

LORENA TEMPONI BOECHAT

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA  
DETECÇÃO DO MOFO-BRANCO E DA MANCHA-  
ANGULAR DO FEIJOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

B669t  
2012

Boechat, Lorena Temponi, 1981-  
Técnicas de sensoriamento remoto na detecção do  
mofo-branco e da mancha-angular do feijoeiro / Lorena  
Temponi Boechat. – Viçosa, MG, 2012.  
xii, 114f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 85-95

1. Agricultura de precisão. 2. Sensoriamento remoto.  
3. Processamento de imagens - Técnicas digitais. 4. Feijão -  
Doenças e pragas. 5. Análise espectral. 6. Vegetação -  
Índices. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.3

LORENA TEMPONI BOECHAT

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA  
DETECÇÃO DO MOFO-BRANCO E DA MANCHA-  
ANGULAR DO FEIJOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 06 de junho de 2012.

---

Joseph Kalil Khoury Júnior

---

Hudson Teixeira

---

Fábio Lúcio Santos

---

Trazilbo José de Paula Júnior  
(Coorientador)

---

Francisco de Assis de Carvalho Pinto  
(Orientador)

Aos meus queridos e amados pais

Itamar Moreira Boechat

Marlene Lima Temponi

Ao meu padrasto José Geraldo Matos Bicalho

À minha querida irmã Nathália Temponi Natal

À minha madrinha e avó Ilda Silvano Lima

À minha madrinha e tia Inez Lima Temponi

Ao meu grande amor Leonardo Rubim Reis

Aos meus amigos, familiares e entes queridos.

DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado forças para a realização dessa tarefa ímpar na minha vida.

Ao meu orientador, Professor Dr. Francisco de Assis de Carvalho Pinto pela oportunidade, pela valiosa orientação, ensinamentos, confiança e paciência. Por cada reunião, presencial ou pelo skype, pela competência e dedicação à pesquisa em todo o decorrer do doutorado.

Aos meus pais, minha irmã e a toda minha família, por compreenderem a minha ausência, aceitarem minhas decisões e acreditarem nos meus sonhos.

À pessoa com quem espero estar por todos os dias da minha vida, Leonardo Rubim Reis, por caminhar ao meu lado, por acreditar em meu potencial, por sempre me incentivar (com seu jeito especial) e por me fazer feliz.

À minha madrinha Inez, por me receber e acolher sempre que precisei nas horas dos estudos.

Aos Professores Dr. Daniel Marçal Queiroz, Dr. Nerilson Terra Santos, Dr. Joseph Kalil Khoury Júnior e ao Dr. Trazilbo José de Paula Júnior, pela fundamental contribuição na banca de Exame da Qualificação, por meio das importantes e pertinentes observações relacionadas à pesquisa.

Ao DEA/UFV, pela oportunidade de realizar o doutorado em Engenharia Agrícola e a todos os funcionários da Secretaria de Pós-Graduação do departamento e aos funcionários da mecanização agrícola, por cada bom dia e pela competência e dedicação ao atendimento de nossas dúvidas e solicitações.

A todos os professores do DEA e da UFV pelas contribuições e ensinamentos.

Ao Dr. Hudson Teixeira (pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Epamig) e ao professor José Eustáquio de Souza Carneiro, pelas informações e dados necessários para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Universidade Vale do Rio Doce, onde atualmente estou licenciada para fazer o doutorado, pela oportunidade, incentivo e apoio permanentes.

Aos meus amigos do Laboratório, Antônio, Marley, Enrique, Mário, Geice, Wagner, Ronaldo, Edney, Daniel, Denis, Paula, Marcelo, Eduardo, Samuel, Flávio, Raphael, André, Gislaine, Diogo, Murilo, Selma, Danilo, Amanda, Frederico, Marcos, Marconi, Elton, Flora, Gracielly, Elcio, Rafael, Ariston, Sarvio, Clayton, Robson, Ronaldo, agradeço pela troca de conhecimento, pelas boas discussões e ajudas nas coletas.

Às minhas amigas de república de Viçosa, Débora, Isabel, Aline e Priscila e a todos os meus amigos de carona.

Aos meus queridos estagiários (Cristiano, Marconi, Luís Felipe, Renan, Flora, Caetano, Rafael, Ozires, Gabriel, Lucas, Alisson, Diogo, Vinícius, Douglas, Luciano) que muito me ajudaram, pois sem eles não seriam possíveis as coletas de campo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq), pelo apoio financeiro através da concessão das bolsas de estudos.

Enfim, agradeço a todos os que me ajudaram na realização desse trabalho.

## **BIOGRAFIA**

LORENA TEMPONI BOECHAT, filha de Itamar Moreira Boechat e Marlene Lima Temponi, nasceu em Governador Valadares, MG, no dia 22 de outubro de 1981.

Em dezembro de 2002, concluiu o curso de Ciência da Computação na Universidade Vale do Rio Doce (UNIVALE).

Em março de 2003, iniciou um curso de Especialização em Informática na Educação na Faculdade de Administração e Informática (FAI) com término em julho de 2004.

Em agosto de 2003, iniciou o curso de Mestrado Interdisciplinar em Educação, Administração e Comunicação, área de Informática na Educação na Universidade São Marcos, submetendo-se à defesa da dissertação em novembro de 2005.

Em março de 2004, iniciou o curso de Especialização em Administração de Sistemas de Informação na Universidade Federal de Lavras (UFLA), com término em julho de 2005.

Em março de 2008, iniciou o curso de Especialização em Educação Inclusiva na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG), com término em novembro de 2009.

Em agosto de 2008, iniciou o curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa e submeteu-se à defesa de tese em abril de 2012.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Características do feijoeiro ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....	5
2.1.1. Doenças do feijão (mofo-branco e mancha-angular).....	6
2.2. Agricultura de precisão.....	8
2.3. Sensoriamento remoto.....	9
2.3.1. Radiometria de campo.....	12
2.3.2. Índices de vegetação.....	14
2.3.3. Índice de área foliar.....	17
2.3.4. Teor de clorofila.....	19
2.4. Processamento de imagens.....	20
2.4.1. Transformação do número digital para reflectância (calibração radiométrica).....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1. Caracterização da área experimental da cultura.....	23
3.2. Medidas dos fatores de reflectância espectral.....	25
3.3. Aquisição de imagens multiespectrais.....	29
3.4. Avaliação da severidade do mofo-branco e mancha-angular.....	33
3.5. Leitura indireta do teor de clorofila foliar.....	33
3.6. Índice de área foliar.....	34
3.7. Estimativa da produtividade do feijoeiro e seus componentes de rendimento.....	35
3.8. Análise dos dados.....	36
3.8.1. Avaliação da correlação entre índices de vegetação com o índice de severidade e a produtividade do feijoeiro.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1. Severidade das doenças e produtividade do feijoeiro.....	37
4.2. Teste da calibração radiométrica.....	39
4.3. Resposta espectral.....	41

4.3.1. Comportamento espectral da cultura – Experimento 1.....	44
4.3.2. Comportamento espectral da cultura – Experimento 2.....	48
4.3.3. Comportamento espectral da cultura – Experimento 3.....	56
4.3.4. Comportamento espectral da cultura – Experimento 4.....	60
4.4. Correlação entre índices de vegetação.....	63
4.4.1. Correlação entre índices de vegetação e severidade da doença – Experimento 1.....	64
4.4.2. Correlação entre índices de vegetação e severidade da doença – Experimento 2.....	65
4.4.3. Correlação entre índices de vegetação e severidade da doença – Experimento 3.....	67
4.4.4. Correlação entre índices de vegetação e severidade da doença – Experimento 4.....	68
4.5. Correlação entre índices de vegetação e a produtividade do feijoeiro.....	69
4.5.1. Correlação entre índices de vegetação e produtividade – Experimento 1.....	69
4.5.2. Correlação entre índices de vegetação e produtividade – Experimento 2.....	70
4.5.3. Correlação entre índices de vegetação e produtividade – Experimento 3.....	72
4.5.4. Correlação entre índices de vegetação e produtividade – Experimento 4.....	73
4.6. Correlação entre teor de clorofila, severidade das doenças e produtividade do feijoeiro.....	74
4.6.1. Correlação entre teor de clorofila, severidade do mofo-branco e produtividade do feijoeiro – Experimento 1.....	75
4.6.2. Correlação entre teor de clorofila, severidade do mofo-branco e produtividade do feijoeiro – Experimento 2.....	76
4.6.3. Correlação entre teor de clorofila, severidade de doença e produtividade do feijoeiro – Experimento 3.....	77
4.6.4. Correlação entre teor de clorofila, severidade de doença e produtividade do feijoeiro.....	78
4.7. Correlação entre o índice de área foliar, severidade das doenças e produtividade do feijoeiro.....	79
4.7.1. Correlação entre índice de área foliar, severidade de mofo-branco e produtividade do feijoeiro – Experimento 1.....	81
4.7.2. Correlação entre índice de área foliar, severidade de doença e produtividade do feijoeiro – Experimento 2.....	81

