

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Análise da influência do tempo e do tipo de armazenamento sobre a resposta
espectral de folhas de *Panicum maximum* cv. Mombaça

Hugo Tameirão Seixas

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau
de bacharel em Engenharia Agrônômica.
Área de concentração: Engenharia de Biosistemas

Piracicaba
2017

Hugo Tameirão Seixas
Bacharelado em Engenharia Agrônômica

Análise da influência do tempo e do tipo de armazenamento sobre a resposta espectral de
folhas de *Panicum maximum* cv. Mombaça

Orientador:
Prof. Dr. **PETERSON RICARDO FIORIO**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau
de bacharel em Engenharia Agrônômica.
Área de concentração: Engenharia de Biosistemas

Piracicaba
2017

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO | 5 |
| ABSTRACT | 6 |
| 1. INTRODUÇÃO | 7 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 8 |
| 2.1. SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA VEGETAÇÃO..... | 8 |
| 2.2. CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DA FOLHA | 8 |
| 2.2.1. <i>Epiderme</i> | 9 |
| 2.2.2. <i>Mesofilo</i> | 9 |
| 2.2.3. <i>Sistema vascular</i> | 9 |
| 2.3. INTERAÇÃO ENTRE ENERGIA ELETROMAGNÉTICA E FOLHA..... | 10 |
| 2.3.1. <i>Região do visível</i> | 10 |
| 2.3.2. <i>Região do infravermelho próximo</i> | 11 |
| 2.3.3. <i>Região do infravermelho médio</i> | 11 |
| 2.4. OBTENÇÃO DE DADOS ESPECTRAIS EM LABORATÓRIO | 12 |
| 2.5. EFEITO DE TEMPO E TIPO DE ARMAZENAMENTO EM FOLHAS | 12 |
| 2.6. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE FOLHAS SENESCENTES..... | 12 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 14 |
| 3.1. ÁREA DE ESTUDO..... | 14 |
| 3.2. CULTURA E MANEJO | 15 |
| 3.3. COLETA DE DADOS | 15 |
| 3.3.1. <i>Sensor utilizado</i> | 15 |
| 3.3.2. <i>Coleta e armazenagem de amostras</i> | 16 |
| 3.4. PROCESSAMENTO DOS DADOS..... | 18 |
| 3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA | 19 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 20 |
| 4.1. COMPORTAMENTO ESPECTRAL AO LONGO DO TEMPO | 21 |
| 4.1.1. <i>Gelo</i> | 21 |
| 4.1.2. <i>Algodão</i> | 23 |
| 4.1.3. <i>Ar livre</i> | 24 |
| 4.2. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS DIFERENTES TRATAMENTOS | 25 |
| 4.3. COMPORTAMENTO ESPECTRAL POR BANDA | 25 |
| 5. CONCLUSÕES | 31 |
| REFERÊNCIAS | 32 |

RESUMO

Análise da influência do tempo e do tipo de armazenamento sobre a resposta espectral de folhas de *Panicum maximum* cv. Mombaça

Foi feito um estudo sobre o comportamento espectral de folhas cortadas de *Panicum maximum* cv. Mombaça ao longo do tempo armazenadas diferentes técnicas de armazenamento, com o objetivo de analisar o tempo mínimo para que as amostras apresentem alteração em seu comportamento espectral em comparação ao seu estado em campo. Parte das folhas coletadas foram armazenadas em caixas térmicas contendo gelo ou em sacos lacrados contendo algodão umedecido ou mantidas ao ar livre, em seguida, as amostras foram analisadas em laboratório durante intervalos de tempo de 2, 4, 8, 24, e 48 horas. Para interpretar os dados coletados, foram selecionadas 6 faixas espectrais sensíveis às mudanças fisiológicas e anatômicas das folhas, sendo realizados testes de média afim de identificar a significância da resposta do tempo e tipo de armazenamento sobre o comportamento espectral do objeto. De acordo com os resultados obtidos, foi possível observar que nas primeiras 4 horas após o corte das folhas, houve um aumento na taxa de reflectância em todas as bandas escolhidas, e posteriormente ocorreu uma queda nesses valores no período de 8 horas, para então ocorrer uma estabilização das respostas espectrais das folhas armazenadas junto ao gelo e algodão, e um aumento contínuo nas que foram mantidas ao ar livre. Segundo o teste de médias, para todos os armazenamentos, as folhas apresentaram diferenças significativas em suas respostas espectrais 2 horas após seu corte, quando comparada a leitura feita em campo. Pode-se concluir que o tempo e o tipo de armazenamento tem uma influência significativa na resposta espectral das folhas, e que a análise espectral feita 2 horas após o corte já apresentava distorções na resposta espectral para todos os tratamentos, sendo que os dados mais adequados seriam aqueles coletados em campo.

Palavras-chave: 1. Espectroradiometria 2. Pós-colheita 3. Pastagem 4. Sensoriamento remoto

ABSTRACT

**Influence of time and storage technique over the spectral response of detached leaves of
de *Panicum maximum* cv. Mombaça**

The present experiment investigated the spectral behavior of excised leaves of de *Panicum maximum* cv. Mombaça over time and different storage techniques, with the objective of analysing the minimum time until the samples showed a distortion of its spectral signature in comparison to the field analysis. A share of the sampled leaves were stored in coolers containing ice or inside sealed bags with wet cotton or maintained under environmental conditions, posteriorly, the samples were analysed in the lab over the time of 2, 4, 8, 24 and 48 hours. To interpret the collected data, 6 bands of the spectrum were chosen regarding their sensitiveness of fisiological and anatomic changes of leaves, and than performing statistical average tests to identify the significance of the effect of time and storage over the spectral behaviour of the object. According to the results, it was possibles to observe that in the first 4 hours after the excision of leaves, there was an increase in the reflectance ratio for all the bands, after, occurred a decrease in those values in the period of 8 hours, an than, showed a stabilization of the spectral signatures of leaves stored with ice and cotton, and a continuous increase for the ones maintained at environmental conditions. According the average tests, for all the storage techniques, the leaves showed meanfull differences in their spectral behaviour after 2 hours from their excision, when compared to the field data. It was concluded that the time and the type of storage have a significative influence over the spectral response of the leaves, and that the spectral analysis made 2 hours after the excision already showed distortions in the spectral responses for all threathments, so the data collected in the fields are the most adequate.

Keywords: 1. Spectroradiometry 2. Post Harvest 3. Pasture 4. Remote Sensing

1. INTRODUÇÃO

O rápido crescimento populacional previsto para as próximas décadas causa grande preocupação no aumento da demanda por alimento, ao mesmo tempo em que há uma maior pressão para que a agricultura cause menor impacto ambiental (ATZBERGER, 2013; GODFRAY et al., 2010), e que mudanças climáticas tem potencial para afetar negativamente a produtividade de culturas (FAO, 2016).

É nesse cenário que a agricultura de precisão entra como protagonista para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável, sendo auxiliada por técnicas de sensoriamento remoto, que vem se tornando cada vez mais comum na agricultura, sendo aplicado na análise de diversos fatores que influenciam na produtividade da cultura, como acúmulo de biomassa, teor de nutriente foliar, estresse hídrico, infestação de pragas e doenças e atributos do solo (MULLA, 2013). Existem diversas faixas e índices espectrais sensíveis à influência de tais fatores, sendo usadas para a construção de modelos matemáticos para a predição de cada um. A aquisição desses dados espectrais é feita por sensores multispectrais e hiperspectrais, à nível orbital, aéreo e terrestre, sendo que neste último as medições podem ser feitas em condições de campo ou em laboratório.

Existem diversas pesquisas que estudam a relação entre características foliares e sua resposta espectrais através de análise em laboratório que, portanto, dependem de coleta em campo, armazenamento e transporte até que os dados possam ser obtidos. O período de tempo que se dá desde a extração do material vegetal até sua análise final pode ser suficiente para que haja degradação da estrutura foliar e de suas características bioquímicas, podendo causar variações não desejadas nas respostas espectrais obtidas.

Existem experimentos que analisaram o comportamento espectral ao longo do tempo (SANCHES et al., 2003; SCHUH et al., 2016), e também sobre diferentes técnicas de armazenamento (DAUGHTRY; BIEHL, 1985; FOLEY et al., 2006; LAKKARAJU et al., 2010; LEE et al., 2014b; SOUSA; RIBEIRO; PONZONI, 1996), sendo que cada trabalho apresentou resultados distintos dependendo da espécie estudada e da metodologia adotada. Tais informações são de extrema importância, em vista de que há uma escassez de pesquisas abordando este tema, e por ser essencial para a aquisição de dados espectrais confiáveis em ambiente de laboratório.

Os objetivos do presente trabalho são: analisar se o tempo e o tipo de armazenamento tem um efeito significativo sobre a resposta espectral de folhas de *Panicum maximum* cv. Mombaça em laboratório; observar como a resposta espectral das folhas se comportam ao longo do tempo; estimar quanto tempo as folhas podem ser armazenadas sem que haja mudanças significativas em seu comportamento espectral, e qual seria o método de armazenamento mais eficiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação

Em uma definição abrangente de sensoriamento remoto, Campbell e Wynne (2011) afirmam que se resume na coleta de informações à distância ao objeto de estudo. Porém, além dos conceitos de distância entre sensor e alvo, o sensoriamento remoto também é fundamentado pela interação entre a radiação eletromagnética e o objeto de que se quer extrair as informações (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Sendo o objeto deste estudo a vegetação, mais especificamente as folhas de *Panicum maximum* cv. Mombaça, é necessário ter conhecimento de como estas interagem com a radiação eletromagnética.

2.2. Características anatômicas da folha

Segundo Castro, Pereira e Paiva (2009), a folha é um órgão vegetativo extremamente sensível à fatores ambientais, tendo como principais funções a fotossíntese, as trocas gasosas e a transpiração. Apesar de terem características similares entre si, as folhas apresentam uma enorme variedade, seja em sua forma, tamanho, textura, cor, organização dos tecidos, composição celular, anatomia entre outras características (CUTLER; BOTHA; STEVENSON, 2011). Podem ocorrer variações significativas na anatomia da folha devido a ação de fatores ambientais (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009), sendo que essas variações estão correlacionadas ao habitat, sendo pronunciadas na epiderme, mesófilo e sistema vascular (DICKISON, 2000).

No caso de forrageiras tropicais, a anatomia das folhas é influenciada pelo nível de inserção no perfilho, apresentando maior lignificação do esclerênquima, porém não é afetada pela idade das folhas (WILSON, 1976). As lâminas foliares inseridas no topo do perfilho possuem maiores proporções de tecidos de sustentação, e paredes celulares mais espessas, quando comparadas com folhas inseridas em níveis mais baixos (CARVALHO; PIRES, 2008).

A forrageira tropical *Panicum Maximum* cv. Mombaça, que é uma planta C4, apresenta anatomia foliar com características próprias, como é mostrado na Figura 1.

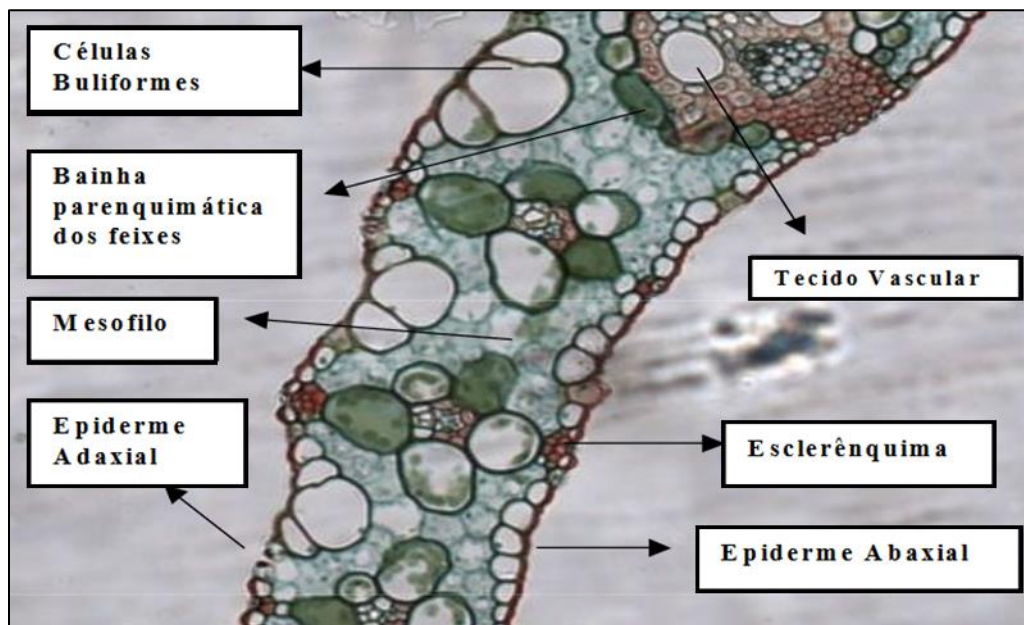


Figura 1. Corte transversal de folha de *P. Maximum* cv Mombaça, retirado de Batistoti (2006).

2.2.1. Epiderme

A epiderme foliar precisa ser adaptada para tolerar estresses ambientais, embora também deve ser translúcida a ponto de permitir a passagem de radiação para que esta alcance os pigmentos presentes na folha (CUTLER; BOTHA; STEVENSON, 2011).

A epiderme das folhas é composta de uma camada contínua de células justapostas, sem apresentar espaço intracelular, que reveste o corpo vegetal. As diferentes camadas desse tecido são divididas em parede celular, cutícula, sendo que esta é composta por celulose, ceras e cutina (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Existe uma grande variedade da composição da epiderme, seja nos tipos de células, quantidades de camadas e presença de anexos, podendo apresentar grandes diferenças entre espécies (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). A espessura da parede celular das células epidérmicas é altamente influenciada pelo grau de maturidade da planta (CARVALHO; PIRES, 2008).

