

INFLUÊNCIA DO TEMPO E DO TIPO DE ARMAZENAMENTO NA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE FOLHAS DE *Eucalyptus grandis* "EX-SITU"¹

Claudia Linhares de Sousa² Milton Cezar Ribeiro² e Flávio Jorge Ponzoni²

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo analisar a influência do tempo e de dois diferentes tipos de armazenamento na reflectância de folhas de *Eucalyptus grandis* "ex-situ". Foram realizadas medidas de reflectância hemisférica em quarenta folhas desta espécie, utilizando-se uma esfera integradora acoplada a um espectrorradiômetro. Vinte folhas foram armazenadas em sacos plásticos lacrados com algodões umedecidos e vinte foram deixadas a luz e temperatura ambientes, dentro do laboratório. As medições foram realizadas no momento da abscisão e após 3, 5, 6, 7, 8, 23 e 29 horas. Para a região do visível, os resultados indicaram diferenças significativas seis horas após a extração das folhas, quando armazenadas em sacos plásticos e, somente 23 horas, em condições ambientais. Para a região do infravermelho, essas diferenças foram significativas já nas primeiras três horas após a extração para as folhas armazenadas em condições ambientais, mas não foram para aquelas armazenadas em sacos plásticos.

Palavras-chave: Reflectância hemisférica e comportamento espectral da vegetação.

INFLUENCE OF TIME AND TYPE OF STORAGE ON THE SPECTRAL REFLECTANCE OF *Eucalyptus grandis* DETACHED LEAVES

ABSTRACT - This work aims to verify the influence of time and two types of storage on the reflectance of *Eucalyptus grandis* detached leaves. Hemispheric reflectance measurements of forty leaves were taken, by using an integrating sphere coupled to a spectroradiometer. Twenty leaves were stored in plastic bags sealed with moist cottons and twenty were stored at ambient conditions in the laboratory. Measurements were taken at abscission and after 3, 5, 6, 7, 8, 23, and 29 hours. For the visible region, the results indicated significant differences 6 hours after removal of the leaves stored in plastic bags and 23 hours after removal of leaves at ambient conditions. The infrared region, significant differences were seen already at the first three hours after removal of the leaves stored at ambient conditions and no significant differences for those stored in plastic bags.

Key-words: Hemispheric reflectance of leaves, spectral behavior of vegetation.

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto é uma técnica que explora a interação entre a Radiação Eletromagnética (REM) e diferentes tipos de objetos.

Intrínseca à aplicação desta técnica, encontra-se a etapa de coleta de dados, que, segundo NOVO (1989), pode ser realizada em três diferentes níveis: de laboratório (ou campo), aéreo e orbital.

¹ Recebido para publicação em 02.04.1996.

Aceito para publicação em 09.08.1996.

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE - Av. dos Astronautas, 1.758 - Jd. da Granja, 12270-010 São José dos Campos, SP. E-mail: linhares, milton, flavio@ltid.inpe.br.

Para o caso do estudo dos recursos naturais, no nível de laboratório (ou de campo), as condições experimentais podem ser controladas e, geralmente, os estudos incluem elevados graus de detalhamento espectral e espacial dos objetos de interesse. Em nível aéreo, a superfície terrestre é fotografada ou imageada pictoricamente em diferentes escalas, possibilitando a extração de informações em um contexto mais genérico do que aquele considerado nos dois níveis anteriores. Finalmente, no nível orbital, geralmente são utilizados sensores dotados de resoluções espectrais e espaciais que permitem a coleta de dados de extensas áreas da superfície terrestre, em um grau bem menos específico do que aqueles alcançados nos níveis já mencionados.

A aplicação do sensoriamento remoto no estudo da vegetação envolve duas abordagens principais, sendo uma relacionada ao estudo de dosséis e outra ao estudo de folhas isoladas (extraídas ou não). Na primeira, são observados os parâmetros biofísicos dos dosséis, bem como aqueles relacionados às geometrias de iluminação e visada e aos parâmetros espectrais dos elementos da vegetação (folhas, flores, galhos etc.). Na abordagem referente às folhas isoladas, os estudos incluem coletas de dados nos níveis de laboratório e de campo, buscando-se a caracterização espectral de fenômenos direta ou indiretamente relacionados à fisiologia e à morfologia da planta. Essa caracterização muitas vezes resulta em dados que podem ser agregados a outros, constituindo um conjunto de dados de entrada dos chamados Modelos de Reflectância da Vegetação, que, segundo GOEL (1990), tentam estabelecer uma conexão lógica entre os parâmetros biofísicos da vegetação (dosséis) e sua reflectância espectral.

No Brasil, tais modelos têm sido estudados num contexto acadêmico, muitas vezes envolvendo o estudo de dosséis situados a grandes distâncias do laboratório ou da área destinada à realização das medições radiométricas que, em última análise, viabilizarão a caracterização

mencionada. Essa distância implica o transporte das folhas, que normalmente são extraídas das plantas ("ex-situ"), e, conseqüentemente, um período de "espera" entre a extração e a realização dessas medições.

Sabe-se que quando uma folha é extraída da planta, inicia-se um processo de senescência caracterizado pela alteração do metabolismo e, conseqüentemente, de suas propriedades espectrais (DAUGHTRY e BIEHL, 1984). Segundo KUMAR (1972) e CIBULA et al. (1992), alterações na região do visível (400 a 720 nm) estão relacionadas com os pigmentos; na região do infra-vermelho próximo (720 a 1.350 nm), com a estrutura interna; e na região do infra-vermelho médio (1.350 a 2.500 nm), com o conteúdo de água no interior da folha.

