

## Caracterização espectral de folhas e influência do tempo após a coleta de folhas na reflectância de *Erythrina crista-galli* L.

Laura Camila Göergen<sup>1</sup>  
Elias Fernando Berra<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  
{lauragoergen, eliasberra}@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 reflect energy by vegetation has been a component of solar radiation incident further used to assess aspects of productivity of the plant, using the physiological and biochemical processes occurring within it. The work aimed at knowing the natural variation of the reflectance between sheets of *Erythrina crista-galli* L., analysis and detect spectral differences, that occurred in the leaves in four moments of his collection after reading taking into account the visible and near infrared bands. The results were analyzed in the R software with the variance analysis (ANOVA) and multiple comparison means test, Tukey HSD. For the region of the visible, it was observed that among all intervals of time there was a significant difference between the average values of reflectance, and the biggest difference was between the moments 1 and 4 and there was less difference between the period of sixty-four hours (M3 and M4). In the near infrared region, in all intervals of time also significant difference between the average values of the reflectance. The biggest difference occurred again between 1 and 4 times and less difference in the period of four hours (M1 and M2). Thus, the measure used radiometric proved to be appropriate to characterize the degradation process of the leaves of the species under study, because were detected changes among all the time intervals measured.

**Palavras-chave:** Spectroradiometry, remote sensing, reflectance curve, temporal resolution, espectralradiometria, sensoriamento remoto, curva de reflectância, avaliação 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). Conforme Cardoso (1996), diferentes técnicas desta ciência vêm sendo utilizadas na caracterização espectral da cobertura vegetal em diversos níveis de abordagem. Estes níveis incluem o estudo de dosséis e/ou de folhas isoladas (extraídas ou não).

Em estudos de vegetação, 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 (Sanches et al., 2003).

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 eletromagnética e a vegetação (Ponzoni, 2002).

Após o lançamento de satélites com sensores hiperespectrais a bordo, tem-se como objetivo construir uma biblioteca espectral para identificação de espécies vegetais. Essa idéia se torna utópica visto os diferentes fatores que podem estar influenciando a resposta espectral de uma mesma espécie. No entanto, a caracterização espectral de alvos vegetais em laboratório pode ser utilizada em conjunto com imagens orbitais a fim de se obter parâmetros de campo para auxiliar na interpretação dos alvos de um determinado local em um determinado período. Para tanto, curvas espectrais são tomadas de diferentes espécies utilizando espectrorradiômetros não imageadores em condições de laboratório as quais são comparadas com as curvas obtidas pelos sensores imageadores. Portanto, experimentos conduzidos para demonstrar diferenças espectrais entre espécies vegetais em laboratório se tornam necessários (Coura et al., 2005).

Outro aspecto a ser considerado de acordo com Sanches et al. (2003), é que 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.

Desta forma, este trabalho teve dois objetivos principais: conhecer a variação natural da curva de reflectância entre folhas de *Erythrina crista-galli* L., e analisar a possibilidade de se detectar, através de medidas espectrais, mudanças que ocorreram nas folhas a partir do momento em que estas foram coletadas até 72 horas depois.

## **2. Metodologia de Trabalho**

### **2.1 Folhas utilizadas**

Para a realização do experimento foram coletadas 30 amostras de folhas de *Erythrina crista-galli* L. (corticeira-do-banhado), no Campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no dia 31 de outubro de 2008, por volta das 10:00h. Na coleta, foram escolhidas as folhas que ficavam na porção intermediária dos ramos, numa tentativa de homogeneizar as amostras quanto aos estágios de desenvolvimento.

Pertencente à família Fabaceae, a *Erythrina crista-galli* L. é uma árvore que ocorre em terrenos muito úmidos, nas formações abertas secundárias, desde o Maranhão até o Rio Grande do Sul. No entanto, tolera bem ambientes drenados, o que permite incrementar o seu uso no paisagismo. O interesse pela espécie se deve ao fato de ser uma árvore nativa; às características ornamentais do caule, das folhas e das flores; ao belo arranjo espacial arquitetônico; e à alta importância ecológica, abrigando plantas epífitas e atraindo várias aves e insetos (Gratieri-Sossella, 2005). Além do valor ornamental, *E. crista-galli* L. é uma planta imune ao corte no Rio Grande do Sul pela Lei Estadual 9.519/92 (Art. 33º), que protege figueiras e corticeiras em todos os casos, exigindo imediata reposição da espécie em caso de corte (Gratieri-Sossella, 2008).