2.2.2. Mesófilo

O mesófilo está inserido entre as duas epidermes das faces adaxial e abaxial das folhas, sendo formado por células parenquimáticas, organizadas ao longo de um labirinto de espaços intercelulares (DICKISON, 2000).

As células parenquimáticas possuem água em abundância em seus vacúolos, podendo exercer uma função de reserva de água (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Nas folhas, as células presentes no parênquima são responsáveis pela realização da fotossíntese, portanto estas apresentam grande quantidade de pigmentos (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

As células do mesófilo em plantas C_4 ocorrem em um arranjo diferente, que possibilita a divisão de reações químicas, aumentando a sua adaptação em regiões de altas temperaturas e intensidade luminosa (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Nesses tipos de plantas, os parênquimas clorofilianos possuem parede delgada não lignificada. (CARVALHO; PIRES, 2008), e são ricos em cloroplastos (CUTLER; BOTHA; STEVENSON, 2011).

Nas gramíneas tropicais as células presentes no mesófilo apresentam um arranjo mais compacto, se dispondo de forma justaposta com poucos espaços entre as células (CARVALHO; PIRES, 2008).

2.2.3. Sistema vascular

Nas folhas, os feixes vasculares são presentes na nervura mediana (CUTLER; BOTHA; STEVENSON, 2011), e são constituídos por células do floema, xilema e fibras associadas. Essas células apresentam uma parede celular espessa e lignificada. Em folhas jovens de gramíneas o tecido vascular se localiza em feixes isolados, sendo que com a maturação dessas folhas há um espessamento e lignificação da parede celular das células do parênquima.

As gramíneas C_4 normalmente apresentam maiores quantidades de feixes vasculares nas folhas, em comparação com gramíneas C_3 (CARVALHO; PIRES, 2008). Nesses tipos de gramíneas, as células que envolvem os feixes vasculares são bastante desenvolvidas e ricas em cloroplastos (CARVALHO; PIRES, 2008).

Os feixes vasculares de gramíneas C_4 apresentam células de parede celular espessa, formando o esclerênquima, que se torna mais lignificado com a maturação da folha (CARVALHO; PIRES, 2008).

2.3. Interação entre energia eletromagnética e folha

A folha pode então ser considerada como um meio de interação com a energia eletromagnética, onde ocorrem processos de reflexão, absorção e transmissão (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Essa radiação apresenta diferentes comportamentos em cada região do espectro.

2.3.1. Região do visível

Na região do visível (400 a 700 nm) as características espectrais da folha estão relacionadas ao tipo e a quantidade de pigmentos (GOEL, 1988; KUMAR, 1972), sendo a região que sofre maior absorção pelas folhas (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Segundo Blackburn (2007), a dinâmica dos pigmentos presentes nas folhas é fortemente relacionada ao estado fisiológico das plantas.

Em estudo de predição de clorofila em folhas de macieira, Guo (2014) apontam que bandas entre 620 nm e 727 nm apresentaram melhor correlação aos teores de clorofila nas folhas, sendo que nesta faixa espectral correspondem as regiões de absorção da clorofila a e clorofila b, apesar da alta correlação, também foi apontado que os mecanismos envolvidos nessa relação ainda são desconhecidos.

Em outro estudo, Gitelson, Gritz e Merzlyak (2003), analisaram folhas de plantas superiores através de uma esfera integradora, e concluiu que as faixas espectrais entre 520nm a 550nm e 695nm a 705nm apresentaram boa relação com medições de clorofila total.

Sims e Gamon (2002) realizaram testes de índices para estimação de pigmentos publicados, encontrando baixas correlações, afirmando que a reflectância da superfície da folha foi o fator mais importante para essa variação, e que o uso da primeira derivativa da região do vermelho conhecida como “red edge” se mostrou insensível à variação na superfície das folhas, neste estudo todas as folhas foram coletadas em campo e analisadas em laboratório.

Comparando a reflectância, absorbância e transmitância de folhas sobre diferentes condições bioquímicas e estruturais, Liang et al. (2010) observaram que a região do visível é influenciada pela estrutura celular do mesófilo e pela presença de pigmentos, sendo que a faixa do “red edge” é afetada pela concentração de clorofila e pela estrutura do mesófilo, porém é insensível às mudanças relacionadas com água e carotenoides. Outro estudo conduzido por Shi, Zhuang e Niu (2007), observaram que a comprimento de onda de 550nm é sensível às mudanças na estrutura do mesófilo.

Em estudo sobre predição do conteúdo de água em folhas, Bayat, Van Der Tol e Verhoef (2016) observaram que a radiação do comprimento de onda de 775nm apresentou correlação com o estado hídrico da folha a partir da análise espectral do dossel.

Daughtry et al. (2000) estimaram o teor de clorofila presente em folhas de milho (*Zea mays* L.) analisando o espectro de radiação visível e do infravermelho próximo, concluindo que a técnica apresentava alto potencial para determinação de nitrogênio foliar.

2.3.2. Região do infravermelho próximo

Na região do infravermelho próximo (720 a 1350 nm) ocorre baixa absorção da radiação incidente na folha, sendo que esta faixa sofre influência pela estrutura do mesófilo, sendo que esta pode ser afetada por outros fatores, como disponibilidade de água (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPPLICH, 2012).

Segundo Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), o fator de reflectância da região do infravermelho próximo aumentam em função da ocorrência de estresse hídrico, devido a degradação de proteínas e de componentes fotossintetizantes.

Segundo Liang et al. (2010), a região do infravermelho, em sua totalidade, é afetada por presença de água, estrutura do mesófilo e matéria seca.

Em estudo sobre o comportamento espectral de diferentes espécies de angiospermas, Khdery et al. (2014) conseguiram distinguir os diferentes gêneros a partir de dados de comprimentos de onda da região do vermelho (550nm a 750nm) e infravermelho próximo (760nm a 1000nm), sendo os resultados coerentes com as análises anatômicas e morfológicas das folhas estudadas, sendo que elas apresentavam diferenças significativas em suas características espectrais, anatômicas e morfológicas.

2.3.3. Região do infravermelho médio

A região do infravermelho médio (1350 a 2500 nm) apresenta faixas de alta absorção de radiação devido à presença de água foliar, podendo sofrer alteração de acordo com a disponibilidade de hídrica para a planta (MOREIRA, 2005).

Bayat, Van Der Tol e Verhoef (2016) estudou a resposta de dossel da gramínea *Poa Pratensis* ao efeito de seca, observando que houve respostas ao estresse hídrico nas bandas de absorção de água (1440nm e 1930nm), observando que essa técnica foi eficiente na detecção de estresse hídrico antes mesmo da aparição de sintomas visuais.

Segundo Sun, Simmons e Singh (2011), as bandas relacionadas com teor de lignina e celulose nas células vegetais podem mudar de uma espécie para outra, sendo que as bandas utilizadas para caracterizar esses parâmetros estão nas regiões do infravermelho médio (1560nm a 1660nm) e infravermelho próximo (1070nm a 1140nm).

Em estudo sobre determinação de conteúdo de água em videiras, González-Fernández et al. (2015) recomendam o uso da faixa espectral de 1450nm para estimar água nas folhas, estando relacionado com valores de EWT (Equivalent Water Thickness).

Cao, Wang e Zheng (2015) avaliaram o comportamento diversas espécies vegetais em relação ao conteúdo de água na folha, e concluíram que os índices que obtiveram maiores valores de correlação foram calculados usando os comprimentos de onda de 1415nm e 1530nm em relação ao conteúdo relativo de água e 1530nm e 1895nm em relação ao EWT (Equivalent Water Thickness).

Em relação ao conteúdo de água em folhas de algodão, Yi et al. (2013) concluíram que a relação entre a primeira derivativa do fator de reflectância dos comprimentos de onda de 1647nm/1133 e 1653/1687 apresentaram melhores resultados para a predição de água nas folhas.

2.4. Obtenção de dados espectrais em laboratório

Segundo Novo (2011), os dados sobre a interação da radiação eletromagnética com um objeto podem ser obtidos nos níveis terrestre (campo e laboratório), aéreo e orbital.

Em sua revisão, Govender et al. (2009) apontam que dados espectrais coletados em escala foliar apresentam menos variações em comparação a outras escalas, e que podem ser utilizados para validar dados coletados em escala 5de dossel, aérea ou orbital. Porém, Clark, Roberts e Clark (2005) observaram que as bandas ótimas para a discriminação de diferentes espécies de plantas arbóreas variaram de acordo com a escala utilizada na aquisição dos dados espectrais.

Diversos pesquisas sobre predição de atributos foliares foram conduzidos em ambientes de laboratório (BLACKBURN, 1998; CECCATO et al., 2001; CLARK; ROBERTS; CLARK, 2005; CURRAN; DUNGAN; PETERSON, 2001; DATT, 1999; FOLEY et al., 2006; LEE et al., 2014a; LIU et al., 2012; MAKI; ISHIAHRA; TAMURA, 2004; NGIE; AHMED; ABUTALEB, 2010; PENUELAS et al., 1994; POTŮČKOVÁ et al., 2016; ROY et al., 2014; SIMS; GAMON, 2002; SUMMY et al., 2011; WANG; LI, 2012).

Segundo Potůčková et al. (2016), leituras espectrais de folhas em laboratório, feitas por diferentes acessórios acoplados em um mesmo espectrorradiômetro, apresentaram diferenças significativas, sendo que comparações entre os dados espectrais obtidos por sonda de contato (contact probe) e por esfera integradora não devem ser comparados entre si.

2.5. Efeito de tempo e tipo de armazenamento em folhas

Após o corte, as plantas forrageiras sofrem mudanças fisiológicas que resultam em perdas nutricionais inevitáveis (MOSER, 1995). Após a colheita de Crisântemos, ocorrem alterações fisiológicas, bioquímicas e estruturais, provocando a mudança dos tecidos e órgãos vegetais, o que leva ao processo irreversível de senescência (FINGER et al., 2003).

Segundo Mayak (1989) na sequência de eventos que ocorrem durante a senescência de flores de corte incluem a alteração de membranas celulares, maior produção de etileno, aumento da intensidade de respiração, perda de permeabilidade, e consequente perda de massa fresca.

Em estudo sobre pós colheita de folhas de rúcula, Koukounaras, Siomos e Sfakiotakis (2007) observaram que a degradação de clorofila foi a alteração mais severa após a colheita, provocando amarelecimento das folhas, e que o método mais eficiente para retardamento desse processo foi o armazenamento em baixas temperaturas, devido seu provável efeito na redução da atividade metabólica. Tulio et al. (2002) afirmam que o armazenamento refrigerado de folhas de *Corchorus olitorius* L. aumentou o tempo de prateleira, sendo que folhas armazenadas em maiores temperaturas apresentaram amarelecimento, e diminuição do conteúdo total de clorofila.

Page, Griffiths e Buchanan-Wollaston (2001) concluíram que nos primeiros estágios da pós colheita de brócolis há uma desorganização dos constituintes celulares, usando os lipídios presentes como fonte de energia, também foi observado que o comportamento de senescência da inflorescência de brócolis é similar ao de suas folhas.

2.6. Comportamento espectral de folhas senescentes

Segundo Little e Summy (2012), folhas destacadas podem ser analisadas sem perda significativa de dados espectrais, porém, a coleta desses dados deve ser feita em um período de tempo relativamente curto, e segundo os

mesmos autores, folhas destacadas de açafrão e tomate não apresentam diferença no comportamento espectral em relação a folhas não destacadas.

Em estudo conduzido por Foley et al. (2006), observou-se através de cortes transversais de folhas, que a desidratação destas causou uma contração significativa das células, o que contribui para a redução da espessura da folha, e que leva a aumento da reflectância na região do infravermelho próximo. No mesmo estudo, foi concluído que não existe um tempo limite para a realização das medições espectrais em todos tipos de folhas.

Sanches et al. (2003) analisaram o comportamento espectral de folhas de Ligustro e Fedegoso ao longo do tempo após o corte, sem utilizar nenhum tipo de armazenamento, concluindo que não houveram diferenças significativas entre as leituras feitas imediatamente após o corte e após 7 horas, no caso do Ligustro. Já para o Fedegoso, houveram diferenças significativas nesse período apenas para a faixa de radiação do infravermelho próximo.

Em um experimento sobre diferentes armazenamentos de folhas de bétula, Daughtry e Biehl (1985)concluíram que folhas armazenadas em baixas temperaturas e no escuro apresentaram mudanças espectrais menores que 5%, uma semana após a primeira leitura espectral, feita após a coleta das folhas. No mesmo estudo, foi observado que o armazenamento em maiores temperaturas promoveu uma senescência mais rápida das folhas, e consequentemente maiores mudanças em seu comportamento espectral.

Schuh et al. (2016) avaliaram o NDVI de folha de eucalipto ao longo do tempo em que estiveram mantidos ao ar livre, e concluíram que os valores obtidos na primeira leitura em laboratório se diferenciaram após 5 horas do corte das folhas. Também foi observado um aumento do NDVI na primeira hora de leituras espectrais, para depois sofrer decréscimo gradativo.

Em um estudo sobre o comportamento espectral de folhas de oliveiras submetidas a estresse hídrico, Sun et al. (2008) observaram que em casos de baixa disponibilidade de água prolongada houveram mudanças significativas no comportamento espectral na faixa do visível, devido a diminuição na concentração de clorofila e aumento na relação entre carotenoides por clorofila.

Analisando a resposta espectral de folhas de amendoim e trigo ao longo do tempo, sobre desidratação contínua, Peñuelas e Inoue (1999) observaram que houve um aumento de toda a curva espectral de 400nm a 2500nm, conforme as folhas perderam conteúdo de água, desde completamente túrgidas até estado seco. No mesmo estudo, também foi concluído que o comportamento espectral em relação a perda de água se dá de forma diferente em cada espécie estudada.

