

Detecção do mofo-branco no feijoeiro, utilizando características espectrais

Lorena Temponi Boechat¹, Francisco de Assis de Carvalho Pinto², Trazilbo José de Paula Júnior³, Daniel Marçal Queiroz⁴, Hudson Teixeira⁵

<http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461060004>

RESUMO

Neste trabalho, objetivou-se estudar a resposta espectral de plantas de feijoeiro à infecção por *Sclerotinia sclerotiorum*, fungo causador do mofo-branco. Foram conduzidos dois ensaios, no delineamento em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições, no primeiro ensaio, e seis tratamentos e quatro repetições, no segundo. Medidas de reflectância espectral do dossel do feijoeiro, entre os comprimentos de ondas de 400 a 850 nm, foram tomadas aos 60, 71, 91 e 102 dias após a emergência (DAE), no primeiro ensaio, e aos 13, 27, 34, 56, 71 e 91 DAE, no segundo. Os dados espectrais foram transformados em índices de vegetação: da diferença normalizada (NDVI), da diferença de verde normalizado (GNDVI) e ajustado para o solo (SAVI). A severidade do mofo-branco foi avaliada, visualmente, aos 102 DAE, no primeiro ensaio, e aos 92 DAE, no segundo. Houve correlação significativa apenas no segundo ensaio, entre a severidade da doença e o NDVI, aos 71 DAE. A resposta espectral do feijoeiro pode ser utilizada para a detecção da ocorrência do mofo-branco e, conseqüentemente, como ferramenta no manejo integrado.

Palavras-chave: feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), agricultura de precisão, índice de vegetação, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Detection of white mold in dry beans using spectral characteristics

The objective of this work was to study the spectral response of bean plants infected by *Sclerotinia sclerotiorum*, the causal agent of white mold. Two experiments were conducted using a randomized block design with five treatments and four replications in the first trial and six treatments and four replications in the second. Measurements of canopy spectral reflectance of wavelengths between 400 and 850 nm were taken at 60, 71, 91 and 102 days after emergence (DAE) in the first trial and at 13, 27, 34, 56, 71 and 91 DAE in the second. Spectral data were transformed into vegetation indices: the normalized difference (NDVI), the green normalized difference (GNDVI) and the soil adjusted (SAVI). The white mold severity was visually assessed at 102 DAE in the first trial and at 92 DAE in the second. A significant correlation between disease severity and NDVI was found only at 71 DAE in the second trial. The bean crop spectral response can be used to detect white mold occurrence and, consequently, as an integrated management tool.

Key words: dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.), precision agriculture, remote sensing, vegetation index.

Recebido para publicação em 15/10/2012 e aprovado em 23/04/2014.

¹ Graduada em Ciência da Computação, Doutora. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. lorena.boechat@ufv.br (autora para correspondência).

² Engenheiro Agrícola, Doutor. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. facpinto@ufv.br

³ Engenheiro Agrícola, Doutor. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. queiroz@ufv.br

⁴ Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Vila Giannetti 46, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. trazilbo@epamig.br

⁵ Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Caixa Postal 176, Campus da UFLA, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil. hudsont@epamig.br

INTRODUÇÃO

O feijoeiro é atacado por doenças causadas por fungos, bactérias, vírus e nematoides que, se não forem controladas a tempo, podem provocar grandes perdas na produção. Por essa razão, a procura por soluções tecnológicas para detecção de doenças e pragas, no estágio inicial de desenvolvimento da planta, pode auxiliar o produtor agrícola a alcançar a sustentabilidade econômica e ambiental na produção do feijão, realizando o controle, no momento adequado e no local necessário.

A ocorrência de doenças é uma das principais causas de redução da produtividade do feijoeiro, pois, dependendo das condições ambientais, podem causar perda total da produção, depreciar a qualidade do produto ou até inviabilizar determinadas áreas para o cultivo. As principais doenças que ocorrem na cultura do feijão, no Estado de Minas Gerais, são mofo-branco, antracnose, mancha-angular, ferrugem, murcha-de-fusarium e podridões-radiculares (Paula Júnior *et al.*, 2006). A quantificação de danos é um ponto-chave na definição de qualquer estratégia de controle de doenças.

O mofo-branco, causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, é a doença do feijoeiro mais destrutiva, nas áreas irrigadas do Brasil, notadamente nos plantios realizados nas safras de outono-inverno, em que as perdas têm sido elevadas nos últimos anos (Paula Júnior *et al.*, 2006). A crescente demanda por alimentos tem exigido maior eficiência das técnicas que aumentam a produtividade e é, cada vez mais, necessário desenvolver tecnologias que permitam produzir mais e com maior qualidade. No entanto, a produtividade e a qualidade do produto podem ficar comprometidas, aumentando também os custos de produção. Por isso, estudos que viabilizam o monitoramento e as estimativas de parâmetros biofísicos do feijoeiro são fundamentais para estimar o rendimento da cultura e auxiliar no manejo de doenças.