### **2.2 Tratamentos**

Foram considerados quatro diferentes momentos, M1 (0 horas), M2 (4 horas), M3 (8 horas) e M4 (72 horas após a coleta das folhas). O primeiro correspondente às 10:00h do dia 31 de outubro, imediatamente após a extração das folhas da planta mãe, o segundo, às 14:00h do mesmo dia, o terceiro, às 18:00h do mesmo dia, e o quarto, às 10:00h do dia 03 de novembro.

### 2.3 Medições radiométricas

As medições radiométricas foram realizadas no Laboratório de Sensoriamento Remoto da UFSM (Núcleo de Desenvolvimento de Informações e Geotecnologias), com a utilização de um espectrorradiômetro FieldSpec®3 conectado a unidade RTS-3ZC<sup>3</sup> (esfera integradora). As folhas foram cuidadosamente posicionadas para que apenas o limbo foliar permanecesse na esfera, evitando pegar a nervura central das mesmas. Este procedimento só não foi possível no último momento (M4), pois as folhas estavam muito desidratadas, com as bordas enroladas para o centro e ao tentar desenrolar, as folhas se quebravam. Foram obtidas então as medidas de radiância refletida da face ventral das folhas. O procedimento foi o mesmo para todos os momentos (M1, M2, M3 e M4).

Estas informações constituem um conjunto de arquivos 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. Para a análise dos resultados, os espectros foram separados em duas regiões espectrais, a região do visível (450 a 690 nm) e a região do infravermelho próximo (760 a 900 nm).

### 2.4 Delineamento estatístico

Uma vez dispostos na planilha, foi determinado o fator de reflectância médio para a espécie, o qual foi oriundo da média aritmética dos trinta fatores determinados para as trinta folhas. Para análise dos resultados, foi adotado o software “R: *A Programming Environment for Data Analysis and Graphics*”, versão 2.8.0, 2008. Os resultados de reflectância dos momentos M1, M2, M3 e M4 foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado, sendo o tempo (após a extração das folhas), o único fator de variação. Posteriormente foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de comparação múltipla de médias de Tukey (função Tukey HSD) a 5% de significância.

## 3. Resultados e Discussões

Quanto ao aspecto visual das folhas, no primeiro momento de leitura da reflectância (M1), logo após a coleta, as folhas apresentavam um tom verde escuro intenso em suas faces. No segundo momento (M2) as folhas não apresentaram nenhuma alteração visual em suas características. No M3 houve uma diminuição na intensidade da cor verde em ambas as faces e as folhas apresentavam baixo grau de desidratação, devido à perda de umidade. No último momento (M4), as folhas apresentavam-se com uma cor verde muito mais clara e com alto grau de desidratação, fazendo com que as mesmas perdessem suas formas originais.

Uma análise da Figura 1 permite dizer que as médias de reflectância para os quatro momentos analisados apresentam diferenças, o que fica comprovado pela Análise de Variância (Tabela 1).