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos para estudar o estresse vegetal e suas conseqüências nas propriedades espectrais das plantas. CIBULA et al. (1992) submeteram plantas de *Lolium multiflorum* (centeio) e *Avena sativa* (aveia) a regimes de excesso e deficiência de água e mediram-nas periodicamente, através de um espectrorradiômetro atuando na faixa de 400 a 2.400 nm. Concluíram que a reflectância e o conteúdo relativo de água estavam altamente correlacionados em plantas estressadas, sendo esta correlação mais forte no centeio do que na aveia. Os dados indicaram aumentos da reflectância nas bandas TM 1, 2, 3, 5 e 7, sendo estes maiores nas bandas TM 5 e 7, o que comprova maior correlação destas regiões do espectro com a deficiência de água. A banda TM 4 mostrou-se pouco correlacionada, sendo o pequeno aumento desta região atribuído pelos referidos autores a outros fatores, como conteúdo de clorofila, colapso das células ou mudança da área foliar.

DANSON et al. (1992) realizaram um estudo com o intuito de demonstrar a relação entre reflectância espectral, conteúdo de água na planta e estrutura interna da folha. Mediram várias folhas de diferentes espécies radiometricamente, utilizando um espectrorradiômetro operando na

faixa de 400 a 2.500 nm. Eles confirmaram os resultados de CIBULA et al. (1992), da correlação entre reflectância espectral e conteúdo de água na planta, e também concluíram que variações na estrutura interna resultam em alterações na reflectância espectral, porém tais fatos não estariam correlacionados entre si, i.e., conteúdo de água e estrutura interna. Sinclair et al. (1971), citados por BUNNIK (1978), após medirem a reflectância espectral de folhas destacadas (não citam a espécie) até a senescência, constataram um aumento desta em todos os comprimentos de onda, principalmente no vermelho, confirmando os dados anteriores. No entanto, alguns trabalhos evidenciaram diminuição da reflectância no infravermelho próximo em razão da compactação do mesófilo durante a senescência (KNIPLING, 1970; FERNANDEZ, 1994).

DAUGHTRY e BIEHL (1984) desenvolveram um trabalho no qual estudaram a influência de diferentes condições de armazenamento na reflectância espectral de folhas de *Betula nigra* (bétula-vermelha) e *Pinus resinosa* (pinheiro-vermelho). As folhas foram extraídas e submetidas a duas diferentes temperaturas de armazenamento (5° e 25°C), imersas em duas diferentes soluções (água e BAP - benzilaminopurina) e, ainda, colocadas em câmaras escuras. Os referidos autores observaram que as propriedades espectrais mudaram menos que 5% em relação aos valores iniciais, no período de uma semana, quando as folhas foram armazenadas a uma temperatura de 5°C. O armazenamento a 25°C permitiu rápida senescência e grandes mudanças nas propriedades espectrais das folhas, que podem ser atrasadas pelo uso do BAP, mas não interrompidas. Esses mesmos autores também concluíram, portanto, que baixas temperaturas são mais eficientes que o BAP e que é possível transportar folhas, por vários dias, armazenadas em sacos plásticos, no escuro e a baixas temperaturas.

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência de duas diferentes condições de armazenamento - sendo uma dita ambiental (luz e

temperatura ambiente) e outra utilizando sacos plásticos translúcidos com algodão umedecido em seu interior - e de diferentes períodos de tempo de armazenamento sobre a reflectância espectral de folhas extraídas de mudas de *Eucalyptus grandis* (eucalipto).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Folhas Utilizadas

Foram utilizadas 40 folhas de mudas de eucalipto com três meses de idade, medindo aproximadamente 25 cm de altura, as quais foram extraídas da porção mediana do caule, visando diminuir possíveis diferenças em razão de seus diferentes estádios de desenvolvimento.

2.2. Tratamentos

Foram consideradas duas condições de armazenamento, sendo uma constituída pelo uso de sacos plásticos translúcidos lacrados (sacos plásticos), nos quais foram introduzidos conjuntos de folhas e pequenos algodões umedecidos; e uma outra condição, que não envolveu o uso de qualquer invólucro e na qual as folhas eram mantidas sobre uma bancada no próprio laboratório, a temperatura e iluminação ambiente (ambiente). Para cada uma destas condições foram considerados os seguintes tempos de armazenamento: 0, 3, 5, 6, 7, 8, 23 e 29 horas, sendo o tempo "0" referente ao período de tempo compreendido entre a extração da folha da planta-mãe e a medição radiométrica, tempo esse de aproximadamente 15 segundos.

2.3. Medições Radiométricas

As medições radiométricas foram realizadas no Laboratório de Radiometria do INPE (LARAD) e contaram com a utilização de um espectrorradiômetro SPECTRON SE-590, operando na faixa espectral compreendida entre 400 e 1.100 nm, e dotado de uma esfera

integradora LICOR 1800-12S, que permitiu a determinação dos Fatores de Reflectância Hemisférica (FRH) da face ventral de cada uma das folhas.

Para o registro dos dados do tempo "0", as 40 folhas foram medidas espectralmente, uma após a outra, indistintamente. A medição de cada folha consistia no seu posicionamento no orifício da esfera integradora, mantendo sua face ventral voltada para o interior da esfera. Em seguida, o equipamento era acionado, sendo o espectro de radiação coletado imediatamente gravado em um arquivo específico, através da ação de um microcomputador acoplado ao espectrorradiômetro. Essa operação, incluindo o posicionamento da folha até a gravação do espectro, consumia aproximadamente 15 segundos para cada folha.

Antes do início das medições de cada conjunto de folhas, era feita a medição radiométrica da placa-padrão da esfera para posterior determinação dos FRHs. Essa mesma medição era repetida após a medição de metade do número de folhas de cada conjunto e também após a medição da última folha desse conjunto. A determinação dos FHRs foi feita através do uso de um aplicativo denominado ESPECTRO, desenvolvido pela equipe de profissionais do LARAD.