O uso conjunto de técnicas de sensoriamento remoto e de manejo localizado, com aplicação de defensivos em taxa variável, são exemplos de tecnologias que podem auxiliar a obtenção de alimentos de forma sustentável econômica e ambiental, com foco na maior eficiência de uso dos insumos agrícolas. O uso racional dessas tecnologias, utilizadas como ferramentas de acompanhamento, controle e análise, permite verificar as variações espaciais e temporais dos fatores limitantes à produção e orientar o processo de tomada de decisão, na aplicação localizada de insumos e no manejo diferenciado (Vargas, 2011).

Geralmente, as plantas afetadas por doenças apresentam crescimento reduzido e sintomas de amarelecimento, que proporcionam contraste na resposta espectral, em relação às plantas saudáveis (Brenchley, 1968). Dalla Pria & Silva (2010) relatam que é possível aplicar técnicas de sensoriamento remoto na avaliação de doenças, utili-

zando-se a reflectância da radiação solar em certos comprimentos de onda, estimada por sensores especiais. Dessa maneira, a intensidade das doenças pode ser avaliada sem que haja contato físico com as plantas, por meio da aplicação de ferramentas de sensoriamento remoto, as quais se baseiam na medição da energia refletida ou emitida por um objeto, sem contato físico com ele. As medidas de reflectância espectral constituem o principal exemplo da aplicação dessas técnicas na fitopatologia, uma vez que existem diferenças entre as respostas espectrais de uma folha sadia e de uma folha doente (Silva *et al.*, 2000; Gröll *et al.*, 2008).

Diferenças na reflectância podem ser utilizadas para detectar alterações fisiológicas nas folhas, como perda de umidade e degradação da clorofila. Os dados obtidos com o espectrorradiômetro fornecem valores numéricos que são separados em faixas de comprimentos de onda, para o cálculo de índices de vegetação que estejam correlacionados à variável em estudo. Existem vários índices de vegetação que visam a explorar as atividades espectrais da vegetação nas regiões do visível e do infravermelho próximo (Ponzoni & Shimabukuro, 2007). Hikishima *et al.* (2010) verificaram que a ferrugem asiática da soja reduziu a reflectância característica da área foliar sadia, sendo que as parcelas infectadas apresentaram menores valores do Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI). Por sua vez, Silva *et al.* (2009) verificaram que as medidas de reflectância em 810 nm apresentaram correlação com a produtividade da soja e a severidade da ferrugem asiática. Segundo esses autores, essa estratégia apresentou potencial para ser utilizada também na detecção de efeitos fitotóxicos ou tônicos de fungicidas.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar a resposta espectral de plantas de feijoeiro, infectadas por *S. sclerotiorum*, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, com vistas à detecção da ocorrência do mofo-branco.

MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos foram conduzidos na área experimental do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada em Viçosa, MG (20° 45' 14" S, 42° 52' 53" W, em altitude média 649 m). O primeiro ensaio foi instalado no outono-inverno de 2009, com semeadura em 25 de maio, emergência em 31 de maio e colheita em 21 de setembro. O segundo ensaio foi instalado na safra de outono-inverno de 2010, com semeadura em 20 de maio, emergência em 26 de maio e colheita em 10 de setembro. As áreas desses experimentos têm sido cultivadas com feijão no outono-inverno, há vários anos, com histórico de ocorrência de *S. sclerotiorum*.

As parcelas experimentais do primeiro ensaio foram constituídas de quatro fileiras de 3,5 m, espaçadas de 0,45 m, totalizando 6,3 m² de área, com densidade de 10 plantas por metro. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições (Tabela 1). Os tratamentos consistiram em diferentes níveis de severidade da doença, obtidos por aplicações de diferentes fungicidas. Um dos níveis foi obtido simplesmente pela não realização do controle químico (T0). Os outros níveis foram obtidos com a aplicação dos fungicidas em 29/07, 07/08 e 17/08/2009.

As parcelas experimentais do segundo ensaio foram constituídas de quatro fileiras de 3,5 m, espaçadas de 0,45 m, totalizando 6,3 m² de área, com densidade de 10 plantas por metro. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições (Tabela 1). Os diferentes níveis de severidade de mofo-branco foram obtidos como no primeiro ensaio. As aplicações dos fungicidas foram feitas em 16/07 e 23/07/2010.

As medidas dos fatores de reflectância espectral do dossel do feijoeiro foram feitas, utilizando-se um sistema “dual-fiber” (composto por duas fibras), com dois espectrorradiômetros intercalibrados (Modelo SD2000, Ocean Optics). Foram obtidos dados nos comprimentos de onda compreendidos entre 400 e 850 nm, com resolução espectral de 0,34 nm. O primeiro espectrorradiômetro, equipado com uma fibra óptica com campo de visão de 25°, foi apontado ao nadir para medir a radiação do dossel do feijoeiro. O segundo espectrorradiômetro, equipado com uma fibra óptica e um receptor com correção de cosseno (sensor que não mostra dependência no ângulo zênite ou azimute da radiação