4.7.3. Correlação entre índice de área foliar, severidade da doença e produtividade do feijoeiro – Experimento 3.....	82
4.7.4. Correlação entre índice de área foliar, severidade da doença e produtividade do feijoeiro – Experimento 4.....	82
5. CONCLUSÕES.....	84
6. REFERÊNCIAS.....	85
ANEXOS.....	96
Anexo A – Rotina do recorte das Imagens – com calibração.....	96
Anexo B – Rotina do recorte das Imagens – sem calibração.....	97
Anexo C – Rotina da análise de regressão das imagens calibradas.....	98
Anexo D – Rotina do cálculo das imagens calibradas.....	103
Anexo E – Rotina do cálculo das imagens sem calibrar.....	105
Anexo F – Componentes de rendimento – Experimento 1.....	107
Anexo G – Componentes de rendimento – Experimento 2.....	108
Anexo H – Componentes de rendimento – Experimento 3 .....	109
Anexo I – Componentes de rendimento – Experimento 4.....	110
Anexo J – Rotina de correlação entre os índices de vegetação e severidade.....	111
Anexo K – Rotina de correlação entre os índices de vegetação e produtividade.....	112
Anexo L – Análise de Variância dos quatro Experimentos.....	113

## RESUMO

BOECHAT, Lorena Temponi, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2012. **Técnicas de sensoriamento remoto na detecção do Mofo-Branco e da Mancha-Angular do feijoeiro.** Orientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Coorientadores: Daniel Marçal de Queiroz e Trazilbo José de Paula Júnior.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de utilizar técnicas de sensoriamento remoto para detectar as doenças fúngicas do feijoeiro: mofo-branco e mancha-angular. Foram conduzidos quatro experimentos com diferentes doses de fungicidas para propiciar a ocorrência de diferentes níveis de severidade das doenças. Nos quatro experimentos foi utilizado o delineamento em blocos casualizados, com repetições e tratamentos diferentes (diferentes fungicidas e doses diferentes mais a testemunha). No Experimento 1 e 4 foi utilizada a cultivar Madrepérola; no Experimento 2, a cultivar BRSMG Majestoso; e, no Experimento 3, a cultivar Ouro Vermelho. Para as medidas dos fatores de reflectância espectral, foi utilizado um sistema “dual-fiber”, com dois espectrorradiômetros, obtendo dados nos comprimentos de onda compreendidos entre 400 nm a 850 nm, abrangendo a região do visível e infravermelho próximo. Foram adquiridas imagens do dossel do feijoeiro a uma altura de 3,0 m, sobre as linhas centrais da parcela. Nos Experimentos foi utilizado um sistema de aquisição de imagens composto por duas câmeras (uma colorida e uma monocromática), que capturavam duas imagens, simultaneamente, da mesma cena. Na câmera monocromática foi acoplado um filtro óptico que bloqueava a faixa do espectro visível, sensibilizando o sensor da câmera na faixa do infravermelho próximo (IVP), sendo possível assim, abranger as quatro bandas de interesse: R, G e B com uma das câmeras e IVP com a outra. Nos Experimentos 2, 3 e 4 as imagens foram convertidas em imagens de reflectância baseadas em três equações de calibração (uma para cada banda espectral de interesse: verde, vermelha, e infravermelha próxima). Foi testado um método de calibração dos valores numéricos dos pixels das imagens utilizando painéis com diferentes níveis de cinza. Estimativas do

teor de clorofila foliar e do índice de área foliar (IAF) foram obtidas em cada parcela de forma indireta, utilizando-se um medidor portátil de clorofila SPAD e um ceptômetro, respectivamente, ambos mensurados simultaneamente à aquisição de medidas dos fatores de reflectância espectral e às imagens. Foram gerados gráficos com valores do espectrorradiômetro: comprimento de onda versus reflectância média do dossel para cada tratamento e em cada data de coleta de dados, com a finalidade de visualização do comportamento espectral do progresso da severidade das doenças. Com os valores dos fatores de reflectâncias, foram calculados os índices de vegetação: NDVI, GNDVI, SAVI, OSAVI, MCARI1 e MCARI2. Foi realizada uma análise de correlação entre os índices de vegetação, para cada época de coleta de dados, com a severidade de doença e a produtividade do feijoeiro. Também foi realizada uma análise de correlação dos valores de SPAD e o índice de área foliar com a severidade da doença e a produtividade do feijoeiro. Analisando os resultados obtidos é possível concluir que técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas para detecção de mofo-branco e mancha-angular no feijoeiro. Foi possível estudar o comportamento espectral da cultura do feijoeiro com diferentes níveis de severidade de mofo-branco e de mancha-angular. Considerando um nível de significância de 10%, aos 71 DAE, nos quatro experimentos foi encontrada correlação significativa com NDVI e a severidade das doenças. O teste de um método de calibração radiométrica foi feito, mas não foi possível uma distinção entre a imagem calibrada e a imagem não calibrada. Os resultados das correlações entre os índices de vegetação e produtividade do feijoeiro também são promissores, pois nos experimentos 1 e 2, aos 71 DAE, foi encontrada correlação significativa entre o GNDVI e a produtividade do feijoeiro e aos 91 DAE, todos os índices obtiveram correlação significativa com a produtividade.

## ABSTRACT

BOECHAT, Lorena Temponi, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2012. **Remote sensing techniques in detection of Mold-White and Stain-Angle bean.** Adviser: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Co-advisers: Daniel Marçal de Queiroz and Trazilbo José de Paula Júnior.

This study was conducted with the aim of using remote sensing techniques to detect fungal diseases of common bean: white mold and angular leaf spot. Four experiments were conducted with different doses of fungicides to favor the occurrence of different levels of disease severity. In the four experiments were used a randomized complete block design with different replicates and treatments (fungicides and different doses plus the control). In Experiment 1 and 4 was used the cultivar “Madrepérola”; in Experiment 2, the cultivar “BRSMG Majestoso”; and in Experiment 3, the “Ouro Vermelho” cultivar. For measurements of the spectral reflectance factors, it was used a system of dual-fiber, with two spectroradiometers, obtaining data at wavelengths between 400 nm to 850 nm, covering the visible and near infrared bands. Images were acquired of the bean canopy at 3.0 m height on the centerlines of the plot. It was used an imaging system consists of two cameras (one color and one monochrome), they grabbed two images simultaneously of the same scene. In the monochrome camera was attached an optical filter that blocks the visible spectral range for near-infrared (NIR) image acquisition. Thus it was covered the four interested bands: R, G and B with one of the cameras and NIR with the other. In Experiments 2, 3 and 4 digital numeric value images were converted to reflectance values images based on three calibration equations (one for each spectral band of interest: green, red, and near-infrared). It was tested a method for radiometric calibration of the digital numeric values of the images using panels with different gray levels. Estimates of chlorophyll content and leaf area index (LAI) in each plot were measured indirectly by using a portable chlorophyll meter SPAD and a ceptometer, respectively, both measured simultaneously with the reflectance factor acquisition and the images. Graphics were generated with the spectroradiometer values: mean canopy reflectance versus wavelength for

each treatment and on each time of data collection, in order to display the spectral progress of disease severity. The values of reflectance factors were used to calculate vegetation indices: NDVI, GNDVI, SAVI, OSAVI, and MCARI1 MCARI2. It was performed a correlation analysis of vegetation indices with disease severity and yield for each date. It also was performed a correlation analysis of SPAD values and LAI with disease severity and yield. The remote sensing techniques can be used for detection of white mold and angular leaf spot in common bean. It was possible to study the spectral behavior of the common bean crop with severity different levels of white mold and angular leaf spot. Assuming a significance level of 10% at 71 DAE, the four experiments found a significant correlation with NDVI and severity of disease. The tested method of radiometric calibration was done, but it was not possible to discriminate between the calibrated and no calibrated image. The results of the correlations between vegetation indices and grain yield are also promising, because in experiments 1 and 2, at 71 DAE, significant correlation was found between the GNDVI and bean yield, and, at 91 DAE, all indices had significant correlation with yield.

## 1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) presente na mesa dos brasileiros é um excelente alimento sob o ponto de vista nutricional, pois fornece nutrientes essenciais ao ser humano, como proteínas, ferro, cálcio, vitaminas (principalmente do complexo B), carboidratos e fibras, além de ser um dos alimentos mais tradicionais na alimentação brasileira (MESQUITA et al., 2007).

