

INFLUÊNCIA DO TEMPO APÓS A COLETA DE FOLHAS NA REFLECTÂNCIA E TRANSMITÂNCIA

IEDA DEL'ARCO SANCHES¹
LIANA OIGHENSTEIN ANDERSON¹
EDDY HOOVER MENDOZA ROJAS¹
CLEBER GONZALEZ DE OLIVEIRA¹

¹INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{ieda, liana, eddy, cleber}@ltid.inpe.br

Abstract. This paper analyses the possibility of changing detection of the species *Cassia* sp. and *Ligustrum* sp., by spectrum measures, from the moment that their leaves were extracted from the plant till 72 hours later. Leaves modifications such as lost of moisture, chlorophyll degradation and morphologic changes (due to senescence process) were detected. The transmittance was the most appropriate radiometric measurement to study the time influence in the leaves senescence process for the specie *Cassia* sp.; for the *Ligustrum* sp, all the three radiometric measurement (reflectance, transmittance and absortance) were appropriate.

Keywords: reflectance, transmittance, absortance, leaves, temporal.

1. Introdução

O sensoriamento remoto é uma ciência que utiliza diversas técnicas para o estudo da interação da energia eletromagnética com os alvos terrestres (Souza et al., 1996). Em estudos de vegetação a aplicação destas técnicas é de grande relevância, pois a partir dos dados gerados é possível se obter informações sobre a distribuição dos diferentes tipos de vegetação, estrutura do dossel, estado fenológico, condições de estresse, carência de nutrientes, entre outros.

A folha é o principal órgão absorvedor da radiação eletromagnética da vegetação. A medição dessa energia absorvida, como também da transmitida e refletida pelas folhas podem ser obtidas por sensores em laboratório, campo, aéreo transportados ou orbitais.

No nível de coleta de dados em laboratório comumente são consideradas as folhas, partes de plantas ou até alguns arranjos de plantas, dos quais são coletados dados radiométricos com o objetivo de caracterizar espectralmente fenômenos e/ou aspectos relacionados ao processo de interação entre a radiação electromagnética e a vegetação (Ponzoni, 2002).

A análise do comportamento espectral das folhas, que são os elementos da vegetação que mais contribuem para o sinal detectado por sensores (Colwell, 1974), é influenciada principalmente por sua morfologia interna (distribuição, quantidade de tecidos e espaços intercelulares), tipo e quantidade de pigmentos fotossintetizantes, característicos de cada espécie (Kumar, 1974).

Uma folha após ser extraída da planta mãe inicia o processo de senescência, caracterizado pela degradação dos constituintes celulares, perda de água e modificações da estrutura do mesófilo foliar. Estes fenômenos são visualizados principalmente através da mudança da cor e desidratação das folhas.

O objetivo deste trabalho foi analisar a possibilidade de se detectar, através de medidas espectrais, mudanças que ocorreram nas espécies *Cassia* sp. e *Ligustrum* sp, a partir do momento em que suas folhas foram coletadas até 72 horas depois.

2. Material e Métodos

2.1 Folhas Utilizadas

No experimento foram utilizadas 30 folhas de duas espécies arbóreas, *Cassia* sp. (fedegoso) pertencente à família Leguminosae e o *Ligustrum* sp., da família Olaceae (ligustro). As folhas do fedegoso, de aproximadamente 8 cm de comprimento e de textura coriácea, e as do ligustro, de 5 cm de comprimento e textura fina, foram coletadas no Campus do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela manhã (9:00h). Na coleta, foram escolhidas as folhas que ficavam na porção intermediária dos ramos, numa tentativa de homogeneizar as amostras quanto aos estágios de desenvolvimento.

2.2 Tratamentos

Foram considerados três diferentes momentos, M1 (0 horas), M2 (7 horas) e M3 (72 horas após a coleta das folhas). O primeiro correspondente às 9:00h do dia 19 de julho, imediatamente após a extração da planta mãe, o segundo, às 16:00h do mesmo dia, e o terceiro, às 9:00h do dia 22 de julho.