incidente), foi apontado verticalmente para cima para, simultaneamente ao primeiro sensor, medir a irradiância do sol. Os espectrorradiômetros foram instalados em uma estrutura, de forma que as medições foram feitas a 3 m de altura, compreendendo uma área de amostragem circular com um diâmetro de aproximadamente 1,35 m. A altura dos espectrorradiômetros sobre o feijoeiro foi mantida constante, durante todas as épocas de desenvolvimento. Todas as leituras foram feitas no mesmo período do dia, entre 10 e 14 horas, minimizando-se a influência das mudanças na geometria de iluminação. As medidas de reflectância espectral do dossel do feijoeiro foram tomadas, no primeiro ensaio aos 60, 71, 91 e 102 DAE (Dias Após a Emergência) (Figura 1) e, no segundo ensaio, aos 13, 27, 34, 56, 71 e 91 DAE (Figura 2). Para cada avaliação, foram realizadas três medições dos fatores de reflectância espectral, por parcela experimental, sobre a linha central da cultura, sendo que cada medição era representada pela média de dez leituras do equipamento. Com a finalidade de suavizar as curvas espectrais e, também por causa dos ruídos nas leituras do espectrorradiômetro, foram determinadas médias móveis a cada 50 valores de reflectância das medições espectrais.

As medições de radiação do dossel do feijoeiro e irradiância do sol foram intercaladas com as medidas de radiação de um painel padrão de reflectância branco (Modelo Spectralon, Labsphere), cujo espectro de reflectância era conhecido, simultaneamente com a irradiância do sol. Essa calibração foi realizada antes do início das medições e a cada 20 minutos, utilizando-se um tripé de altura próxima a três metros. Foi utilizado o programa de aquisição de dados espectrais OOIBase32,

Tabela 1. Tratamentos utilizados para controle químico do mofo-branco do feijoeiro em primeiro e segundo ensaio. Safras de outono-inverno de 2009 e 2010

Fungicidas ¹	Dose (g i.a./ha)	Dose (mL p.c./ha)
<i>Primeiro ensaio</i>		
0. Testemunha ²	-	-
1. IBIQF 200 + tiofanato metílico	100 + 500	500 + 1000
2. IBIQF 200 + tiofanato metílico	200 + 500	1000 + 1000
3. IBIQF 200 + fluazinam	100 + 250	500 + 500
4. IBIQF 200 + fluazinam	300 + 250	1500 + 500
<i>Segundo ensaio</i>		
0. Testemunha ²	-500	-
1. IBIQF 2525	500	1000
2. IBIQF 2525	750	1500
3. IBIQF 2525	1000	2000
4. Tiofanato metílico	500	1000
5. Fluazinam	500	1000

¹ Fungicidas pulverizados em 29/07/2009, dez dias após a primeira aplicação em 07/08/2009 e 20 dias após a primeira aplicação em 17/08/2009 e fungicidas pulverizados em R5 (pré-florescimento; 16/07/2010) e sete dias após em R6 (florescimento; 23/07/2010). ² Apenas água foi aplicada nas parcelas desse tratamento (300 L/ha).

versão 2.0.5.5 (Ocean Optics), instalado em um computador que era levado para o experimento. O tempo de integração dos espectrorradiômetros foi modificado de acordo com as condições de iluminação, de forma que ambos os canais sempre estivessem distribuindo quantidade suficiente de luz, para preencher a matriz do CCD, entre 75 e 95%. Conforme metodologia proposta por Gitelson *et al.* (2003), a partir dos dados obtidos, foi calculado o fator de refletância do dossel, para cada comprimento de onda (λ), utilizando-se a seguinte equação:

$$\rho_{\lambda} = \frac{L_{\lambda}^{\text{feijoeiro}}}{E_{\lambda}^{\text{inc.}}} \cdot \frac{E_{\lambda}^{\text{cal.}}}{L_{\lambda}^{\text{cal.}}} \cdot 100 \rho_{\lambda}^{\text{cal.}} \quad (1)$$

em que:

ρ_{λ} - fator de refletância do dossel no comprimento de onda λ , em %;

$\rho_{\lambda}^{\text{cal.}}$ - fator de refletância do painel, adimensional;

$L_{\lambda}^{\text{feijoeiro}}$ - radiância do feijoeiro, em W m⁻²sr⁻¹;

$L_{\lambda}^{\text{cal.}}$ - radiância do painel, em W m⁻²sr⁻¹;

$E_{\lambda}^{\text{inc.}}$ - irradiância no feijoeiro, em W m⁻²; e

$E_{\lambda}^{\text{cal.}}$ - radiância no painel, em W m⁻².

Com os valores médios das três medições dos fatores de refletâncias para cada parcela, foram calculados os índices de vegetação (Tabela 2).

O índice de área foliar (IAF) foi determinado simultaneamente com a aquisição de medidas dos fatores de refletância espectral, aos 91 e 102 DAE, no primeiro ensaio (Figura 3), e aos 49, 58, 71, 79, 84 e 91 DAE, no segundo ensaio (Figura 4), com medições realizadas no mesmo período do dia, entre 10 e 14 horas, utilizando-se um ceptômetro Modelo AccuPAR - LP-80, Decagon. Em cada parcela, foram realizadas, ao acaso, seis repetições de medições de PAR, dentro e logo acima do dossel do feijoeiro, nos Experimentos, sendo duas medições dentro de cada círculo de medição espectral (Figura 5). As medições realizadas abaixo do dossel foram feitas

