

## USO DA TRANSMITÂNCIA NA CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DE FOLHAS VERDES

FELIX CARRIELLO<sup>1</sup>  
FERNANDA GONÇALVES MIRANDA<sup>1</sup>  
FLÁVIO JORGE PONZONI<sup>1</sup>  
PAULA DE ALMEIDA CARDOSO<sup>1</sup>  
SILVIO PIMENTEL MARTINS<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{felix, flavio, fmiranda, pcardoso, silvio}@tid.inpe.br

**Abstract.** The spectral characterization of green leaves from different specie through the reflectance radiometric parameter can result in no satisfactory results. The main objective of this study is to evaluate the potential use of the transmittance as a spectral property complementary for the spectral characterization of isolated leaves of vegetation specie in the visible and near infrared regions of the electromagnetic spectrum. Thirty leaves of two different specie, *Ligustrum sp* and *Cassia macranthera* were collected. The radiometric measures were carried out in laboratory using a spectroradiometer - Spectron SE 590 running from 368,4 to 1113,7 nm and an integrating sphere LI 1800-12. In spite of small differences among reflectance values it was possible to spectrally characterize each specie at that spectral range of the spectrum. However, through the transmittance values it was possible to identify easily both specie in the visible and the near infrared regions.

**Keywords.** Remote sensing, radiometry, transmittance, leaves.

### 1. Introdução

Uma das maiores ambições dos profissionais que vislumbram a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo dos recursos naturais é a concepção de bibliotecas espectrais. Tais bibliotecas seriam constituídas por valores de reflectância espectral de alvos da superfície terrestre (bidirecional ou hemisférica). Esses valores seriam passíveis de comparação com outros dados radiométricos coletados em diferentes níveis de aquisição (laboratório, campo, aéreo ou orbital).

A concepção de tais bibliotecas para vegetação é utópica, pois as medidas de brilho das folhas dependem de uma série de fatores não só intrínsecos, mas também externos às folhas, às plantas ou aos dosséis. Essas medidas são válidas somente no tempo e local em que o experimento está sendo conduzido, pois as características da vegetação podem sofrer contínuas mudanças.

As caracterizações espectrais em que se baseiam tais bibliotecas normalmente exploram a reflectância, o que no caso da vegetação, não é suficiente para caracterizar espectralmente com segurança diferentes espécies, estresses ou outros fenômenos influentes na composição química, fisiológica e/ou morfológica, visto que a caracterização espectral de um objeto inclui não somente o fenômeno de reflexão, como também o de transmissão e de absorção da radiação eletromagnética nele incidente.

O objetivo do presente trabalho é avaliar o potencial do uso da transmitância como propriedade espectral complementar à reflectância para a caracterização espectral de folhas isoladas de espécies vegetais nas regiões do visível e do infravermelho próximo.

## 2. Fundamentação

A interação da radiação eletromagnética com as folhas depende de fatores como suas características físicas, químicas e fitossanitárias, da região espectral e das geometrias de iluminação e de visada. Considerando essencialmente as características morfológicas e fisiológicas, as propriedades espectrais de reflexão, de transmissão e de absorção variam de acordo com a espécie estudada (Jacquemoud e Baret, 1990; Blacburn, 1999; Tucker, 1980; Ponzoni e Gonçalves, 1999; Sims e Gamon, 2002).

Uma única folha verde sadia intercepta a luz solar, seja ela direta ou difusa, que interage com os pigmentos, água e espaços intercelulares da folha. Os três processos decorrentes dessa interação são a absorvância, a transmitância e a reflectância, dados pela seguinte equação:

$$\Phi_{i\lambda} = \Phi_{\rho\lambda} + \Phi_{\alpha\lambda} + \Phi_{\tau\lambda}$$

Se cada uma das variáveis for dividida pelo fluxo incidente ( $\Phi_{i\lambda}$ ), tem-se:

$$i_{\lambda} = \rho_{\lambda} + \alpha_{\lambda} + \tau_{\lambda}$$

onde,  $i_{\lambda}$  é o fluxo total incidente,  $\rho_{\lambda}$  é a reflectância hemisférica espectral da folha,  $\alpha_{\lambda}$  é a absorvância hemisférica espectral e  $\tau_{\lambda}$  é a transmitância hemisférica da folha, que podem ser medidas em laboratório e, conseqüentemente, caracterizar seu comportamento espectral (Jensen, 2000).