2.3 Medições Radiométricas

As medições radiométricas foram realizadas no Laboratório de Radiometria do INPE (LARAD), com a utilização de um espectroradiômetro SPECTRON SE-590 acoplado a uma esfera integradora LICOR 1800-12S, considerando um intervalo espectral compreendido entre 400 a 1100 nm com 10 nm de resolução espectral.

Primeiramente foram obtidas as medidas da radiância refletida da face ventral das folhas, em seguida foram tomadas as medidas da radiância transmitida através da mesma face. As folhas foram cuidadosamente posicionadas de forma que apenas o limbo foliar permanecesse no orifício da esfera, evitando pegar a nervura central das mesmas. Tal procedimento só não foi possível para a espécie fedegoso no último momento (M3), pois as folhas estavam muito desidratadas, com suas bordas enroladas para o centro. A partir das medidas de radiância obtidas e daquelas referentes a uma placa de referencia situada no interior da esfera, foram determinadas os fatores de reflectância direcional hemisférico e transmitância direcional hemisférica. Os procedimentos foram os mesmos para todos os momentos (M1, M2 e M3).

Devido a absorvância (α) não poder ser diretamente medida, esta foi deduzida após a determinação da transmitância (τ) e da reflectância (ρ) através da equação: $1 = \tau + \alpha + \rho$ (Steffen et al., 1996).

Um microcomputador acoplado ao espectralradiômetro armazenou as medidas radiométricas à medida que foram sendo obtidas. Com o uso do aplicativo ESPECTRO, desenvolvido pela equipe do LARAD, estas medidas foram calibradas e filtradas, gerando o fator de reflectância e transmitância direcional hemisférica. Para a análise dos resultados, os espectros foram separados em quatro bandas espectrais, azul (450 a 520 nm), verde (530 a 610 nm), vermelha (630 a 690 nm) e infravermelho próximo (780 a 900 nm).

2.4 Delineamento Estatístico

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo o tempo (após a extração das folhas), o único fator de variação.

A análise de variância (ANOVA) ao nível de significância de 5 %, foi aplicada separadamente para cada espécie e para cada uma das quatro bandas espectrais mencionadas, com o intuito de se identificar possíveis diferenças significativas na reflectância, transmitância e absorvância nos três tratamentos. Posteriormente, nas médias em que a ANOVA foi significativa (**Tabela 1**), o teste de Tukey foi aplicado ao nível de 5% de probabilidade, com o objetivo de se analisar os contrastes entre as médias (duas a duas) dos tratamentos e verificar quais médias foram significativamente diferentes.

3. Resultados e Discussão

3.1. Ligustro

No primeiro momento (M1) as folhas da espécie ligustro apresentaram coloração verde escura e brilhante (encerada) na face ventral, e na face dorsal coloração verde fosco, um pouco mais clara. No segundo momento (M2), as folhas não apresentaram nenhuma alteração visual em suas características. No terceiro momento (M3), as folhas perderam um pouco da intensidade da coloração verde em ambas faces, tornando-se amarronzadas, além da aparente degradação da camada de cera.

Para a região espectral do visível em M1 e M2 (**Figura 1**), não houve diferença significativa dos valores da reflectância nas bandas correspondentes ao azul, verde e vermelho, mostrando que este intervalo de tempo não foi suficiente para que as folhas demonstrassem algum tipo de alteração de brilho. No M3 houve um aumento dos valores da reflectância nos três bandas do visível, onde o pico acentuado na região do verde apresenta-se deslocado para o vermelho. Este aumento da reflectância e o deslocamento do pico devem-se à degradação dos pigmentos fotossintetizantes, principalmente a clorofila. Os resultados obtidos com o teste de Tukey para os valores de reflectância (**Tabela 2**) foram coerentes com a análise visual.