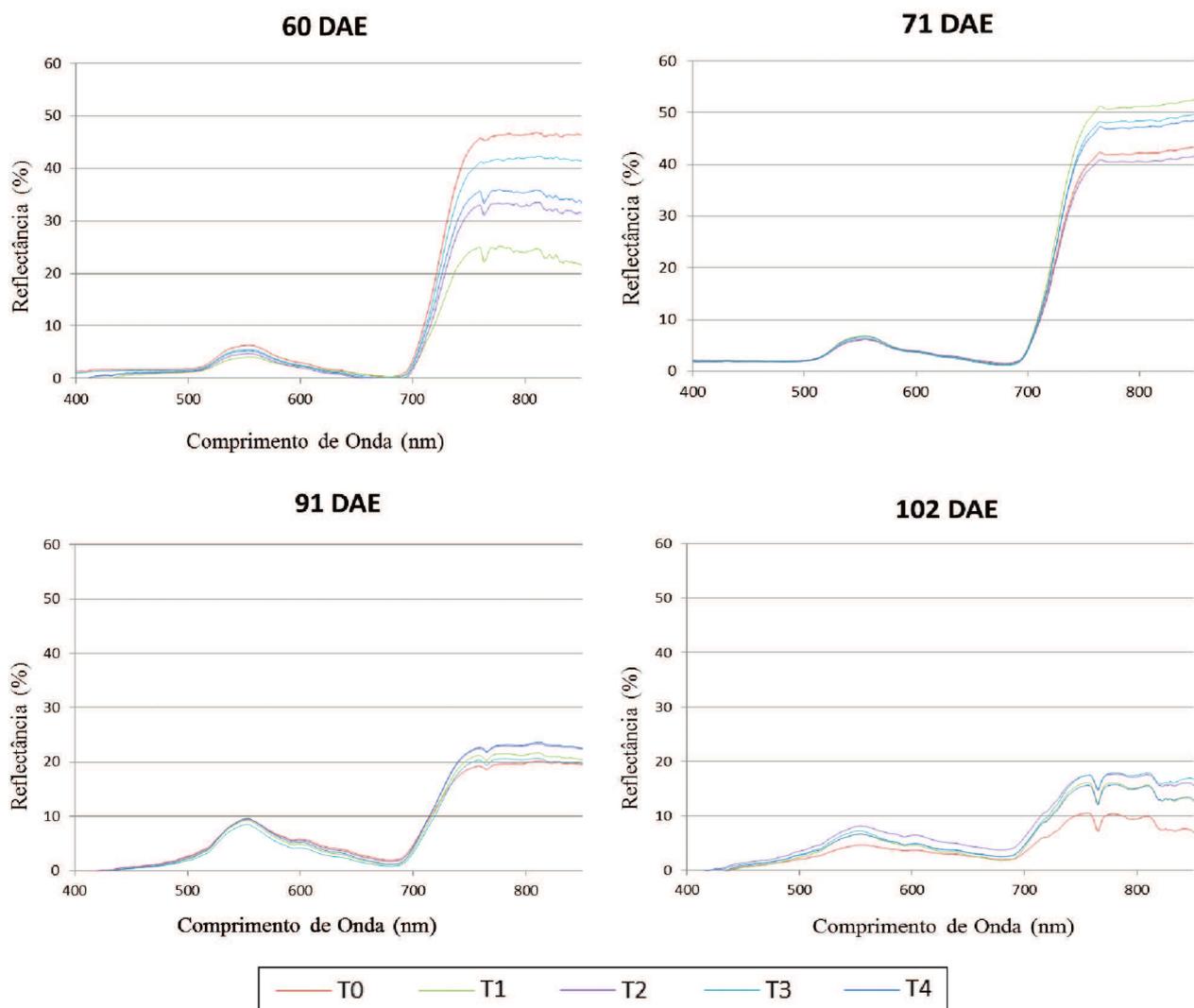


Figura 1. Resposta espectral aos 60, 71, 91 e 102 dias após a emergência das plantas (DAE) – de maio a setembro de 2009.

diagonalmente entre as linhas do feijão, com objetivo de aumentar a cobertura da área (Figura 6).

Aos 102 DAE e aos 92 DAE, para o primeiro e segundo ensaios, respectivamente, a severidade do mofo-branco foi avaliada, utilizando-se a escala de notas de 0 a 4, proposta por Hall & Phillips (1996), em que 0 = ausência de sintomas; 1 = 1 a 25 % da planta, com sintomas de

mofo-branco; 2 = 26 a 50 % de plantas com sintomas; 3 = 51 a 75 % da planta com sintomas; e 4 = 76 a 100 % da planta com sintomas. A Equação 2 mostra o cálculo do índice de severidade do mofo-branco da parcela.

$$ISD(\%) = \frac{\sum(\text{notas de todas as plantas})}{4 \times (\text{número total de plantas})} \times 100 \quad (2)$$