As folhas são constituídas de três tecidos básicos: epiderme, mesófilo fotossintético e tecido vascular, sendo que do ponto de vista da interação com a radiação eletromagnética, os constituintes foliares mais importantes são a celulose (paredes celulares), solutos (íons e moléculas), espaços intercelulares e pigmentos existentes dentro dos cloroplastos. A espessura da folha também é fator importante no caminho da radiação eletromagnética, sendo a transmitância maior do que a reflectância para folhas finas, e o inverso para folhas grossas (Ponzoni e Disperati, 1995).

Considerando a região do visível (400 a 700 nm), as propriedades espectrais de reflectância, transmitância e absorvância estão relacionadas à presença, tipo e quantidade de pigmentos na folha. Regra geral, quanto maior a concentração de pigmentos, maior será a absorvância e, conseqüentemente, a reflectância e a transmitância apresentarão valores mais baixos (Kumar, 1974; Goel, 1988).

Decompondo o espectro visível nas regiões do azul (400 a 500 nm), verde (500 a 600 nm) e vermelho (600 a 700 nm), percebem-se feições características da interação da radiação eletromagnética com os pigmentos da folha. Nas regiões do azul e do vermelho há maior absorção de radiação devido a presença de pigmentos fotossintéticos. A região do verde, ao contrário, apresenta maior reflectância porque a clorofila presente nas folhas atua refletindo mais radiação eletromagnética do que absorvendo. É por este motivo que vemos as folhas verdes (Raven, 1996; Goel, 1988; Kumar, 1974).

Na região do infravermelho próximo, o fator de maior influência na interação da radiação eletromagnética com a folha é a própria estrutura interna da folha, por exemplo, número de interfaces ar-água e tamanho das células e organelas (Sims e Gamon, 2002). Nesta região, a reflectância e a transmitância tendem a ser maiores do que a absorvância.

## 3. Material e métodos

### 3.1. Das espécies consideradas

Neste estudo foram utilizadas duas espécies de angiospermas: *Ligustrum* sp (Ligustro) e *Cassia macranthera* (Fedegoso). A **Figura 1** apresenta as folhas dessas duas espécies.



(a) *Ligustrum* sp



(b) *Cassia macranthera*

**Figura 1.** Folhas das espécies utilizadas: *Ligustrum*.sp (a) e *Cassia macranthera* (b).

As folhas do *Ligustrum* sp são mais espessas do que os folíolos da *C. macranthera*, além de apresentarem uma camada cerosa em sua superfície ventral também mais evidente, o que lhes confere um aspecto mais lustroso. Os folíolos da *C. macranthera* são mais rugosos e a distinção de brilho entre as duas faces não é tão evidente quanto nas folhas do *Ligustrum* sp.

### 3.2. Coleta e processamento dos dados radiométricos

Foram coletadas 30 folhas de cada espécie, retiradas aleatoriamente dos galhos, tomando-se apenas o cuidado de retirar folhas verdes saudias, em um mesmo estágio de desenvolvimento. Na seqüência, foram feitas medidas radiométricas em laboratório com o objetivo de determinar valores de reflectância e de transmitância direcional hemisférica da face ventral das folhas e dos folíolos.

Para a realização das medidas radiométricas foram utilizados o radiômetro Spectron SE 590, que atua na faixa espectral entre 368,4 a 1113,7 nm e realiza o registro da radiância refletida pelos alvos em 256 bandas espectrais, com resolução nominal de 2,6 nm. Foi utilizada também a esfera integradora LI 1800-12, que permitiu a determinação dos valores de fator de reflectância e de transmitância direcionais hemisféricas da face ventral das folhas (as quais serão referidas deste ponto em diante somente como reflectância e transmitância). O equipamento foi ligado a um microcomputador que utiliza o aplicativo ESPECTRO para processamento dos dados coletados.

A partir dos dados coletados pelo radiômetro, foram identificadas três bandas na região do visível – a saber, uma banda na região do azul (449,8 a 519,6 nm), uma banda na região do verde (522,4 a 599,7 nm) e uma na região do vermelho (629 a 690,7 nm) - e uma banda na região do infravermelho próximo (762 a 899,6 nm).