Os espectros de FHRs foram discretizados em quatro bandas espectrais, para facilitar a análise dos resultados e o tratamento estatístico dos dados. Essas bandas foram:

- Banda 1: 450 a 520 nm
- Banda 2: 520 a 600 nm
- Banda 3: 630 a 690 nm
- Banda 4: 760 a 900 nm

2.4. Delineamento Estatístico

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, tendo-se como fontes de variação o tipo e o tempo de armazenamento.

Realizou-se, para cada uma das variáveis de análise e para cada uma das bandas espectrais separadamente (bandas 1, 2, 3 e 4), o teste de Shapiro-Wilk, com o objetivo de verificar a

normalidade da distribuição dos dados. Caso fosse encontrada alguma distribuição muito distante da normal, seriam aplicadas transformações matemáticas do tipo $1/x$, x , $1/\sqrt{x}$, $\ln x$ e $\log x$, com o objetivo de aproximar, tanto quanto possível, essa distribuição da normal-padrão.

Tendo assegurada a normalidade dos dados, seguiu-se a análise de variância conjunta, com o objetivo de identificar possíveis diferenças significativas entre os fatores de reflectância dos tratamentos (tipo e tempo de armazenamento) em cada uma das bandas espectrais mencionadas. O Quadro 1 apresenta a tabela da Análise de Variância (ANOVA) conjunta adotada.

Foi determinado ainda o coeficiente de variação, com o objetivo de averiguar se seus valores atendiam às amplitudes esperadas para experimentos como este, que foi conduzido em condições controladas (em torno de 5%), o que daria uma idéia da confiabilidade dos resultados.

Quando se detectou o efeito significativo do tipo de armazenamento, procedeu-se à ANOVA individual, levando em consideração a tabela de ANOVA (ainda para cada banda espectral), apresentada no Quadro 2.

Quadro 1 - Tabela de ANOVA conjunta
Table 1 - General ANOVA table

Fonte de Variação	GL
Modelo	2
Resíduo	77
Tempo de armazenamento	1
Tipo de armazenamento	1
Total	79

Quadro 2 - Tabela de ANOVA para tempo de armazenamento
Table 2 - Storage time ANOVA table

Fonte de Variação	GL
Tempo de armazenamento	1
Resíduo	38
Total	39

Foram realizadas também comparações de médias, segundo o teste de Tukey ($p=0,05$), descrito por GOMES (1978), e testados modelos de regressão que melhor explicassem o comportamento das taxas de mudança da reflectância em função do tempo, para as duas formas de armazenamento. Ainda com os dados de reflectância média, foi utilizada a metodologia sugerida por DAUGHTRY E BIEHL (1984), em que foram determinadas as taxas de mudança ao longo do tempo, a partir dos valores médios de reflectância no tempo inicial ($t=0$) e no tempo 'n' ($t=n$). Os modelos testados foram:

- Modelo 1: $y= b.x$.
- Modelo 2: $y= b.\ln(x+1)$.
- Modelo 3: $y= b.x+c.x^2$.
- Modelo 4: $y= b.x+c.x^2+d.x^3$.
- Modelo 5: $y= b.\ln(x+1)+c.\ln(x^2+1)+d.\ln(x^3+1)$.

em que

- y = taxa de mudança; e
- x = tempo de armazenamento.

Para a escolha do modelo, consideraram-se o r^2 , o "F" do modelo e as respectivas significâncias, além da significância de cada um dos parâmetros 'b', 'c' e 'd' do modelo testado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização dos testes de normalidade dos dados, observou-se que estes não seguiam uma distribuição normal-padrão. Optou-se por transformar os dados segundo as transformações matemáticas citadas no tópico 2.4, com a ressalva de que aquela que proporcionou distribuição mais próxima da normal foi a $\log(x)$. Uma vez que os dados foram então transformados, seguiu-se a aplicação da ANOVA conjunta, cujos valores de F encontrados estão apresentados no Quadro 3.

Os valores de CV encontrados apresentaram-se em torno de 5%, o que garantiu confiabilidade aos resultados para as condições de realização do experimento.

Observou-se que, para a banda 1 (região espectral do azul), a influência do tempo de arma-

zenamento foi altamente significativa somente após 23 horas da extração das folhas e que os tipos de armazenamento passaram a ser diferenciados apenas após 29 horas da extração. Para a banda 2 (região espectral do verde), não foi detectado algum efeito significativo, tanto do tempo quanto do tipo de armazenamento, sobre a reflectância espectral das folhas. Para as bandas 3 e 4 (regiões do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente), o tempo de armazenamento apresentou-se significativo após três horas da extração, passando a altamente significativo nos períodos de tempo subsequentes. O tipo de armazenamento exerceu influência significativa somente após 23 horas da extração.

Uma vez que a maioria dos resultados apresentou influências estatisticamente significativas para os tipos de armazenamento, procedeu-se, então, à ANOVA independente para cada tipo de armazenamento. Nos Quadros 4 e 5, mostraram-se os resultados desta ANOVA, tendo o tempo de armazenamento como fonte de variação.

Pela análise dos dados apresentados no Quadro 4, observa-se que, para as bandas 1 e 3 (regiões espectrais do azul e do vermelho, respectivamente), o tempo de armazenamento somente exerceu influência significativa sobre os FRH's das folhas após 23 horas da extração. Para a banda 2 (região espectral do verde), sua influência foi não-significativa até 29 horas após a extração e, finalmente, para a banda 4 (região espectral do infravermelho próximo), o tempo de armazenamento exerceu influência significativa a partir das três horas após a extração.

Para as folhas que foram mantidas em sacos plásticos (Quadro 5), o tempo de armazenamento exerceu influência significativa após sete horas da extração para os FRH's da banda 1, sendo não-significativa para as bandas 2 e 4, para todos os períodos de tempo considerados neste trabalho. Para a banda 3, verificou-se que a influência do tempo de armazenamento foi significativa já três horas após a extração, contudo, após cinco horas da extração, essa influência foi não-significativa, voltando a sê-lo nos períodos de tempo subsequentes.

