

## Caracterização espectral de folhas extraídas de quatro diferentes espécies arbóreas nas bandas VNIR do sensor ASTER

Elias Fernando Berra <sup>1</sup>  
Laura Camila Göergen <sup>1</sup>  
Ana Caroline Paim Benedetti <sup>2</sup>  
Catize Brandelero <sup>2</sup>  
Kátia Simone Backes <sup>2</sup>  
Rudiney Soares Pereira <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduação em Engenharia Florestal – UFSM  
97105-900 – Santa Maria – RS, Brasil  
{eliasberra, lauragoergen}@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – PPGEF/UFSM  
97105-900 – Santa Maria – RS, Brasil  
{ac\_benedetti, catizebrandelero, katiasimoneb}@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Rural – DER/UFSM  
97105-900 – Santa Maria – RS, Brasil  
rudiney@smail.ufsm.br

**Abstract.** The study of the electromagnetic interaction with the vegetation becomes possible to obtain information on the distribution of the different types of vegetation, condition of stress, among others. This work has for objective to evaluate the differences among reflectance of leaves of four different species - *Prunus* sp., *Butia* sp., *Cedrela fissilis* and *Platanus x accerifolia* – in the VNIR band of the ASTER sensor (b1= 0.52-0.60  $\mu\text{m}$ ; b2=0.63-0.69  $\mu\text{m}$ ; b3=0.76-0.86  $\mu\text{m}$ ), and to infer which band would be most adequate for to distinguish such species. The graphical evaluation of the reflectance in function of each band is important for a first interpretation of what band the visual contrasts are bigger, but is the statistic analysis that values the differences. Such analysis was made in software R in the followings steps: test of variance, test of normality, analysis of variance and Tukey-HSD test. The Tukey-HSD test for the b1 and b2 points that all the species are significantly different between itself and the biggest difference of reflectance was between the *Butia* sp. and *Prunus* sp. and the lesser difference was between *P. x accerifolia* and *C. fissilis*. In the b3 the difference between *Butia* sp. and *C. fissilis* was not significant. Thus, the band 1 of the ASTER sensor was the one that better adjusted itself to differentiate spectrally the four species. In band 2 there is difference among the four species, however, they are less significant, and the band 3 would not be adequate to differentiate the four species.

**Palavras-chave:** remote sensing, radiometry, reflectance, difference between species, sensoriamento remoto, radiometria, reflectância, diferença entre espécies.

## 1. Introdução

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a ciência e a arte de se obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno, por meio da análise de dados adquiridos por um sistema que não está em contato com este objeto, área ou fenômeno sob investigação (Lillesand e Kiefer, 1994).

Diferentes materiais, como a vegetação, água e solo exposto refletem proporções diferentes de energia nas regiões do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo. Pode-se plotar a quantidade de energia refletida para cada um desses materiais em comprimentos de onda específicos e criar uma curva de reflectância espectral, também chamada de assinatura espectral. As curvas de reflectância espectral para um material selecionado são função das tonalidades de cinza em que o objeto aparece em cada banda. A graduação de cinza é função da quantidade de energia refletida para a cena dentro de um intervalo de comprimento de onda específico (Jensen, 2000).

Em estudos de vegetação a aplicação de técnicas que estudam a interação da energia eletromagnética com os alvos é de grande relevância, pois a partir dos dados gerados é possível obter informações sobre a distribuição dos diferentes tipos de vegetação, estrutura do dossel, estado fenológico, condições de estresse, carência de nutrientes, entre outros.

Para a vegetação, a folha é o principal órgão absorvedor da radiação eletromagnética e a medição da energia absorvida, transmitida e/ou refletida pelas folhas pode ser obtida por sensores em laboratório, campo, aéreo transportados ou orbitais.

Atualmente poucos dados sistemáticos sobre assinaturas espectrais estão disponíveis. A falta de informação tem causado problemas na modelagem da reflectância de florestas e árvores individuais, bem como na interpretação de dados de reflectância espectral (Kuusky et al., 2004).

Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar diferenças entre reflectância de folhas extraídas de quatro diferentes espécies arbóreas, nas bandas VNIR (visible-near infrared) do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), e relatar em qual banda se obtém a melhor distinção espectral entre as espécies.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Coleta das folhas

Foram identificadas quatro espécies arbóreas que apresentavam folhas com dimensões compatíveis (largura da folha maior ou igual à 1,5 cm) com aquelas referentes ao instrumento (esfera integradora) utilizado nas medições radiométricas, e cujos indivíduos localizavam-se no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Dez folhas de cada espécie foram extraídas da porção média dos caules, com o intuito de minimizar possíveis diferenças entre suas idades. As espécies selecionadas foram: ameixeira (*Prunus* sp.), butiá (*Butia* sp.), cedro (*Cedrela fissilis*) e plátano (*Platanus x accerifolia*). A coleta das folhas foi realizada no dia 30 de setembro de 2008, por volta das 13:30h.

### 2.2 Medições radiométricas

As medições radiométricas foram realizadas no laboratório NDIGe (Núcleo de Desenvolvimento de Informações e Geotecnologias) da UFSM, com a utilização de um espectrorradiômetro FieldSpec®3 conectado a unidade RTS-3ZC (esfera integradora).

As leituras de radiância refletida foram feitas diretamente e as informações constituíram um arquivo contendo comprimento de onda na amplitude de 350nm a 2500nm e reflectância correspondente para cada comprimento de onda.

Um microcomputador acoplado ao espectrorradiômetro armazenou as medidas radiométricas à medida que foram sendo obtidas. Os dados originais foram convertidos para o

formato texto através do software ASD ViewSpecPro Versão 4.05, para posterior processamento no *software R*.

### 2.3 Delineamento estatístico

Foram determinadas as reflectâncias médias para cada espécie, geradas pela média aritmética das leituras de dez folhas. Segmentou-se as bandas de comprimento de onda do espectro eletromagnético capturadas de acordo com as bandas do VNIR do sensor ASTER, as quais seguem;

- VNIR; *Band 1*(b1): 0.52-0.60  $\mu\text{m}$ , *Band 2*(b2): 0.63-0.69  $\mu\text{m}$ , *Band 3*(b3): 0.76-0.86  $\mu\text{m}$ ;

Nestas três faixas plotou-se os gráficos do comprimento de onda x fator de reflectância para as quatro espécies. Para verificar se as médias de reflectância são estatisticamente diferentes entre espécies partiu-se para a aplicação das técnicas de análise estatística através do *software R*.

No *software R* foi adotada a seguinte sequência:

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 quatro 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. A tabela ANOVA gerada indica a significância das diferenças entre as médias.

4. Análise para verificar entre quais pares de espécies ocorrem diferenças significativas na reflectância em cada banda e entre quais pares as diferenças são maiores. Para tal, utilizou-se o teste de Tukey HSD, onde as diferenças significativas serão aquelas cujo "*lwr*" for positivo.

Enfim, os dados receberam os seguintes tratamentos: Teste de variância, Teste de Normalidade das observações, Análise de variância (ANOVA) e Teste Tukey HSD.

### 3. Resultados e Discussão

As Figura 1, Figura 2 e Figura 3 ilustram as quatro curvas espectrais referentes as espécies estudadas dentro da faixa espectral da banda 1, banda 2 e banda 3 do sensor ASTER plotadas em um mesmo eixo, onde pôde-se observar o comportamento espectral das espécies em cada faixa.

A análise visual da reflectância na banda 1 da Figura 1, mostra que as quatro espécies têm fatores de reflectância diferentes, porém o contraste maior é entre o butiá e a ameixeira, já os contrastes entre o platanus e cedro são mínimos, porém perceptíveis.

Na banda 2 da Figura 2, o butiá e a ameixeira apresentam, também, os maiores contrastes e a diferença entre platanus e cedro é ainda mais difícil de ser notada que na banda 1. Ainda na banda 2, o butiá apresenta contraste marcante para as demais espécies, as quais graficam curvas bem próximas entre si.

Na banda 3 da Figura 3, a ameixeira e o butiá que antes apresentavam os maiores contrastes, agora têm suas curvas próximas apresentando baixo contraste, porém ambas apresentam contraste notório para o cedro e para o platanus. O cedro e platanus apresentam curvas que se cruzam e se sobrepõem.

Como a análise visual depende de fatores como escala e decisão do interprete, parte-se para as técnicas de análise estatística dos dados para inferir com maior precisão onde as diferenças são maiores nas três bandas espectrais analisadas.

