

Espectrorradiometria de folhas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. atacadas por *Phaeophleospora eucalypti*

Diogo Belmonte Lippert¹
Ana Caroline Paim Benedetti²
Rudiney Soares Pereira²
Marlove Fátima Brião Muniz¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria – UFSM/Departamento de Defesa Fitossanitária
Av. Roraima, 1000, Camobi. CEP: 97105-900 – Santa Maria - RS, Brasil
diogolippert@hotmail.com; marlove@smail.ufsm.br

² Universidade Federal de Santa Maria – UFSM/Programa de Pós- graduação em
Engenharia Florestal
Av. Roraima, 1000, Camobi. CEP: 97105-900 – Santa Maria - RS, Brasil
ac_benedetti@yahoo.com.br; rudiney@smail.ufsm.br

Abstract. The occurrence of leaf stain characterized by the destruction of vegetal tissue due to its necrosis directly interferes with photosynthesis by the reduction in leaf surface. In this way, the present work has the purpose of using spectroradiometry to evaluate the *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Species attacked by the pathogen *Phaeophleospora eucalypti*, taking into account different damage levels in the leaf area. To do so, some reflectance reading were performed using the FieldSpec®3 spectroradiometer to four groups of sample units visually classified as: *M* (highly attacked), *MD* (median attacked), *P* (less attacked) e *T* (not attacked) and, analyzed its spectral response in the visible region and in the infrared electromagnetic spectrum. The results obtained through this procedure were statistically evaluated using the “R” software that confirmed the existence of significant differences between leaf damage levels in the visible region, except for the *MD* and *P* groups that do not differ among them in a $\alpha \leq 5\%$ level of significance. We can conclude that the reflectance readings in the visible region reveal modifications in the metabolism of the attacked plant, the occurrence of *Phaeophleospora eucalypti* can be detected in this area of the electromagnetic spectrum no matter what are the damage levels caused by the strain once they differ spectrally from healthy leaves.

Palavras-chave: reflectance, electromagnetic spectrum, leaf stain, damage level, reflectância, espectro eletromagnético, manchas foliares, nível de dano.

1. Introdução

Os espectrorradiômetros são considerados sistemas sensores remotos não-imageadores uma vez que detectam a radiação eletromagnética (REM) emitida por uma fonte (alvo). A forma mais comum para categorizar a REM, ao longo do espectro eletromagnético, é através do comprimento de onda; sendo o conjunto de radiações a serem detectadas pelo olho humano denominado de espectro visível, compreendido entre 400nm e 700nm, seguido pelo infravermelho próximo, que chega até 1000nm (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

Estudos da interação da energia eletromagnética com alvos terrestres como a vegetação, segundo tem grande importância uma vez que fornecem informações sobre a tipologia, a estrutura do dossel, o estado fenológico, as condições de estresse, a falta de nutrientes, entre outros.

O comportamento espectral da vegetação fotossinteticamente ativa na região do visível, corresponde a uma baixa reflectância devido à absorção da radiação incidente pela clorofila e pelos carotenóides da planta; já na região do infravermelho próximo, ocorre uma alta reflectância devido à estrutura celular da folha.

A faixa que compreende o infravermelho médio dominado pelo teor de água contido nas folhas, provoca bandas de absorção em 1400nm e 1950nm e diminuição da reflectância na curva espectral da vegetação. Ao se conhecer a razão entre as bandas nessas diferentes regiões do espectro pode-se inferir sobre as condições de vigor e produtividade da vegetação (WIEGAND et al., 1991, JACKSON e HUETE, 1991).

Segundo Colwell (1974), o comportamento espectral das folhas é influenciado principalmente por sua morfologia interna (distribuição, quantidade de tecidos e espaços intercelulares), tipo e quantidade de pigmentos fotossintetizantes, característicos de cada espécie.

A ocorrência de manchas foliares, conforme Filho et al. (1995) caracteriza-se pela destruição do tecido vegetal decorrente da necrose dos mesmos, o que interfere diretamente na fotossíntese, através da redução da área foliar.

O fungo *Phaeoaleospora eucalypti* apresenta como sintomas manchas angulares e marrom-arroxeadas, distribuídas em ambas as faces de folhas maduras ou agrupadas em alguma porção deste. Posteriormente são observadas pontuações negras no centro das lesões das superfícies inferiores correspondente aos picnídeos e cirros conidiais do patógeno. As lesões podem coalescer, tomando parte ou todo o limbo, tornando-o necrosado e densamente coberto de conídios.

Essa doença tem sido relatada em *Eucalyptus camaldulensis* e também em várias outras espécies plantadas comercialmente, como *Corymba maculata*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus viminalis*. (ALFENAS et al. 2004; KIMATI, et al. 2005).