Quadro 3 - Valores de F da ANOVA conjunta**Table 3 - F values to the general ANOVA**

Período	Bandas Espectrais											
	1			2			3			4		
	Modelo	Tempo	Tipo	Modelo	Tempo	Tipo	Modelo	Tempo	Tipo	Modelo	Tempo	Tipo
Até 3 h	0,36 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,20 ^{ns}	2,79 ^{ns}	5,57*	0,01 ^{ns}	2,44 ^{ns}	4,78*	0,09 ^{ns}
CV (%)	5,63			4,83			4,91			1,05		
Até 5 h	1,01 ^{ns}	0,96 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,00 ^{ns}	2,59 ^{ns}	5,01*	0,17 ^{ns}	3,35*	6,70**	0,00 ^{ns}
CV (%)	5,59			4,83			4,83			1,03		
Até 6 h	0,40 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,25 ^{ns}	3,78*	7,34**	0,22 ^{ns}	5,31**	10,28**	0,33 ^{ns}
CV (%)	5,59			4,79			4,72			1,02		
Até 7 h	0,94 ^{ns}	1,79 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,53 ^{ns}	4,89**	8,81**	0,98 ^{ns}	5,13**	9,74**	0,52 ^{ns}
CV (%)	5,35			4,73			4,61			1,01		
Até 8 h	0,67 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,09	0,26 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,49 ^{ns}	4,51**	7,94**	1,08 ^{ns}	4,91**	8,71**	1,06 ^{ns}
CV (%)	5,34			4,75			4,69			1,00		
Até 23 h	7,88**	13,44**	2,32 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,02 ^{ns}	16,57**	28,48**	4,66*	15,02**	22,21**	7,84**
CV (%)	5,90			4,90			5,83			1,24		
Até 29 h	11,04**	17,00**	5,08*	0,24 ^{ns}	0,39 ^{ns}	1,10 ^{ns}	22,44**	34,68**	10,20**	18,33**	24,13**	12,53**
CV (%)	5,99			4,93			5,96			1,23		
CV (%) médio	5,63			4,82			5,08			1,08		

ns - F não-significativo a 5% de probabilidade.

* - F significativo a 5% de probabilidade.

** - F altamente significativo a 1% de probabilidade.

CV - Coeficiente de variação.

Quadro 4 - Resultados da ANOVA para tipo de armazenamento ambiente**Table 4 - Environmental conditions ANOVA results**

Período	Bandas Espectrais			
	1	2	3	4
Até 3 horas F - Tempo	0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}	1,63 ^{ns}	7,85**
CV (%)	6,26	5,16	4,74	0,95
Até 5 horas F - Tempo	0,59 ^{ns}	0,13 ^{ns}	2,37 ^{ns}	7,56**
CV (%)	6,08	5,16	4,71	0,96
Até 6 horas F - Tempo	0,00 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,61 ^{ns}	13,74**
CV (%)	6,39	5,13	4,49	0,95
Até 7 horas F - Tempo	0,01 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,14 ^{ns}	14,95**
CV (%)	6,00	5,02	4,38	0,92
Até 8 horas F - Tempo	0,00 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,80 ^{ns}	15,46**
CV (%)	6,04	5,08	4,60	0,92
Até 23 horas F - Tempo	6,74**	0,01 ^{ns}	18,99**	37,48**
CV (%)	7,05	5,43	6,60	1,20
Até 29 horas F - Tempo	11,17**	0,22 ^{ns}	30,30**	52,75**
CV (%)	7,20	5,45	6,49	1,12
CV médio (%)	6,39	5,20	5,14	1,00

ns - F não-significativo a 5% de probabilidade.

** - F altamente significativo a 1% de probabilidade.

CV - Coeficiente de variação.

Quadro 5 - Resultados da ANOVA para tipo de armazenamento em sacos plásticos**Table 5 - Plastic bags ANOVA results for the type of plastic bag storage**

Período	Bandas Espectrais			
	1	2	3	4
Até 3 horas F - Tempo	0,93 ^{ns}	0,53 ^{ns}	4,09*	0,26 ^{ns}
CV (%)	4,95	4,50	5,14	1,13
Até 5 horas F - Tempo	0,36 ^{ns}	0,05 ^{ns}	2,58 ^{ns}	1,07 ^{ns}
CV (%)	5,10	4,55	5,02	1,09
Até 6 horas F - Tempo	2,04 ^{ns}	0,29 ^{ns}	6,29*	1,07
CV (%)	4,82	4,45	4,94	1,06
Até 7 horas F - Tempo	4,19*	0,62 ^{ns}	9,50**	0,74
CV (%)	4,58	4,44	4,75	1,07
Até 8 horas F - Tempo	3,62*	0,35 ^{ns}	9,60**	0,31 ^{ns}
CV (%)	4,51	4,41	4,69	1,03
Até 23 horas F - Tempo	7,56**	0,50 ^{ns}	10,28**	0,70 ^{ns}
CV (%)	4,46	4,38	4,70	1,06
Até 29 horas F - Tempo	6,25**	0,17 ^{ns}	8,29**	0,16 ^{ns}
CV (%)	4,50	4,39	4,65	1,02
CV médio (%)	4,70	4,45	4,84	1,07

ns - F não-significativo a 5% de probabilidade.

* - F significativo a 5% de probabilidade.

** - F altamente significativo a 1% de probabilidade.

CV - Coeficiente de variação.