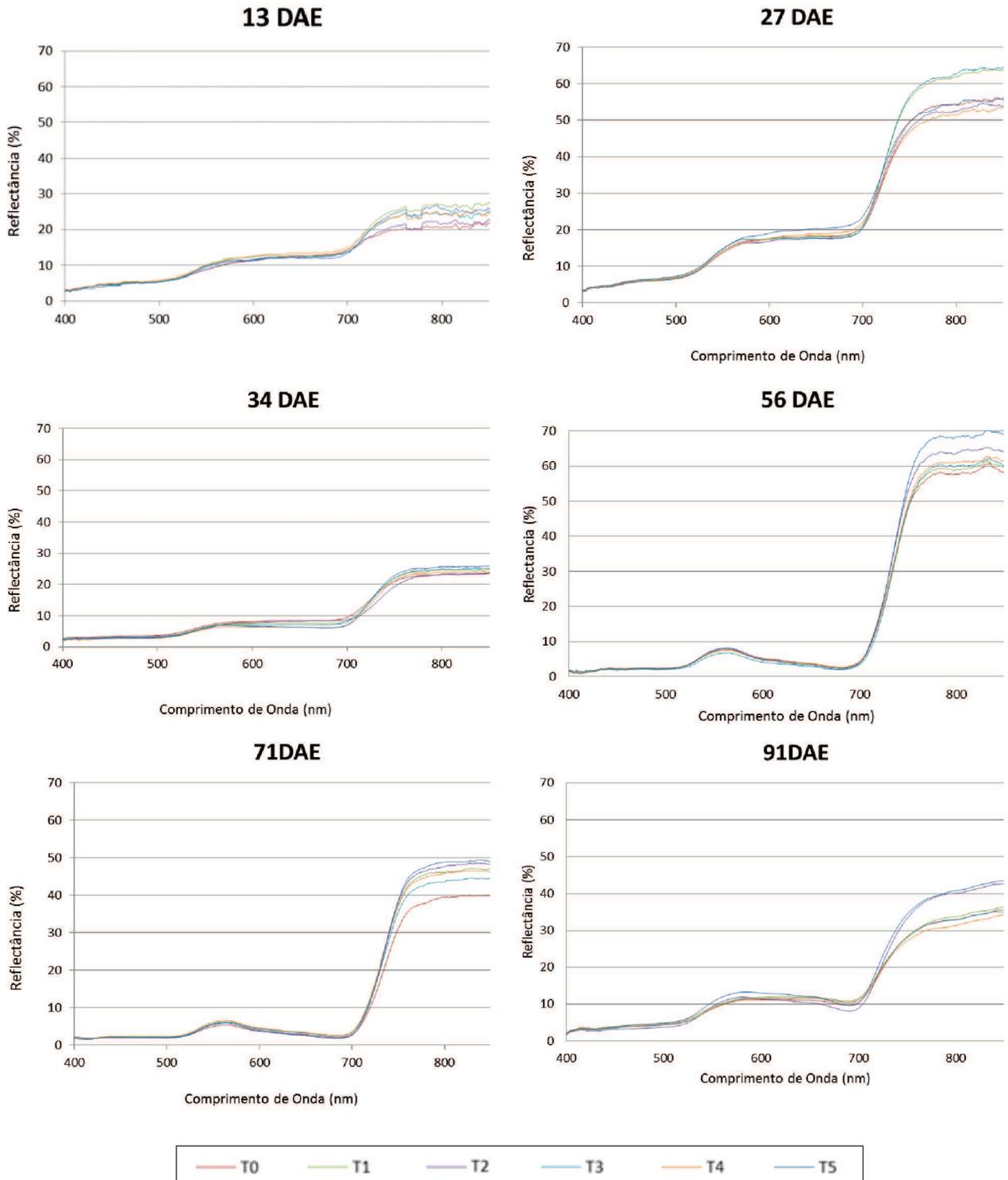


Figura 2. Resposta espectral aos 13, 27, 34, 54, 71 e 91 dias após a emergência das plantas (DAE) – de maio a setembro de 2010.

Os valores de ISD foram submetidos à ANOVA e, as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico R.

Gráficos com valores da reposta espectral média do dossel, para cada tratamento e em cada data de coleta de dados, foram gerados, com a finalidade de estudar o comportamento espectral no progresso da doença. Os valores foram compreendidos entre 400 nm e 850 nm, abrangendo a região do visível e do infravermelho próximo. Gráficos de dispersão entre os índices de vegetação es-

tudados e o IAF também foram gerados. Foi realizada uma análise de correlação de *Spearman*, entre os índices de vegetação ou valores de SPAD e a severidade da doença (Tabela 4).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diferentes níveis de severidade de mofo-branco foram obtidos, com a aplicação ou não de fungicidas (Tabela 3). A intensidade da doença, em ambos os ensaios,