Em um experimento avaliando a resposta espectral de folhas de eucalipto armazenadas em diferentes condições, Sousa, Ribeiro e Ponzoni (1996) observaram que a variação dos valores de reflectância ao longo do tempo não apresentaram uma tendência definida até as 8 horas após o corte das folhas, sendo que após 23 horas houve uma tendência de aumento de todas as bandas espectrais.

Já para as culturas de soja e algodão, Lee et al. (2014b) observaram que a resposta espectral de folhas de soja permaneceram com valores normais até 45 minutos após seu armazenamento em uma caixa térmica, já para o algodão esse tempo reduziu para 30 minutos. Os autores concluem que o tempo de armazenamento tem um efeito considerável na resposta espectral de folhas analisadas em laboratório, e que as técnicas de armazenamento podem diminuir tais mudanças. Resultados parecidos foram encontrados por Lee et al. (2014a), sendo que nesse experimento foram analisadas folhas de milho, que mantiveram respostas espectrais normais até 30 minutos após a coleta e armazenamento das folhas, sendo que a refrigeração das folhas não mostrou maior eficácia em conservar a resposta espectral ao longo de todo o espectro estudado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O experimento de campo foi realizado em uma área experimental cultivada com *Panicum maximum* cv. Mombaça, localizada próxima ao posto meteorológico, situado dentro do campus da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ-USP, em Piracicaba, São Paulo (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2017) (Figura 2). As coordenadas geográficas da área são 22°42'15”S e 47°37'23” em altitude de 456 m.

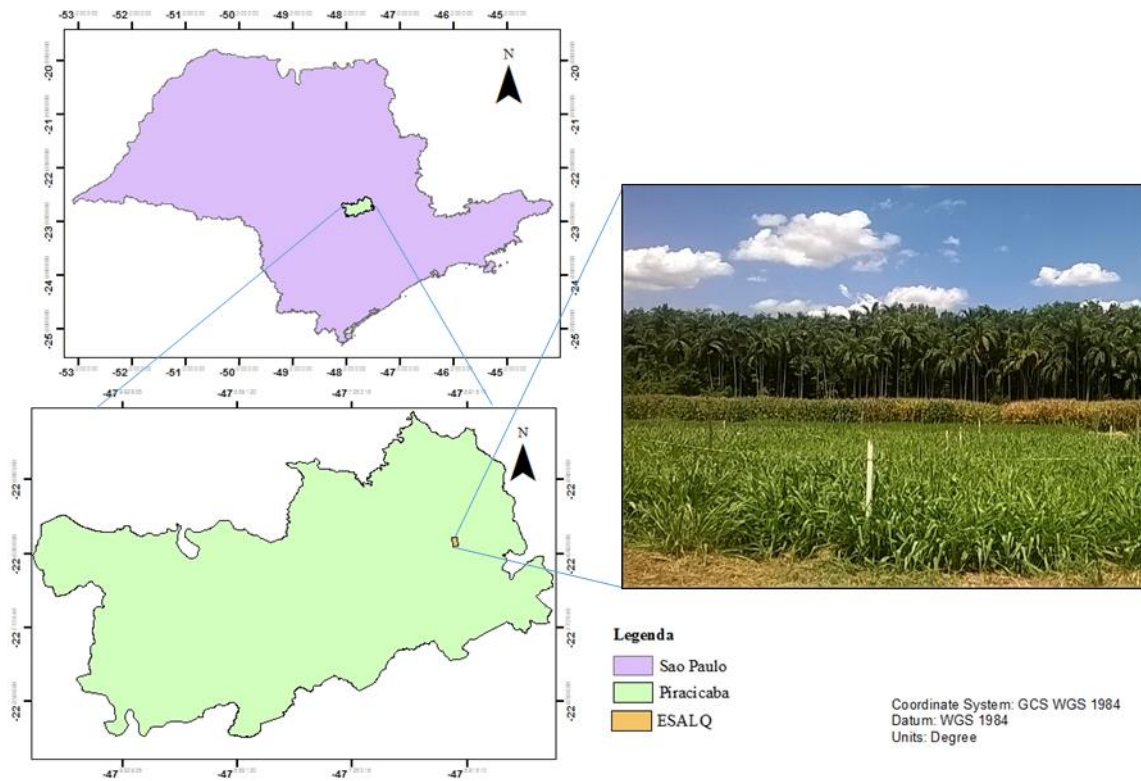


Figura 2. Localização da área de estudo.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfa (ALVARES et al., 2013), caracterizado como clima subtropical com temperatura média do mês mais frio menor que 18°C, e a do mês mais quente maior que 22°C, e com ano totalmente úmido (KOTTEK et al., 2006). Segundo dados obtidos pelo Posto Meteorológico, Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ-USP, no período entre 1987 e 2016, a menor temperatura média foi de 18.6°C em junho, a e maior foi de 25.9°C em fevereiro, e a menor precipitação observada foi em agosto, de 25 mm, e a maior em janeiro, de 242 mm (Figura 3).

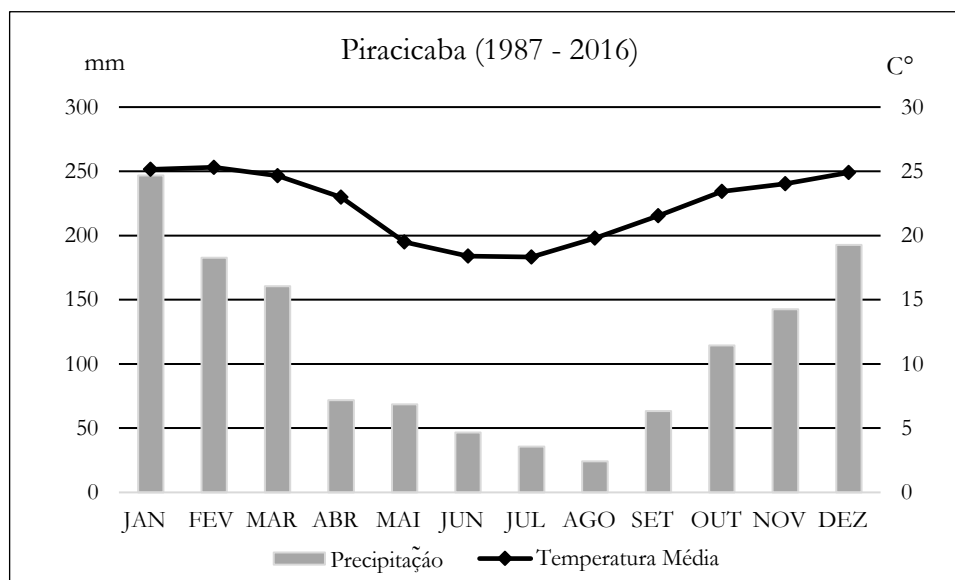


Figura 3. Médias de temperatura e precipitação mensais entre 1987 e 2016.

O solo é classificado como um Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico, sendo um solo de coloração avermelhada, muito argiloso, apresentando horizonte B textural (SOUSA, 2014).

3.2. Cultura e manejo

A cultivar Mombaça foi semeada a lanço no início de fevereiro de 2016. O estudo realizado foi no mês de abril de 2017, após um período de estabelecimento da planta de aproximadamente 160 dias e 8 cortes. O sistema de irrigação instalado na área foi do tipo aspersão, a fim de controlar a umidade do solo e não comprometer o cultivo ao longo do ciclo de estudo. Foram instalados quatro tubos, para utilização da sonda DIVINER 2000™, para monitorar o conteúdo de água no solo e manter sempre a umidade entre capacidade de campo e ponto de murcha.

O delineamento experimental foi fatorial com 6 tratamentos de tempos de armazenagem, e 3 tratamentos de métodos de armazenamento, com 30 repetições.

Neste estudo, foram utilizadas apenas as parcelas contendo doses de 400 kg/há por serem as doses recomendadas, para obter amostras foliares homogêneas, minimizando os efeitos de variações causadas por fatores de ordem nutricional.

3.3. Coleta de dados

As coletas foram realizadas no dia 10 de abril de 2017, às 9 horas da manhã, sendo que nesse horário as folhas estavam túrgidas e havia menos conteúdo de água na superfície das folhas, terminando as mesmas às 10 horas da manhã. No total foram analisados o terço médio de 90 folhas de Mombaça e colocadas em três tipos de armazenamento diferentes.

3.3.1. Sensor utilizado

O sensor utilizado para as leituras espectrais foi um espectroradiômetro FieldSpec® 3 (Figura 4A), acoplado ao acessório LeafClip (Figura 4B), uma sonda de contato específica para análise de vegetação. O FieldSpec® 3 é um espectroradiômetro de uso geral capaz de mensurar reflectância, transmitância, radiância e irradiância, é um sensor

terrestre passivo de alta precisão, podendo ser utilizado para ambientes de campo e em laboratório. Ele opera na faixa de 350 a 2500 nm, sendo composto por três sensores, o VNIR (visible near-infrared, 350 - 1050 nm), SWIR1 (short-wave infrared, 1000 – 1800nm) e SWIR2 (1800 – 2500 nm) (ASD – Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, CO, USA).

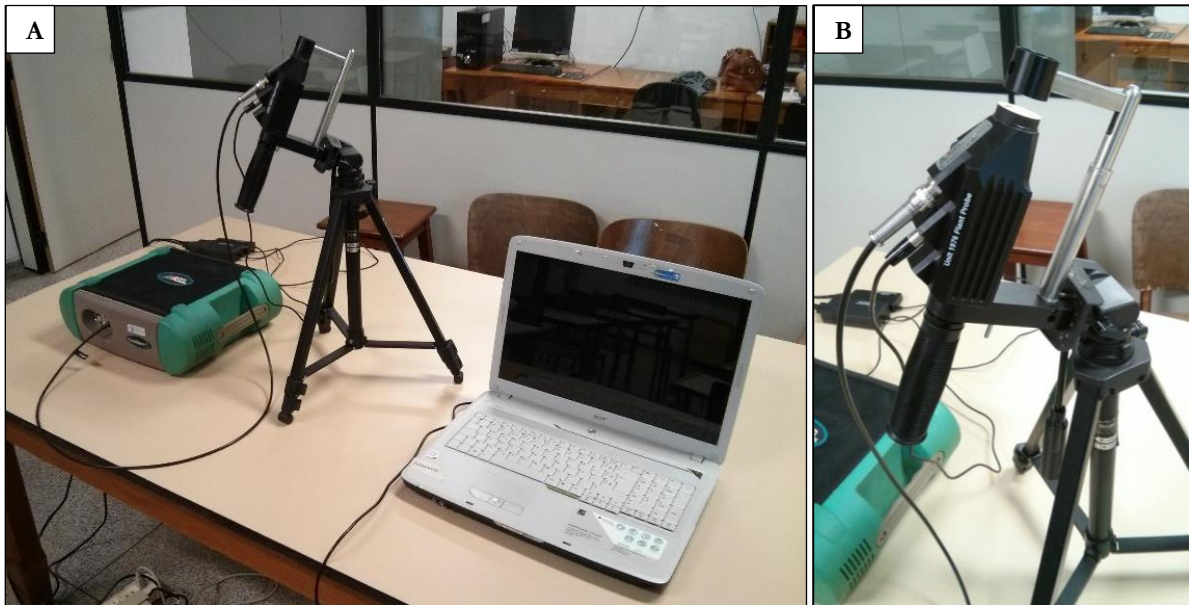


Figura 4. Conjunto de equipamentos utilizados para medições espectrais, composto pelo Fieldspec 3, acessório LeafClip e computador portátil.

O espectroradiômetro foi ligado pelo menos uma hora antes de seu uso, permitindo que o aparelho fosse aquecido, evitando mudanças nas curvas espectrais ao longo do tempo e diminuindo as diferenças entre os sensores.

No presente estudo, foram usados valores de reflectância relativa, obtidos pela divisão da energia refletida pelo alvo pela energia refletida por uma placa branca de referência. Tal placa é usada como leitura padrão, tendo como característica a reflexão de quase 100% da radiação incidente. No início de cada coleta de dados foi feita a leitura padrão com a placa branca Spectralon®, presente no acessório LeafClip, sendo que esse procedimento foi repetido a cada 30 folhas analisadas, ou quando a curva espectral se mostrava descaracterizada.

3.3.2. Coleta e armazenagem de amostras

No total foram testados três tipos de armazenamentos (Figura 5), o primeiro grupo de folhas foram guardadas em sacos plásticos translúcidos abertos, que ficaram dentro de uma caixa térmica com gelo, tomando-se cuidado para que as folhas não entrem em contato direto com o gelo (Figura 5A). O segundo conjunto de folhas coletadas foram inseridas em sacos plásticos translúcidos e lacrados junto de pequenos fragmentos de algodão umedecido, e colocadas dentro de uma caixa térmica (Figura 5B), como proposto por Sousa et al. (1996). O terceiro grupo de folhas coletadas foram mantidas ao ar livre ao longo de todo o experimento, sem qualquer invólucro (Figura 5C).



Figura 5. Técnicas de armazenamentos utilizadas no experimento.

Após um tempo de aquecimento do espectrorradiômetro FieldSpec® e posterior calibração através do Leafclip iniciou-se a coleta em campo. Primeiramente, era feita a escolha da folha diagnóstico a ser coletada, atentando para sua aparência, para que não fossem coletadas folhas com injúrias ou eventuais doenças.

Em seguida, foram escolhidas 30 folhas em duas parcelas (15 em cada uma) que continham as mesmas características (irrigação e adubação). Foram realizadas duas leituras espectrais por cada folha com a face ventral voltada para o sensor, para então ser realizado o corte do terço médio e imediato armazenamento dessa folha. As trinta primeiras folhas coletadas foram armazenadas em gelo, sendo seguidas pelas 30 armazenadas junto ao algodão úmido e por último as mantidas ao ar livre, sendo que essa ordem foi seguida para todas as leituras subsequentes (Figura 6).