Os resultados aqui apresentados podem ser explicados à luz do processo de interação da radiação eletromagnética com a vegetação. Segundo KUMAR (1972) e CIBULA et al. (1992), a região do visível (bandas 1, 2 e 3) está ligada aos pigmentos fotossintetizantes e, indiretamente, ao metabolismo, enquanto a região do infravermelho próximo (banda 4) está ligada às características da estrutura interna da folha. Observando as folhas após o término do experimento, verificou-se que aquelas mantidas dentro dos sacos plásticos conservaram melhor aspecto, indicando, em princípio, melhor conservação da estrutura interna (não foram realizados cortes histológicos). Já as que haviam permanecido em condições ambientes se mostraram claramente ressecadas e em processo de senescência. Considerando essas observações, supôs-se que em condições ambientais a estrutura interna da folha sofre alterações profundas em razão, principalmente, da perda de água, porém o metabolismo permanece mais tempo em condições normais, pelo fato de a folha conseguir realizar trocas com o ambiente e, assim, retardar o processo de senescência. Armazenadas em sacos plásticos, as folhas apresentaram menor alteração de suas estruturas internas, em virtude da saturação do ambiente com água, porém o metabolismo é alterado em razão do fato de as condições ambientais terem sido modificadas. FERRI (1979) explicou que a mudança da concentração de CO₂ e O₂ no ambiente pode acelerar o processo respiratório e a liberação de calor, além de alterar a atividade fotossintética da folha, explicada pela degradação dos pigmentos para armazenamento em sacos plásticos.

Levando em consideração os resultados apresentados, seguiu-se a aplicação do teste de Tukey a 5% de probabilidade (GOMES, 1978), para comparação das médias dos fatores de refletância para cada banda espectral. Os Quadros 6 e 7 apresentam os resultados da aplicação do teste de Tukey para ambos os tipos de armazenamento, respectivamente.

Quadro 6 - Resultados da aplicação do teste de Tukey (5% de probabilidade) para condições ambientais

Table 6 - Tukey test results (5% of probability) for environmental conditions

Período	Bandas Espectrais				
	1	2	3	4	
Até 3 horas	0	5,33a	10,41a	5,71a	41,21a
	3	5,36a	10,31a	5,90a	42,52b
Até 5 horas	0	5,33a	10,41a	5,71a	41,21a
	5	5,46a	10,55a	5,93a	42,52b
Até 6 horas	0	5,33a	10,41a	5,71a	41,21a
	6	5,33a	10,22a	5,88a	42,96b
Até 7 horas	0	5,33a	10,41a	5,71a	41,21a
	7	5,34a	10,18a	5,85a	42,98b
Até 8 horas	0	5,33a	10,41a	5,71a	41,21a
	8	5,32a	10,13a	5,83a	43,01b
Até 23 horas	0	5,33a	10,41a	5,71a	41,21a
	23	5,90b	10,46a	6,78b	45,02b
Até 29 horas	0	5,33a	10,41a	5,71a	41,21a
	29	6,08b	10,62a	7,07b	45,42b

Quadro 7 - Resultados da aplicação do teste de Tukey (5% de probabilidade) para sacos plásticos

Table 7 - Tukey test results (5% of probability) for plastic bags

Período	Bandas Espectrais				
	1	2	3	4	
Até 3 horas	0	5,23a	10,34a	5,65a	41,60a
	3	5,36a	10,60a	5,99a	41,91a
Até 5 horas	0	5,23a	10,34a	5,65a	41,60a
	5	5,32a	10,42a	5,91a	42,17a
Até 6 horas	0	5,23a	10,34a	5,65a	41,60a
	6	5,42a	10,52a	6,05b	42,15b
Até 7 horas	0	5,23a	10,34a	5,65a	41,60a
	7	5,49a	10,61a	6,13b	42,07a
Até 8 horas	0	5,23a	10,34a	5,65a	41,60a
	8	5,47a	10,54a	6,12b	41,89a
Até 23 horas	0	5,23a	10,34a	5,65a	41,60a
	23	5,58b	10,57a	6,14b	42,05a
Até 29 horas	0	5,23a	10,34a	5,65a	41,60a
	29	5,55b	10,47a	6,08b	41,80a

Pelos resultados apresentados no Quadro 6, observa-se que nas bandas 1 e 3 foram identificadas diferenças significativas entre os FRH's somente 23 horas após sua extração. Nas

primeiras oito horas, os FRH's apresentaram oscilações sem tendência definida, provavelmente decorrente do posicionamento das folhas na esfera integradora no momento das medições radiométricas, que nunca foi exatamente o mesmo, ou por outros motivos alheios à atividade fisiológica das folhas. Foram identificadas diferenças significativas entre estes fatores, na banda 4, após três horas da extração das folhas, o que indicou que, em condições ambientais, a rápida perda de água deve ter ocasionado alterações nas estruturas internas das folhas.

No Quadro 7, observa-se que o armazenamento em sacos plásticos parece ter ocasionado alterações mais precoces na atividade dos pigmentos fotossintetizantes, em comparação com o armazenamento em condições ambientais, uma vez que na banda 3 (vermelho) foram identificadas diferenças significativas entre os FRH's seis horas

após a extração das folhas. Na banda 4, não foram identificadas diferenças significativas entre estes fatores ao longo do experimento para esta condição de armazenamento. Exceção foi verificada para seis horas após a extração, o que pode ser atribuído às oscilações mencionadas. Tal resultado indicou que o uso dos sacos plásticos pode ter permitido melhor preservação das estruturas internas das folhas.

Na Figura 1, mostram-se os gráficos dos valores médios de reflectância nas bandas 1, 2, 3 e 4, para cada tipo de armazenamento.