De acordo com MAPA (2012), o Brasil está entre os principais países produtores de feijão, junto com a Índia, Mianmar, China, EUA e México, sendo responsáveis por cerca de 61% da produção mundial. Os maiores estados produtores dessa leguminosa são o Paraná, Minas Gerais e São Paulo que, juntos, respondem em média por 47% da produção nacional. Cultivado em praticamente todo o território nacional, em diferentes épocas e sistemas de cultivo e manejo, o feijão é considerado um dos mais importantes componentes da dieta básica da população brasileira e, ainda, é um dos principais produtos fornecedores de proteína da dieta alimentar (AGRIANUAL, 2010).

Os investimentos em pesquisa ao longo dos anos vêm buscando novas cultivares com maior potencial produtivo, maior resistência a doenças, teores mais elevados de proteínas e vitaminas, entre outros, bem como no uso da tecnologia para detecção de doenças e pragas no estágio inicial de desenvolvimento da planta. O feijoeiro é atacado por doenças causadas por fungos, bactérias, vírus e nematoides e, se não forem controladas a tempo, podem provocar grandes perdas na produção.

De acordo com Embrapa (2011), a ocorrência de doenças é uma das principais causas de redução da produtividade do feijoeiro. As doenças, 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 crescente demanda por produtos de origem agrícola tem exigido aumento na eficiência dos sistemas de produção, sendo necessário desenvolver técnicas que permitam produzir mais e com melhor qualidade (GIMENEZ et al., 2008). Nesta perspectiva, estudos que avaliam e viabilizam o monitoramento e as estimativas de parâmetros biofísicos do feijoeiro são fundamentais para antecipar valores de produtividade e auxiliar o processo de otimização do uso de insumos agrícolas. As técnicas da agricultura de precisão e dos modelos de estimativa de produtividade são exemplos de tecnologias que podem fazer uso de parâmetros biofísicos estimados por meio de dados de sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto tem como objetivo estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra. Esse estudo é feito a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2008), utilizando-se de diversas técnicas para o estudo destas interações com os alvos terrestres (SOUZA et al., 1996).

A ideia de criar procedimentos computacionais para análise de dados coletados por sistemas sensores surgiu para agilizar as tarefas manuais e possibilitar ao analista introduzir outros tipos de informações cruzando-as com os padrões espectrais contidos nas imagens, de tal modo que esses padrões se tornem mais facilmente identificáveis (MOREIRA, 2005).

A agricultura de precisão é a tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura. Na agricultura de precisão, a aplicação de práticas agronômicas, como adubação, controle de plantas daninhas, controle de pragas e doenças, é feita de forma espacialmente variável em função de informações coletadas no campo (ORTEGA; SANTIBÁÑEZ, 2007). O desenvolvimento de pesquisas nessa área iniciou-se praticamente a partir de 1980 (QUEIROZ et al., 2000). 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, orientando no

processo de tomada de decisão na aplicação localizada de insumos e no manejo diferenciado das culturas no campo de produção (VARGAS, 2011).

Durante a última década, uma ampla e extensa escala de novas tecnologias para a agricultura de precisão tem sido desenvolvida e implementada em práticas agrícolas, juntamente com serviços de baixo custo de sistemas de geoposicionamento por satélites, como o GPS (CHRISTENSEN et al., 2009). A radiometria de campo também se tornou uma metodologia de grande potencial, pois, conforme Pinto et al. (2011), diferenças na reflectância podem ser utilizadas para detectar alterações fisiológicas nas folhas, como a perda de umidade e a degradação da clorofila. Os dados obtidos com espectrorradiômetro fornecem valores numéricos que podem ser separados em faixas de comprimentos de onda no visível e infravermelho a partir dos quais são calculados índices de vegetação. Esses índices servem para destacar a vegetação além de reduzir os efeitos do solo.

Unindo as informações geradas pelas plataformas de sensoriamento remoto com as ferramentas de agricultura de precisão, podem-se desenvolver plataformas dedicadas à detecção das doenças do feijoeiro, visando ao controle localizado, minimizando danos ao meio ambiente causados pelos fungicidas, reduzindo custos e possibilitando o aumento da produtividade e lucratividade.

Neste cenário, a realização desta pesquisa teve como objetivo geral verificar a viabilidade da utilização de técnicas de sensoriamento remoto para detectar as doenças fúngicas do feijoeiro mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) e mancha-angular (*Pseudocercospora griseola*), em estágio inicial, por meio da análise de imagens e da resposta espectral do dossel.

Os objetivos específicos foram: verificar a viabilidade de utilizar o comportamento espectral do dossel da cultura do feijoeiro para auxiliar a detecção antecipada de ocorrência de mofo-branco e de mancha-angular, testar um método de calibração radiométrica visando à transformação do valor do pixel para cada banda em reflectância para comparar imagens obtidas por diferentes sensores; avaliar a correlação entre índices de vegetação, derivados de dados de reflectância espectral, com o índice de

severidade de mofo-branco/mancha-angular e a produtividade do feijoeiro com sintomas de mofo-branco/mancha-angular em diferentes estágios fenológicos e identificar as sensibilidades dos índices espectrais à variação da clorofila foliar e do índice de área foliar da cultura.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Características do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)

O feijão é um alimento de grande importância econômica e social para o Brasil, por ser uma das mais importantes fontes de proteína e de energia de origem vegetal. É um dos principais constituintes da dieta da população brasileira, por ser reconhecidamente uma excelente fonte proteica, além de possuir alto conteúdo de carboidratos e de ser rico em ferro (VIEIRA et al., 2006).

De acordo com dados do IBGE (2011), o Brasil produziu, na safra 2010, 3,2 milhões de toneladas de feijão, em uma área de aproximadamente 3,5 milhões de hectares, correspondendo a uma produtividade próxima de 920 kg/ha. Ainda segundo o IBGE (2011), as boas cotações do produto, por ocasião do plantio, estimularam o cultivo, registrando-se uma área plantada em 2011 de 4 milhões de hectares, maior 13,6% que a de 2010. Vieira & Vieira (1995) descreveram uma nomenclatura para designar as épocas de plantio do feijão no Brasil: cultivo de primavera-verão - o feijão é semeado na primavera (setembro a dezembro) e colhido no início do verão, chamado de “feijão das águas”; cultivo de verão-outono – a semeadura é feita no verão (fevereiro a março) e a colheita no outono, chamado de “feijão da seca”; cultivo de outono-inverno – a semeadura é feita no outono (abril a junho) e a colheita no inverno; cultivo de inverno-primavera - a semeadura é feita no inverno (julho ou agosto) e a colheita no início da primavera.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e particularmente a utilização de respostas espectrais podem contribuir para a melhoria do processo do avanço tecnológico, ao servir como bons indicadores das condições gerais de vigor da cultura (ÂNGULO FILHO et al., 2001). Alguns pesquisadores, como Luiz et al. (2001) e Ferraz et al. (2007), vêm estudando técnicas de sensoriamento remoto como indicativo no sentido de confirmar a possibilidade de estimarem-se características das culturas agrícolas através do sensoriamento remoto, mesmo em situação de estresse.

Ângulo Filho et al. (2001) assumiram a hipótese de que variáveis espectrais e variáveis agronômicas possuem relações íntimas entre si e que

os parâmetros espectrais podem ser utilizados como descritores das condições gerais de vigor e desenvolvimento do feijoeiro. Colaço (2008) relata que as informações podem ser levantadas a partir de coleta de amostras ou indiretamente com o uso de sensores. As características espectrais de objetos como o solo ou o dossel vegetativo podem se relacionar a diversos fatores agronômicos importantes ao manejo, como níveis de nitrogênio (N) foliar e outros nutrientes, estresse hídrico, ataque de pragas, patógenos entre outros.

Segundo Gröll (2008), a refletância das culturas na região do visível (400 a 700 nm) e no infravermelho próximo (760 a 1300 nm) tem sido estudada no sentido de detectar o estado patológico das plantas. Em plantas saudáveis, na região do visível, a quantidade de radiação de azul e vermelho do espectro é mais absorvida pelos pigmentos clorofilados; já a quantidade de verde é mais refletida, resultando no aspecto naturalmente verde de uma planta sadia. Na região do infravermelho próximo, a radiação também é altamente refletida devido à estrutura interna das folhas.

### **2.1.1. Doenças do feijão (mofo-branco e mancha-angular)**

As doenças que acometem a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) constituem uma das principais causas de sua baixa produtividade no Brasil, podendo causar redução significativa da produtividade ou até inviabilizar determinadas áreas para o cultivo. Dentre as doenças mais importantes do feijoeiro que ocorrem no Brasil, especificamente em Minas Gerais, destacam-se o mofo-branco, causado pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, e a mancha-angular, causada por *Pseudocercospora griseola* (Sacc) Ferraris (VIEIRA et al., 2006).