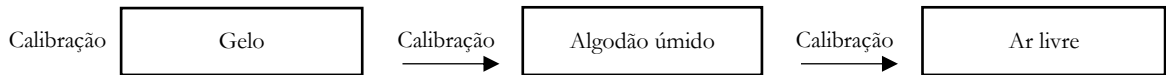


Figura 6. Ordem de análise espectral das folhas dos diferentes tratamentos e calibrações efetuadas.

No laboratório os equipamentos também foram preparados antecipadamente, com o intuito de estarem prontamente disponíveis para ser feitas as leituras.

Segundo a Figura 7 podemos observar qual foi o cronograma de trabalho seguido em campo para a coleta das diferentes amostras e como foram feitas as leituras posteriores em laboratório. A primeira leitura a ser realizada em laboratório aconteceu 2 horas após o término da coleta em campo, ou seja, as 12:00 do mesmo dia.

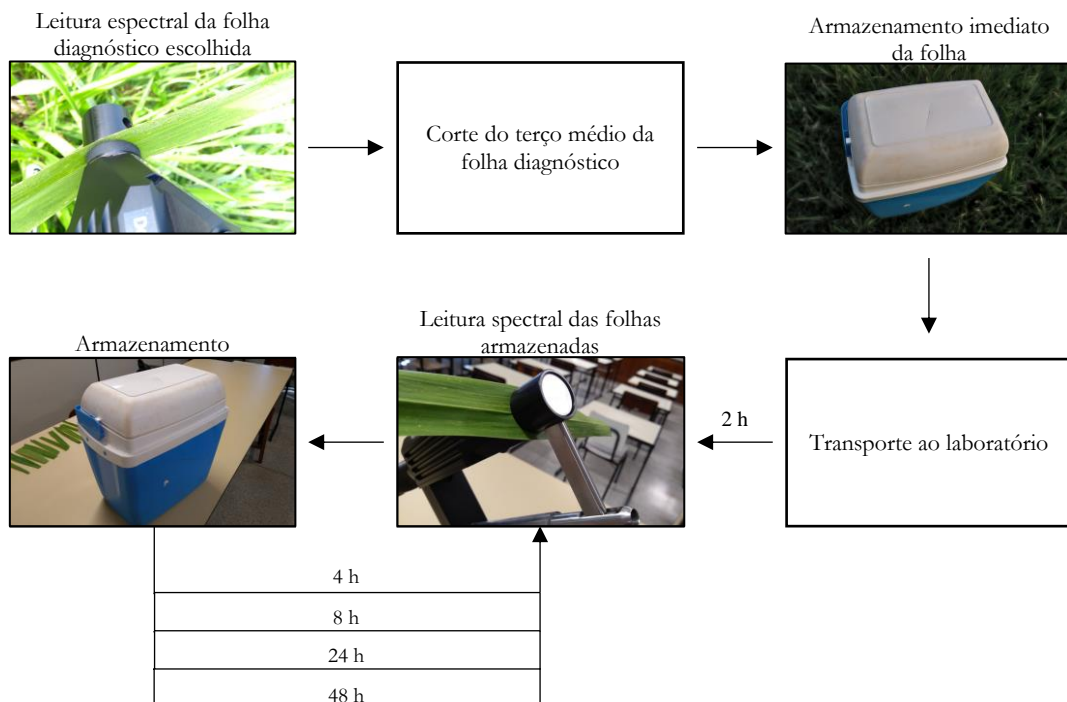


Figura 7. Cronograma de coleta de dados em campo, transporte e coleta de dados em laboratório.

Após cada leitura dos dados espectrais, foi feito um registro fotográfico das folhas, armazenando-as em seguida em cada uma das formas escolhidas ao longo do experimento.

Esse mesmo procedimento foi repetido após 4 (14:00), 8 (18:00), 24 (10:00) e 48 (10:00) horas após a coleta de campo.

3.4. Processamento dos dados

Primeiramente os dados foram convertidos do formato asd para txt, através do programa ViewSpec Pro (ASD Inc., Boulder, Colorado, EUA), para então serem exportados para uma planilha Excel como valores de fator de reflectância, sendo possível traçar a curva espectral de cada folha analisada.

As curvas espectrais obtidas foram divididas entre várias faixas espectrais com o objetivo de facilitar o processamento estatístico dos dados, como sugerido por Sousa et al (1996). No total foram escolhidas seis faixas espectrais, em que foram feitas a média aritmética dos valores de fator de reflectância dos comprimentos de onda dentro de cada faixa. Para a determinação de quais comprimentos de onda seriam utilizados em cada banda, foram escolhidas as que apresentavam valores mais extremos nos picos ou vales de cada região de interesse, e comprimentos de onda adjacentes que apresentavam valores semelhantes. O valor da média foi chamado de banda, e foram divididas da seguinte maneira:

- Banda 1 (0,47 – 0,49 nm): compreende a região de radiação eletromagnética visível, mais especificamente na faixa de radiação considerada como azul;
- Banda 2 (0,54 – 0,56 nm): compreende a região de radiação considerada como verde;
- Banda 3 (0,66 – 0,68 nm): compõe a região de radiação considerada como vermelha;
- Banda 4 (0,76 – 0,90 nm): faixa de radiação que compõe a região do infravermelho próximo;
- Banda 5 (1,43 – 1,47 nm): Faixa de radiação que compõe a região do infravermelho médio;
- Banda 6 (1,92 – 1,96 nm): Faixa de radiação que compõe a região do infravermelho médio;

As faixas espectrais selecionadas estão representadas no gráfico da Figura 8.

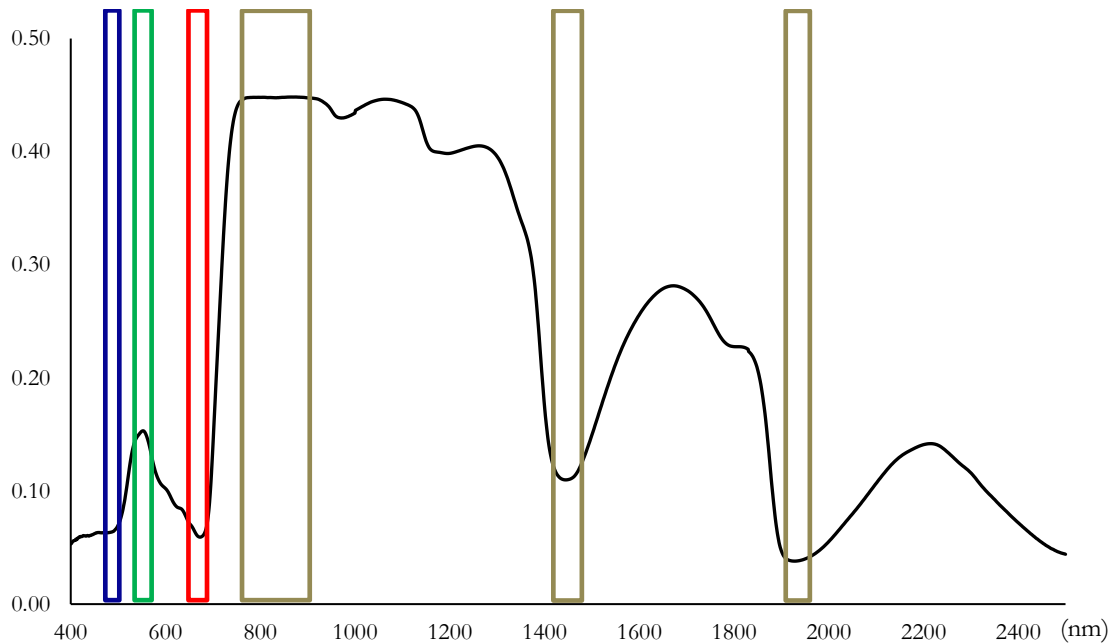


Figura 8. Faixas espectrais selecionadas para representar o comportamento espectral das folhas.

3.5. Análise estatística

Para verificar as mudanças do comportamento espectral ao longo do tempo, foi feita a análise de variância do fator de reflectância de cada faixa espectral em relação ao tempo e ao tipo de armazenamento. Após a verificação de diferenças significativas entre os dados, foi conduzido o teste de comparações entre médias de Tukey, considerando um nível de significância de 0.01. Através da estatística descrita acima é possível determinar se houveram mudanças significantes da resposta espectral das folhas ao longo do tempo, e se o tipo de armazenamento tem influência sobre seu comportamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 é composta pela média aritmética das faixas espectrais selecionadas para o experimento, separadas pelo seu respectivo tratamento e período de coleta de dados espectrais.

Tabela 1. Médias aritméticas do fator de reflectância de cada banda de acordo com o tempo em que foram feitas as leituras e o tratamento utilizado.

| Tratamento | Leitura (h) | Bandas espectrais | | | | | |
|------------|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 1 (0.47-0.49nm) | 2 (0.54-0.56nm) | 3 (0.66-0.68nm) | 4 (0.76-0.90nm) | 5 (1.47-1.43nm) | 6 (1.92-1.96nm) |
| Gelo | 0 | 0.0613 | 0.1492 | 0.0593 | 0.4457 | 0.1089 | 0.0363 |
| | 2 | 0.0731 | 0.1633 | 0.0708 | 0.4624 | 0.1392 | 0.0546 |
| | 4 | 0.0910 | 0.1876 | 0.0891 | 0.4920 | 0.1460 | 0.0677 |
| | 8 | 0.0703 | 0.1690 | 0.0680 | 0.4707 | 0.1165 | 0.0345 |
| | 24 | 0.0696 | 0.1674 | 0.0671 | 0.4705 | 0.1196 | 0.0331 |
| | 48 | 0.0669 | 0.1631 | 0.0661 | 0.4702 | 0.1161 | 0.0301 |
| Algodão | 0 | 0.0664 | 0.1529 | 0.0634 | 0.4431 | 0.1153 | 0.0448 |
| | 2 | 0.0853 | 0.1769 | 0.0822 | 0.4770 | 0.1429 | 0.0664 |
| | 4 | 0.0900 | 0.1855 | 0.0870 | 0.4896 | 0.1434 | 0.0674 |
| | 8 | 0.0661 | 0.1673 | 0.0639 | 0.4699 | 0.1044 | 0.0278 |
| | 24 | 0.0672 | 0.1689 | 0.0650 | 0.4712 | 0.1119 | 0.0294 |
| | 48 | 0.0752 | 0.2003 | 0.0779 | 0.4677 | 0.1120 | 0.0311 |
| Testemunha | 0 | 0.0627 | 0.1511 | 0.0595 | 0.4547 | 0.1109 | 0.0365 |
| | 2 | 0.1040 | 0.1943 | 0.0994 | 0.5031 | 0.1680 | 0.0783 |
| | 4 | 0.1016 | 0.1821 | 0.0962 | 0.4975 | 0.2014 | 0.0930 |
| | 8 | 0.0769 | 0.1497 | 0.0718 | 0.4934 | 0.2057 | 0.0785 |
| | 24 | 0.0949 | 0.1699 | 0.0884 | 0.5417 | 0.4077 | 0.2487 |
| | 48 | 0.1067 | 0.1847 | 0.0994 | 0.5512 | 0.4650 | 0.3152 |

A análise de variância foi realizada para verificar se haviam diferenças significativas entre os tratamentos para cada tempo de realização das leituras espectrais, para cada faixa espectral selecionada (Tabela 2). Pela observação dos valores de F da ANOVA é possível assumir que não houve diferença significativa entre os tratamentos nas primeiras leituras, que foram feitas em campo (0 horas), para todas as bandas.

Para o período depois de 4 horas depois da coleta em campo foi observado que para as bandas 2, 3 e 4 não houveram diferenças significativas entre os tratamentos, sendo que o mesmo comportamento também ocorre na banda 2 após 24 horas após a coleta das folhas.

A tabela da ANOVA aponta que para os demais tempos de leitura houveram diferenças significativas entre os tipos de tratamentos utilizados.

Tabela 2. Tabela ANOVA dos diferentes tratamentos utilizados.

| Período | Bandas Espectrais | | | | | |
|----------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 horas | 1.97 | 0.46 | 1.59 | 1.76 | 1.67 | 4.51 |
| 2 horas | 49.94** | 24.84** | 44.57** | 30.50** | 57.03** | 37.82** |
| 4 horas | 6.56* | 0.65 | 3.80 | 1.27 | 151.69** | 31.83** |
| 8 horas | 18.17** | 27.62** | 9.78* | 31.15** | 165.25** | 107.34** |
| 24 horas | 107.94** | 0.24 | 79.62** | 255.05** | 721.23** | 433.16** |
| 48 horas | 215.41** | 53.00** | 140.53** | 350.54** | 7820.85** | 13320.75** |

****** Diferença significativa a 1% de significância; ***** Diferença significativa a 5% de significância.

As leituras realizadas em campo antes do corte, as folhas apresentaram o resultado esperado, já que os três grupos coletados não apresentaram diferença significativa entre si, sendo que duas horas após a coleta já podem ser observadas diferenças entre pelo menos dois tratamentos. Tais resultados são coerentes com os obtidos por Daughtry e Biehl (1985), que observaram que as leituras espectrais feitas em folhas ainda ligadas à planta viva apresentaram mudanças mínimas na resposta espectral, apresentando mudanças pequenas porém significativas na região do infravermelho próximo.

Lee et al. (2014b) apontaram a importância do tempo entre coleta das folhas e sua análise espectral, tendo grande influência na resposta espectral, provavelmente devido a mudanças fisiológicas e anatômicas que as folhas sofrem quando entram em processo de senescência.