Na área da Fitopatologia, a avaliação e quantificação de doenças são necessárias tanto para o estudo de medidas de controle ou na caracterização da resistência varietal, como para epidemiologia, na construção de curvas de progresso da doença e estimativa dos danos provocados por ela.

Nesse intuito, o presente trabalho tem como objetivo utilizar a espectrorradiometria para avaliar a assinatura espectral da espécie *Eucalyptus camaldulensis* atacada pelo patógeno *Phaeoaleospora eucalypti*, considerando diferentes níveis de dano na área foliar.

2. Metodologia

2.1 Caracterização geral da área de coleta

O estudo procede de um talhão de 1,2 ha de *Eucalyptus camaldulensis*, localizado no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, RS.

O povoamento encontra-se próximo a uma pequena área de mata ciliar na posição oeste, adjacente à área urbana e nos lados norte, sul e leste faz divisa com cultivos agrícolas.

O plantio foi realizado em espaçamento 3m x 3m e apresenta forma geométrica retangular, como mostra a Figura 1. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa (Subtropical Úmido).



Figura 1: Localização da área de estudo com destaque para o povoamento de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

2.2 Análise e processamento dos dados

Foram coletadas folhas de *Eucalyptus camaldulensis* em um mesmo estágio de desenvolvimento e apresentando sintomas de ocorrência de mancha foliar, sobretudo na face ventral das folhas.

Em laboratório, procedeu-se a identificação do patógeno *Phaeophleospora eucalypti*, e a classificação das amostras segundo a análise visual o nível de ocorrência da mancha na folha.

Para tal, foram subdivididas em três grupos segundo do nível de dano presente na superfície foliar, sendo: Grupo 1) muito atacadas (*M*), no qual foram incluídas folhas com a presença da mancha em toda a superfície; Grupo 2) medianamente atacadas (*MD*), contendo amostras com cerca de 50% da área folhar atacada e Grupo 3) pouco atacadas (*P*), onde verificou-se pequenas áreas necrosadas na superfície foliar.

Para cada grupo, foram analisadas 10 unidades amostrais (folhas) e ainda 10 unidades testemunha (*T*) que constituíram o Grupo 4, para o qual foram coletadas folhas saudias em um mesmo estágio de desenvolvimento.

Pelo uso do espectrorradiômetro FieldSpec®3, foram registradas 10 leituras radiométricas para cada unidade amostral.

Este equipamento possui um campo de visada de 25°, intervalo espectral de 350nm a 2500nm e reflectância correspondente para cada comprimento de onda; o tempo para aquisição de dados é de aproximadamente 1/10 de segundo por espectro.

O fator de reflectância foi obtido utilizando-se como superfície lambertiana a placa *Spectralon*, que apresentou reflectância espectral de aproximadamente 100% em todo o espectro solar.

Os dados foram convertidos no *software* ASD *WiewSpec Pro* v. 4.05 para o formato texto, requisito necessário para as análises posteriormente realizadas na planilha Excel e no *software* “R”.

3. Resultados e Discussão

A partir das leituras radiométricas registradas para cada amostra, foram calculados os valores médios para os grupos 1 (*M*), 2 (*MD*), 3 (*P*) e 4 (*T*). A resposta espectral obtida pode

ser observada na Figura 2, a qual ilustra os valores médios de reflectância do *Eucalyptus camaldulensis* ao longo do espectro eletromagnético.

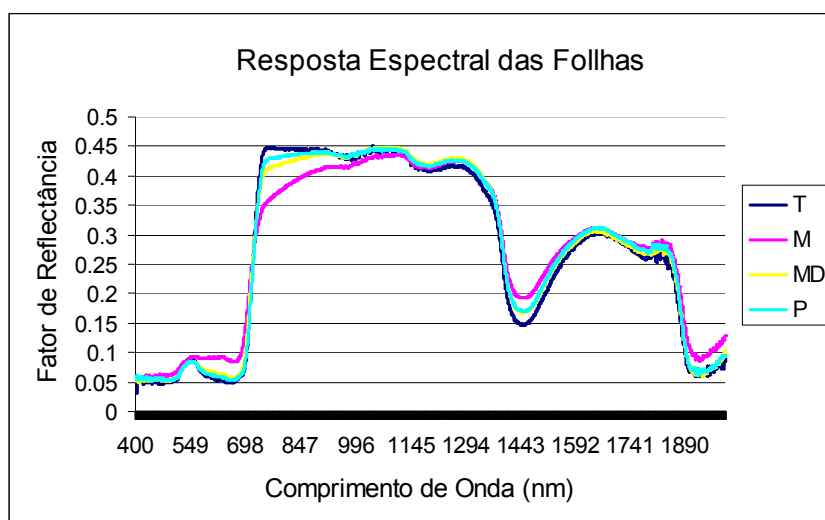


Figura 2: Resposta espectral das folhas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. atacadas por *Phaeophleospora eucalypti*, sendo: *T* folhas não atacadas; *M* folhas muito atacadas; *MD* folhas medianamente atacadas e *P* folhas pouco atacadas.