Na curva de transmitância observa-se um deslocamento do pico do verde em direção aos comprimentos de onda maiores do M1 para o M2, devido a degradação dos pigmentos fotossintetizantes. No M3 houve uma diminuição da transmitância (**Figura 2**). Estatisticamente

não houve diferença entre o M1 e o M2, mas sim entre estes e o M3 (**Tabela 3**). Esta queda da transmitância provavelmente ocorreu devido a degradação da cera, reduzindo a quantidade de luz que atravessa a folha.

As curvas de absorvância do M1 e M2 apresentaram o mesmo comportamento espectral (**Figura 3**). No entanto, observou-se a diminuição da absorção da radiação no M3, principalmente nas faixas do verde e do vermelho. Esta análise visual esta de acordo com os valores estatísticos apresentados na **Tabela 4** Com o gráfico da absorvância foi gerado a partir dos valores de reflectância e transmitância, a curva resultante é dependente dos valores medidos em laboratório.

Na região do infravermelho próximo, nos M1 e M2 não foram detectadas, visualmente nem estatisticamente, nenhuma mudança nas curvas de reflectância, transmitância e absorvância (**Figuras 1, 2 e 3 e Tabelas 2, 3 e 4**).

No M3 houve um incremento de reflectância e diminuição da transmitância, comprovados visualmente (**Figuras 1 e 2**) e estatisticamente (**Tabela 2 e 3**), devido a perda de umidade houve o descompactamento da estrutura do mesófilo ocorrendo um aumento do espalhamento interno.

Tabela 1. Resultados da ANOVA para o ligustro (reflectância, transmitância e absorvância).

F	Bandas espectrais			IVP
	azul	verde	vermelha	
F- Reflectância	363,36*	265,21*	319,27*	30,95*
F- Transmitância	65,21*	80,76*	40,54*	142,02*
F- Absorvância	213,90*	65,61*	199,01*	213,90*
F crítico (tabelado)	3,10	3,10	3,10	3,10

n.s. - F não significativo a 5% de probabilidade.

* - F significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 2 Resultados da aplicação do teste de Tukey (5% de probabilidade) para os valores de reflectância do ligustro.

Momentos	Bandas espectrais			IVP
	azul	verde	vermelha	
M1 (0 horas)	0,050404 a	0,078358 a	0,053408 a	0,450262 a
M2 (7 horas)	0,049972 a	0,079504 a	0,053345 a	0,450008 a
M3 (72 horas)	0,063506 b	0,123367 b	0,073713 b	0,488726 b

n.s. - teste de Tukey não significativo a 5% de probabilidade.

Letras iguais na mesma coluna - médias são iguais a 5% de probabilidade,

Letras diferentes na mesma coluna – médias diferentes a 5% de probabilidade.

Tabela 3 Resultados da aplicação do teste de Tukey (5% de probabilidade) para os valores de transmitância do ligustro.

Momentos	Bandas espectrais			IVP
	azul	verde	vermelha	
M1 (0 horas)	0,05053 a	0,028294 a	0,005864 a	0,321877 a
M2 (7 horas)	0,004811 a	0,025844 a	0,005451 a	0,317584 a
M3 (72 horas)	0,003056 b	0,013056 b	0,003279 b	0,253057 b

n.s. - teste de Tukey não significativo a 5% de probabilidade.

Letras iguais na mesma coluna - médias são iguais a 5% de probabilidade,

Letras diferentes na mesma coluna – médias diferentes a 5% de probabilidade.

Tabela 4 Resultados da aplicação do teste de Tukey (5% de probabilidade) para os valores de absorvância do ligustro.

Momentos	Bandas espectrais			
	azul	verde	vermelha	IVP
M1 (0 horas)	0,944543 a	0,893348 a	0,940727 a	0,944543 a
M2 (7 horas)	0,945216 a	0,894651 a	0,941203 a	0,945216 a
M3 (72 horas)	0,933438 b	0,863577 b	0,923008 b	0,933438 b

n.s. - teste de Tukey não significativo a 5% de probabilidade.

Letras iguais na mesma coluna - médias são iguais a 5% de probabilidade,

Letras diferentes na mesma coluna - médias diferentes a 5% de probabilidade.