O mofo-branco, segundo Paula Júnior et al. (2009), é a doença do feijoeiro mais destrutiva nas áreas irrigadas do Brasil, notadamente nos plantios realizados nas safras de outono-inverno. Os autores relatam que em Minas Gerais, as perdas decorrentes do mofo-branco têm sido elevadas nos últimos anos. Os prejuízos econômicos são significativos, podendo chegar a 85% em algumas regiões do mundo.

O mofo-branco inicia-se em reboleiras da lavoura, especialmente nos locais de alta densidade e acamamento de plantas. Os sintomas, que podem ocorrer nas folhas, hastes e vagens, iniciam-se pela formação de manchas encharcadas, seguida por crescimento micelial branco e cotonoso, daí a denominação mofo-branco (PAULA JÚNIOR, 2006), com o início da infecção geralmente coincidindo com o fechamento da cultura e o florescimento (CANTERI et al., 1999). Com o progresso da doença a folhagem murcha e são formados dentro do tecido infectado e sobre ele corpos duros e negros, de formato irregular, que são os escleródios do fungo, facilmente visíveis a olho nu (VIEIRA, 2004).

A mancha-angular tem sido apontada como a principal doença da parte aérea, causando sérios prejuízos, especialmente de abril a julho, quando são observadas, nas principais regiões produtoras, temperaturas amenas e ocorrência de orvalho (VIEIRA et al., 2006). A mancha-angular é de ocorrência mundial, tanto em regiões tropicais como subtropicais, entretanto possui características mais próximas do patossistema tropical, ou seja, é mais dependente da quantidade de inóculo do que das condições climáticas (CANTERI, 1998). De acordo com Dalla Pria & Silva (2010), a infecção e a doença são favorecidas por temperaturas entre 16 e 28 °C, ocorrendo o desenvolvimento máximo entre 20 e 25 °C. Outro fator que contribui para a ocorrência de epidemias, segundo os autores, são períodos de alta umidade relativa suficientemente longos (24 a 48 horas), alternados com períodos de baixa umidade e ação de ventos. O sintoma típico da mancha-angular, segundo Vieira et al. (2006), pode ser observado nas folhas trifoliadas, na forma de lesões angulares, em razão da limitação do desenvolvimento do patógeno pelas nervuras das folhas. Vários fatores podem afetar as propriedades ópticas<sup>1</sup> da folha, dentre eles estão a incidência e severidade das doenças. Alguns fungos podem influenciar a assinatura espectral<sup>2</sup> de folhas infectadas por eles. Em relação a fungos, Moraes (1996) relatou que outros autores verificaram que a reflectância nas

---

<sup>1</sup> Resposta da interação dos materiais com a radiação eletromagnética.

<sup>2</sup> É a característica de reflectância de um objeto para cada comprimento de onda, permitindo sua identificação, localização, caracterização e sua diferenciação de outros objetos.

folhas doentes era maior do que nas saudias, na região do visível, o que provavelmente poderia ser explicado pela perda de clorofila. Contudo, ela era menor na região do Infravermelho Próximo (IVP), o que também pode ser explicado pela invasão das hifas nos espaços intracelulares.

Segundo Brenchley (1968), plantas afetadas por doenças geralmente apresentam crescimento reduzido e sintomas de amarelecimento que proporcionam contraste na resposta espectral em relação às saudáveis. Cunha (2004) relatou em seu trabalho que alguns fungos e insetos podem ainda influenciar a assinatura espectral de folhas infectadas e infestadas por eles.

Dalla Pria & Silva (2010) relatam que é possível aplicar técnicas de sensoriamento remoto na avaliação de doenças utilizando 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 através 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 o mesmo.

## **2.2. Agricultura de precisão**

A agricultura de precisão é uma tecnologia que se encontra em constante desenvolvimento e cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura, modificando as técnicas existentes e incorporando novas técnicas que fornecem ferramentas aos especialistas em manejo agrícola (QUEIROZ et al., 2000). Essa tecnologia também é conhecida como manejo a sítio-específico, que engloba coletar e analisar dados para diferentes locais dentro de um campo de uma forma que permita que as decisões possam variar em diversas localidades (MORAL et al., 2011). De acordo com Corwin & Lesch (2003), a intenção da agricultura de precisão é otimizar a produção agrícola, minimizando os efeitos prejudiciais ao ambiente.

Segundo Coelho (2005) a agricultura de precisão requer a aquisição, manejo, processamento e análise de grande quantidade de dados que variam no espaço e no tempo. Sistemas de computação móveis são necessários para trabalhos em condições de campo. Esses sistemas móveis necessitam de microprocessadores que possam operar a altas velocidades, tenham memória expansiva e possam armazenar massiva quantidade de dados e informações. Assim, pode-se esperar que os computadores direcionem o desenvolvimento tecnológico que irá permitir a implementação das tecnologias da agricultura de precisão.

Atividades tais como mapeamento de colheita, levantamento de dados de culturas e amostragem sistematizada de solos fornecem dados sobre a variabilidade das culturas e dos solos em uma determinada área. Esses dados devem ser processados para fornecer informações que podem ser dispostas em mapas e utilizadas para a tomada de decisões (COELHO, 2005).

Durante a última década, uma ampla e extensa escala de novas tecnologias para a agricultura de precisão tem sido desenvolvida e implementada em práticas agrícolas, juntamente com serviços de baixo custo de sistemas de geoposicionamento por satélites, como o GPS (CHRISTENSEN et al., 2009).

Assim, necessário se faz proceder a uma avaliação da agricultura de precisão. Dois parâmetros importantes são considerados: o econômico e o ambiental. A avaliação econômica focaliza o benefício agrônômico, expresso em termos do valor da produção em relação aos custos técnicos e serviços. A avaliação ambiental focaliza se a agricultura de precisão pode aumentar a qualidade dos solos, da água e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas de produção (COELHO, 2005).

### **2.3. Sensoriamento remoto**

De acordo com Novo (2008) sensoriamento remoto é a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, entre outros, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre por meio do registro e

análise das interações entre a radiação eletromagnética e as diversas coberturas que compõem a superfície terrestre. Ele completa relatando sobre o uso desses sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles.

O conhecimento das relações entre a energia eletromagnética e as culturas agrícolas, aliado às técnicas de sensoriamento remoto, permite múltiplas utilizações dessa metodologia, relacionados à agricultura (MATHER, 1999). Neste caso, sendo os alvos as áreas agrícolas, que incluem solo, cultivos e água. As plataformas de sensoriamento remoto definem o nível de aquisição de dados. Esses níveis podem ser orbital (representados por plataformas espaciais), aéreo (representados pelas aeronaves e helicópteros) e terrestre (representados por torres, e sistemas radiométricos de campo) (MOREIRA, 2001). Ainda de acordo com Coelho (2005), os sensores utilizados podem ser agrupados em duas categorias: fotográfico ou não fotográfico. Ambos fornecem informações sobre a energia eletromagnética e como ela interage com a superfície observada.

Vários pesquisadores (LUIS et al., 2001; FERRAZ et al., 2007) vêm estudando técnicas de sensoriamento remoto como uma ferramenta auxiliar na estimativa de áreas agrícolas e determinação da resposta espectral das culturas agrícolas.

Portillo et al. (2003) afirmam que o sensoriamento remoto fornece um amplo conjunto de técnicas úteis para caracterizar fenômenos dinâmicos que acontecem nas áreas agrícolas. Novo (2008) destaca que o comportamento espectral dos alvos é de fundamental importância para extrair informações a partir de dados obtidos pelo sensoriamento remoto, além da definição de novos sensores, do tipo de processamento a que devem ser submetidos os dados brutos coletados pelos sensores, ou mesmo na definição da forma de aquisição desses dados.

Sabe-se também que, com o avanço da tecnologia e a necessidade de maior controle sobre os fatores que influenciam o pleno desenvolvimento da cultura, tornou-se necessário estimar algumas de suas variáveis relacionadas com as condições biofísicas existentes, e de forma a servir como dados de entrada para os atuais modelos de crescimento e de

produtividade agrícola. Assim sendo, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e, particularmente, a utilização de valores espectrais pode contribuir para a melhoria desse processo, ao servir como bons indicadores das condições gerais de vigor da cultura (ÂNGULO FILHO et al., 2007).