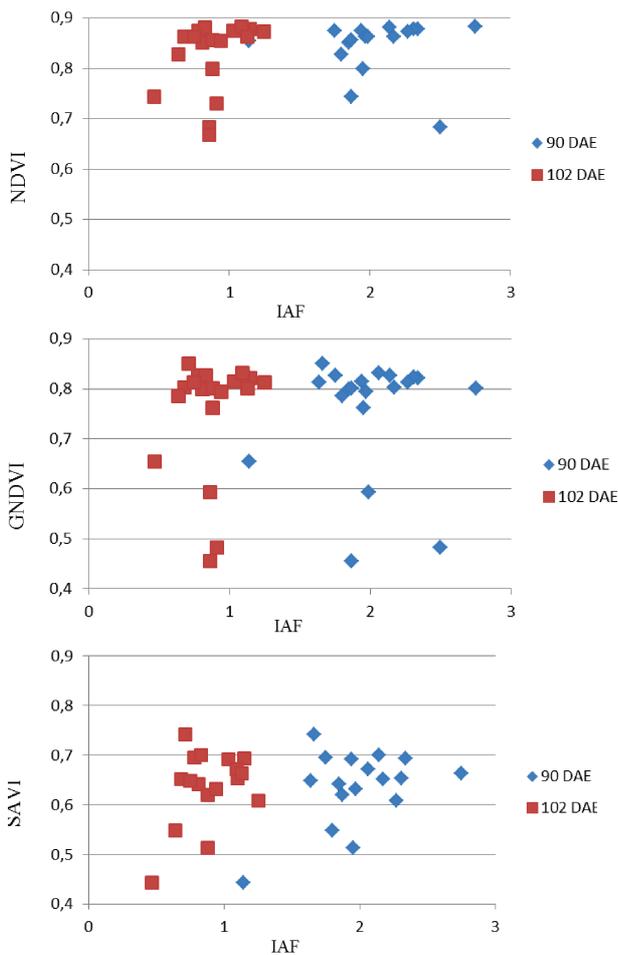


Figura 3. Relação entre NDVI, GNDVI, SAVI e IAF – primeiro ensaio.

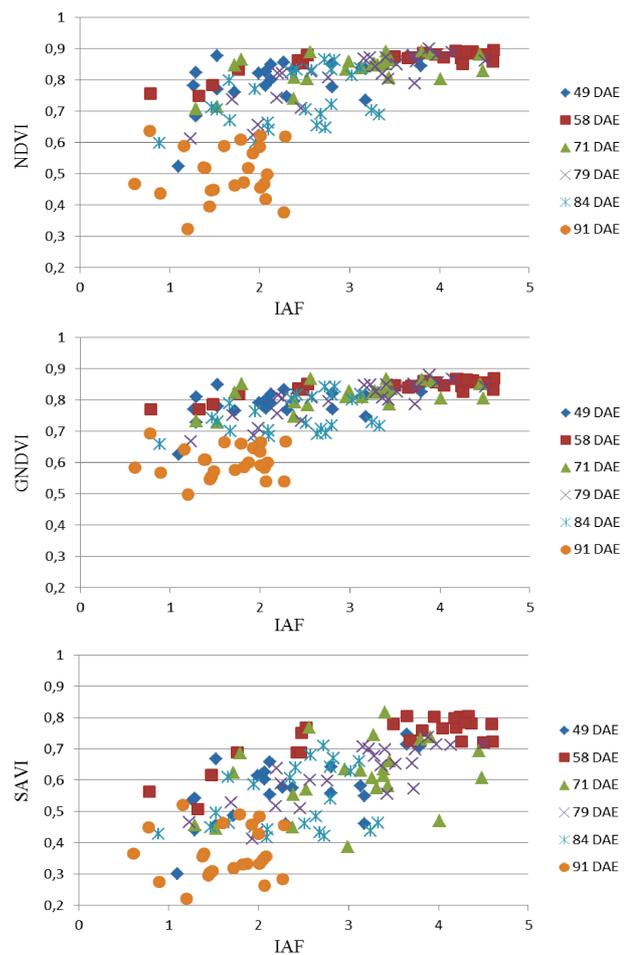


Figura 4. Relação entre NDVI, GNDVI, SAVI e IAF – segundo ensaio.

Tabela 2. Índices de vegetação utilizados no estudo

Índice de vegetação	Equação	Referência
Índice de Vegetação da Diferença Normalizada	$NDVI = \frac{(\rho_{800} - \rho_{670})}{(\rho_{800} + \rho_{670})}$ (3)	Rouse <i>et al.</i> (1974)
Índice de Vegetação da Diferença de Verde Normalizado	$GNDVI = \frac{(\rho_{800} - \rho_{550})}{(\rho_{800} + \rho_{550})}$ (4)	Gitelson <i>et al.</i> (1996)
Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (L = 0,5)	$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{800} - \rho_{670})}{(\rho_{800} + \rho_{670} + L)}$ (5)	Huete (1988)

ρ_{550} : fator de reflectância na banda verde, no comprimento de onda 550 nm; ρ_{670} : fator de reflectância na banda vermelha, no comprimento de onda 670 nm; ρ_{800} : fator de reflectância na banda infravermelha próxima, no comprimento de onda 800 nm.

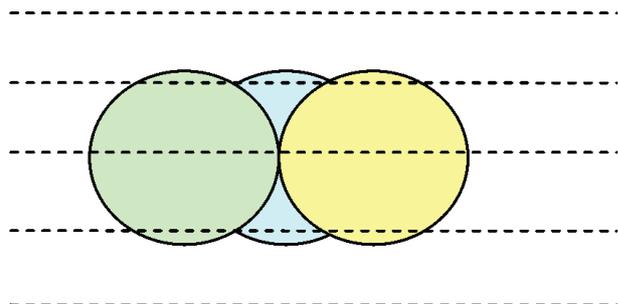


Figura 5. Posição relativa das três medições dos fatores de reflectância em relação às linhas do plantio da parcela experimental.