Observou-se que, para as primeiras oito horas do experimento, os valores dos FRH's apresentaram oscilações sem uma tendência definida, em ambas as condições de armazenamento. Após 23 horas da extração, pôde-se verificar tendência de aumento em todas as bandas espectrais, para os dois tipos de armazenamento, confirmando

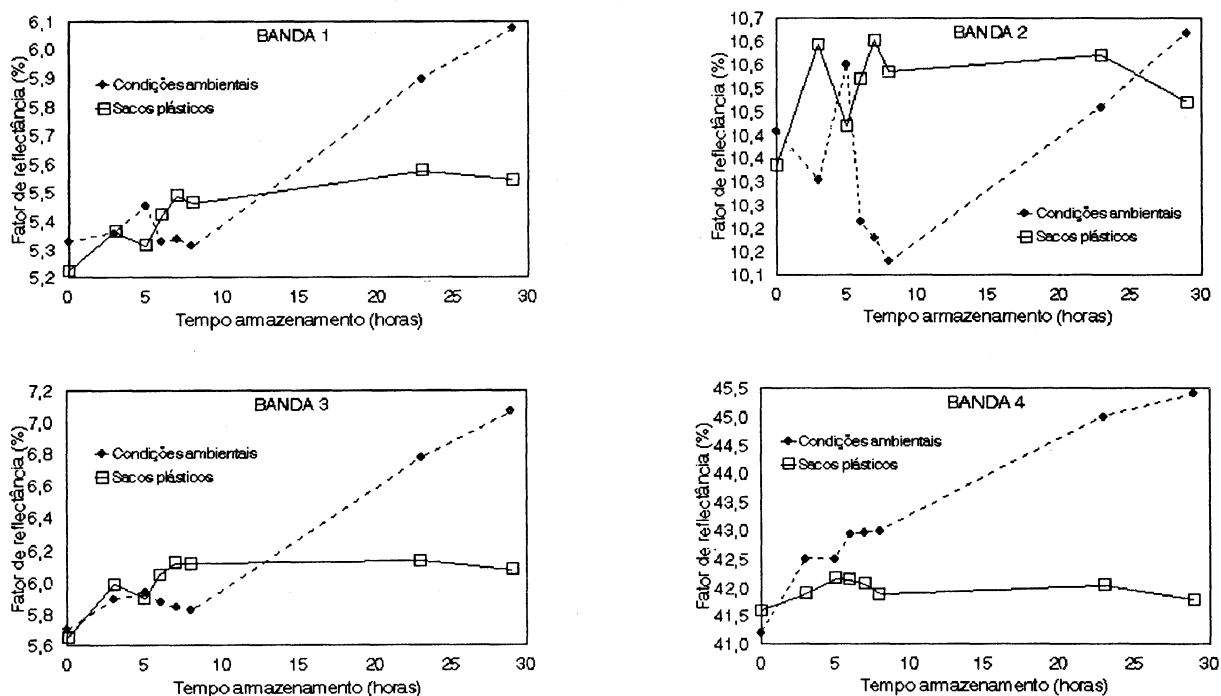


Figura 1 - Fatores de reflectância em função do tempo para as duas condições de armazenamento.
Figure 1 - Reflectance factors as a function of time for two types of storages.

resultados descritos por GAUSMAN et al. (1969), KNIPLING (1970) e CARTER (1994), com a ressalva de que em sacos plásticos este aumento foi menor. Isso indicou, portanto, que em condições ambientais o processo fotossintético sofreu menor alteração nas primeiras oito horas do experimento do que aquele realizado pelas folhas mantidas em sacos plásticos. Com o passar do tempo, a maior perda d'água proporcionada pelas condições ambientais passou a comprometer mais intensamente o processo fotossintético, em relação àquele realizado pelas folhas mantidas nos sacos plásticos. Isso pode explicar os valores mais elevados dos FRH's atingidos nas folhas mantidas em condições ambientais 29 horas após a extração, nas três bandas da região do visível.

Foram testados alguns modelos matemáticos para explicar o comportamento das taxas de mudança dos fatores de reflectância, para cada banda espectral e tipo de armazenamento, ao longo do tempo. No Quadro 8 são mostrados estes modelos, com os respectivos coeficientes de determinação (r^2) e significância estatística. Em

todos os casos, o modelo quadrático (M3) foi o que melhor ajustou as taxas de mudança.

Verificou-se, portanto, que o modelo quadrático ajustou-se bem às taxas de mudanças observadas ao longo do tempo, para as duas condições de armazenamento, com exceção da banda 2 para o armazenamento em sacos plásticos. No Quadro 9, apresentam-se os parâmetros de cada equação do modelo quadrático, para as quatro bandas espectrais e condições de armazenamento.

Na Figura 2, apresentam-se os gráficos referentes às taxas de mudança dos fatores de reflectância para as duas condições de armazenamento, acompanhados dos gráficos das regressões.

Observou-se que o modelo quadrático ajustou-se bem para todas as bandas e para os dois tipos de armazenamento, exceto na banda 2, para as folhas armazenadas em condições ambientais. Talvez isso se deva ao fato de os valores de reflectância se apresentarem irregulares ao longo do tempo e por não mostrarem alterações significativas nessas condições.

Quadro 8 - Valores de r^2 para cada modelo testado e condição de armazenamento
Table 8 - Values of r^2 for each model tested and storage condition

Modelo	Bandas			
	1	2	3	4
Sacos plásticos				
	r^2			
M1: $y= b.x$	0,82**	0,50*	0,67**	0,41*
M2: $y= b. \ln(x+1)$	0,97**	0,81**	0,94**	0,77**
M3: $y= b.x+c.x^2$	0,97**	0,84**	0,96**	0,87**
M4: $y= b.x+c.x^2+d.x^3$	0,97**	0,82**(2)	0,97**(4)	0,87**
M5: $y= b.\ln(x+1)+c.\ln(x^2+1)+d.\ln(x^3+1)$	0,95**	0,85**(3)	0,96**(3)	0,91**
Condições ambientais				
	r^2			
M1: $y= b.x$	0,90**	0,02 ^{ns}	0,97**	0,95**
M2: $y= b. \ln(x+1)$	0,59**	0,02 ^{ns}	0,72**	0,96**
M3: $y= b.x+c.x^2$	0,96**	0,48*	0,98**	0,99**
M4: $y= b.x+c.x^2+d.x^3$	0,96**(3)	0,38 ^{ns}	0,98**(3)	0,99**(5)
M5: $y= b.\ln(x+1)+c.\ln(x^2+1)+d.\ln(x^3+1)$	0,91**	0,09 ^{ns}	0,96**	0,99**(6)