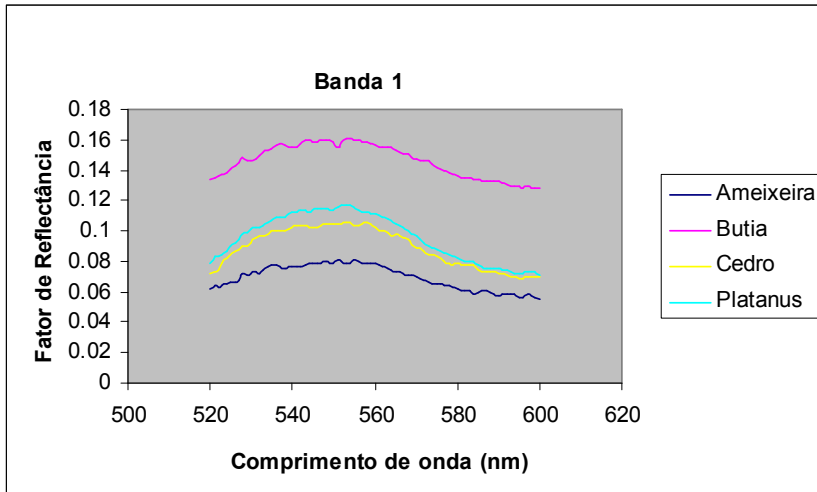


Figura 1: Curvas espectrais dos valores médios do fator de reflectância das amostras de folhas das quatro espécies na banda 1 do VNIR do sensor ASTER.

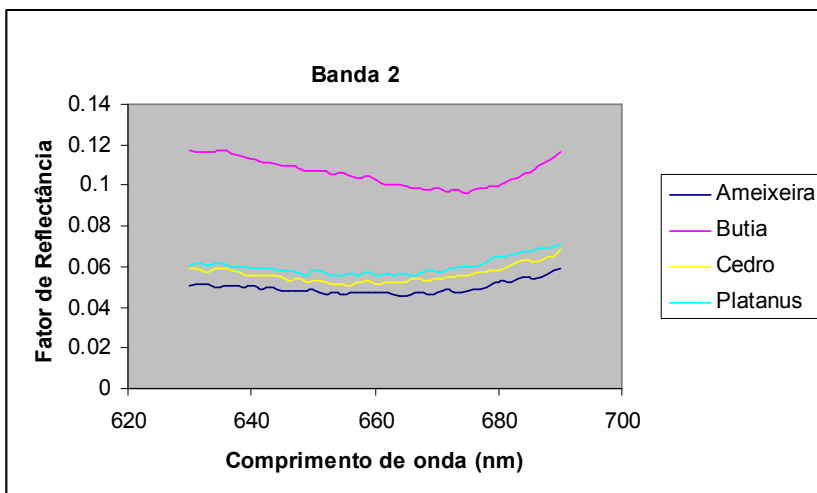


Figura 2: Curvas espectrais dos valores médios do fator de reflectância das amostras de folhas das quatro espécies na banda 2 do VNIR do sensor ASTER.

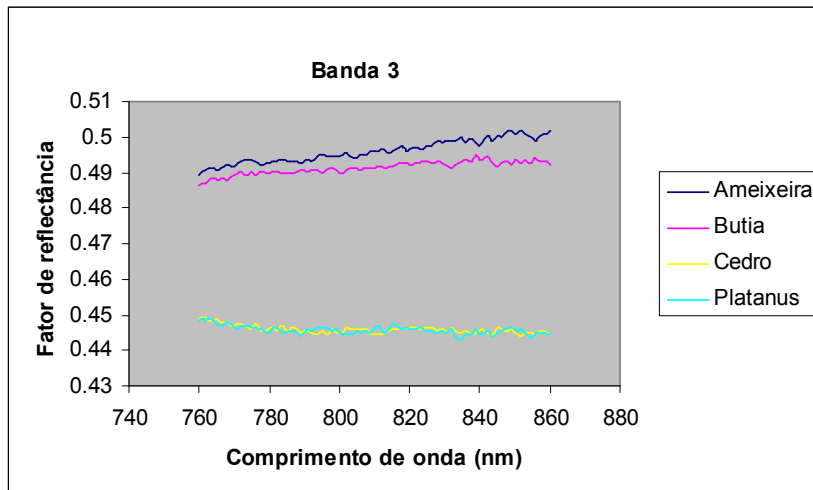


Figura 3: Curvas espectrais dos valores médios do fator de reflectância das amostras de folhas das quatro espécies na banda 3 do VNIR do sensor ASTER.