Figura 6. Medições do Índice de Área Foliar.

foi relativamente baixa, provavelmente em razão do revolvimento do solo, feito antes do plantio, o que pode ter ocasionado a diminuição do inóculo. O mofo-branco desenvolve-se bem às temperaturas de 11 a 25 °C, e culturas em solo compactado, com excesso de umidade (Prado & Araújo, 2011). De acordo com dados da Estação Meteorológica da UFV, em 2009 a temperatura média registrada durante o experimento foi de 17,9 °C, a máxima de 18,6 °C e a mínima de 17,3°C. Dessa forma, outro fator que pode ter contribuído para a baixa severidade da doença foi o inverno relativamente ameno, nos dois anos.

Em todos os gráficos de reflectância vs. comprimento de onda (Figuras 1 e 2) foi possível observar uma resposta espectral típica de vegetação, ou seja, na faixa do visível, apresentando picos no comprimento de onda próximo de 550 nm (verde) e maiores valores de reflectância acima dos 700 nm (faixa do infravermelho próximo). Em plantas saudáveis, na região do visível, as quantidades de azul e vermelho do espectro são mais absorvidas pelos pigmentos clorofilados, enquanto a quantidade de verde é mais refletida.

A diferença nos tratamentos foi mais visível na região do IVP. Esta diferença entre os tratamentos na resposta espectral na região do IVP ficou menos visível com o desenvolvimento da planta. Os espectros apresentaram curvas características, de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura do feijoeiro, tendo influência

do solo de fundo, nas fases iniciais e finais da cultura, quando se observa uma menor absorção da radiação vermelha, por causa de menor concentração da clorofila.

No primeiro ensaio, dos 71 aos 102 DAE, as respostas espectrais demonstraram uma tendência de menor reflectância para o tratamento T0, principalmente na região do infravermelho próximo. No segundo ensaio, do início ao final do experimento, as respostas espectrais apresentaram comportamentos semelhantes: dos 13 aos 71 DAE observou-se, na região do IVP, uma tendência de menor reflectância, em T0, e maior reflectância, em T5. Apenas aos 91 DAE, já no final do ciclo, foi possível perceber, pela curva espectral, que houve influência do solo e da senescência da planta, sendo visível o aumento na reflectância do vermelho e a redução na reflectância do infravermelho próximo, alterando a resposta espectral do dossel.

Segundo Luiz *et al.* (2001), à medida que as plantas desenvolvem-se, há aumento de biomassa e, conseqüentemente, menor contribuição da porção do solo na reflectância. Na região do infravermelho próximo de folhas infectadas por fungos, a reflectância é menor do que em folhas saudas (Moraes, 1996), o que pode ser explicado pela destruição dos tecidos das plantas, promovida pela invasão do patógeno. Neste trabalho, também foi observada a redução da reflectância na região do infravermelho próximo. Nesta faixa, a resposta espectral é influenciada especialmente pela constituição física interna das folhas e do dossel. Assim, a infecção dos tecidos das plantas por *S. sclerotiorum* pode ter influenciado a resposta espectral das plantas. Naue *et al.* (2010) relata, em sua revisão de estudos de doenças, que plantas infectadas por patógenos, porém assintomáticas ao olho humano, podem ser diagnosticadas por meio de sensores que mostram mudanças no comportamento espectral da planta.

Tabela 3. Níveis de severidade do mofo-branco obtidos com a aplicação ou não de diferentes fungicidas nos dois ensaios

Tratamento	Severidade (%)
<i>Primeiro ensaio</i>	
T0	3,5
T1	2,5
T2	2,5
T3	1,0
T4	1,0
<i>Segundo ensaio</i>	
T0	15,0
T1	9,4
T2	8,1
T3	1,9
T4	3,7
T5	6,2

Tabela 4. Correlações entre os índices de vegetação e a severidade do mofo-branco aos 60, 71 e 90 e 102 DAE – primeiro ensaio e aos 13, 27, 34, 56, 71 e 91 DAE – segundo ensaio

Índices de vegetação	NDVI	GNDVI	SAVI
<i>Primeiro Ensaio</i>			
60 DAE	0,090 (P < 0,53)	0,216 (P < 0,12)	0,025 (P < 0,85)
71 DAE	-0,139 (P < 0,32)	-0,099 (P < 0,48)	-0,060 (P < 0,67)
90 DAE	-0,064 (P < 0,65)	-0,032 (P < 0,82)	-0,044 (P < 0,75)
102 DAE	0,108 (P < 0,44)	0,244 (P < 0,45)	-0,073 (P < 0,60)
<i>Segundo Ensaio</i>			
13 DAE	0,145 (P < 0,49)	0,285 (P < 0,17)	0,163 (P < 0,44)
27 DAE	0,103 (P < 0,63)	-0,004 (P < 0,98)	-0,079 (P < 0,71)
34 DAE	0,154 (P < 0,47)	0,129 (P < 0,54)	0,158 (P < 0,46)
56 DAE	0,1233 (P < 0,27)	0,124 (P < 0,56)	0,320 (P < 0,12)
71 DAE	-0,362 (P < 0,08)	0,301 (P < 0,15)	0,172 (P < 0,42)
91 DAE	0,198 (P < 0,35)	0,049 (P < 0,82)	0,121 (P < 0,57)

NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; GNDVI – Índice de Vegetação da Diferença de Verde Normalizado; SAVI – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo.

