

Características espectrais de folhas retiradas de cinco espécies vegetais na região do visível e do infravermelho próximo

Luana Dessbesell¹
Rudiney Soares Pereira¹
Adriana Falcão Dutra¹
Daniele Guarienti Rorato¹

{luana.dessbesell, adriflorestal, rudiney.s.pereira }@gmail.com
dannirorato@hotmail.com

Abstract. The Remote Sensing has tools to assist the analysis of vegetation, because it interacts with electromagnetic energy thus enabling its spectral characterization. This study evaluates spectral differences of five different species through the mean values of leaf reflectance in the visible and near infrared, in order to know the change in reflectance between species: *Camellia japonica* L., *Inga marginata* Willd.; *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) *Bauhinia forficata* Link.; *Bougainvillea glabra* and infer the best interval to differentiate them. There were two separate spectral regions: the visible region (450 to 690 nm) and near infrared (760 to 900 nm). The data were analyzed visually and statistically on software R with the following tests: Test of variance, test for Normality of the observations, analysis of variance and Tukey test applied to the visible and near infrared. It can be concluded that for the species: *Bougainvillea glabra* and *Inga marginata* Willd.; *Camellia japonica* L. and *Inga marginata* Willd.; *Bougainvillea glabra* and *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) *Camellia japonica* L. and *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) *Bougainvillea glabra* and *Bauhinia forficata* Link.; *Camellia japonica* L. and *Bauhinia forficata* Link.; *Bauhinia forficata* Link. and *Inga marginata* Willd.; *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) *Inga marginata* Willd., respectively, the analysis in the near infrared region are more efficient, allowing a better contrast, already has a visible differentiation more effectively to the couples *Bauhinia forficata* Link. and *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) *Bougainvillea glabra* and *Camellia japonica* L.

Palavras chave: spectroradiometric, reflectance, remote sensing, espectroradiometria, reflectância, sensoriamento remoto.

1. Introdução

O Sensoriamento Remoto aborda, através de suas técnicas, a caracterização espectral da cobertura vegetal de dosséis e/ou folhas isoladas, considerando fatores morfológicos e fisiológicos, que interferem na radiação eletromagnética, definindo os intervalos espectrais.

A energia eletromagnética (REM) é o meio através do qual os dados dos objetos são transmitidos ao sensor, transformando-se por meio de sua frequência, intensidade e polarização, em informações (Rocha, 2000).

Segundo Sanches et al. (2003), a folha é a principal estrutura capaz de absorver radiação eletromagnética da vegetação. A quantificação da energia absorvida, transmitida e refletida pelas folhas, podem ser obtidas por sensores em laboratório, campo, aéreo transportados ou orbitais, sob condições controladas, resultando em valores de reflectância em cada comprimento de onda.

Na folha a energia eletromagnética interage com os pigmentos, água e espaços internos das células. A energia refletida da superfície da folha é igual à energia incidente menos a energia absorvida diretamente para a fotossíntese e a quantidade de energia transmitida diretamente através da folha (Jensen, 2009)

No processo de interação entre a radiação eletromagnética e uma folha existe dependência entre fatores químicos e estruturais. Esse processo pode ser analisado sob os pontos de vista da absorção, da transmissão e da reflexão da radiação. A análise conjunta desses três fenômenos compõe o estudo do comportamento espectral da

vegetação, que envolve principalmente o estudo dos fatores influentes na reflexão da radiação por folhas isoladas e por dosséis vegetais (Ponzoni E Shimabukuro, 2007).