Moreira (2005) relata que o uso de sistemas sensores, em nível de solo, para obter dados da radiação refletida e/ou emitida pelos alvos da superfície terrestre é importante para entender o comportamento espectral desses alvos. Por exemplo, a radiometria de campo é usada nos estudos que relacionam comportamento espectral com anomalias na planta, provocadas por estresse, como deficiência de nutrientes. É também utilizada em pesquisa sobre estimativas de parâmetros biofísicos usados em modelos de crescimento de cultura, como é o caso do índice de área foliar. Essa tecnologia, segundo Silva et al. (2009), apresenta algumas vantagens em relação aos métodos tradicionais, tais como: obtenção de informações sem que haja contato físico com o objeto, permitindo repetidas observações; leituras em uma faixa espectral não captada pelo olho humano; aumento na velocidade de aquisição dos dados e redução do esforço de trabalho.

De acordo com Ponzoni & Shimabukuro (2007), um interessado em prever a produção de uma cultura agrícola pode utilizar dados radiométricos para estimar a quantidade de folhas em fases específicas de desenvolvimento dessa cultura, a qual é correlacionada com a sua produtividade através de modelos matemáticos pré-estabelecidos.

Moreira (2005) relata que nas medidas da reflectância da vegetação utilizando espectrorradiômetros geralmente empregam-se dois tipos de análise de dados. O primeiro consiste numa análise visual das curvas de reflectância, para observar o comportamento espectral dos alvos contidos dentro do ângulo de visada do sensor, ao longo da faixa do comprimento de onda que opera o equipamento. O segundo tipo consiste em transformar os dados espectrais em outras unidades, como índices de vegetação, que podem ser utilizados para estimar certos parâmetros da cultura agrícola, como a radiação fotossinteticamente ativa absorvida.

Segundo Nilsson (1995), a maioria dos instrumentos de sensoriamento remoto integra todos os dados gravados, que então deve ser computadorizados, reduzidos e realçados antes que possam ser analisados e avaliados, lembrando que o cansaço e a falta de concentração reduzem a precisão ao se tratar da visão humana. Desta forma, o uso do computador para tratamento digital das imagens possibilita a análise de tantos pixels e de tantas bandas quanto forem necessários. Além disso, o uso de computadores possibilita explorar o aspecto multidimensional dos dados e de sua resolução radiométrica (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

Dessa forma, o sensoriamento remoto pode ser visto como um importante sistema de aquisição de informações para as diversas áreas do conhecimento, entre elas as ciências agrárias, sendo uma técnica rápida e menos onerosa, não apenas para uso agrícola como, também, para estudos ambientais (GENÚ, 2006).

### **2.3.1. Radiometria de campo**

Segundo Meneses & Madeira Netto (2001), a radiometria espectral é uma das mais importantes áreas do conhecimento do sensoriamento remoto, pois é através das medidas radiométricas que se descobrem com qual intensidade cada material reflete a radiação eletromagnética nos diferentes comprimentos de onda, demonstrando como cada um desses objetos irá aparecer nas imagens.

A radiometria de campo é importante para estabelecer uma base sólida para interpretação de dados de sensoriamento remoto obtidos em diferentes níveis (aéreo ou orbital). A importância dessa técnica se deve ao fato dela permitir a eliminação do efeito da atmosfera na coleta de dados, uma vez que a distância entre o sensor e o alvo é mínima. Além disso, pode-se fazer uma descrição detalhada dos alvos que estão sendo observados, o que permite a construção de uma biblioteca de informação valiosa para a interpretação de alvos observados por outros sensores (BATISTA, 2005).

A espectrorradiometria de campo pode ser definida como a técnica de sensoriamento remoto ao nível de campo, onde são utilizados sensores para

mensurar a radiação solar refletida de objetos na superfície terrestre em determinadas faixas espectrais (CUNHA, 2004). Segundo Meneses & Madeira Netto (2001), é uma técnica que tem a função de medir em diferentes comprimentos de onda a energia eletromagnética refletida da superfície dos objetos e representá-la na forma de um gráfico denominado curva de reflectância espectral. Esta técnica é bastante utilizada na agricultura, pois permite obter medidas ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento das culturas, sob condições bem mais favoráveis em termos de influência da atmosfera, do que aquelas adquiridas por sensores remotos a bordo de plataformas orbitais (CUNHA, 2004).

Ao analisar os diversos trabalhos de radiometria de campo, observa-se que a grande maioria utiliza mensurações nas regiões do visível e do IVP. A razão disso é que os detectores para esta região são bem mais simples, permitindo a construção de equipamentos relativamente baratos, portáteis e robustos para uso em campo (BATISTA, 2005).

A razão entre a quantidade de radiação eletromagnética refletida (radiância) e a quantidade de radiação incidente (irradiância) sobre os alvos na superfície terrestre fornece a medida de reflectância captada por sensores, denominados radiômetros ou espectrorradiômetros (SOUSA JÚNIOR, 2005).

Os espectrorradiômetros operam em faixas espectrais estreitas, diferente dos radiômetros sendo que a intensidade refletida pelo objeto pode ser medida de uma maneira contínua ao longo do espectro eletromagnético (NOVO, 2008), fornecendo um conjunto de dados numéricos ou gráficos conhecidos como curvas ou assinaturas espectrais (SOUSA JÚNIOR, 2005).

Mishra et al. (2011) apresentam técnicas de aplicações no manejo de doenças em citros como o Huanglongbing (HLB) por meio de um espectrorradiômetro e imagens hiperespectrais, observando picos de reflectância em plantas infectadas na região do espectro entre 530 e 564nm, 710 e 715nm e nos comprimentos de onda 1041nm e 2014nm. Os autores conseguiram encontrar grande aplicabilidade de tal tecnologia nas lavouras cítricas, tendo esse método conseguido detectar plantas doentes em estágio inicial da infecção. Fletcher et al. (2004) conseguiram distinguir

plantas contaminadas com gomose (*Phytophthora parasitica* Dast) utilizando um espectrorradiômetro portátil e calculando índices resultantes das razões entre as bandas do infravermelho próximo e azul, infravermelho próximo e vermelho e infravermelho próximo e infravermelho.

### **2.3.2. Índices de vegetação**

As aplicações de sensoriamento remoto no estudo de culturas agrícolas têm feito uso extensivo dos índices de vegetação para avaliar a reflectância do dossel de culturas. Pois os índices são combinações entre bandas espectrais, que servem para realçar as feições de vegetação e também minimizar efeitos do solo, angulares e atmosféricos (EIPHANIO et al., 1996).

Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2007), há vários índices de vegetação propostos visando explorar as atividades espectrais da vegetação nas regiões do visível e IVP.

De acordo com Oliveira (2009), das várias contribuições do sensoriamento remoto, a detecção qualitativa e quantitativa da vegetação verde é uma das mais importantes, por meio dos índices de vegetação (IV), sendo possível maximizar as características intimamente ligadas ao dossel verde e minimizar as variações não ligadas a ele.

Para Meneses & Madeira Netto (2001), os IV servem como indicadores do crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos, com os quais apresentam altas correlações, incluindo índice de área foliar e produtividade. Os índices mais comuns são aqueles provenientes de medidas da reflectância de dosséis de vegetação, nas faixas espectrais do vermelho e IVP do espectro eletromagnético. Apesar das especificidades dos diferentes índices, vários fatores podem interferir na resposta espectral da vegetação como a heterogeneidade do solo, a infestação por pragas e doenças (ROSATTI, 2006).

Os índices de vegetação derivados de dados obtidos de imagens multiespectrais reduzem a dimensionalidade desses dados e aumentam a

eficiência da extração das informações, sendo por isso uma das principais fontes de informação para o monitoramento das condições da vegetação e mapeamento de cobertura da superfície terrestre. Nesse sentido, eles são utilizados para ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo ou outros alvos da superfície como, por exemplo, ao caracterizar parâmetros biofísicos das culturas agrícolas tais como índice de área foliar, fitomassa, radiação fotossinteticamente ativa absorvida e produtividade (MOREIRA, 2005). Os resultados encontrados por Fletcher (2004) sugerem que os índices de vegetação são eficazes para diferenciar podridão em citros infectados e não infectados.

O índice de diferença normalizada da vegetação (NDVI), proposto por Rouse et al. em 1974, pode ser considerado o mais utilizado, sendo uma ferramenta direta, porém, fornecendo uma informação aproximada das propriedades da vegetação. É um índice que também é usado para caracterizar a vegetação através de seu estado fitossanitário e da sua produtividade (ROSATTI, 2006). Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2007), é um índice utilizado até os dias atuais sendo explorado em diferentes abordagens em estudos de culturas agrícolas.

Hikishima et al. (2010) verificaram que a ferrugem asiática da soja reduziu a refletância pela área foliar sadia, sendo que as parcelas infectadas apresentaram menores valores do Índice de Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI).