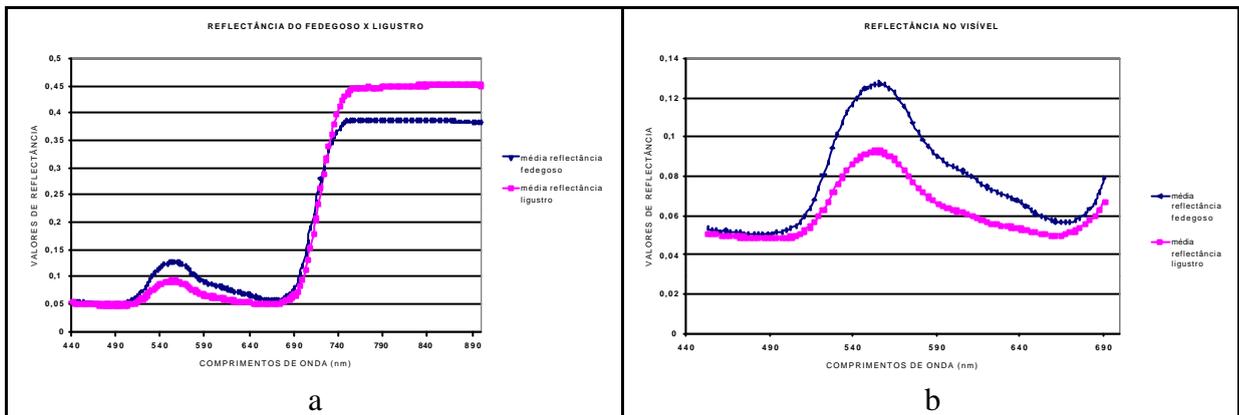
Foram determinadas as médias dos valores de reflectância e de transmitância por bandas e por folhas (repetição), para construção de gráficos e tabelas.

O número de folhas adotado (30 por espécie), está relacionado ao fato de que, para amostras de tamanho maior ou igual a 30, denominadas grandes amostras, as distribuições amostrais de muitas estatísticas tendem a ser aproximadamente normal, tornando-se a aproximação melhor com o crescimento amostral (Spiegel, 1993).

A estratégia de análise utilizada fundamentou-se na análise visual dos gráficos e na aplicação da análise de variância (ANOVA) aos dados de cada banda espectral com o objetivo de identificar diferenças significativas entre os valores de reflectância e de transmitância das duas espécies. Para a ANOVA foi utilizado um nível de significância de 5%.

#### 4. Resultados e discussão

Através da análise visual do gráfico de reflectância das duas espécies, é possível distinguí-las, ainda que as diferenças sejam muito discretas. Percebe-se que a *C. macranthera* tende a apresentar maior reflectância na região do visível do que o *Ligustrum* sp. O inverso torna-se válido para a região do infravermelho próximo (**Figura 2a**). Na **Figura 2b** são apresentadas as curvas de reflectância de ambas as espécies somente na região do visível.



**Figura 2.** Gráficos da reflectância de ambas as espécies do visível.

O comportamento espectral na região do visível está relacionado à presença de pigmentos fotossintetizantes (Sims e Gamon, 2002). Quanto maior a quantidade de pigmentos presentes em uma folha, maior a absorção de radiação nesta região. Observando-se os gráficos acima pode-se inferir que o *Ligustrum* sp deve possuir maior quantidade de pigmentos fotossintéticos do que a *C. macranthera* ou sua atividade fotossintética confere a essa espécie maior poder de absorção da radiação eletromagnética, quando comparado com a *C. macranthera*.

Devido à ação da clorofila, a curva apresenta duas bandas de absorção bem marcadas, próximas a 450 nm (região do azul) e a 650 nm (região do vermelho) (Guyot et al, 1989), e um pico de reflectância próximo a 540 nm (região do verde) (Swain e Davis, 1978). A reduzida absorção da vegetação nesta região espectral é responsável pela cor verde apresentada pela vegetação sadia (Novo, 1989).

Em aproximadamente 700 nm, na região espectral de transição entre o visível e o infravermelho próximo, ocorre um aumento significativo da reflectância apresentada pelas folhas. A vegetação, nesta região, se caracteriza por apresentar elevada reflectância (45 a 50%), elevada transmitância (45 a 50%) e reduzida absortância (inferior a 5%). A reflectância da vegetação é controlada pela estrutura interna da folha, ocorrendo múltiplas reflexões e refrações na radiação eletromagnética, associadas às descontinuidades entre os índices de refração do ar e das paredes celulares hidratadas (Moreira, 2000).