O conhecimento da interação entre vegetação e o meio que à cerca tem grande importância para o entendimento dos fenômenos naturais. A partir de dados obtidos com a utilização de ferramentas do sensoriamento remoto é possível obter diversas informações referentes à forma que a vegetação processa a radiação eletromagnética e de como se dá a distribuição dos diferentes tipos de vegetação, o estado fenológico, estrutura do dossel, carência de nutrientes, condições de estresse, entre outros.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar diferenças espectrais, por meio da análise foliar de cinco diferentes espécies vegetais, através das médias dos valores de reflectância na região do visível e infravermelho próximo, visando o conhecimento da variação natural de reflectância entre as espécies e possibilitando inferir sobre qual o melhor intervalo para diferenciá-las.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Coleta do material e análise dos dados

Para a realização do trabalho, foram coletadas aleatoriamente, 10 amostras de folhas verdes de cinco espécies vegetais, procedentes do Campus da Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, localizado entre as coordenadas 53°43'05"W, 29°43'05"S e 53°43'00"W, 29°43'10"S. Posteriormente, o material foi devidamente condicionado e transportado ao Laboratório de Sensoriamento Remoto, CCR, UFSM, onde foram efetuadas as medições radiométricas da face dorsal das folhas, utilizando o Espectrorradiômetro FieldSpec 3.

As espécies coletadas foram *Camellia japônica* L.; *Inga marginata* Willd.; *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.); *Bauhinia forficata* Link.; *Bougainvillea glabra*. Um microcomputador acoplado ao espectrorradiômetro armazenou as medidas de reflectância à medida que foram sendo obtidas. Os dados originais foram convertidos para o programa Excel, para posterior processamento no software R.

Para a análise dos resultados foi feita em duas regiões espectrais, a região do visível (450 a 690 nm) e a região do infravermelho próximo (760 a 900 nm).

2.2. Análise Estatística

Após a organização dos dados em planilha, foi determinada a reflectância média para cada uma das espécies analisadas, obtida pela média aritmética do conjunto de cinco leituras. Foram elaborados gráficos com duas faixas, sendo o comprimento de onda (x) e fator de reflectância (y) para as cinco espécies. Para verificar se as reflectâncias médias eram estatisticamente diferentes entre espécies, aplicou-se a análise de variância, teste de normalidade e teste de Tukey para comparações de múltiplas médias, utilizando-se o aplicativo "R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics", versão 2.8.0, 2008. No software R foi desenvolvida a seguinte metodologia:

1. Teste de Variância: Verificar a maior e menor variância. Deve-se testar se a variância maior é significativamente diferente da variância menor. Se não for o caso, então pode-se concluir que nenhuma das variâncias é significativamente diferente das outras. Alternativamente foi usado o teste de Bartlett para testar as homogeneidades das variâncias.

2. Teste de Normalidade das observações (reflectâncias): Aplicou-se o teste de Shapiro-Wilksons para verificar a normalidade das observações nos diferentes tratamentos (medida de reflectância das folhas das 4 espécies). Aceita-se a normalidade das observações se $W > p\text{-value}$ ($W > p$ valor tab).

3. Análise de variância (ANOVA) para verificar diferenças em reflectâncias médias (variável reflectância) entre as diferentes espécies. Foi realizada a análise de variância para as médias de cada banda espectral, com o objetivo de identificar a existência de diferenças significativas entre as reflectâncias de cada espécie, para cada banda.

4. Na ocorrência de um F calculado significativo ao nível de probabilidade determinado, aplicou-se o teste de Tukey, que analisa entre quais pares de espécies ocorreram diferenças significativas na reflectância em cada banda e entre quais pares de diferenças foram maiores. Utilizou-se o teste de Tukey HSD, variante do teste de Tukey, que sequênciava as médias por ordem de importância ou influência sobre o resultado da variância, onde as diferenças significativas serão aquelas cujo valor do “*lwr*” for positivo ou cujo valor do “*p adj*” for menor que 0,05.

3. Resultados e Discussão

As Figuras 1 e 2 apresentam as 5 curvas, das espécies estudadas, definidas nos comprimentos de onda do visível (Figura 1) e infravermelho próximo (Figura 2), assim é possível observar o comportamento espectral das espécies em cada faixa.