De acordo com Simões et al. (2005) em seu estudo com variáveis espectrais e indicadores de desenvolvimento e produtividade da cana-de-Açúcar, constataram que NDVI foi uma variável espectral com a maior correlação com as variáveis agrônômicas. Eles relatam também que o Índice de Área Foliar (IAF) é um parâmetro biofísico que pode ser uma ajuda na estimativa da produtividade de culturas e tem uma relação verificada com dados espectrais.

Pontes et al. (2005) mostraram que as variedades de cana-de-açúcar estudadas, apesar de apresentarem uma mesma tendência temporal de evolução do índice NDVI, apresentaram diferenças na resposta espectral e, portanto, podem ser estratificadas. Analisando os dados estatisticamente, foi

possível perceber que existe correlação entre o índice NDVI e a produtividade da cultura de cana-de-açúcar, ficando mais evidente no pico do ciclo vegetativo da cultura. Os autores relatam que o estudo mostrou que existe potencial na utilização de índices de vegetação para diferenciação de produção de cana-de-açúcar, oferecendo um subsídio à previsão de safras.

Santos Júnior (2002) relata que a análise dos dados indicou que a correlação amostral entre densidade populacional de Nematóides *Heterodera glycines* de solo e NDVI foi de alta magnitude e negativa. Os resultados permitiram assumir que *H. glycines* influenciou a resposta espectral das plantas de soja. Por conseguinte, é possível detectar e mapear áreas de soja infestadas por esses nematóides utilizando-se técnicas de sensoriamento remoto.

Camilo (2010) considera que o NDVI é um excelente estimador entre os índices de vegetação existentes da condição do vigor vegetativo das plantas e, conseqüentemente, um indicador do estado de deterioração da superfície. Corroborado por Backes (2010) que considera que o NDVI se mostrou uma boa ferramenta para detectar mudanças na vegetação, pois foi sensível às variações na estrutura da vegetação.

Outro índice utilizado em culturas agrícolas é o Índice de Vegetação da diferença de verde normalizado (GNDVI). Gitelson et al. (1996) verificaram que o GNDVI foi muito mais sensível que o NDVI para identificar diferentes taxas de concentração de clorofila em duas espécies de plantas. O índice GNDVI foi o que melhor se correlacionou com SPAD em todos os períodos de aquisição dos dados, logo o uso da banda verde se mostrou mais eficiente na relação com a estimativa nutricional foliar do que o uso da banda vermelha.

De acordo com Silva Júnior et al. (2007), o índice GNDVI obteve os maiores valores de correlação com o SPAD em todos os períodos de aquisição dos dados, sendo considerado o índice mais indicado para detectar os diferentes níveis nutricionais. Este índice também mostrou que a banda verde da câmera colorida foi mais sensível para detectar os diferentes níveis nutricionais do que o uso da banda vermelha.

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) foi proposto por Huete et al. (1988), em que utiliza-se uma constante “L” com o objetivo de minimizar o efeito do solo no resultado final do índice que pode variar de 0 a 1. Em geral o fator  $L = 0,5$  é mais comumente utilizado, uma vez que engloba uma maior variação de condições de vegetação. Nos estudos feitos por Viganó et al. (2011), utilizando o NDVI e o SAVI, este último discriminou melhor a vegetação para a área de estudo, superando o NDVI em quatro classes diferentes. Entretanto, é necessário ressaltar que se deve considerar a área de estudo, podendo o resultado se diferenciar em outro espaço analisado.

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Otimizado (OSAVI), proposto por Rondeaux et al. (1996), é uma variação do SAVI e é indicado para o monitoramento de cultivos agrícolas. A vantagem do OSAVI em detrimento dos demais índices dependentes da linha do solo é que sem conhecer a linha do solo, ele pode ser determinado, ou seja, não demanda um conhecimento a priori do tipo do solo (CAMARGO, 2007). Segundo Rondeaux et al. (1996), a partir da avaliação e vários coeficientes em diferentes índices, o melhor ajuste foi com o valor de L igual a 0,16.

Haboudane et al. (2004), ao desenvolverem as modificações do Índice Modificado da Reflectância e Absorção da Clorofila (MCARI) para MCARI1e MCARI2, visaram a estimativa adequadas de dados para Índice de Área Foliar. A ideia geral era tornar os índices existentes menos sensíveis às variações dos efeitos do solo e atmosfera.

### **2.3.3 Índice de área foliar**

O Índice de Área Foliar (IAF) está intimamente relacionado com vários processos fisiológicos da planta e pode ser obtido de várias formas, mas quase sempre destrutivas, além de serem extremamente demoradas e de alto custo (BATISTA, 2005).

De acordo com Moreira (2005), um método alternativo para a medida do IAF é a interceptação da radiação pelo dossel da cultura, pois permite amostrar de forma representativa a cobertura vegetal, sendo, portanto, um método prático e que não causa dano à cultura. O LAI-2000 é um sensor

passivo, desenvolvido para estimar o IAF de dosséis de vegetação, sendo prático para uso em áreas vegetadas. Como característica básica, apresenta medidas mais rápidas do que aquelas obtidas por outros métodos indiretos (MOREIRA, 2005).

O ceptômetro calcula o IAF com base nas seguintes variáveis: medidas de radiação fotossinteticamente ativa (PAR, 400 a 700 nm) realizadas dentro e acima do dossel da cultura, ângulo zenital solar ( $z$ ), valor da fração do feixe medido ( $F_b$ ) e parâmetro de distribuição foliar da cultura ( $X$ ). O ceptômetro calcula automaticamente o  $z$  e o  $F_b$ , sendo necessário entrar com o valor de  $X$  que é um valor pré-determinado de cada cultura (no caso do feijão,  $X=2$ ), com as coordenadas geográficas do local (latitude e longitude), a data e a hora do dia.

Alguns trabalhos (GALLO et al., 1985; PRINCE, 1991; MOREIRA, 1997; entre outros), atestam que em plantas saudáveis e adequadamente supridas de água e nutrientes, existe uma relação linear positiva entre a quantidade de radiação fotossinteticamente absorvida pelo dossel (APAR) e a produção final de fitomassa e grãos; dessa forma, as técnicas de sensoriamento remoto procuram estabelecer uma relação entre a radiação solar absorvida pelo dossel da cultura e as interações com seus atributos biofísicos.

Asrar et al. (1984) estudaram a cultura do trigo e perceberam que mudanças no valor do NDVI estavam sobretudo relacionadas ao IAF da cultura. Quando os valores de IAF eram menores que 3, o NDVI foi influenciado pela reflectância do solo; mas para valores de IAF maiores que 3, o NDVI tornou-se mais dependente da reflectância da vegetação no IVP; aumentando quase que proporcionalmente aos valores observados do IAF, até o momento em que os valores estavam próximos de 6, onde ocorreu a estabilização da curva. Segundo ainda os autores, para valores altos do IAF ocorrem mudanças pequenas do NDVI, em razão da ocorrência de mudanças ainda menores no Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) obtido no dossel.

#### **2.3.4. Teor de clorofila**

O teor de clorofila presente na folha pode nos fornecer algumas características relacionadas às suas desordens nutricionais, especialmente em relação a deficiências. A medição direta do teor de clorofila é feita de forma destrutiva.

Jesus & Marengo (2008) relatam que na década de 90 foi disponibilizado um equipamento capaz de gerar grandezas relacionadas com os teores de clorofila, o clorofilômetro Soil Plant Analysis Development (SPAD-502, Minolta, Japão). Esse instrumento é portátil e fornece leituras que podem se relacionar com o teor de clorofila presente na folha. Permite medições de forma rápida e prática, ainda em campo a um custo baixo.

A utilização desses medidores portáteis de clorofila pode auxiliar na prática da agricultura de precisão (QUEIROZ et al., 2000). Dessa forma, medidores indiretos de clorofila (SPAD) são utilizados como alternativa para inferir-se sobre a clorofila sem que haja danos à planta e maiores ônus ao trabalho.

Segundo Argenta (2001), após feita uma verificação entre a leitura com medidor portátil de clorofila e o teor de clorofila extraível, constatou-se que o clorofilômetro estima adequadamente o esverdeamento da folha de milho.

Em sua pesquisa, Guimarães (1999) constatou que os coeficientes de correlação obtidos com os dados do medidor SPAD foram maiores que aqueles com o método tradicional, indicando que, além de ser mais rápido e de mais fácil execução, mostrou maior capacidade preditiva que o método padrão utilizado. As leituras obtidas com o medidor podem ser utilizadas para estimar as concentrações de clorofila determinadas pelo método padrão.