Para avaliar as diferenças das respostas espectrais das folhas ao longo do tempo, para os diferentes tipos de tratamento foi realizada a análise de variância (Tabela 3). Na tabela da ANOVA é possível observar que houveram diferenças significativas na resposta espectral das folhas em função do tempo de leitura após a coleta das folhas em todos os tratamentos utilizados e em todas bandas.

Tabela 3. Tabela ANOVA dos diferentes tempos de leitura.

| Tratamento | Bandas Espectrais | | | | | |
|------------|-------------------|---------|----------|---------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Gelo | 29.95** | 23.02** | 30.05** | 26.35** | 38.84** | 75.24** |
| Algodão | 26.99** | 26.93** | 26.24** | 21.10** | 64.85** | 90.40** |
| Ar Livre | 109.20** | 53.18** | 102.08** | 89.09** | 662.36** | 528.48** |

** Diferença significativa a 1% de significância; * Diferença significativa a 5% de significância.

A tabela acima demonstra que, para todos os tratamentos estudados, houve um efeito significativo do tempo de armazenamento sobre a resposta espectral das folhas. Lee et al. (2014b) observaram que as técnicas de armazenamento aparentam ter potencial para diminuir os efeitos do tempo sobre a resposta espectral das folhas analisadas.

Diferentes autores obtiveram diferentes resultados quando analisaram o comportamento espectral de folhas ao longo de tempo sobre diferentes tipos de armazenamentos, sendo que nem sempre o uso de resfriamento se mostrou mais eficiente que o armazenamento em condições ambientais, em relação ao prolongamento do tempo para haverem mudanças significativas na resposta espectral de folhas. Lee et al. (2014b) concluíram que as folhas de algodão apresentaram maiores mudanças nos primeiros momentos após o corte quando comparadas a folhas mantidas ao ar livre.

4.1. Comportamento espectral ao longo do tempo

4.1.1. Armazenamento em gelo

Através das fotos tiradas após cada coleta de dados espectrais das folhas armazenadas no gelo (Figura 9), é possível observar que as folhas mantiveram coloração verde, e a turgidez assim como apresentavam no momento do corte em campo, e também continham água em sua superfície. A partir da coleta de dados feita 24 horas após o corte, parte das folhas se dobraram em relação a nervura central.

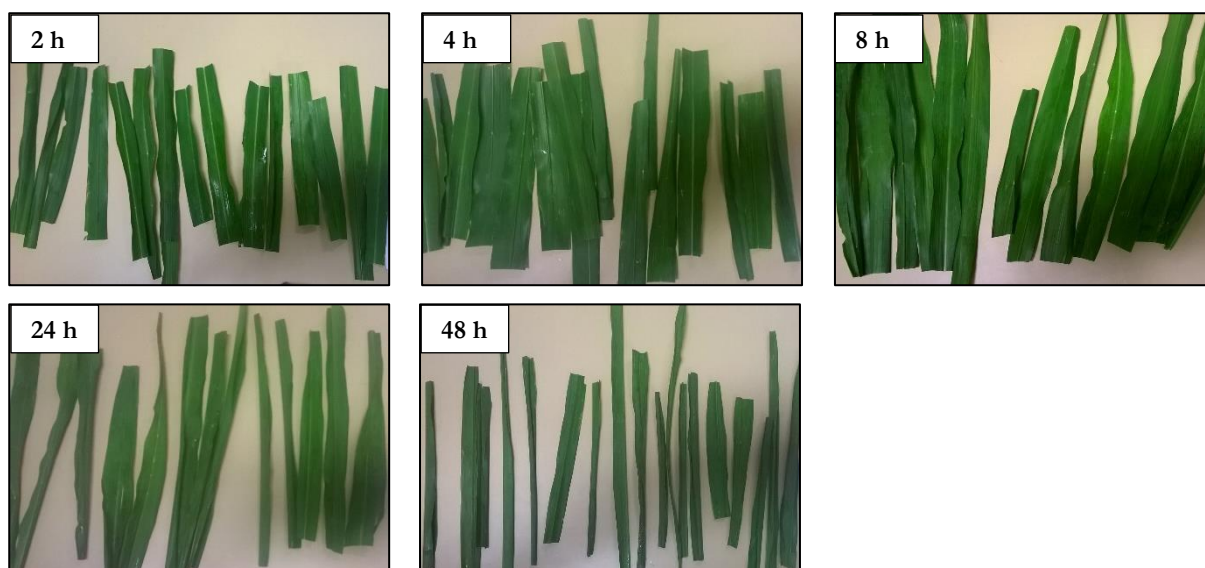


Figura 9. Fotos obtidas após cada coleta de dados espectrais de folhas armazenadas junto ao gelo, feitas em laboratório ao longo do tempo

O teste de tukey foi utilizado para comparar as médias dos fatores de reflectância de cada banda ao longo do tempo, sendo apresentadas em relação à primeira coleta de dados feita em campo, considerando um grau de significância de 0,01 (Tabela 4). O teste mostra que, para todas as bandas, houve uma diferença significativa entre as leituras realizadas 2 horas após o corte em relação à leitura feita em campo. O mesmo resultado se repete 4 horas após a extração, porém, depois das 8 horas observa-se que as bandas espectrais 3, 5 e 6 não apresentam significativa com a coleta de dados feita em campo.

Para as 24 horas e 48 horas após o corte, não houveram diferenças significativas entre a média das leituras espectrais em relação àquelas obtidas em campo para as bandas 1, 3, 5 e 6.

Tabela 4. Teste de Tukey dos fatores de reflectância obtidos em laboratório em comparação com os dados obtidos em campo.

| Período | | Bandas Espectrais | | | | | |
|--------------|----|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Até 2 horas | 0 | 0.0613 a | 0.1492 a | 0.0593 a | 0.4457 a | 0.1089 a | 0.0363 a |
| | 2 | 0.0731 b | 0.1633 b | 0.0708 b | 0.4624 b | 0.1392 b | 0.0546 b |
| Até 4 horas | 0 | 0.0613 a | 0.1492 a | 0.0593 a | 0.4457 a | 0.1089 a | 0.0363 a |
| | 4 | 0.0910 b | 0.1876 b | 0.0891 b | 0.4920 b | 0.1460 b | 0.0677 b |
| Até 8 horas | 0 | 0.0613 a | 0.1492 a | 0.0593 a | 0.4457 a | 0.1089 a | 0.0363 a |
| | 8 | 0.0703 b | 0.1690 b | 0.0680 a | 0.4707 b | 0.1165 a | 0.0345 a |
| Até 24 horas | 0 | 0.0613 a | 0.1492 a | 0.0593 a | 0.4457 a | 0.1089 a | 0.0363 a |
| | 24 | 0.0696 a | 0.1674 b | 0.0671 a | 0.4705 b | 0.1196 a | 0.0331 a |
| Até 48 horas | 0 | 0.0613 a | 0.1492 a | 0.0593 a | 0.4457 a | 0.1089 a | 0.0363 a |
| | 48 | 0.0669 a | 0.1631 b | 0.0661 a | 0.4702 b | 0.1161 a | 0.0301 a |

^{a,b,c} médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

Para as folhas armazenadas em gelo, a realização de leituras espectrais duas horas após o corte já se mostraram inadequadas por apresentarem diferenças significativas em relação as leituras feitas em campo, o que diverge de resultados obtidos por Daughtry e Biehl (1985), que concluíram que folhas de bétula poderiam ser armazenadas em ambiente resfriado ao longo de vários dias. Já Lee et al. (2014b) afirmou que para folhas de algodão e soja o armazenamento em gelo prolonga a integridade das folhas, mas que 30 minutos após o corte das folhas já haveria uma descaracterização da resposta espectral.

4.1.2. Armazenamento em algodão

As folhas armazenadas em sacos plásticos contendo algodão umedecido se mantiveram turgidas durante todo o experimento, porém, apresentavam consistência flácida, com ausência de água na superfície (Figura 10). As folhas não sofreram dobramento ao longo do tempo, porém após a coleta de dados 48 horas após o corte, foi possível observar manchas amareladas em algumas folhas.

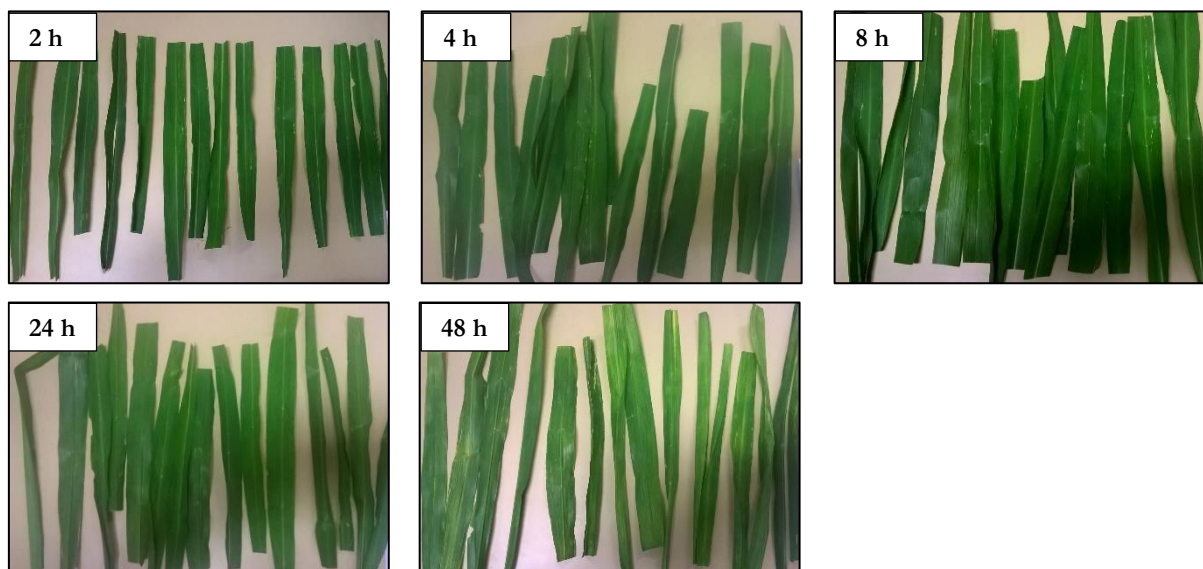


Figura 10. Fotos obtidas após cada coleta de dados espectrais de folhas armazenadas junto a algodão úmido, feitas em laboratório ao longo do tempo.

No teste de médias é possível observar que até 2 e 4 horas após o corte em campo houveram diferenças significativas entre o fator de reflectância em relação às leituras feitas antes do corte. Para as análises feitas após 8 horas, não houveram diferenças significativas entre as respostas espectrais nas bandas 1, 2, 4, 5 e 6, e para 24 e 48 horas não houveram diferenças significativas nas bandas 1, 4 e 6 (Tabela 5).

Tabela 5. Teste de Tukey dos fatores de reflectância obtidos em laboratório em comparação com os dados obtidos em campo.

| Período | | Bandas Espectrais | | | | | |
|--------------|----|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Até 2 horas | 0 | 0.0664 a | 0.1529 a | 0.0634 a | 0.4431 a | 0.1153 a | 0.0448 a |
| | 2 | 0.0853 b | 0.1769 b | 0.0822 b | 0.4770 b | 0.1429 b | 0.0664 b |
| Até 4 horas | 0 | 0.0664 a | 0.1529 a | 0.0634 a | 0.4431 a | 0.1153 a | 0.0448 a |
| | 4 | 0.0900 b | 0.1855 b | 0.0870 b | 0.4896 b | 0.1434 b | 0.0674 b |
| Até 8 horas | 0 | 0.0664 a | 0.1529 a | 0.0634 a | 0.4431 a | 0.1153 a | 0.0448 a |
| | 8 | 0.0661 a | 0.1673 a | 0.0639 b | 0.4699 a | 0.1044 a | 0.0278 b |
| Até 24 horas | 0 | 0.0664 a | 0.1529 a | 0.0634 a | 0.4431 a | 0.1153 a | 0.0448 a |
| | 24 | 0.0672 a | 0.1689 b | 0.0650 b | 0.4712 a | 0.1119 b | 0.0294 a |
| Até 48 horas | 0 | 0.0664 a | 0.1529 a | 0.0634 a | 0.4431 a | 0.1153 a | 0.0448 a |
| | 48 | 0.0752 a | 0.2003 b | 0.0779 b | 0.4677 b | 0.1120 b | 0.0311 a |

^{a,b,c} médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

Assim como nas folhas armazenadas no gelo, no tratamento com algodão úmido também houve um comportamento não esperado, em que nas primeiras quatro horas as leituras espectrais já se diferenciaram significativamente da feita em campo, sendo que após um período de 8 horas após a coleta, se observa respostas espectrais mais semelhantes com a feita antes do corte das folhas. Sousa, Ribeiro e Ponzoni (1996) observaram as primeiras mudanças significativas na resposta espectral de folhas de eucalipto, armazenadas junto com algodão úmido, 6 horas após a coleta, mostrando resultados diferentes em relação ao presente experimento, porém os autores também

observaram que nas primeiras oito horas, os fatores de reflectância apresentaram oscilações sem uma tendência definida, o que condiz com os resultados apresentados na Tabela 5.

4.1.3. Armazenamento ao ar livre

As folhas que não foram submetidas a nenhum tipo de armazenamento, apresentaram mudanças em sua aparência desde as 2 horas após seu corte em campo, apresentando aspecto seco, enrolamento da folha (Figura 11). Ao longo do tempo, as folhas apresentaram gradativa perda de água, menor volume e perda da coloração verde.