A interpretação visual do gráfico permite inferir que a resposta espectral das folhas que apresentavam algum nível de dano (*M*, *MD* e *P*) difere-se da resposta espectral de folhas saudáveis que não apresentam superfícies necrosadas (*T*). As maiores discrepâncias são encontradas entre os grupos 1 (*M*) e 4 (*T*) principalmente entre 550nm e 950nm, intervalo compreendido nas respectivas regiões do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

As análises estatísticas descritas a seguir, possibilitam comprovar os resultados espectrais avaliados segundo o gráfico, a partir do qual se optou pela distinção dos dados segundo as regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético.

Os parâmetros gerais calculados por grupo encontram-se relacionados na tabela abaixo.

Tabela 1: Parâmetros médios de reflectância obtidos para os grupos nas diferentes regiões do visível e do infravermelho no espectro eletromagnético.

Espectro Visível				
	<i>M</i>	<i>MD</i>	<i>P</i>	<i>T</i>
Média	0.07951757	0.06420194	0.06231660	0.06867870
Desvio Padrão	0.017651810	0.011311811	0.009849524	0.011970846
Variância	<i>Maior</i> 0.0003115864	-	<i>Menor</i> 9.701312e-05	-
Infravermelho				
Média	0.3234203	0.3244554	0.3264706	0.3247821
Desvio Padrão	0.1002093	0.1170693	0.1169071	0.1111705
Variância	<i>Menor</i> 0.01004190	<i>Maior</i> 0.01370523	-	-

Com base nos valores de maior e menor desvio padrão observado entre os grupos, foi efetuado o cálculo das respectivas variâncias, com o objetivo de verificar a diferença entre as mesmas para a região do visível e para a região do infravermelho. As variâncias foram comparadas através do Teste F, obtendo-se $F_{calc}(vis) = 3.2118$; $300gl > p\text{-value} < 2.2e-16$ e $F_{calc}(iv) = 1.3648$; $1299gl > p\text{-value} < 2.24e-08$ em nível $\alpha \leq 5\%$ de significância.

Os resultados mostram que em ambos os casos existem diferenças significativas entre os grupos de maior e menor variância (1 e 3) no espectro visível e (2 e 1) na região do infravermelho.

Para verificar a normalidade das observações nos diferentes grupos (reflectância referente ao nível de dano nas folhas) aplicou-se o teste de Shapiro-Wilksons que resultou nos índices relacionados na Tabela 2.

Tabela 2: Teste de Shapiro-Wilksons aplicado aos grupos nas regiões do visível e do infravermelho no espectro eletromagnético.

Espectro Visível		
Grupo	Índice Shapiro-Wilks. (W)	<i>p-value</i>
M	0.8513	2.337e-16
MD	0.8839	2.360e-14
P	0.8119	2.2e-16
T	0.9082	1.404e-12
Infravermelho		
M	0.8847	2.2e-16
MD	0.8624	2.2e-16
P	0.8567	2.2e-16
T	0.8649	2.2e-16

Para todos os grupos avaliados, o valor calculado W é superior ao valor tabelado (*p-value*), portanto, aceita-se a normalidade das observações de reflectância nas diferentes regiões espectrais consideradas.

Posteriormente, aplicou-se uma análise de variância (ANOVA) para verificar a existência de diferenças significativas entre os valores de reflectância relacionados aos níveis de dano avaliados. Os resultados obtidos são demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3: ANOVA aplicada aos grupos nas regiões do visível e do infravermelho no espectro eletromagnético.

Espectro Visível					
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
<i>DanoVis</i>	3	0.053578	0.017859	105.08	< 2.2e-16 ***
<i>Residuals</i>	1200	0.203957	0.000170		
Infravermelho					
<i>DanoIf</i>	3	0.006	0.002	0.1676	0.9183
<i>Residuals</i>	5196	64.655	0.012		

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

A Tabela 3 mostra que as diferenças de reflectância entre os níveis de dano observados no espectro visível são altamente significativas em nível $\alpha \leq 5\%$. Porém, as leituras de reflectância na região do infravermelho não apresentam diferenças significativas com relação aos níveis de dano uma vez que $F_{calc} = 0.1676$ é inferior a $p-value = 0.9183$ em nível de significância $\alpha \leq 5\%$.

Através do teste de *TukeyHSD* foi possível então verificar entre quais valores de reflectância do espectro visível ocorrem as diferenças significativas detectadas na ANOVA; na Figura 3 observa-se que os pares que diferem entre si são aqueles com limites inferiores positivos.