Gil et al. (2002), em estudo com batata, afirmam que o índice SPAD pode ser usado para prognóstico da produtividade da cultura, em razão da correlação positiva entre nitrogênio e produção. Para a cultura do feijoeiro, o clorofilômetro se mostrou uma ferramenta eficaz como indicador dos efeitos de adubação nitrogenada em cobertura (SILVEIRA et al., 2003). Este

equipamento pode ser utilizado para avaliar o efeito da severidade de doenças, como da mancha foliar no trigo (ROSYARA et al., 2007).

Pinkard et al. (2006) demonstraram que houve uma forte relação entre a clorofila foliar e o índice de clorofila. O SPAD-502 Minolta apresentou boas estimativas nas cultivares neste experimento, com coeficientes de determinação variando entre 0,85 e 0,96, revelando ter potencial como ferramenta de manejo para otimizar a adubação regimes em plantações das espécies estudadas.

#### **2.4. Processamento de imagens**

O processamento digital de imagens é a sua manipulação através de técnicas desenvolvidas em computadores de modo que a entrada e a saída do processo também sejam imagens. Permite a análise de dados multiespectrais registrados em diferentes tipos de sensores e tendo como objetivos, melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (CAMARA et al., 1996).

Segundo Gonzalez & Woods (2007), os métodos de processamento de imagens digitais decorrem de duas áreas principais que são a melhoria da informação visual para a interpretação humana e o processamento de dados de cenas para percepção automática através de máquinas.

De acordo com Moreira (2005), os novos procedimentos computacionais para análise de dados coletados por sistemas sensores foram criados para agilizar as tarefas manuais de interpretação visual e ainda possibilitar ao analista a obtenção de padrões espectrais existentes nas imagens, facilitando a identificação dos alvos em estudo. Batista & Dias (2005) relatam que os sistemas computacionais contribuem na análise das imagens e na identificação das diferenças de reflectância e, com isso, possibilita o reconhecimento das feições terrestres.

Ponzoni & Shimabukuro (2007) relataram que através do uso do computador para tratamento digital das imagens é possível analisar tantos pixels e tantas bandas quanto forem necessárias.

Como os sensores remotos medem a radiância espectral aparente proveniente do alvo, com as correções de efeitos atmosféricos e a normalização dos efeitos de geometria de aquisição podem-se obter medidas de radiância inerente, as quais transformadas em reflectância de superfície descreverão o comportamento espectral de alvos agrícolas (ROSATTI, 2006).

Segundo Bock et al. (2010), as câmeras digitais são um recurso barato e amplamente utilizado para várias aplicações em fitopatologia. A fotografia tem sido utilizada para detectar, quantificar e estudar doenças e patógenos. Essa utilização começou na década de 1920 e tem continuado a ser utilizada e desenvolvida na detecção de doenças de plantas. Nos últimos trinta anos, esses autores relatam que tem havido grandes avanços na compreensão de avaliação de doenças de plantas e aplicação de novas tecnologias, em particular de análise de imagem e, mais recentemente imagens hiperespectrais. O uso de imagens hiperespectrais é novo para detecção de gravidade de doenças de plantas e quantificação, mas oferece oportunidades interessantes para a aplicação, conforme o trabalho de Hirano et al. (2003).

Dessa forma, as técnicas de processamento digital surgem como uma ferramenta útil, mas que deve ser usada com cuidado e com conhecimento do que é desejável para o estudo (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

#### **2.4.1. Transformação de número digital para reflectância (calibração radiométrica)**

Para Luiz et al. (2003), os valores digitais devem ser convertidos para valores de reflectância quando se deseja estudar o comportamento espectral dos alvos e quando se pretende comparar imagens obtidas por diferentes sensores ou em variadas datas ou épocas do ano.

Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2007), a conversão dos números digitais das imagens para valores de reflectância tem como objetivo permitir a caracterização espectral dos objetos e permitir a elaboração de cálculos que incluem dados de imagens de diferentes bandas espectrais ou de diferentes sensores.

A análise dos parâmetros físicos, através da conversão de número digital para valores de reflectância, permite medições mais absolutas do alvo, além de permitir realizar, com maior rigor, a razão entre bandas, a definição espectral de classes temáticas e a relação entre imagens de diferentes datas e sensores (ROBINOVE, 1982).

De acordo com Ponzoni & Shimabukuro (2007), não se deve proceder ao cálculo de índices de vegetação sem converter os dados das imagens em valores físicos como Radiância ou Reflectância.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

Quatro experimentos foram conduzidos na área experimental (20°45'14" S, 42°52'53" W e altitude de 648,74m) do Setor de Agronomia do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada em Viçosa, MG.

Foi realizada análise do solo antes da semeadura tendo como subsídio as recomendações de corretivo e de fertilizantes, comum para a espécie na região. O preparo do solo para os quatro experimentos constou de uma aração e duas gradagens, sendo a primeira gradagem executada logo após a aração e a segunda pouco antes do plantio. As culturas foram mantidas em regime de irrigação semanalmente por aspersão com lâmina de água de aproximadamente 40 mm. A espécie cultivada foi o feijão-comum, *Phaseolus vulgaris* L., cultivares Madrepérola (Experimento 1), BRSMG Majestoso (Experimento 2), Ouro Vermelho (Experimento 3) e Madrepérola (Experimento 4).

O Experimento 1 foi instalado no outono-inverno de 2009, com semeadura em 25 de maio e colheita em 21 de setembro. O Experimento 2 foi instalado no outono-inverno de 2010, com semeadura em 20 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 mofo-branco.

O Experimento 3 e 4 foi instalado no outono-inverno de 2010 em área próxima às dos Experimentos 1 e 2, com semeadura em 10 de março e colheita em 01 de junho (Experimento 3) e 16 de junho (Experimento 4). Na área dos Experimentos 3 e 4 é praticada rotação de culturas e é comum a ocorrência de mancha-angular nessa época do ano.

No Experimento 1 as parcelas experimentais foram constituídas de quatro fileiras de 3,5 m, espaçadas de 0,45 m, totalizando 6,3 m<sup>2</sup> de área, com densidade de 10 plantas por metro. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro repetições e cinco tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 – Fungicidas utilizados para controle químico do mofo- branco do feijoeiro no Experimento 1

<b>Fungicidas<sup>1</sup></b>	<b>Dose (g i.a./ha)*</b>	<b>Dose (mL p.c./ha)**</b>
0. TESTEMUNHA <sup>2</sup>	-	-
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

\*g i.a./ha– grama de ingrediente ativo por hectare

\*\* p.c./ha – produto comercial por hectare

<sup>1</sup> Fungicidas pulverizados em 29/7/2009, em 7/8/2009 e em 17/8/2009.

<sup>2</sup> Apenas água foi aplicada nas parcelas desse tratamento (300 L/ha).

No Experimento 2, as parcelas experimentais foram constituídas de quatro fileiras de 3,5 m, espaçadas de 0,45 m, totalizando 6,3 m<sup>2</sup> de área, com densidade de 10 plantas por metro. Foi utilizado DBC com quatro repetições e seis tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Fungicidas utilizados para controle químico do mofo- branco do feijoeiro no Experimento 2

<b>Fungicidas<sup>1</sup></b>	<b>Dose (g i.a./ha)*</b>	<b>Dose (mL p.c./ha)**</b>
0. TESTEMUNHA <sup>2</sup>	-	-
1. IBIQF 2525	500	1000
2. IBIQF 2525	750	1500
3. IBIQF 2525	1000	2000
4. Tiofanato metílico	500	1000
5. Fluazinam	500	1000

\*g i.a./ha– grama de ingrediente ativo por hectare

\*\* p.c./ha – produto comercial por hectare

<sup>1</sup> Fungicidas pulverizados em R5 (pré-florescimento; 16/7/2010) e em R6 (florescimento; 23/7/2010).

<sup>2</sup> Apenas água foi aplicada nas parcelas desse tratamento (300 L/ha).

Nos Experimento 3 e 4, as parcelas experimentais foram constituídas de cinco fileiras de 6 m, espaçadas de 0,5m, totalizando 15m<sup>2</sup> de área, com densidade de 10 plantas por metro. Foi utilizado o DBC com seis repetições e três tratamentos para cada cultivar (Tabela 3).

Tabela 3 – Fungicidas utilizados para controle químico da mancha-angular do feijoeiro nos Experimentos 3 e 4

Fungicidas <sup>1</sup>	Dose (g i.a./ha)*	Dose (mL p.c./ha)**
0. TESTEMUNHA <sup>2</sup>	-	-
1. AZOXYSTROBIN	50	100
2. AZOXYSTROBIN	100	200

\*g i.a./ha – grama de ingrediente ativo por hectare

\*\* p.c./ha – produto comercial por hectare

<sup>1</sup> Fungicidas pulverizados 20 dias após a emergência em 5/4/2010 e a cada dez dias em 15/4, 25/4, 5/5, 15/5 e 25/5/2010

<sup>2</sup> Apenas água foi aplicada nas parcelas desse tratamento (300 L/ha).