- (2) Parâmetros "c" e "d" não-significativos.
- (3) Parâmetros "b", "c" e "d" não-significativos.
- (4) Parâmetro "d" não-significativo.
- (5) Parâmetro "c" não-significativo.
- (6) Estima mau tempos inferiores a três horas.

resultados descritos por GAUSMAN et al. (1969), KNIPLING (1970) e CARTER (1994), com a ressalva de que em sacos plásticos este aumento foi menor. Isso indicou, portanto, que em condições ambientais o processo fotossintético sofreu menor alteração nas primeiras oito horas do experimento do que aquele realizado pelas folhas mantidas em sacos plásticos. Com o passar do tempo, a maior perda d'água proporcionada pelas condições ambientais passou a comprometer mais intensamente o processo fotossintético, em relação àquele realizado pelas folhas mantidas nos sacos plásticos. Isso pode explicar os valores mais elevados dos FRH's atingidos nas folhas mantidas em condições ambientais 29 horas após a extração, nas três bandas da região do visível.

Foram testados alguns modelos matemáticos para explicar o comportamento das taxas de mudança dos fatores de reflectância, para cada banda espectral e tipo de armazenamento, ao longo do tempo. No Quadro 8 são mostrados estes modelos, com os respectivos coeficientes de determinação (r^2) e significância estatística. Em

todos os casos, o modelo quadrático (M3) foi o que melhor ajustou as taxas de mudança.

Verificou-se, portanto, que o modelo quadrático ajustou-se bem às taxas de mudanças observadas ao longo do tempo, para as duas condições de armazenamento, com exceção da banda 2 para o armazenamento em sacos plásticos. No Quadro 9, apresentam-se os parâmetros de cada equação do modelo quadrático, para as quatro bandas espectrais e condições de armazenamento.

Na Figura 2, apresentam-se os gráficos referentes às taxas de mudança dos fatores de reflectância para as duas condições de armazenamento, acompanhados dos gráficos das regressões.

Observou-se que o modelo quadrático ajustou-se bem para todas as bandas e para os dois tipos de armazenamento, exceto na banda 2, para as folhas armazenadas em condições ambientais. Talvez isso se deva ao fato de os valores de reflectância se apresentarem irregulares ao longo do tempo e por não mostrarem alterações significativas nessas condições.

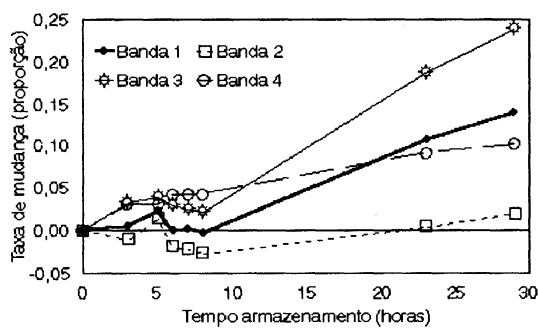
Quadro 8 - Valores de r^2 para cada modelo testado e condição de armazenamento
Table 8 - Values of r^2 for each model tested and storage condition

Modelo	Bandas			
	1	2	3	4
Sacos plásticos				
	r^2			
M1: $y = b \cdot x$	0,82**	0,50*	0,67**	0,41*
M2: $y = b \cdot \ln(x+1)$	0,97**	0,81**	0,94**	0,77**
M3: $y = b \cdot x + c \cdot x^2$	0,97**	0,84**	0,96**	0,87**
M4: $y = b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3$	0,97**	0,82**(2)	0,97**(4)	0,87**
M5: $y = b \cdot \ln(x+1) + c \cdot \ln(x^2+1) + d \cdot \ln(x^3+1)$	0,95**	0,85**(3)	0,96**(3)	0,91**
Condições ambientais				
	r^2			
M1: $y = b \cdot x$	0,90**	0,02 ^{ns}	0,97**	0,95**
M2: $y = b \cdot \ln(x+1)$	0,59**	0,02 ^{ns}	0,72**	0,96**
M3: $y = b \cdot x + c \cdot x^2$	0,96**	0,48*	0,98**	0,99**
M4: $y = b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3$	0,96**(3)	0,38 ^{ns}	0,98**(3)	0,99**(5)
M5: $y = b \cdot \ln(x+1) + c \cdot \ln(x^2+1) + d \cdot \ln(x^3+1)$	0,91**	0,09 ^{ns}	0,96**	0,99**(6)

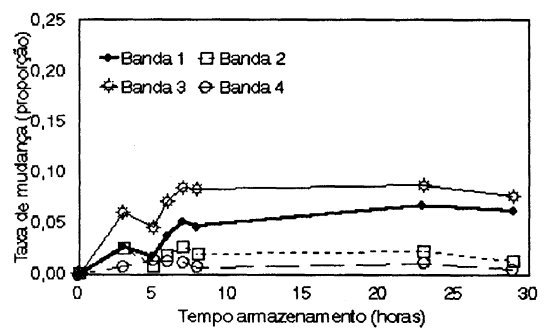
- (2) Parâmetros "c" e "d" não-significativos.
- (3) Parâmetros "b", "c" e "d" não-significativos.
- (4) Parâmetro "d" não-significativo.
- (5) Parâmetro "c" não-significativo.
- (6) Estima maus tempos inferiores a três horas.

