas entre as reflectâncias espectrais referentes à região do visível menores do que aquelas identificadas para a região do infravermelho. Contudo, essas diferenças tornaram-se maiores quando analisadas do ponto de vista relativo, à exceção dos dados da banda 1, que foram menores tanto em termos absolutos quanto relativos.

O maior coeficiente de variação nas bandas do verde e do vermelho (bandas 2 e 3, respectivamente) indicou que foi nessas faixas que se deu a maior diferenciação (em termos absolutos) entre espécies.

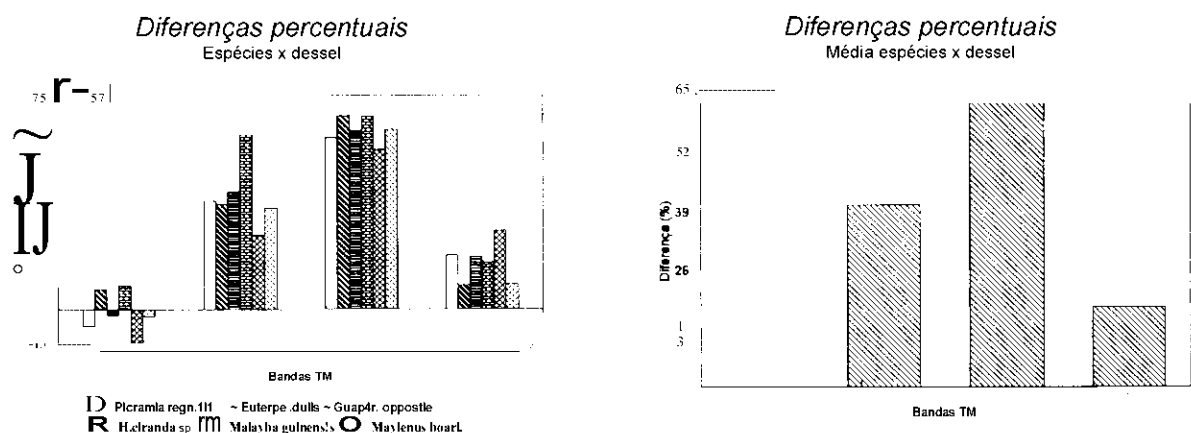


FIGURA 5 - Diferenças percentuais entre os fatores de reflectância hemisférica de cada espécie e dos valores médios destes fatores entre as espécies e os valores de reflectância direcional aparente do dossel.

FIGURE 5 - Relative differences between the hemispherical reflectance factors of each species and of the average values of these factors between the species and the values of apparent directional reflectance of the canopy.

Esse resultado foi análogo àquele observado entre as espécies, ou seja, na região espectral do visível as diferenças absolutas do fator de reflectância médio, determinado a partir dos fatores de reflectância de cada espécie, foram menores do que estas mesmas diferenças verificadas na região do infravermelho, e vice-versa, o que confirmou as afirmações de PONZONI (1993), mencionadas anteriormente.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi confirmada a menor variação percentual no infravermelho próximo, em que se pôde observar que a média da reflectância hemisférica das folhas foi maior que a média da reflectância direcional aparente do dossel (8,51 %).

Em termos relativos, as folhas diferenciaram-se mais na região do visível do que na região do infravermelho próximo. Com relação à reflectância direcional aparente do dossel, comparada com fator de reflectância hemisférica média das espécies aqui consideradas, foi observado o mesmo tipo de resultado.

As diferenças entre o fator de reflectância hemisférica das folhas individuais e a reflectância direcional aparente do dossel podem ser atribuídas à atenuação causada por outros fatores implicados na aquisição da imagem, como efeito atmosférico, que pode não ter sido efetivamente minimizado por meio da metodologia empregada neste trabalho, inclinação foliar; presença de sombras e

orvalho; dentre outros. Além disso, deve-se levar em consideração o fato de se estar comparando reflectância hemisférica de folhas com reflectância direcional do sensor TM. No mínimo, o que se pode inferir é que a reflectância hemisférica dos elementos individuais é maior que a reflectância direcional de seu conjunto, representado pelo dossel, sob a influência de outras variáveis ambientais e geométricas de iluminação e de visada.

Os resultados aqui alcançados indicaram que o uso do fator de reflectância hemisférica de folhas como parâmetro de entrada em modelos que apresentam para este maior sensibilidade poderá acarretar estimativas da reflectância do dossel, com diferenças da ordem de 5 a 25% do seu possível real valor, dependendo da região espectral explorada.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos ao Dr. Jurandir, do CEPAGRI UNICAMP, pelo empréstimo da esfera integradora e pelo apoio em sua manipulação, e ao "seo" Buquira, responsável pela manutenção do Horto Florestal "Augusto Ruschi".

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GAUSMAN, H.W., ALLEN, W.A., WIEGAND, C.L., ESCOBAR, D.E., RODRIGUEZ, R.R., RICHARDSON, A.J. The leaf mesophylls of twenty crops, their light spectra and optical and geometrical parameters. Washington: USDA, 1973. (Technical bulletin, 1465).
- GOEL, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. *Remote Sensing Reviews*, v.4, p.1-212, 1988.
- NOVO, E.M.L. de M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 308p.
- PONZONI, F.J. Aplicação do modelo SAIL no estudo da reflectância espectral de dosséis de mudas de *Eucalyptus* sp. e de *Aspidosperma* sp. Curitiba, PR, 204p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal do Paraná, 1993.
- SILVA, A.F. Composição florística e estrutura fitossociológica do estrato arbóreo da Reserva Florestal Professor Augusto Ruschi, São José dos Campos, SP. Campinas, SP. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). 1989.
- SWAIN, P.H., DAVIS, S.M. Remote sensing: the quantitative approach. West Laffayette: McGraw Hill, 1978. 395p.