A análise estatística segue os passos 1, 2, 3 e 4 descritos acima na Metodologia de Trabalho. E, as abreviaturas e números nos resultados dos testes Tukey HSD aplicados significam:

- diff* – diferença nas médias observadas;
- lwr* – ponto final mais baixo do intervalo;
- upr* – ponto final mais alto do intervalo;
- p adj* – p valor calc após ajustamento das múltiplas comparações;
- Nº 1- Reflectância da ameixeira;
- Nº 2- Reflectância do butiá;
- Nº 3- Reflectância do cedro;
- Nº 4- Reflectância do platanus;

A análise estatística no *software* R para a banda 1 (0,52-0,60  $\mu\text{m}$ ) transcorreu na seguinte seqüência com seus devidos resultados:

- Teste de variância: não há diferença significativa entre as variâncias e pelo teste de Bartlett infere-se que as variâncias são homogêneas.
- Teste de normalidade: O teste de Shapiro-Wilks para as quatro espécies apresentou um  $W > p\text{-value}$ , pelo qual, não se rejeita a normalidade das observações.
- Análise de variância:

Tabela 1. ANOVA para spsb1 (espécies na banda 1).

CV	GL	SQ	QM	P valor calc	P valor tab
spsb1	3	0.258044	0.086015	579.15	2.2e-16 ***
Erro	320	0.047526	0.000149		

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

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

- Tukey HSD:

Tabela 2: Teste Tukey HSD na banda 1.(1=ameixeira, 2=butiá, 3=cedro, 4=platanus)

Pares	<i>diff</i>	<i>lwr</i>	<i>upr</i>	<i>p adj</i>
2-1	0.07658	0.07164	0.08153	0.00000
2-3	0.05685	0.05190	0.06179	0.00000
2-4	0.05008	0.04514	0.05503	0.00000
4-1	0.02650	0.02155	0.03145	0.00000
3-1	0.01974	0.01479	0.02468	0.00000
4-3	0.00676	0.00182	0.01171	0.00266

Da Tabela 2, podemos inferir que as maiores diferenças entre duas médias é do par 2-1, butiá-ameixeira, e também todos os pares possuem valores de reflectância média estatisticamente diferentes. O menor contraste é no par 4-3, platanus-cedro.

Para a banda 2 (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ) obteve-se a seguinte seqüência:

- Teste de variância: não há diferença significativa entre as variâncias e pelo teste de Bartlett infere-se que 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 spsb2 (espécies na banda 2).

CV	GL	SQ	QM	P valor calc	P valor tab
spsb2	3	0.121986	0.040662	1870.2	2.2e-16 ***
Erro	240	0.005218	0.000022		

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

A Tabela 3 mostra que as diferenças entre as médias são altamente significativas. Pode-se concluir que há diferenças significativas 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 na banda 2.(1=ameixeira, 2=butiá, 3=cedro, 4=platanus)

pares	<i>diff</i>	<i>lwr</i>	<i>upr</i>	<i>p adj</i>
2-1	0.05659	0.05440	0.05877	0.00000
2-3	0.05003	0.04784	0.05221	0.00000
2-4	0.04611	0.04393	0.04830	0.00000
4-1	0.01047	0.00829	0.01266	0.00000
3-1	0.00656	0.00437	0.00874	0.00000
4-3	0.00392	0.00173	0.00610	0.00003

Da Tabela 4, podemos inferir que as maiores diferenças entre médias é do par 2-1, butiá-ameixeira, e também todos os pares possuem valores de reflectância média estatisticamente diferentes. O menor contraste é no par 4-3, platanus-cedro.

Para a banda 3 (0,76-0,86  $\mu\text{m}$ ) obteve-se a seguinte seqüência:

-Teste de variância: não há diferença significativa entre as variâncias e pelo teste de Bartlett infere-se que as variâncias são homogêneas.

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

-Análise de variância:

Tabela 5. ANOVA para spsb3 (espécies na banda 3).

CV	GL	SQ	QM	P valor calc	P valor tab
spsb3	3	0.232686	0.077562	19090	2.2e-16 ***
Erro	400	0.001625	0.000004		

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

A Tabela 5 mostra que as diferenças entre as médias são altamente significativas. Pode-se concluir que há diferenças significativas entre as reflectâncias médias nas quatro espécies, em no mínimo um par de médias, para a banda analisada.