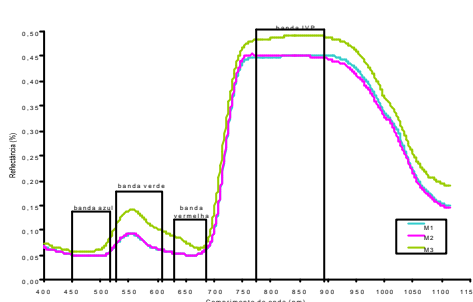


Figura 1. Reflectância do Ligustro.

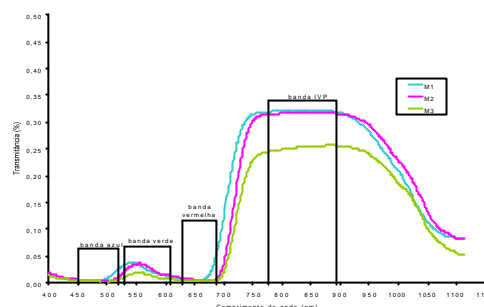


Figura 2. Transmitância do Ligustro.

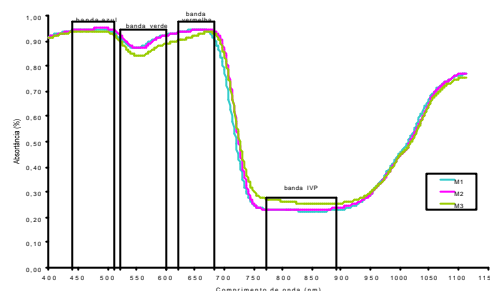


Figura 3. Absortância do Ligustro.

3.2. Fedegoso

No M1 as folhas apresentavam uma coloração verde média na face ventral e cor verde clara na face dorsal, assim como a presença de nervuras bastantes proeminentes. No M2 houve um aumento na intensidade da cor verde em ambas as faces, além da detecção de perda de umidade. No M3 a tonalidade verde escura das folhas se intensificou ainda mais, a forte desidratação fez com que as folhas perdessem suas formas originais.

A curva de reflectância na banda azul mostrou um discreto e crescente aumento do M1 para o M3 (Figura 4). Estatisticamente apenas o contraste entre as médias dos momentos M1 e M3 foram significativos, indicando que elas diferiram entre si (Tabela 6). O comportamento oposto foi observado na curva da transmitância (Figura 5), sendo que o teste de Tukey comprovou diferenças significativas entre o M3 em relação ao M1 e M2 (Tabela 7). Os valores da reflectância e da transmitância parecem estar se contrabalanceando nesta banda (um aumenta enquanto o outro diminui), não alterando os valores da absortância em todos os momentos (Figura 6). A ANOVA não foi significativa para essa banda (Tabela 5).

Na banda do verde, entre os comprimentos de onda de 520 a 560 nm, a reflectância aumentou do M1 para o M2, mas diminuiu do M2 para o M3. A partir de 560 nm a reflectância aumentou gradativamente do M1 para o M3, mostrando um deslocamento do pico de máxima reflectância para comprimentos de ondas mais altos. A análise de variância não foi significativa para os valores de reflectância nesta banda. O comportamento descrito acima, para o intervalo espectral de 520 a 560 nm, é atípico e provavelmente foi consequência da metodologia utilizada. As medições do M3 foram prejudicadas pelo fato de que as folhas estavam extremamente desidratadas e com as bordas enroladas, dificultando o posicionamento correto das folhas no orifício da esfera, o que pode ter influenciado nos resultados obtidos.

A transmitância e a absorptância apresentaram, na banda verde, um comportamento espectral esperado (**Figuras 5 e 6**). Do M1 para o M3 houve uma queda na porcentagem de transmitância, sendo que a queda acentuada do M2 para o M3 também pode ter sido influenciada pelas condições em que as medidas radiométricas foram obtidas no M3. Diferentemente dos dois primeiros momentos, no último não foi possível evitar que as nervuras centrais das folhas fossem colocadas no orifício da esfera integradora, visto que ao tentar desenrolar as folhas estas quebravam-se. Estatisticamente todas as médias de transmitância desta banda diferem entre si. A análise visual da **Figura 5** confere com os dados estatísticos da **Tabela 7**, mostrando um aumento da porcentagem de radiação absorvida pelas folhas do M1 e M2 para o M3.