Quadro 9 - Parâmetros do modelo quadrático para as quatro bandas e ambas as condições de armazenamento
Table 9 - Quadratic model parameters considering the 4 bandas and storage conditions

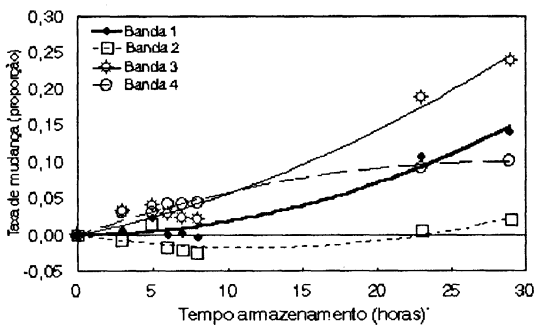
Sacos plásticos	
Banda 1: $y = 0,00709297x - 0,00017435x^2$	$r^2 = 0,97^{**}$
Banda 2: $y = 0,00379770x - 0,00011738x^2$	$r^2 = 0,84^{**}$
Banda 3: $y = 0,01338026x - 0,00038363x^2$	$r^2 = 0,96^{**}$
Banda 4: $y = 0,00206370x - 0,00006687x^2$	$r^2 = 0,87^{**}$
Condições ambientais	
Banda 1: $y = 0,00008332x - 0,00017228x^2$	$r^2 = 0,96^{**}$
Banda 2: $y = 0,00307402x - 0,00013299x^2$	$r^2 = 0,48^*$
Banda 3: $y = 0,00413922x - 0,00014973x^2$	$r^2 = 0,98^{**}$
Banda 4: $y = 0,00708043x - 0,00012578x^2$	$r^2 = 0,99^{**}$



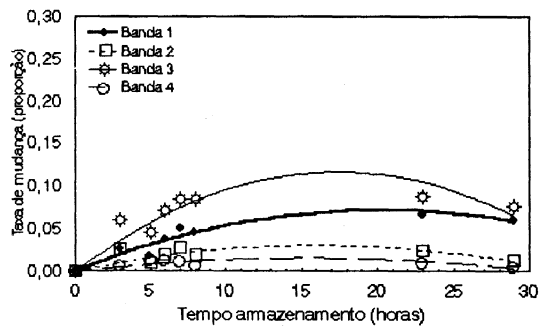
Taxas de mudanças para condições ambientais



Taxas de mudanças para sacos plásticos



Regressões para taxas de mudanças
(Condições ambientais)



Regressões para taxas de mudanças
(Sacos plásticos)

Figura 2 - Gráficos representativos das taxas de mudanças e dos modelos de regressão testados.
Figure 2 - Graphical representation of rate changes and of regression models tested.

4. CONCLUSÕES

Pelos resultados alcançados, verificou-se que a hipótese apresentada é verdadeira, isto é, o tempo e o tipo de armazenamento alteram a reflectância de folhas de *Eucalyptus grandis* isoladas e destacadas das plantas. Apesar disso, para a região do visível, essas alterações foram significativas somente após 23 horas da extração da folha da planta-mãe, para aquelas mantidas em condições ambientais. Para as folhas mantidas em sacos plásticos, essas alterações foram significativas após seis horas da extração. Infelizmente, neste experimento não foi possível determinar qual o período de tempo, compreendido entre 8 e 23 horas, no qual poderiam estar ocorrendo alterações significativas na reflectância das folhas mantidas em condições ambientais. Assim, concluiu-se que, considerando a região do visível, é preferível manter as folhas em condições ambientais de armazenamento, para períodos de tempo iguais ou inferiores a pelo menos oito horas, do que armazená-las em sacos plásticos.

Para a região do infravermelho, os resultados indicaram que manter as folhas em sacos plásticos é uma boa opção, uma vez que não foram identificadas alterações significativas em sua reflectância.

5. AGRADECIMENTOS

À FLORIN (Florestamento Integrado S.A.), na pessoa do Eng^o Florestal Fausto Camargo, pela gentileza em ceder as mudas de *Eucalyptus grandis*, as quais foram o objeto de estudo do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUNNIK, N.J.J. **The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties.** Wageningen: H. Veenman & Zonen, B. V., 1978. 175p.
- CARTER, G.A. Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. **International Journal of Remote Sensing**, New York, v.15, n.3, p.697-703, 1994.
- CIBULA, W.G., ZETKA, E.E., RICKMAN, D.L. Response of thematic mapper bands to plant water stress. **International Journal of Remote Sensing**, New York, v.13, n.10, p.1869-1880, 1992.
- DANSON, F.M., STEVEN, M.D., MALTHUS, T.J., CLARK, J.A. High-spectral resolution data for determining leaf water content. **International Journal of Remote Sensing**, New York, v.13, n.3, p.461-470, 1992.
- DAUGHTRY, C.S.T., BIEHL, L.L. **Changes in spectral properties of detached leaves.** West Lafayette, Indiana: Laboratory for Applications of Remote Sensing, 1984. 21p. (LARS Technical Report, 061574).
- FERNANDEZ, S., VIDAL, D., SIMÓN, E., SOLÉ-SUGRAÑES, L. Radiometric characteristics of Triticum aestivum cv. Astral under water and nitrogen stress. **International Journal of Remote Sensing**, New York, v.15, n.9, p.1867-1884, 1994.
- FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal.** São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1979. 350p.
- GAUSMAN, H.W., ALLEN, W.A., CARDENAS, R. Reflectance of cotton leaves and their structure. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.1, p.19-22, 1969.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental.** 8.ed. Piracicaba: Nobel, 1978. 430p.
- GOEL, N.S., NORMAN, J.M. Remote sensing and biophysical measurements of soils and vegetation. In: **Instrumentation for studying vegetation canopies for remote sensing in optical and thermal regions.** S.l.: s.n., 1990. p.1-12.
- KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.1, p.155-159, 1970.
- KUMAR, R. **Radiation from plants-reflection and emission: a review.** Lafayette, Indiana: School of Aeronautics, Astronautics and Engineering Sciences, Purdue Research Foundation, 1972. 45p. Projection, 5543.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto.** Princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 307p.