Na Figura 1 observa-se que no intervalo 450nm a 500nm houve o cruzamento entre as curvas das 5 espécies, as curvas do *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) (ipê-amarelo) e *Inga marginata* Willd (ingá) se cruzam e se confundem-se em todo o intervalo. As espécies *Camellia japônica* L. (camélia), *Bauhinia forficata* Link. (pata-de-vaca) e *Bougainvillea glabra* (três-marias) têm maior contraste no intervalo de 510nm a 660nm, sendo que a *Camellia japônica* L. (camélia) e o *Inga marginata* Willd (ingá) apresentaram os maiores contrastes, respectivamente. De modo geral as curvas apresentaram elevada variação na resposta espectral.

Pode-se observar visualmente na Figura 2 que todas as curvas das espécies estudadas apresentaram pouca variação da resposta espectral. A *Camellia japônica* L. (camélia) e a *Bougainvillea glabra* (Três-marias) apresentam pouco contraste, as demais espécies apresentam uma boa diferenciação, sendo o maior contraste, em relação aos demais, observado para a *Bauhinia forficata* Link. (pata-de-vaca).

Como a análise visual depende da escala dos eixos e da interpretação do pesquisador, a análise estatística faz-se necessária, pois ela define se ocorrem ou não diferenças significativas de reflectância entre as cinco espécies em cada na região do visível e do infravermelho próximo.

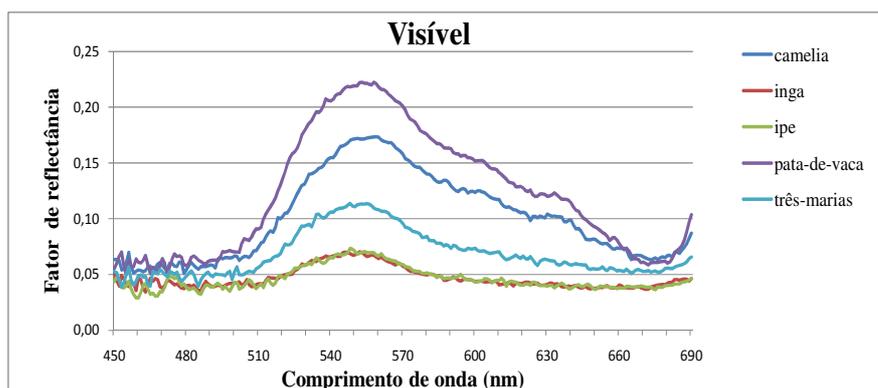


Figura 1: Curvas espectrais da reflectância média para amostras de folhas das cinco espécies na região do visível (450 – 690 nm).

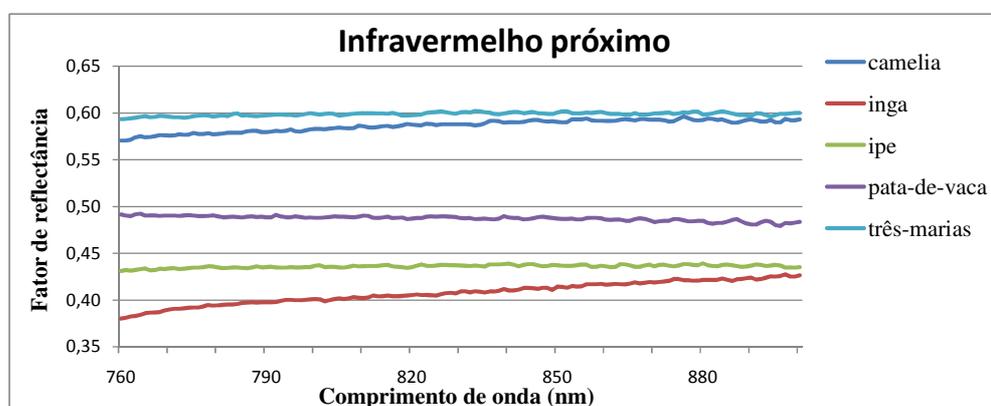


Figura 2: Curvas espectrais da reflectância média para amostras de folhas das cinco espécies na região do infravermelho próximo (760 – 900 nm).