- Tukey HSD:

Tabela 6: Teste Tukey HSD na banda 3.(1=ameixeira, 2=butiá, 3=cedro, 4=platanus)

Pares	<i>diff</i>	<i>lwr</i>	<i>upr</i>	<i>p adj</i>
1-4	0.05035	0.04961	0.05108	0.00000
1-3	0.05016	0.04943	0.05090	0.00000
2-4	0.04560	0.04487	0.04633	0.00000
2-3	0.04541	0.04468	0.04615	0.00000
1-2	0.00475	0.00402	0.00548	0.00000
3-4	0.00018	-0.0005	0.00091	0.91775

Da Tabela 6, podemos inferir que as maiores diferenças entre reflectâncias médias é do par 1-4, ameixeira-platanus, e o par 1-3, ameixeira-cedro, apresenta um *lwr* bem próximo do *lwr* do par 1-4. Nesta faixa do espectro eletromagnético percebe-se que o par 3-4, cedro-platanus, não apresenta reflectância média estatisticamente diferente. Os demais pares possuem valores de reflectância média estatisticamente diferentes. A menor diferença é no par 1-2, ameixeira-butiá.

#### 4. Conclusões

O sucesso da utilização da banda 1, banda 2 e banda 3 do VNIR do sensor ASTER para diferenciar espécies arbóreas espectralmente é dependente do conjunto de espécies a serem utilizadas e do objetivo do estudo.

Com a análise visual dos gráficos da reflectância das espécies consegue-se distinguir as quatro espécies na banda 1 e na banda 2. Na banda 3 as curvas do cedro e do platanus se confundem. Logo, o gráfico da banda 1 é que melhor diferencia as quatro espécies. Porém, apesar da banda 1 mostrar contrastes nas quatro curvas ela seria melhor indicada para diferenciar os pares butiá-ameixeira, ameixeira-platanus, ameixeira-cedro, platanus-butiá. A banda 2 seria melhor indicada para diferenciar os pares butiá-ameixeira, butiá-cedro e butiá-platanus. A banda 3 apresenta os maiores contrastes visuais entre os pares ameixeira-platanus, depois, ameixeira-cedro, butiá-platanus e butiá-cedro, mas não apresenta contraste entre platanus-cedro.

As análises estatísticas confirmam as análises visuais e apontam com maior precisão onde as diferenças apresentam as maiores significâncias. O teste Tukey HSD para a banda 1 (0,52-0,60  $\mu\text{m}$ ) confirma que há diferença entre todas as médias de reflectância e elas são mais expressivas que nas demais bandas. A maior diferença entre médias de reflectância é do par butiá-ameixeira e a menor diferença entre platanus-cedro.

Na banda 2 (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ) o Tukey HSD confirma que, assim como na banda 1, as maiores diferenças entre médias é do par butiá-ameixeira. E também, a menor diferença é no par platanus-cedro. Porém aqui as diferenças no conjunto das médias são menores que na banda 1.

Na banda 3 (0,76-0,86  $\mu\text{m}$ ) o teste Tukey HSD aponta que o par cedro-platanus não apresenta diferença significativa, portanto não servindo para diferenciar as quatro espécies. A maior diferença entre reflectância média é do par ameixeira-platanus. A menor diferença é no par ameixeira-butiá.

Enfim, conclui-se que a banda 1 do sensor ASTER é a mais adequada para diferenciar o conjunto das quatro espécies escolhidas. E, nota-se que, se o objetivo fosse diferenciar as espécies uma a uma, as outras bandas seriam úteis.

### **Agradecimentos**

À FAPERGS (Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul) pelo apoio financeiro e à Universidade Federal de Santa Maria.

### **Referências Bibliográficas**

Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer (ASTER). Disponível em: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>>. Acesso em: 10.nov.2008.

Coura, S.M.C.; Piromal, R.A.S.; Canavesi, V.; Gomes, M.N.; Quirino, V.F.; Ponzoni, F.J. Comparação das características espectrais das espécies *Ligustrum japonicum* Thunb. e *Cassia macranthera* DC. Anais **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, p.1477-1484, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005.

Jensen, J.R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. USA. 544 p. 2000.

Kuusky, A.; Lang, M.; Nilson, T. Simulation of the reflectance of ground vegetation in sub-boreal forests. **Agricultural and Forest Meteorology**. Article in Press. 2004.

Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W., **Remote Sensing and image interpretation**. 3rd. New York: John Wiley & Sons, 1994. 750 p.