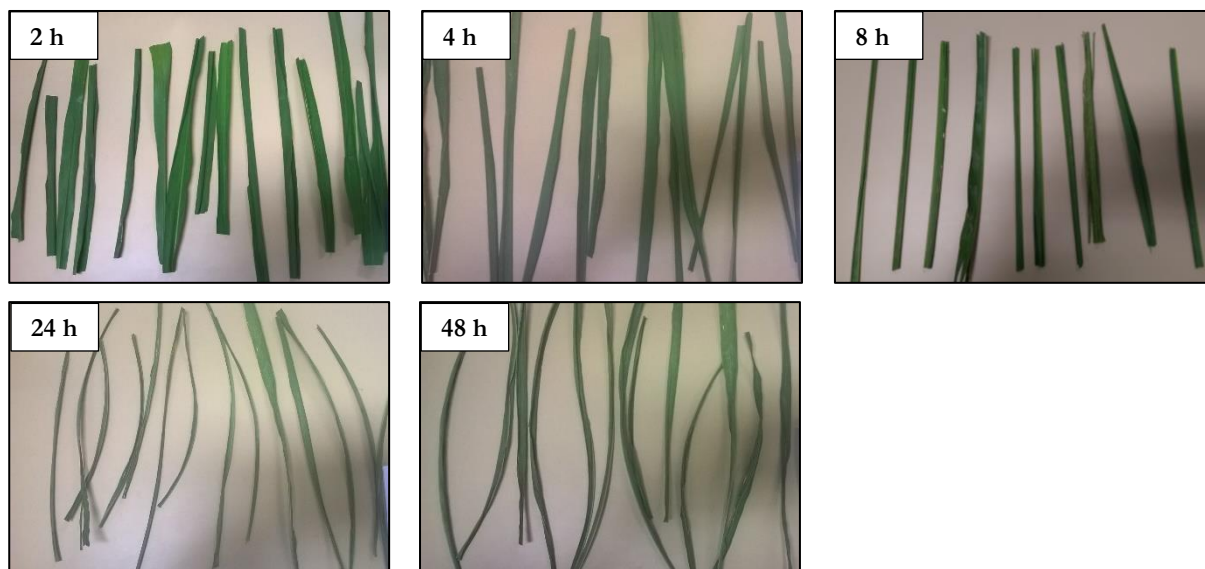


Figura 11. Fotos obtidas após cada coleta de dados espectrais de folhas mantidas ao ar livre, feitas em laboratório ao longo do tempo.

O teste de médias para as folhas mantidas ao ar livre mostra que houveram diferenças significativas entre todas as leituras feitas em laboratório em relação as leituras feitas em campo, antes do corte, exceto na leitura da banda 2, 8 horas após o corte das folhas, que não mostrou diferença significativa (Tabela 6).

Tabela 6. Teste de Tukey dos fatores de reflectância obtidos em laboratório em comparação com os dados obtidos em campo.

| Período | Bandas Espectrais | | | | | | |
|--------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Até 2 horas | 0 | 0.0627 a | 0.1511 a | 0.0595 a | 0.4547 a | 0.1109 a | 0.0365 a |
| | 2 | 0.1040 b | 0.1943 b | 0.0994 b | 0.5031 b | 0.1680 b | 0.0783 b |
| Até 4 horas | 0 | 0.0627 a | 0.1511 a | 0.0595 a | 0.4547 a | 0.1109 a | 0.0365 a |
| | 4 | 0.1016 b | 0.1821 b | 0.0962 b | 0.4975 b | 0.2014 b | 0.0930 b |
| Até 8 horas | 0 | 0.0627 a | 0.1511 a | 0.0595 a | 0.4547 a | 0.1109 a | 0.0365 a |
| | 8 | 0.0769 b | 0.1497 a | 0.0718 b | 0.4934 b | 0.2057 b | 0.0785 b |
| Até 24 horas | 0 | 0.0627 a | 0.1511 a | 0.0595 a | 0.4547 a | 0.1109 a | 0.0365 a |
| | 24 | 0.0949 b | 0.1699 b | 0.0884 b | 0.5417 b | 0.4077 b | 0.2487 b |
| Até 48 horas | 0 | 0.0627 a | 0.1511 a | 0.0595 a | 0.4547 a | 0.1109 a | 0.0365 a |
| | 48 | 0.1067 b | 0.1847 b | 0.0994 b | 0.5512 b | 0.4650 b | 0.3152 b |

^{a,b,c} médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

As folhas mantidas ao ar livre apresentaram valores mais distantes daqueles observados na leitura feita em campo, quando comparadas as folhas de outros tratamentos. Em contraste, Sousa, Ribeiro e Ponzoni (1996) observaram efeitos significativos do tempo sobre a resposta espectral, de folhas mantidas ao ar livre, apenas após 8 horas depois do corte nas regiões do azul e do vermelho, e a partir das 3 horas na região do infravermelho próximo, sendo que na região do verde não houveram mudanças ao longo do tempo.

4.2. Comportamento espectral dos diferentes tratamentos

A comparação entre os fatores de reflectância entre os diferentes tratamentos utilizados foi feita pelo teste de médias, considerando um grau de significância de 0,01 (Tabela 7). De acordo com os dados na tabela, é possível observar que não foram encontradas diferenças significativas entre a resposta espectral das folhas dos três tratamentos nas leituras feitas em campo, antes do corte, sendo que esse comportamento se repetiu em todas as bandas selecionadas.

Tabela 7. Teste de Tukey dos fatores de reflectância das folhas submetidas a diferentes técnicas de armazenamento.

| | Tratamento | Bandas Espectrais | | | | | |
|----------|------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 0 horas | Gelo | 0.0613 a | 0.1492 a | 0.0593 a | 0.4457 a | 0.1089 a | 0.0363 a |
| | Algodão | 0.0664 a | 0.1529 a | 0.0634 a | 0.4431 a | 0.1153 a | 0.0448 a |
| | Ar Livre | 0.0627 a | 0.1511 a | 0.0595 a | 0.4547 a | 0.1109 a | 0.0365 a |
| 2 horas | Gelo | 0.0731 a | 0.1633 a | 0.0708 a | 0.4624 a | 0.1392 a | 0.0546 a |
| | Algodão | 0.0853 b | 0.1769 b | 0.0822 b | 0.4770 a | 0.1429 a | 0.0664 b |
| | Ar Livre | 0.1040 c | 0.1943 c | 0.0994 c | 0.5031 b | 0.1680 b | 0.0783 c |
| 4 horas | Gelo | 0.0910 a | 0.1876 a | 0.0891 a | 0.4920 a | 0.1460 a | 0.0677 a |
| | Algodão | 0.0900 a | 0.1855 a | 0.0870 a | 0.4896 a | 0.1434 b | 0.0674 b |
| | Ar Livre | 0.1016 b | 0.1821 a | 0.0962 a | 0.4975 a | 0.2014 b | 0.0930 b |
| 8 horas | Gelo | 0.0703 a | 0.1690 a | 0.0680 ab | 0.4707 a | 0.1165 a | 0.0345 a |
| | Algodão | 0.0661 a | 0.1673 a | 0.0639 b | 0.4699 a | 0.1044 a | 0.0278 a |
| | Ar Livre | 0.0769 b | 0.1497 b | 0.0718 a | 0.4934 b | 0.2057 b | 0.0785 b |
| 24 horas | Gelo | 0.0696 a | 0.1674 a | 0.0671 a | 0.4705 a | 0.1196 a | 0.0331 a |
| | Algodão | 0.0672 a | 0.1689 a | 0.0650 a | 0.4712 a | 0.1119 a | 0.0294 a |
| | Ar Livre | 0.0949 b | 0.1699 a | 0.0884 b | 0.5417 b | 0.4077 b | 0.2487 b |
| 48 horas | Gelo | 0.0669 a | 0.1631 a | 0.0661 a | 0.4702 a | 0.1161 a | 0.0301 a |
| | Algodão | 0.0752 b | 0.2003 b | 0.0779 b | 0.4677 a | 0.1120 a | 0.0311 a |
| | Ar Livre | 0.1067 c | 0.1847 c | 0.0994 c | 0.5512 b | 0.4650 b | 0.3152 b |

^{a,b,c} médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de significância.

Depois de 8 horas após do corte das folhas, as respostas espectrais dos tratamentos gelo e algodão não diferem entre si nas bandas 4, 5 e 6. Na região do visível (Bandas 1, 2 e 3), todos os tratamentos se diferenciaram 2 horas após o corte, apresentando um comportamento instável nas leituras subsequentes. A semelhança entre resultados obtidos nos tratamentos de gelo e algodão podem ser explicados pela manutenção do conteúdo de água na folha, sendo que a desidratação da folha está relacionada com mudanças espectrais na faixa do infravermelho próximo (Banda 4), devido a diminuição da espessura da folha (FOLEY et al., 2006), nas faixas de absorção de água do infravermelho médio (Banda 5 e 6) (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012), e na região do visível (Banda 1, 2 e 3), devido a diminuição da concentração de clorofila e aumento da relação de carotenóides (SUN et al., 2008).

Portanto a maior desidratação das folhas mantidas ao ar livre pode estar relacionada com maiores mudanças em diferentes regiões da curva espectral, podendo ser de forma direta ou indireta, e explica porque a resposta espectral das folhas mantidas ao ar livre apresentou maiores mudanças em relação a leitura espectral feita em campo, em comparação aos outros tratamentos.

4.3. Comportamento espectral por banda

A evolução da resposta espectral ao longo do tempo, na banda 1, é demonstrada no gráfico da Figura 12. O comportamento dos fatores de reflectância apresentam um aumento significativo entre as leituras feitas em campo e as realizadas 2 horas após o corte, sendo que os valores continuam a subir nos tratamentos em gelo e algodão até o

período de 4 horas. Depois de 8 horas os valores de fator de reflectância das folhas dos três tratamentos diminuem para níveis similares em relação à leitura feita no campo. Até as 48 horas, as folhas dos tratamentos de gelo e algodão mantêm uma resposta espectral estável, e as que foram mantidas ao ar livre apresentaram aumento gradativo do fator de reflectância.

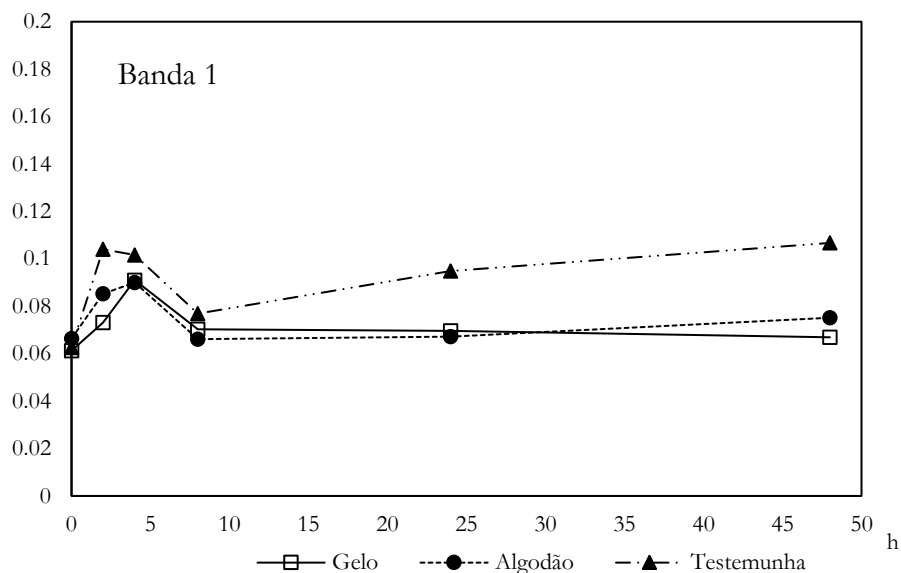


Figura 12. Gráfico de mudanças dos valores de fator de reflectância (eixo y) ao longo do tempo em horas (eixo x).

O aumento dos valores de fator de reflectância que ocorre 2 horas após o corte, pode estar relacionado a algum estresse fisiológico na planta, causando menor absorção de radiação eletromagnética dessa faixa espectral, e diminuindo a atividade fotossintética da planta. Tal comportamento também foi observado por Sousa, Ribeiro e Ponzoni (1996) na banda do azul.

Pela Figura 12, é visível que as folhas armazenadas com gelo apresentaram menor taxa de reflectância 2 horas após o corte em comparação com os outros tratamentos, o que pode indicar que o resfriamento das folhas foi mais eficiente em mitigar mudanças no comportamento espectral.

Pela análise visual, representada pelas Figuras 9, 10 e 11, não foi possível observar nenhuma mudança na coloração das folhas durante o período de 8 horas após o corte., porém, Page, Griffiths e Buchanan-Wollaston (2001) afirmam que mudanças nos compostos bioquímicos ocorrem antes do aparecimento de sintomas visuais. Os mesmos autores também observaram que para vegetais armazenados em resfriamento, os níveis de clorofila começaram a cair significativamente apenas após 11 dias da colheita, o que sugere que é improvável que houveram mudanças significativas nas concentrações de pigmentos nas folhas de mombaça durante o período de 8 horas após o corte, especialmente para aquelas armazenadas junto com gelo.

Outra explicação para o comportamento de aumento e queda dos valores de fator de reflectância, nas primeiras 8 horas, é a variação do conteúdo de água na folha, o que é coerente com os resultados obtidos por Peñuelas e Inoue (1999), que observaram que um aumento do fator de reflectância por toda a faixa espectral de 400nm a 2500nm a medida em que as folhas eram desidratadas.

Liang et al. (2010) e Shi, Zhuang e Niu (2007) observaram que a região do visível também é sensível a alterações da estrutura celular do mesófilo das folhas, sendo que este fator também é afetado pelo conteúdo de água, o que também pode ter induzido mudanças do comportamento espectral na faixa do visível ao longo do tempo.