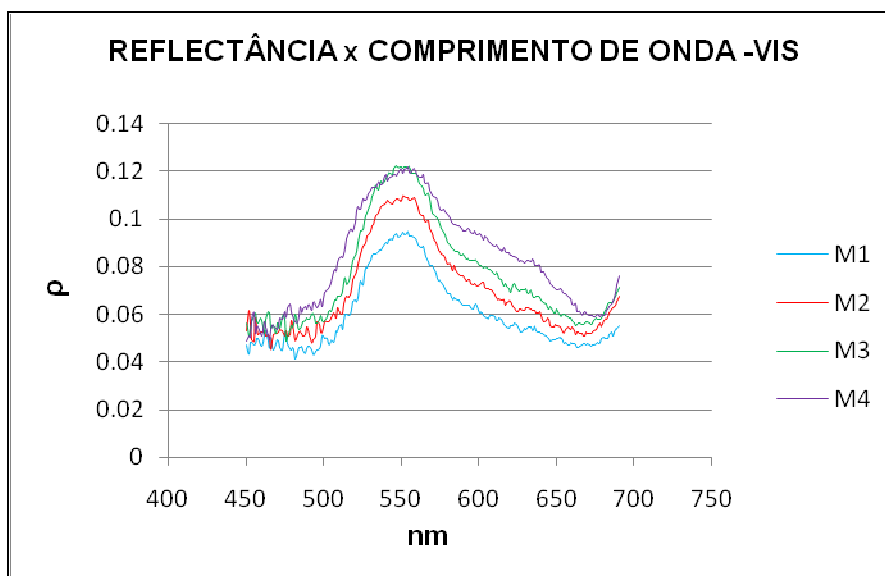


Figura 1. Curvas de reflectância dos momentos 1, 2, 3 e 4 na região do visível.

Tabela 1. Análise de Variância (ANOVA) para a região do visível, nos diferentes momentos M1, M2, M3 e M4.

Fator de Variação	GL	SQ	QM	p valor calc.	p valor tab.
Momentos	3	0,07044	0,02348	61,078	2,2e-16***
Erro	960	0,36904	0,00038		

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0,001 '\*\*' 0,01 '\*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

Através da ANOVA, verificou-se que entre todos os intervalos de tempo para a região do visível (VIS) houve diferença significativa entre os valores médios de reflectância. Os resultados obtidos para os valores de reflectância (Tabela 1) foram coerentes com a análise visual (Figura 1).

Com o intuito de analisar os contrastes entre as médias (duas a duas) dos momentos e verificar quais médias foram significativamente diferentes, aplicou-se o teste Tukey HSD.

Na tabela 2, os pares (diferentes momentos) com diferenças significativas são aqueles com limites inferiores (lwr) positivos. A maior diferença de reflectância ocorreu entre M1 e M4 e a menor diferença ocorreu entre o período de sessenta e quatro horas (M3 e M4). Isso pode ser explicado observando-se a Figura 1, onde nota-se que a radiação refletida pelas folhas com o passar do tempo (M2, M3 e M4) foi maior do que a observada no momento logo após a coleta (M1). Isso implica menor absorção de radiação, que, segundo Moreira (2003) é consequência da degradação dos pigmentos fotossintetizantes (clorofilas) responsáveis pela absorção da energia solar.

Tabela 2. Interações ocorridas entre os momentos 1, 2, 3 e 4 na região do VIS.

Momentos	Diferença (Diff)	Limite inferior (lwr)	Limite superior (upr)	p adj
2 – 1	0.009256241	0.004659637	0.01385285	0.0000016
3 – 1	0.016371937	0.011775333	0.02096854	0.0000000
4 – 1	0.023033712	0.018437108	0.02763032	0.0000000
3 – 2	0.007115695	0.002519092	0.01171230	0.0004233
4 – 2	0.013777471	0.009180867	0.01837407	0.0000000
4 – 3	0.006661775	0.002065171	0.01125838	0.0011608

Na região do infravermelho próximo (IVP), em todos os intervalos de tempo também houve diferença significativa entre os valores médios de reflectância (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de Variância (ANOVA) para a região do infravermelho próximo, nos diferentes momentos M1, M2, M3 e M4.

Fator de Variação	GL	SQ	QM	p valor calc.	p valor tab.
Momentos	3	0,60240	0,20080	789,62	2,2e-16***
Erro	560	0,14241	0,00025		

Signif. codes: 0 ‘\*\*\*’ 0,001 ‘\*\*’ 0,01 ‘\*’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘ ’ 1

Para o Teste Tukey HSD (Tabela 4), a maior diferença ocorreu novamente entre os momentos 1 e 4 e a menor diferença no período de quatro horas após a coleta das folhas (M1 e M2).

Tabela 4. Interações ocorridas entre os momentos 1, 2, 3 e 4 na região do IVP.

Momentos	Diferença (Diff)	Limite inferior (lwr)	Limite superior (upr)	p adj
2 – 1	0.01971587	0.01482198	0.02460976	0.0000000
3 – 1	0.04701707	0.04212318	0.05191096	0.0000000
4 - 1	0.08712864	0.08223475	0.09202253	0.0000000
3 – 2	0.02730119	0.02240730	0.03219508	0.0000000
4 – 2	0.06741277	0.06251888	0.07230666	0.0000000
4 – 3	0.04011158	0.03521769	0.04500547	0.0000000

Segundo Moreira (2003), essa diferença é explicada devido a mudanças que ocorrem nas estruturas celulares internas das folhas e pelo conteúdo de água da folha. Este fato pode ser observado através do Figura 2, onde houve um aumento significativo da reflectância da folha 72 horas após a coleta.