Conforme pode ser visualizado na **Figura 4** a reflectância na banda do vermelho apresenta valores crescentes do M1 para o M3, no entanto, os dois primeiros momentos não diferem estatisticamente entre si. A transmitância (**Figura 5**) diminuiu do primeiro para o último momento, e o teste de Tukey mostrou-se significativo para os três períodos de medições. A absorção nesta banda manteve-se constante nos três momentos (**Figura 6**) e a ANOVA não foi significativa para esse grupo (**Tabela 5**), assim como na banda do azul, isto é resultado do aumento da reflectância e diminuição da transmitância.

Na banda do IVP, como ilustra a **Figura 4**, a reflectância aumentou do M1 para M2, e deste para o M3, mas as médias dos dois últimos momentos não diferem estatisticamente entre si. Pelo fato da reflectância não ter sido alterada do M2 para M3 (do ponto de vista estatístico) infere-se que o período de sete horas (intervalo de tempo entre as medições destes dois momentos) não foi suficiente para que ocorressem as transformações percebidas na região do IVP.

Apesar de visualmente distintos, o M1 e o M2 nas curvas de transmitância e absorptância (**Figuras 5 e 6**) são estatisticamente iguais. A transmitância no M3 foi bastante reduzida em relação aos demais momentos, provavelmente devido ao maior espalhamento interno resultando no aumento da energia eletromagnética incidente. A absorptância teve um ligeiro aumento no M3.

Tabela 5. Resultados da ANOVA para o fedegoso (reflectância, transmitância e absorptância).

F	Bandas espectrais			
	azul	verde	vermelha	IVP
F- Reflectância	3,90*	2,45 ^{n.s.}	11,62*	12,56*
F- Transmitância	8,27 *	135,85 *	27,75*	122,51*
F- Absortância	2,07 ^{n.s.}	50,37*	0,46 ^{n.s.}	34,40*
F crítico (tabelado)	3,10	3,10	3,10	3,10

^{n.s.} - F não significativo a 5% de probabilidade.

* - F significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 6 Resultados da aplicação do teste de Tukey (5% de probabilidade) para os valores de reflectância do fedegoso.

Momentos	Bandas espectrais			
	azul	verde	vermelha	IVP
M1 (0 horas)	0,054394 a	0,106987 ^{n.s.}	0,062227 a	0,385374 a
M2 (7 horas)	0,058432 ab	0,118371 ^{n.s.}	0,068523 a	0,406437 b
M3 (72 horas)	0,061255 b	0,114299 ^{n.s.}	0,082586 b	0,419523 b

n.s. - teste de Tukey não significativo a 5% de probabilidade.

Letras iguais na mesma coluna - médias são iguais a 5% de probabilidade,

Letras diferentes na mesma coluna - médias diferentes a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Resultados da aplicação do teste de Tukey (5% de probabilidade) para os valores de transmitância do fedegoso.

Momentos	Bandas espectrais			
	azul	verde	vermelha	IVP
M1 (0 horas)	0,027859 a	0,118535 a	0,046576 a	0,384901 a
M2 (7 horas)	0,022461 a	0,098476 b	0,037521 b	0,375332 a
M3 (72 horas)	0,014050 b	0,037299 c	0,021054 c	0,279974 b

n.s. - teste de Tukey não significativo a 5% de probabilidade.

Letras iguais na mesma coluna - médias são iguais a 5% de probabilidade,

Letras diferentes na mesma coluna - médias diferentes a 5% de probabilidade.

Tabela 8 Resultados da aplicação do teste de Tukey (5% de probabilidade) para os valores de absortância do fedegoso.