Para a faixa espectral que compreende a banda 2, pode-se observar que a evolução das respostas segue um comportamento similar daquelas apresentadas na figura anterior, porém, com algumas diferenças pontuais (Figura 13). Assim como o gráfico da banda 1, há um aumento significativo dos fatores de reflectância das leituras feitas em campo para as leituras realizadas após duas horas do corte. Após quatro horas, há uma diminuição significativa na resposta espectral das folhas mantidas ao ar livre, enquanto que nos outros tratamentos os valores aumentaram. Nas leituras realizadas após 8 horas observa-se uma diminuição significativa nos fatores de reflectância das folhas de todos os tratamentos, sendo mais acentuada nas mantidas ao ar livre. No período de 24 horas há uma estabilização da resposta espectral das folhas armazenadas em gelo e algodão, e um aumento para as folhas mantidas ao ar livre. As 48 horas após o corte, há um aumento no fator de reflectância das folhas dos tratamentos em algodão e ao ar livre, sendo que a resposta das folhas mantidas em gelo permaneceu estável em relação aos períodos de 8 e 24 horas.

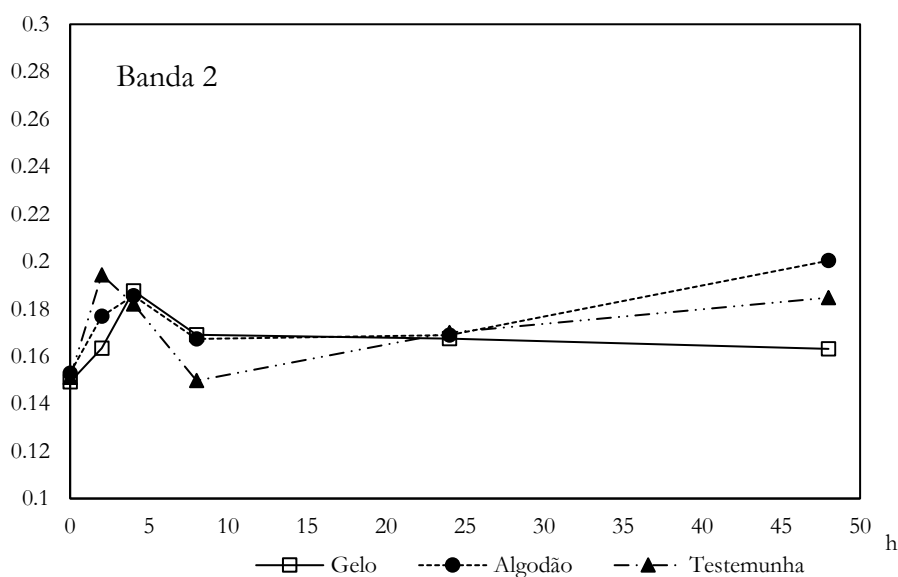


Figura 13. Gráfico de mudanças dos valores de fator de reflectância (eixo y) ao longo do tempo em horas (eixo x).

O aumento significativo do fator de reflectância das folhas armazenadas junto ao algodão, no período de 48 horas após o corte, é coerente com os resultados visuais mostrados na Figura 10, aonde é possível observar que as folhas desenvolveram coloração amarelada. Essa mudança de cor é um forte indício de que houveram mudanças na relação entre os pigmentos presentes nas folhas, em que pode ter ocorrido degradação das clorofilas, causando menor absorção de radiação eletromagnética na região do visível, sendo mais acentuada na região do verde.

Para a resposta espectral da faixa da banda 3, observa-se maior semelhança com o comportamento da banda 1 ao longo do tempo (Figura 14), apresentando aumento dos fatores de reflectância nas primeiras 4 horas após o corte com diferença nas folhas mantidas ao ar livre, que também sofreram diminuição entre os períodos de 2 e 4 horas. Entre o período de 8 a 48 horas há uma estabilização da resposta espectral das folhas armazenadas em gelo e algodão, sendo que esta última sofre um pequeno aumento no período de 48 horas, já as folhas mantidas ao ar livre apresentam um aumento gradativo do fator de reflectância.

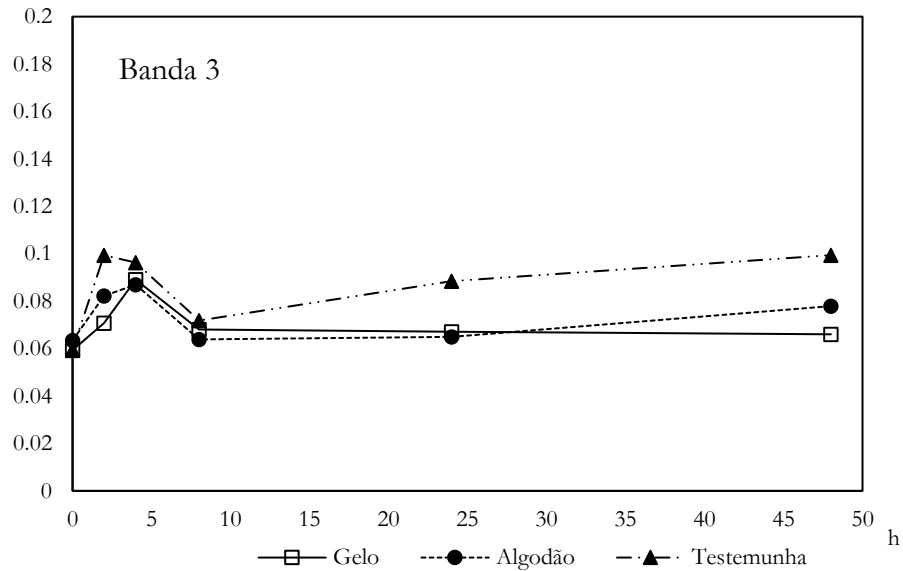


Figura 14. Gráfico de mudanças dos valores de fator de reflectância (eixo y) ao longo do tempo em horas (eixo x).

A evolução da resposta espectral da faixa da banda 4 (Figura 15) mostra um aumento ainda mais pronunciado do fator de reflectância até as 4 horas após o corte, e diferentemente das outras bandas citadas acima, no período de 8 horas após o corte não há uma diminuição significativa da resposta espectral das folhas mantidas ao ar livre, que também apresentaram um aumento muito expressivo após 24 e 48 horas. Para as folhas armazenadas em gelo e algodão também há a estabilização da resposta espectral após o período de 8 horas, porém com valores mais altos do que os valores obtidos nas leituras feitas em campo.

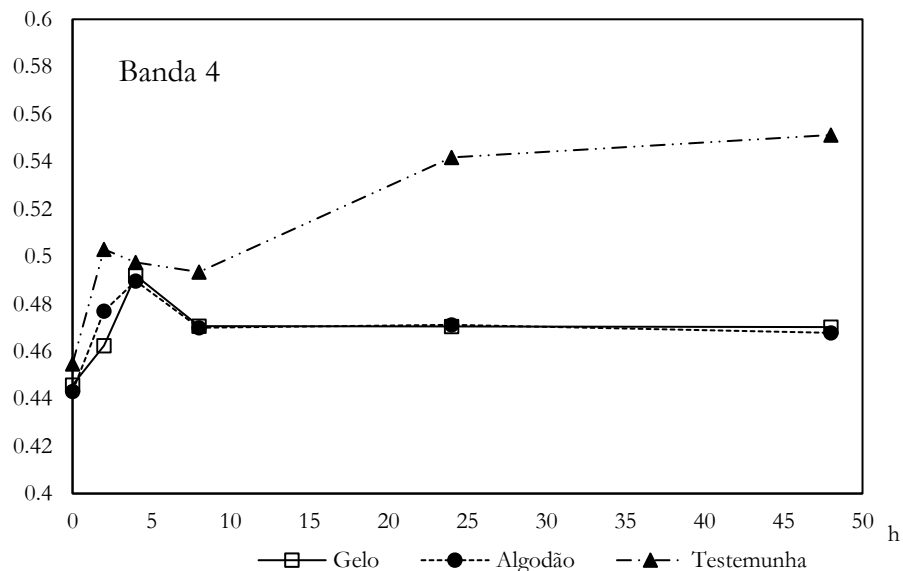


Figura 15. Gráfico de mudanças dos valores de fator de reflectância (eixo y) ao longo do tempo em horas (eixo x).

Como a região do infravermelho próximo é sensível a mudanças da estrutura celular do mesófilo de folhas, e esta também está relacionada com o conteúdo de água na folha, é possível sugerir que a quantidade de água nas folhas pode ser indicada como o principal fator para as mudanças no comportamento espectral ao longo do tempo. A região da banda 4 se mostra mais sensível ao efeito do tempo em comparação com as bandas 1, 2 e 3, apresentando maiores variações nos valores de fator de reflectância entre os intervalos das leituras. Sousa, Ribeiro e Ponzoni (1996) observou que na região do infravermelho próximo também houve um aumento seguido de decréscimo do fator de reflectância nas 8 primeiras horas após o corte de folhas de eucalipto armazenadas em sacos com algodão, porém, a variação foi menor do que a observada no presente estudo, essa diferença nos resultados pode ser explicada pelas diferenças entre as espécies.

Para a faixa espectral da banda 5 (Figura 16), pode-se observar que as folhas mantidas ao ar livre apresentaram um aumento contínuo do fator de reflexão entre as leituras feitas em campo e após um período de 48 horas. As folhas armazenadas em gelo e algodão apresentam resposta espectral muito similar ao longo do tempo, sofrendo um aumento do fator de reflectância até o período de 4 horas, para depois diminuírem após as 8 horas e manter uma resposta espectral estável até as 48 horas, apresentando valores relativos de reflectância similares às leituras feitas em campo.

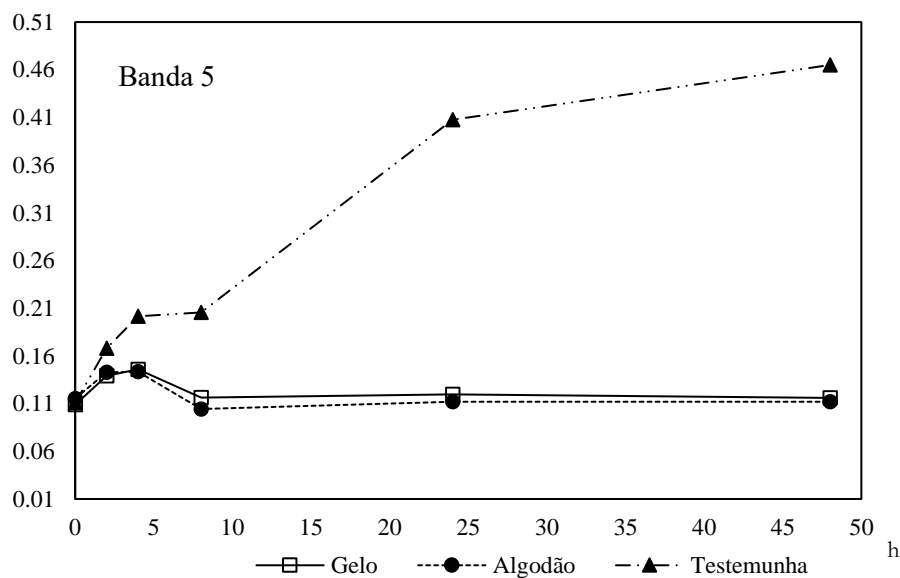


Figura 16. Gráfico de mudanças dos valores de fator de reflectância (eixo y) ao longo do tempo em horas (eixo x).

Para as bandas de absorção de água (Banda 5 e 6), nas folhas mantidas ao ar livre, a atenuação da absorvância nesses comprimentos de ondas nos períodos de 24 e 48 horas após o corte é característico de folhas em processo de secagem (FOLEY et al., 2006), e começam a caracterizar a presença de compostos como lignina, celulose, amido e proteínas (CURRAN, 1989).

Ao longo do tempo, a resposta espectral da banda 6 apresenta um aumento do fator de reflectância das folhas de todos os tratamentos até o período de 4 horas, seguido por um decréscimo desses valores após 8 horas. Para os períodos de 24 e 48 horas após o corte, há um aumento significativo da resposta espectral das folhas mantidas ao ar livre, e há uma estabilização dos valores das folhas armazenadas em gelo e algodão, sendo similares às respostas obtidas na leitura realizada em campo (Figura 17).

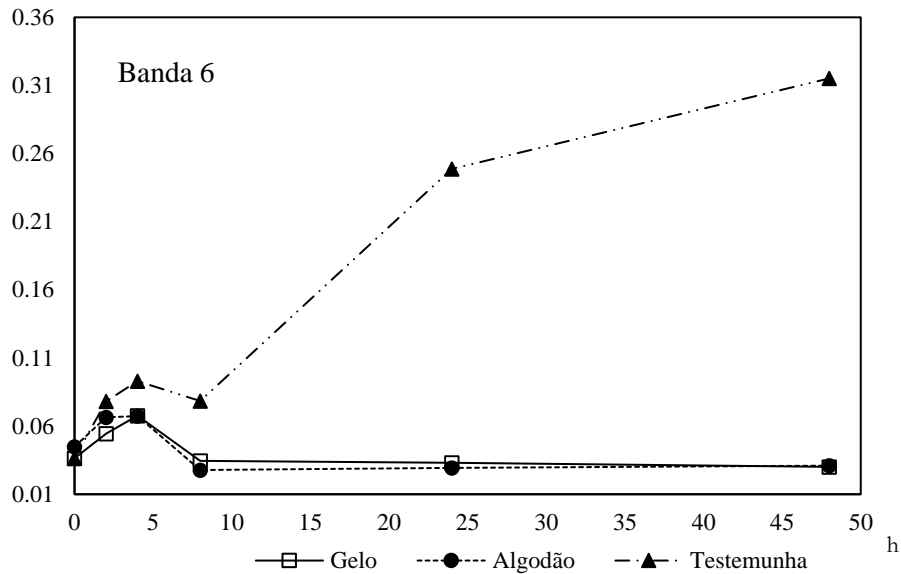


Figura 17. Gráfico de mudanças dos valores de fator de reflectância (eixo y) ao longo do tempo em horas (eixo x).