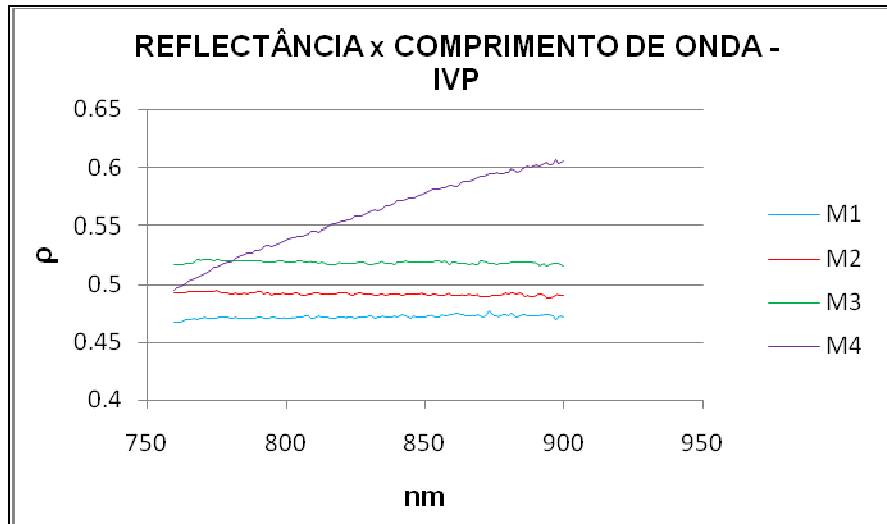


Figura 2. Curvas de reflectância dos momentos 1, 2, 3 e 4 na região do IVP.

Assim, quanto menor a quantidade de água presente na folha, maior será a reflectância desta. Isso ocorre no momento 4, quando a folha apresenta total carência de água e suas estruturas celulares degradadas.

#### 4. Conclusões

O presente estudo demonstrou que diferenças na reflectância podem ser utilizadas para detectar alterações fisiológicas nas folhas, como a perda de umidade e a degradação da clorofila. Mudanças espectrais nas folhas devido ao processo de senescência alteram a resposta espectral tanto no visível, quanto no infravermelho próximo.

O processo de degradação da corticeira-do-banhado (*Erythrina crista-galli* L.) pôde ser bem caracterizado a partir da medida radiométrica estudada, pois foram detectadas mudanças entre todos os intervalos de tempo medidos, tanto na região do visível como na região do infravermelho próximo.

Para um posterior estudo, sugere-se que a análise seja realizada em intervalos de tempo reduzido, caracterizando assim o início do processo de alterações fisiológicas e morfológicas das folhas da espécie.

#### Agradecimentos

À agência financiadora FIEX (Fundo de Incentivo a Extensão).

#### Referências Bibliográficas

Cardoso, P.C.S.; Ponzoni, F.J. Caracterização espectral de folhas extraídas de cinco diferentes espécies vegetais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p. 891-896. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.02.11.05/doc/T62.pdf>> Acesso em: 30 out. 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. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1477-1484. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.28.09.01/doc/1477.pdf>> Acesso em: 30 out. 2008.

Gratieri-Sossella, A. **Potencialidade ornamental e paisagística, caracterização morfo-anatômica e propagação de *Erythrina crista-galli* L.** 2005. 162f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

Gratieri-Sossella, A., Petry, C., Nienow, A.A. Propagação da corticeira-do-banhado (*Erythrina crista-galli* L.) (Fabaceae) pelo processo de esaquia. **Revista Árvores**, v. 32, n. 1, p. 163-171, 2008.

Moreira, Maurício Alves. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação.** 2.ed. Viçosa: Editora UFV, 2003. 307 p.

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

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://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/10.18.15.17/doc/18\\_019.pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/10.18.15.17/doc/18_019.pdf)> Acesso em: 30 out. 2008.

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.