Nas análises estatísticas do fator de reflectância para o visível (450 a 690 nm) observou-se que:

- Teste de variância: Pelo teste de Bartlett conclui-se que não há diferença significativa entre as variâncias, portanto as variâncias são homogêneas.
- Teste de normalidade: O teste de Shapiro-Wilksons para as quatro espécies apresentou um $W > p$ -value, pelo qual, não se rejeita a normalidade das observações.
- Análise de variância:

Tabela 1: ANOVA para sps.visível (espécies no visível).

CV	GL	SQ	QM	P valor cal.	P valor tab.
sps.visível	4	1.0914	0.27285	267.56	< 2.2e-16 ***
Erro	120	1.2237	267.56		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

A ANOVA apresentada na Tabela 1 demonstra que as diferenças entre as reflectâncias médias nas cinco espécies são significativas, em no mínimo um par de médias, para a os comprimentos de onda do visível.

- Tukey HSD:

Tabela 2: Teste Tukey HSD no visível. (1=Camélia, 2=Ingá, 3=Ipê, 4=Pata-de-vaca e 5=Três-marias).

Pares	<i>diff</i> (diferença)	<i>lwr</i> (limite inferior)	<i>upr</i> (limite superior)	<i>p adj</i>
2-3	0.0004589913	-0.007488503	0.008406485	0.999861
5-3	0.0222834313	0.014335937	0.030230925	0
1-3	0.0547519369	0.046804443	0.062699431	0
4-3	0.0756701178	0.067722624	0.083617612	0
5-2	0.0218244399	0.013876946	0.029771934	0
1-2	0.0542929455	0.046345452	0.062240439	0
4-2	0.0752111264	0.067263633	0.083158620	0
1-5	0.0752111264	0.024521012	0.040415999	0
4-5	0.0533866865	0.045439193	0.061334180	0
4-1	0.0209181809	0.012970687	0.028865675	0

Na análise do teste de Tukey constatou-se maior diferença no par 4-3 *Bauhinia forficata* Link. e *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) (Pata-de-vaca e Ipê). Os pares 4-2 *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) e *Camellia japônica* L. (Ipê e Camélia) e 1-5 *Camellia japônica* L. e *Bougainvillea glabra* (Camélia e Três-marias) apresentaram o mesmo valor de diff (diferença nas médias observadas) e elevado contraste. Observa-se que a maioria dos os pares teve valores de reflectância médios estatisticamente diferentes, excetuando o par 2-3 *Inga marginata* Willd e *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) (Ingá e Ipê). O par 5-2 *Bougainvillea glabra* e *Inga marginata* Willd (Três-marias e Ingá) teve menor contraste.

Na análise do fator de reflectância para o infravermelho próximo (760 - 900 μm) constatou-se o seguinte:

- Teste de variância: Pelo teste de Bartlett conclui-se que não há diferença significativa entre as variâncias, portanto as variâncias são homogêneas.

- Teste de normalidade: O teste de Shapiro-Wilksons para as quatro espécies apresentou um $W > p\text{-value}$, pelo qual, não se rejeita a normalidade das observações.

- Análise de variância:

Tabela 3: ANOVA para sps,infprox (espécies no infravermelho próximo).

CV	GL	SQ	QM	P valor cal.	P valor tab.
sps.infprox	4	4.2265	1.05664	27655	< 2.2e-16 ***
Erro	700	0.0267	0.00004		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tabela 1 mostra que as diferenças entre as médias são significativas. Pode-se concluir que há diferenças entre as reflectâncias médias nas quatro espécies, em no mínimo um par de médias, para a banda analisada.