Momentos	Bandas espectrais			
	azul	verde	vermelha	IVP
M1 (0 horas)	0,917747 ^{n.s.}	0,774478 a	0,891197 ^{n.s.}	0,229724 a
M2 (7 horas)	0,919107 ^{n.s.}	0,783152 a	0,893955 ^{n.s.}	0,218230 a
M3 (72 horas)	0,925215 ^{n.s.}	0,848402 b	0,896360 ^{n.s.}	0,300503 b

n.s. - teste de Tukey não significativo a 5% de probabilidade.

Letras iguais na mesma coluna - médias são iguais a 5% de probabilidade,

Letras diferentes na mesma coluna - médias diferentes a 5% de probabilidade.

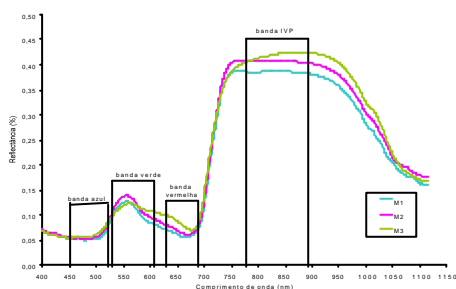


Figura 8. Reflectância de Fedegoso.

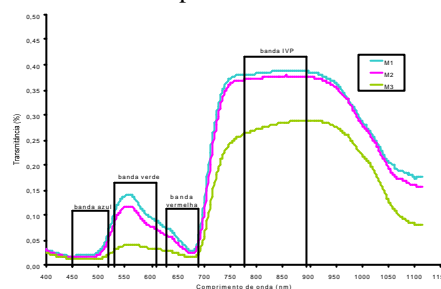


Figura 9. Transmitância de Fedegoso.

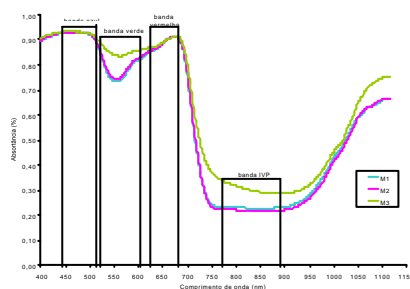


Figura 10. Absortância de Fedegoso.

4. Conclusões

O presente estudo demonstrou que é possível detectar alterações nas folhas, como a perda de umidade, degradação da clorofila e mudanças morfológicas (causadas pelo processo de senescência), através de medidas espectrais realizadas em três momentos após serem extraídas da planta mãe.

O processo de degradação do ligustro (*Ligustrum* sp.) pôde ser bem caracterizado a partir das três medidas radiométricas estudadas. Portanto, é viável o uso de medidas de reflectância, transmitância e absortância para o estudo da influência do tempo no processo de senescência das folhas.

Para a espécie fedegoso (*Cassia* sp.) a transmitância mostrou ser a medida radiométrica mais adequada para se alcançar o objetivo proposto, pois foram detectadas mudanças entre todos os intervalos de tempo medidos. Os valores obtidos da reflectância foram comprometidos devido ao rápido processo de senescência que esta espécie apresentou.

É recomendável que estudos desta natureza continuem sendo realizados por ainda serem pouco explorados, enfatizando a comparação entre as medidas de reflectância, transmitância e absortância.

5. Referencias Bibliográficas

Collwell, J.E. Vegetation canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, v.3, n.3, p. 175-183, 1974.

Kumar, R. *Radiation from plants-reflection and emission: a review*. Lafayette. Purdue Research Foundation. (Research Project n:5543), 1974, 88p.

Ponzoni, F.J. *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica*. V Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos. Cap. 8, INPE, 22-26 de julho de 2002.

Souza, C.L.; Ribeiro, M.C.; Ponzoni, F.J. Influência do tempo e do tipo de armazenamento na reflectância espectral de folhas de *Eucalyptus grandis* "ex-situ". *Revista Árvore*, v.20, n.2, p 255-265, 1996.

Steffen, C.A.; Moraes, E.C.; Gama, F.F. Radiometria óptica espectral. *Tutorial do VIII simpósio brasileiro de sensoriamento remoto*. INPE, São José dos Campos, 1996