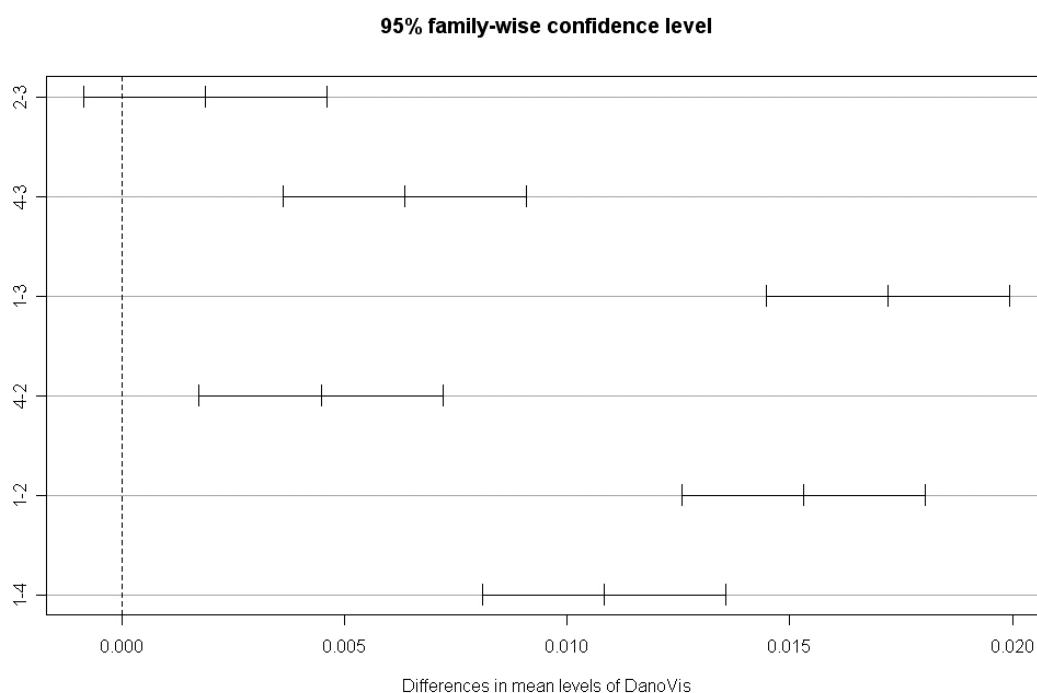


Figura 3: Diferenças entre as médias dos pares de amostras calculadas pelo teste *TukeyHSD*.

No espectro considerado, apenas entre os grupos 2 (*MD*) e 3 (*P*) observa-se que não há diferença significativa em nível $\alpha \leq 5\%$. Para os demais, a ordem estabelecida no gráfico refere-se aos pares com maiores contrastes de reflectância considerando o nível de dano causado pela mancha foliar.

4. Conclusões

As leituras de reflectância no espectro visível revelam as alterações metabólicas na planta que tem a presença do patógeno; a redução da área fotossinteticamente ativa e do teor de água na planta implicam na diminuição da absorção da radiação incidente.

Consequentemente, a ocorrência de *Phaeophleospora eucalypti* na planta pode ser detectada no espectro visível em quaisquer que sejam os níveis de dano considerados, uma vez que diferem espectralmente de folhas saudáveis.

Folhas de *Eucalyptus camaldulensis* que se apresentam medianamente ou pouco atacadas não diferem entre si quanto à resposta espectral, sendo distinguidas quando comparadas com folhas muito atacadas pela mancha foliar.

Ressalta-se que a quantificação precisa da área foliar lesionada é a uma tarefa extremamente laboriosa; a contagem de lesões e posterior medida de seu comprimento e largura são atividades realizadas apenas em trabalhos experimentais em laboratório. Em vista disso, a análise espectrorradiométrica utilizada nesta pesquisa mostra-se uma ferramenta importante no auxílio à detecção de danos à vegetação.

Para maior investigação da resposta espectral do *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh sob estas condições, sugere-se a correlação dos dados em nível terrestre com imagens obtidas através de sensores orbitais.

5. Referências Bibliográficas

Alfenas, A.C., Zauza, E.A.V., Mafia, R.G. & Assis, T.F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: Editora UFV, 2004. 266p.

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

Filho, B., Kimati, H., Amorim, L. **Manual de Fitopatologia**. 3ª Edição. São Paulo, SP. Agronômica Ceres. 1995, 919p. il.

Jackson, R.D., Huete, A. R. Interpreting vegetation indices. **Journal of Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, n.1, p.185-200, 1991.

Kimati, H. et.al. **Manual de Fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. 663p.

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

Wiegand, C.L., Richardson, A.J., Escobar, D.E., Gerbermann, A.H. Vegetation indices in crop assessments. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, n.1, p. 105-119, 1991.