- Tukey HSD:

Tabela 4: Teste Tukey HSD no infravermelho próximo. (1=Camélia, 2=Ingá, 3=Ipê, 4=Pata-de vaca e 5= Três-marias).

Pares	<i>diff</i> (diferença)	<i>lwr</i> (limite inferior)	<i>upr</i> (limite superior)	<i>p adj</i>
3-2	0.02841229	0.02639893	0.03042566	0
4-2	0.07971908	0.07770571	0.08173244	0
1-2	0.17887280	0.17685944	0.18088617	0
5-2	0.19117911	0.18916575	0.19319247	0
4-3	0.05130679	0.04929342	0.05332015	0
1-3	0.15046051	0.14844715	0.15247387	0
5-3	0.16276682	0.16075345	0.16478018	0
1-4	0.09915372	0.09714036	0.10116709	0
5-4	0.11146003	0.10944667	0.11347340	0
5-1	0.01230631	0.01029294	0.01431967	0

Através do teste da aplicação do teste de Tukey para os comprimentos de onda do Infravermelho próximo constatou-se uma maior diferença nos pares 5-2 *Bougainvillea glabra* e *Inga marginata* Willd (Três-marias e Ingá) seguida dos pares 2-1 *Inga marginata* Willd e *Camellia japônica* L. (Ingá e Camélia) e 5-3 *Bougainvillea glabra* e *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) (Três-marias e Ipê). Os menores contrastes foram obtidos para os pares 1-5 *Camellia japônica* L. e *Bougainvillea glabra* (Camélia e Três-marias) e 3-2 *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) e *Inga marginata* Willd (Ipê e Ingá) respectivamente.

4. Conclusão

O uso dos comprimentos de onda do visível e do infravermelho próximo foi eficiente na investigação introdutória do comportamento espectral de folhas para as espécies estudadas.

As análises estatísticas confirmam as visuais e demonstram com maior precisão as diferenças de maior significância. Pode-se constatar que nos comprimentos de onda do Infravermelho próximo (760-900nm) houve uma melhor diferenciação para a maioria das espécies.

Para os pares de espécies 5-2 *Bougainvillea glabra* e *Inga marginata* Willd (Três-marias e Ingá), 1-2 *Camellia japônica* L e *Inga marginata* Willd (Camélia e Ingá), 5-3 *Bougainvillea glabra* e *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) (Três-marias e Ipê), 1-3 *Camellia japônica* L e *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) (Camélia e Ipê), 5-4 *Bougainvillea glabra* e *Bauhinia forficata* Link. (Três-marias e Pata-de-vaca), 1-4 *Camellia japônica* L e *Bauhinia forficata* Link. (Camélia e Pata-de-vaca), 4-2 *Bauhinia forficata* Link. e *Inga marginata* Willd (Pata-de-vaca e Ingá), 3-2 *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) e *Inga marginata* Willd (Ipê e Ingá), respectivamente, a análise na região do Infravermelho próximo é mais eficiente, permitindo um melhor contraste.

O Visível apresenta uma diferenciação mais eficaz para os pares 4-3 *Bauhinia forficata* Link. e *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) (Pata-de-vaca e Ipê), 5-1 *Bougainvillea glabra* e *Camellia japônica* L (Três-marias e Camélia)

Referencias Bibliográficas

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução José Carlos Neves Epiphânio (coordenador)... [et al.]. – São José dos Campos, SP: Parêntese. 2009, 598p.

Rocha, C.H.B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000. 220p.

Sanches, I.D'A. Anderson, L.O.; Rojas, E.H.M.; Oliveira, C.G. Influência do tempo após a coleta de folhas na reflectância e transmitância. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 2605-2612. Disponível em: <http://mar.te.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/10.18.15.17/doc/18_019.pdf> Acesso em: 20 agosto 2010.

Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E. (2007) Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São Jose dos Campos, SP. Editora: Parêntese. 127p.