As folhas armazenadas junto a algodão e ao gelo apresentaram valores de taxa de reflectância estáveis e próximos aos encontrados na leitura feita em campo após o período de 8 horas após o corte. Foley et al. (2006) observaram que para diversas espécies o conteúdo de água em folhas mantidas em sacos plásticos selados com tecido úmido dentro não apresentaram mudanças significativas. Esse fato que enfraquece a hipótese de que o pico de taxa de reflectância presente 4 horas após o corte seja causado por variações do conteúdo da água na folha, porém, a pesquisa feita por Foley et al. (2006) estudou espécies anatomicamente distintas de uma forrageira tropical, podendo apresentar diferente comportamento em relação a desidratação de folhas cortadas.

Os gráficos descritos acima demonstram que as folhas armazenadas em gelo apresentam valores de fator de reflectância menores em relação aos outros tratamentos, no período de 2 horas após o corte. Também é possível observar que há um comportamento instável da resposta espectral em todas as bandas no intervalo entre as leituras em campo e as leituras feitas após 8 horas, sendo que depois desse período há uma resposta com comportamento mais previsível.

Nenhum dos tratamentos foi capaz de manter a resposta espectral das folhas intactas em relação as leituras feitas em campo, isso pode ter sido causado por alterações na estrutura do mesófilo, relação de pigmentos e pela mudança no conteúdo de água na folha. Para cada banda espectral analisada, os fatores listados acima podem ter um efeito conjunto, sendo difícil saber se um foi mais impactante que o outro, pois não foram feitos cortes histológicos, quantificação de pigmentos, nem análise de conteúdo de água na folha.

5. CONCLUSÕES

Pela interpretação dos resultados obtidos, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- O tempo e o tipo de armazenamento influenciaram significativamente na resposta espectral das folhas em todas as faixas espectrais analisadas;
- Foi possível observar que as diferentes faixas espectrais apresentaram uma tendência de comportamento ao longo do tempo, sofrendo um aumento do fator de reflectância nas primeiras 4 horas após o corte, seguida de uma diminuição no período de 8 horas, e nas leituras seguintes, as folhas armazenadas com gelo e algodão apresentaram uma estabilização nos valores de fator de reflectância, e as folhas mantidas ao ar livre sofreram um aumento contínuo ao longo do tempo;
- As folhas submetidas aos três tratamentos apresentaram mudanças significativas em sua resposta espectral 2 horas após seu corte, sendo que o armazenamento com gelo apresentou valores de fator de reflectância mais próximos aos observados nas leituras feitas em campo;
- O armazenamento em gelo apresentou melhor eficiência na preservação das características espectrais das folhas de Mombaça ao longo do tempo;

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ATZBERGER, C. Advances in remote sensing of agriculture: Context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sensing*, v. 5, n. 2, p. 949–981, 2013.
- BATISTOTTI, C. **Quantificação morfoanatômica de lâminas foliares de genótipos de *Panicum maximum***. [s.l.] Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2006.
- BAYAT, B.; VAN DER TOL, C.; VERHOEF, W. Remote Sensing of Grass Response to Drought Stress Using Spectroscopic Techniques and Canopy Reflectance Model Inversion. *Remote Sensing*, v. 8, n. 7, p. 557, 1 jul. 2016.
- BLACKBURN, G. A. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: An evaluation of some hyperspectral approaches. *Remote Sensing of Environment*, v. 66, n. 3, p. 273–285, 1998.
- BLACKBURN, G. A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments. *Journal of Experimental Botany*, v. 58, n. 4, p. 855–867, 30 nov. 2007.
- CAMPBELL, J. B.; WYNNE, R. H. **Introduction to remote sensing**. 5. ed. New York: Guilford Press, 2011.
- CAO, Z.; WANG, Q.; ZHENG, C. Best hyperspectral indices for tracing leaf water status as determined from leaf dehydration experiments. *Ecological Indicators*, v. 54, p. 96–107, 2015.
- CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V. Organização dos tecidos de plantas forrageiras e suas implicações para os ruminantes. *Archivos De Zootecnia*, v. 57, p. 13–28, 2008.
- CASTRO, E. M. DE; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: Editora UFLA, 2009.
- CECCATO, P. et al. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, v. 77, n. 1, p. 22–33, 2001.
- CLARK, M. L.; ROBERTS, D. A.; CLARK, D. B. Hyperspectral discrimination of tropical rain forest tree species at leaf to crown scales. *Remote Sensing of Environment*, v. 96, n. 3–4, p. 375–398, 2005.
- CURRAN, P. J. Remote sensing of foliar chemistry. *Remote Sensing of Environment*, v. 30, n. 3, p. 271–278, 1989.
- CURRAN, P. J.; DUNGAN, J. L.; PETERSON, D. L. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry: Testing the Kokaly and Clark methodologies. *Remote Sensing of Environment*, v. 76, n. 3, p. 349–359, 2001.
- CUTLER, D. F.; BOTHA, T.; STEVENSON, D. W. **Anatomia Vegetal: uma abordagem aplicada**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2011.
- DATT, B. Remote sensing of water content in Eucalyptus leaves. *Australian Journal of Botany*, v. 47, n. 6, p. 909–923, 1999.
- DAUGHTRY, C. S. T. et al. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment*, v. 74, n. 2, p. 229–239, nov. 2000.
- DAUGHTRY, C. S. T.; BIEHL, L. L. Changes in spectral properties of detached birch leaves. *Remote Sensing of Environment*, v. 17, n. 3, p. 281–289, 1985.
- DICKISON, W. C. **Integrative Plant Anatomy**. [s.l.] Academic Press, 2000.
- FAO. **The State of Food and Agriculture/Livestock in the Balance**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://books.google.com/books?id=V1qrPwAACAAJ&dq=intitle:Livestock+in+the+balance&hl=&cd=15&source=gbs_api%5Cnpapers2://publication/uuid/F6B30CC3-5968-4026-8CAD-676C21F4EDBC>.

- FINGER, F. L. et al. Colheita, classificação e armazenamento de inflorescências. In: BARBOSA, J. G. (Ed.). . **Crisântemos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003. p. 123–140.
- FOLEY, S. et al. Foliar spectral properties following leaf clipping and implications for handling techniques. **Remote Sensing of Environment**, v. 103, n. 3, p. 265–275, 2006.
- GITELSON, A. A.; GRITZ †, Y.; MERZLYAK, M. N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 3, p. 271–282, 2003.
- GODFRAY, H. C. J. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812 LP-818, 11 fev. 2010.
- GOEL, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, v. 4, n. 1, p. 1–212, 1 jan. 1988.
- GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, A. B. et al. Using field spectrometry and a plant probe accessory to determine leaf water content in commercial vineyards. **Agricultural Water Management**, v. 156, p. 43–50, 2015.
- GOVENDER, M. et al. Review of commonly used remote sensing and ground-based technologies to measure plant water stress. **Water SA**, v. 35, n. 5, p. 741–752, 2009.
- GUO, Z. et al. Nondestructive Quantification of Foliar Chlorophyll in an Apple Orchard by Visible/Near-Infrared Reflectance Spectroscopy and Partial Least Squares. **Spectroscopy Letters**, v. 47, n. 6, p. 481–487, 3 jul. 2014.
- KHDERY, G. A. et al. Diversity and Taxonomic Implication of Angiosperms in Sinai Peninsula as Revealed by Hyperspectral Remote Sensing. **International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS**, v. 3, n. 1, p. 748–768, 2014.
- KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.
- KOUKOUNARAS, A.; SIOMOS, A. S.; SFAKIOTAKIS, E. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality of rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves as affected by leaf age and storage temperature. **Postharvest Biology and Technology**, v. 46, n. 2, p. 167–173, nov. 2007.
- KUMAR, R. **Radiation from plants reflection and emission: a review**. [s.l.] School of Aeronautics, Astronautics, and Engineering Sciences, 1972.
- LAKKARAJU, V. R. et al. Studying the vegetation response to simulated leakage of sequestered CO₂ using spectral vegetation indices. **Ecological Informatics**, v. 5, n. 5, p. 379–389, set. 2010.
- LEE, M. et al. Effects of Sample Storage on Spectral Reflectance Changes in Corn Leaves Excised From the Field. **Journal of Agricultural Science**, v. 6, n. 8, p. 214–220, 2014a.
- LEE, M. A. et al. Determining the effects of storage on cotton and soybean leaf samples for hyperspectral analysis. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 7, n. 6, p. 2562–2570, 2014b.
- LIANG, S.-Z. et al. Relational analysis of spectra and red-edge characteristics of plant leaf and leaf biochemical constituent. **Chinese Journal of Eco-Agriculture**, v. 18, n. 4, p. 804–809, 19 jul. 2010.
- LITTLE, C. R.; SUMMY, K. R. Accurate Spectral Measurements and Color Infrared Imagery of Excised Leaves Exhibiting Gaussian Curvature from Healthy and Stressed Plants. In: VENTZAS, D. (Ed.). . **Advanced Image Acquisition, Processing Techniques and Applications**. [s.l.] INTECH, 2012. p. 170.
- LIU, Z. et al. Hyperspectral Discrimination and Response Characteristics of Stressed Rice Leaves Caused by Rice Leaf Folder. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 369 AICT, n. PART 2, p. 528–537,

2012.

MAKI, M.; ISHIAHRA, M.; TAMURA, M. Estimation of leaf water status to monitor the risk of forest fires by using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 4, p. 441–450, 2004.

MAYAK, S. Senescence of cut flowers. **HortScience**, v. 22, n. 5, p. 863–865, 1989.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. [s.l.] Editora UFV, 2005.

MOSER, L. Post-harvest physiological changes in forage plants. **Crop Science Society of Agronomy and American Society of Agronomy**, v. 22, 1995.

MULLA, D. J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, v. 114, n. 4, p. 358–371, 2013.

NGIE, A.; AHMED, F.; ABUTALEB, K. Assessing maize foliar water stress levels under field conditions using in-situ Spectroscopy. **Rwanda Journal**, v. 1, p. 1–8, 2010.

NOVO, E. M. L. . **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

PAGE, T.; GRIFFITHS, G.; BUCHANAN-WOLLASTON, V. Molecular and Biochemical Characterization of Postharvest Senescence in Broccoli. **Plant Physiology**, v. 125, n. 2, p. 718–727, 1 fev. 2001.

PENUELAS, J. et al. Reflectance indices associated with physiological changes in Nitrogen - and water - limited sunflower leaves. **Remote Sensing of Environment**, v. 48, n. October 1993, p. 135–146, 1994.

PENUELAS, J.; INOUE, Y. Reflectance indices indicative of changes in water and pigment contents of peanut and wheat leaves. **Photosynthetica**, v. 36, n. 3, p. 355–360, 1999.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

POTŮČKOVÁ, M. et al. Comparison of Reflectance Measurements Acquired with a Contact Probe and an Integration Sphere: Implications for the Spectral Properties of Vegetation at a Leaf Level. **Sensors**, v. 16, n. 12, p. 1801, 28 out. 2016.

ROY, D. P. et al. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote Sensing of Environment**, v. 145, p. 154–172, 2014.

SANCHES, I. et al. **Influência do tempo após a coleta de folhas na reflectância e transmitância**. Anais XI SBSR. Anais...INPE, 2003

SCHUH, M. S. et al. Análise temporal do vigor vegetativo por meio de espectrorradiometria. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 1888–1894, 2016.

SHI, R.; ZHUANG, D.; NIU, Z. Estimation of Optimal Mesophyll Structure Parameter of Rice Leaves. **Journal of Remote Sensing**, v. 11, n. 5, 2007.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, n. 2–3, p. 337–354, 2002.

SOUSA, C.; RIBEIRO, M.; PONZONI, F. Influência do tempo e do tipo de armazenamento na reflectância espectral de folhas de *Eucalyptus grandis* “ex-situ”. **Árvore**, v. 20, n. 2, p. 255–265, 1996.

SOUSA, H. H. F. **Fluxo preferencial de água no solo pela aplicação da equação de Darcy-Buckingham e do método do balanço de água no solo**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2014.

SUMMY, K. R. et al. Effects of Leaf Excision and Sample Storage Methods on Spectral Reflectance by Foliage of Giant Reed , *Arundo donax*. **Subtropical Plant Science**, v. 63, p. 54–64, 2011.

- SUN, L.; SIMMONS, B. A.; SINGH, S. Understanding tissue specific compositions of bioenergy feedstocks through hyperspectral Raman imaging. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 108, n. 2, p. 286–295, 2011.
- SUN, P. et al. Associated changes in physiological parameters and spectral reflectance indices in olive (*Olea europaea* L.) leaves in response to different levels of water stress. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 6, p. 1725–1743, mar. 2008.
- TULIO, A. Z. et al. Effects of storage temperatures on the postharvest quality of jute leaves (*Corchorus olitorius* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 26, n. 3, p. 329–338, 2002.
- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Série de Dados Climatológicos do Campus Luiz de Queiroz de Piracicaba, SP. Departamento de Engenharia de Biosistemas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/postocon.html>>.
- WANG, Q.; LI, P. Identification of robust hyperspectral indices on forest leaf water content using PROSPECT simulated dataset and field reflectance measurements. **Hydrological Processes**, v. 26, n. 8, p. 1230–1241, 2012.
- WILSON, J. R. Variation of leaf characteristics with level of insertion on a grass tiller. II.* Anatomy. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 27, n. 3, p. 355–364, 1 jun. 1976.
- YI, Q. XIANG et al. Estimation of leaf water content in cotton by means of hyperspectral indices. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 90, p. 144–151, 2013.