Na região do infravermelho próximo, o comportamento espectral está mais relacionado à estrutura interna das folhas (Kumar, 1974). Folhas que possuem mais lacunas entre as células, tendem a apresentar maior retroespalhamento e maior reflectância. Dessa forma, pode-se também inferir que o *Ligustrum* possui folhas com estrutura interna mais lacunosa do que do que o Fedegoso.

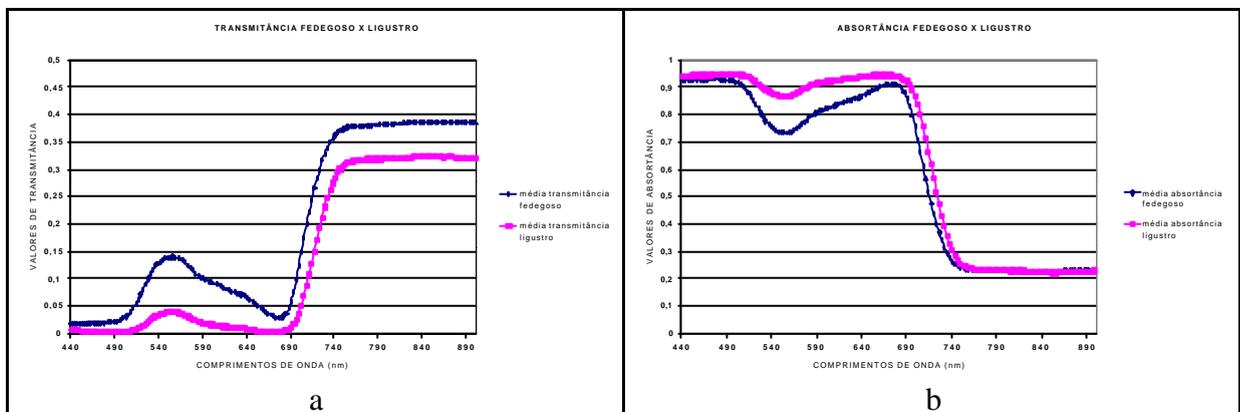
A **Tabela 1** apresenta os resultados da aplicação da ANOVA para os valores de reflectância das espécies.

**TABELA 1** – Resultados da ANOVA para valores de reflectância

Bandas Espectrais	Distribuição F	F Crítico	Significância (5%)
<b>Região do Azul (449,8 a 519,6 nm)</b>	70,8693	4,006864	S
<b>Região do Verde (522,4 a 599,7 nm)</b>	145,4838	4,006864	S
<b>Região do Vermelho (629 a 690,7 nm)</b>	81,59293	4,006864	S
<b>Região do Infra-vermelho Próximo (762 a 899,6 nm)</b>	186,4834	4,006864	S

Observa-se que em todas as bandas espectrais exploradas, os resultados indicaram diferenças significativas entre os valores de reflectância das folhas e folíolos, indicando que seria possível caracterizar espectralmente essas espécies, diferenciando-as uma da outra, mediante o emprego da reflectância como parâmetro radiométrico experimental.

A **Figura 3** apresenta os gráfico referente às curvas de transmitância e de absorptância das duas espécies em questão.



**Figura 3** - Gráficos de transmitância e de absorptância das duas espécies nas regiões do visível e do infravermelho próximo.

Analisando o gráfico da **Figura 3a**, percebe-se que, em comparação com os gráficos da reflectância apresentados na **Figura 2**, seria mais fácil distinguí-las mediante a utilização da transmitância, pois as diferenças são mais pronunciadas. Neste caso, a *C. macranthera* apresenta valores de transmitância maiores do que o *Ligustrum* em todas as regiões do espectro analisadas.

Considerando as diferenças na reflectância e na transmitância dessas duas espécies, é possível que a *C. macranthera* apresente menor quantidade de pigmentos fotossintéticos o que, na região do visível, faz com que haja menor absorptância de energia eletromagnética e, portanto, maior reflectância e transmitância do que o *Ligustrum*. A menor absorptância da *C. macranthera* pode ser observada na **Figura 3b**. Outra possível explicação pode ser

fundamentada nas diferenças morfológicas entre as folhas do *Ligustrum* e os folíolos da *C. macranthera*, sendo as primeiras muito mais espessas, caracterizando-se por uma maior opacidade. Na região do infravermelho, a hipótese seria de que a *C. macranthera* apresenta estrutura celular menos lacunosa do que o *Ligustrum*, o que causaria uma menor reflectância e maior transmitância. Essas hipóteses só poderiam ser realmente comprovadas através de testes bioquímicos e cortes histológicos das folhas e folíolos destas espécies.