No segundo ensaio, houve correlações significativa ($P < 0,1$) e negativa entre os dados obtidos pelo espectrorradiômetro, aos 71 DAE, com o NDVI (Tabela 4). Esse é o estágio compreendido entre o enchimento de grãos e a maturação, quando a ocorrência da doença passou a ser detectada pelos índices, sendo observadas correlações significativas entre os índices de vegetação e a severidade de mofo-branco.

Marchiorato *et al.* (2002) relataram resultados semelhantes com a cultura do algodão, em que foi detectada correlação inversa entre população de nematoides e massa de matéria fresca e o NDVI. Asrar *et al.* (1984) verificaram que mudanças no valor do NDVI estavam, sobretudo, relacionadas com o IAF de plantas de trigo. A deterioração da superfície foliar, causada pela ocorrência de mofo-branco (Figuras 3 e 4), mostra que a relação entre NDVI, GNDVI e SAVI com o IAF é apresentada para cada medição. Em seu trabalho com índices de vegetação para a cultura da soja, Almeida *et al.* (2005) analisam os dados apresentados e mostram que os índices de vegetação testados apresentaram alta e significativa correlação com o índice de área foliar (IAF). Relatam, também, que um dos índices de vegetação com maiores coeficientes de correlação foi o NDVI, podendo ser utilizado como estimador remoto do IAF da cultura da soja e, portanto, pode ser extremamente útil em programas de monitoramento e previsão de safras.

CONCLUSÕES

A resposta espectral do feijoeiro pode ser utilizada para a detecção prévia da ocorrência do mofo-branco e, consequentemente, como ferramenta no manejo integrado da doença.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG, à Capes e ao CNPq pelo auxílio à pesquisa e pelas bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS

- Almeida TS, Fontana DC, Martorano LG & Bergamaschi H (2005) Índices de vegetação para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo. In: 8º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. Anais, INPE. p.17-24.
- Asrar G, Fuchs M, Kanemasu ET & Hatfield JH (1984) Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*, 76:300-306.
- Brenchley GH (1968) Aerial photography for the study of plant diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 6:01-23.
- Dalla Pria M & Silva OC (2010) Cultura do feijão: doenças e controle. Ponta Grossa, UEPG. 454p.
- Gitelson AA, Kaufaman YJ & Merzlyak MN (1996) Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing Environment*, 58:289-298.
- Gitelson AA, Viña A, Arkebauer TJ, Rundquist DC, Keydan GP & Leavitt B (2003) Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical Research Letters*, 30:521-524.
- Gröll K, Graeff S & Claupein W (2008) Use of Vegetation indices to detect plant diseases. In: 27th GIL-Jahrestagung. Proceedings, University of Hohenheim. p.340.
- Hall R & Phillips LG (1996) Evaluation of parameters to assess resistance of white bean to white mold. *Annual Report of the Bean Improvement Cooperative*, 39:306-307.
- Hikishima M, Canteri MG, Godoy CV, Koga LJ & da Silva AJ (2010) Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. *Tropical Plant Pathology*, 35:096-103.
- Huete AR (1988) A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25:295-309.
- Luiz AJB, Barros MGM, Formaggio AR & Epherphanio JCN (2001) Comportamento espectral associado a parâmetros agrônômicos de soja (*Glycine max*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: 10º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu. Anais, INPE. p.103-110.

- Marchiorato IA, Santos JM, Rudorff BTF & Santos RF (2002) Medidas de espectrorradiometria de campo para detecção de *Meloidogyne incognita* em lavoura de algodão. *Summa Phytopathologica*, 28:248-252.
- Moraes EC (1996) Radiometria óptica espectral: comportamento espectral: In: 8º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador. Anais. INPE. p.1-22.
- Naue CR, Marques MW, Lima NB & Galvíncio JD (2010) Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 03:190-195.
- Paula Júnior TJ, Vieira RF, Lobo Júnior M, Morandi MAB, Carneiro JES & Zambolim L (2006) Manejo integrado do mofo-branco do feijoeiro. Viçosa, EPAMIG. 345p.
- Ponzoni FJ & Shimabukuro YE (2007) Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos, Parêntese Editora. 135p.
- Prado MDR & Araújo EO (2010) Mofo-branco: a ameaça tem jeito. Disponível em <<http://www.edcentaurus.com.br/materiais/granja.php?id=3363>>. Acessado em: 24 de novembro de 2011.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW & Harlan JC (1974) Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. Greenbelt, Texas A & M University. 362p.
- Silva EA, Silva JFV, Monico JFG & Hiromoto DM (2000) Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematóide do cisto da soja. Viçosa, Editora UFV. 453p.
- Silva AJ da, Canteri MG, Santiago DC, Hikishima M & Silva AL da (2009) A refletância na estimativa do efeito de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. *Summa Phytopathologica*, 35:53-56.
- Vargas IC (2011) A agricultura de precisão. Disponível em: <<http://www.webrural.com.br/webrural/artigos/tecnologia/ap/ap.htm>>. Acessado em 17 de novembro de 2011.