A maior absorvância do *Ligustrum* na região espectral correspondente ao verde, o que pode estar relacionado à maior presença de clorofila do tipo *b* e carotenóides nesta espécie (Raven et al., 1996). Este argumento foi também comprovado por Gausman (1985) em seu trabalho no qual relata o fato de que, na região do visível (400 até 700 nm), a maior parte da radiação incidente é absorvida, sendo o mecanismo dominado pela presença de pigmentos na folha, principalmente pelas clorofilas *a* e *b*, carotenos e xantofilas. Ponzoni e Disperati (1995), concluíram que a absorção da energia radiante na região de 550 até 670 nm aumenta proporcionalmente com o incremento do conteúdo de clorofila.

Os resultados da aplicação da ANOVA para os valores de transmitância encontram-se apresentados na **Tabela 2**.

**TABELA 2** – Resultados da ANOVA para os dados de transmitância das duas espécies.

<b>Bandas Espectrais</b>	<b>Distribuição F</b>	<b>F Crítico</b>	<b>Significância (5%)</b>
<b>Região do Azul (449,8 a 519,6 nm)</b>	387,488	4,006864	S
<b>Região do Verde (522,4 a 599,7 nm)</b>	516,5439	4,006864	S
<b>Região do Vermelho (629 a 690,7 nm)</b>	426,5161	4,006864	S
<b>Região do Infra- vermelho Próximo (762 a 899,6 nm)</b>	122,1598	4,006864	S

## 5. Conclusões

A distinção das espécies foi mais evidente através da transmitância ao longo de toda a faixa espectral aqui considerada e para as condições experimentais adotadas.

Conclui-se que seria possível distinguir as espécies em função dos valores de reflectância somente, ainda que as diferenças sejam muito pequenas. Mas incluindo-se os valores de transmitância, a caracterização torna-se mais nítida e segura, tanto na região do visível quanto do infravermelho próximo, pela menor probabilidade de duas espécies diferentes coincidirem quanto às propriedades estudadas.

## 6. Referências bibliográficas

- Blackburn, G. A. Relationships between spectral reflectance and pigment concentrations in stacks of deciduous broadleaves. *Remote Sensing of Environment*, v.70, p. 224-237, 1999.
- Gausman, H.W. *Plant leaf optical properties in visible and near infrared light*. Graduate Studies. (Thesis)-Texas Tech University, 1985. 77p.
- 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- 21, 1988.
- Guyot, G.; Guyon, D.; Riom, J. Factor affecting the spectral response of forest canopies: a review. *Geocarto International*, v. 4, n. 3, p. 3-18, 1989.

- Jacquemoud, S.; Baret, F. PROSPECT: a model of leaf optical spectra. *Remote Sensing of Environment*, v.34, p. 75-91, 1990.
- Jensen, J. *Remote sensing of the environment*. X Prentice Hall, 2000. 544p.
- Joly, A. B. *Botânica: introdução à taxonomia vegetal*. São Paulo:Editora Nacional, 1993. 777p.
- Kumar, R. *Radiation from plants-reflection and emission: a review*. Lafayette. Purdue Research Foundation. (Research Project n:5543), 1974, 88p.
- Lorenzi, H. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. São Paulo: Ediatéra Plantarum, 1992, 368p.
- Moreira, R. C. *Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação*. (Thesis) – INPE, 2000. 7-38 p.
- Novo, E.M.L.M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 307p.
- Ponzoni, F. J.; Disperati, A. A. *Comportamento espectral da vegetação*. INPE, 1995. (INPE 5619 pud/065).
- Ponzoni, F. J.; Gonçalves, J. L. M. Spectral features associated with nitrogen, phosphorus, and potassium deficiencies in *Eucalyptus saligna* seedling leaves. *International Journal of Remote Sensing*, v. 20, n. 11, p. 2249-2264, 1999.
- Raven, P. H.; Evert, R. F.; Eichhorn, S. E. *Biologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728 p.
- Sims, D. A.; Gamon, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment*, v. 81, p. 337-354, 2002.
- Spiegel, M. R. *Estatística*. São Paulo: Makron Books, 1993. 643p.
- Swain, P.H.; Davis, S. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York: MC Graw-Hill, 1978, 395p.
- Tucker, C. J. Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote sensing of environment*, v. 10, p. 23-32, 1980.