### 3.2 Medidas dos fatores de reflectância espectral

As medidas dos fatores de reflectância espectral do dossel do feijoeiro para os quatro experimentos foram feitas utilizando um sistema “dual-fiber”, com dois espectrorradiômetros, modelo SD2000, fabricante Ocean Optics, obtendo dados nos comprimentos de onda compreendidos entre 400 e 900 nm, com resolução espectral padrão de 0,34 nm. O primeiro espectrorradiômetro, equipado com uma fibra óptica com campo de visão de 25°, foi apontado à nadir para medir a radiância 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 (Figura 2). O aparelho foi conectado a um microcomputador portátil, onde foram armazenados os dados.

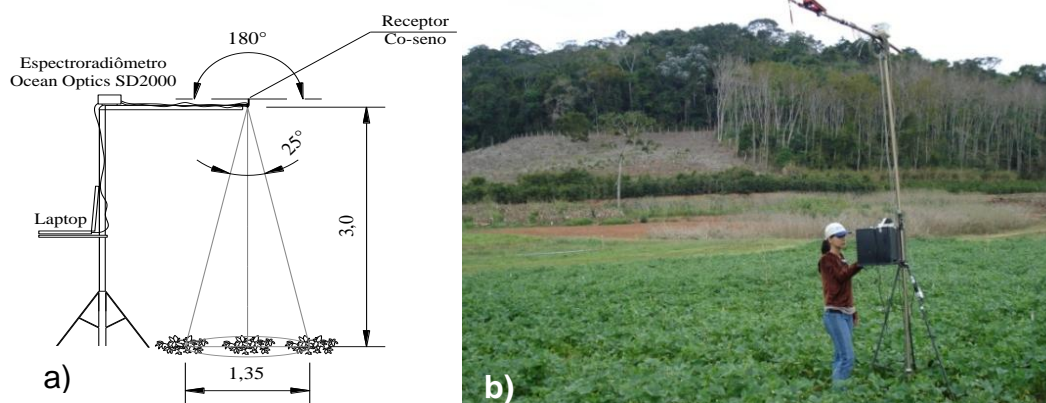


Figura 2 - a) Representação esquemática do sistema de aquisição de dados de radiometria de campo; b) Medida dos fatores de reflectância espectral.

Todas as coletas foram feitas sempre no mesmo período do dia, entre 10:00 e 14:00 horas, minimizando a influência nas mudanças na geometria de iluminação. Na Tabela 4 são apresentadas as datas das coletas para cada um dos quatro experimentos.

Tabela 4 – Datas de coleta dos dados no espectrorradiômetro para cada experimento

<b>EXPERIMENTO</b>	<b>Dias após a emergência</b>
<b>1</b>	<b>60, 71, 91, 102</b>
<b>2</b>	<b>13, 27, 34, 56, 71, 91</b>
<b>3</b>	<b>59, 65, 70, 76</b>
<b>4</b>	<b>59, 65, 70</b>

Os espectrorradiômetros foram instalados em uma estrutura, de forma que as medições foram feitas a uma altura de 3,0 m, compreendendo uma área de amostragem circular com um diâmetro de aproximadamente 1,4 m. A altura dos espectrorradiômetros sobre o feijoeiro foi mantida constante durante todas as épocas de desenvolvimento. Para cada avaliação, foram realizadas três medições dos fatores de reflectância espectral por parcela experimental sobre a linha central da cultura (Figura 3).

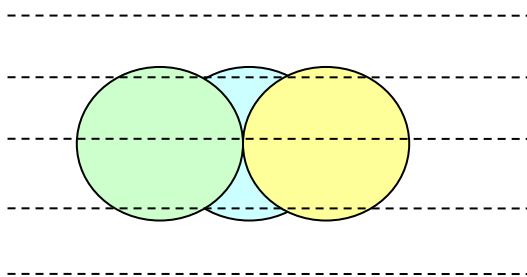


Figura 3 - Posição relativa das três medições dos fatores de reflectância em relação às linhas do plantio da parcela experimental.

As medidas de radiância do dossel do feijoeiro e irradiância do sol foram intercaladas com as medidas de radiância de um painel padrão de reflectância branco, cujo espectro de reflectância é conhecido (Figura 4), simultaneamente com a irradiância do sol. O painel utilizado foi o Spectralon do fabricante Labsphere. Esta calibração foi realizada antes de começar as medidas e a cada 20 minutos.

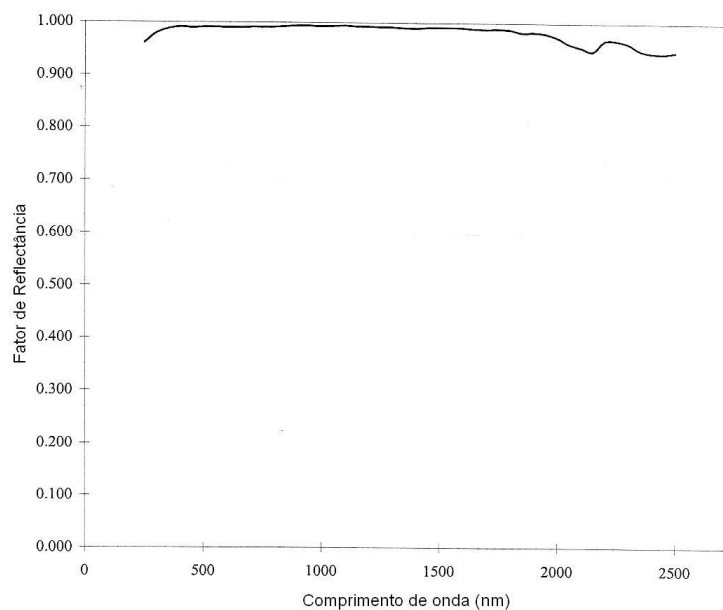


Figura 4 - Espectro do fator de reflectância do painel padrão de reflectância branco Spectralon (LABSPHERE, 1998).

Foi utilizado o programa de aquisição de dados espectrais OOIBase32, versão 2.0.5.5. da Ocean Optics. O tempo de integração dos espectrorradiômetros foi modificado de acordo com as condições de iluminação, de forma que ambos os canais sempre estivessem distribuindo uma quantidade suficiente de luz para preencher a matriz do CCD entre 75% e 95%.

Conforme a metodologia proposta por GITELSON et al. (2003), a partir dos dados coletados foi realizado o cálculo do fator de reflectância do dossel para cada comprimento de onda ( $\lambda$ ), utilizando-se a Equação 1.

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

em que:

$\rho_{\lambda}$  : Fator de reflectância do dossel no comprimento de onda  $\lambda$ , em %;

$\rho_{\lambda}^{cal.}$  : Fator de reflectância do painel, adimensional;

$L_{\lambda}^{feijoeiro}$  : Radiância do feijoeiro, em  $W\ m^{-2}\ sr^{-1}$ ;<sup>3</sup>

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

$E_{\lambda}^{inc.}$  : Irradiância no feijoeiro, em  $W\ m^{-2}$ ; e

$E_{\lambda}^{cal.}$  : Irradiância no painel, em  $W\ m^{-2}$ .

O fator de reflectância do painel é introduzido na Equação 1 para corrigir a radiância do painel, pois essa medida deveria ser realizada em superfícies refletoras perfeitamente difusas, entretanto essas superfícies não existem. Meneses & Madeira Netto (2001) relatam que quando são feitas as medições, o sensor, o alvo e a fonte estão dispostos em certa configuração e as posições relativas entre eles poderão favorecer ou desfavorecer as medidas. Dessa forma, deve-se utilizar o termo fator de reflectância bidirecional (FRB), pois o valor de reflectância medido na Equação 1 dependerá dos ângulos entre a posição do sensor e da fonte em relação à amostra (MILTON, 1987).

A partir dos valores calculados do FRB do dossel para cada comprimento de onda de cada parcela, foram calculados os valores dos fatores de reflectância média, em intervalos de comprimento de onda correspondentes aos valores de 550 nm para a banda verde, 670 nm para a banda vermelha e 800 nm para o infravermelho.

Com os valores dos fatores de reflectâncias, foram calculados os índices de vegetação da Tabela 5.

---

<sup>3</sup>sr: esterradiano, unidade de ângulo sólido (unidade suplementar do Sistema Internacional de Unidades).

Tabela 5 - Índices de vegetação utilizados neste estudo

Índice de vegetação	Equação	Referência
Índice de vegetação da diferença normalizada	$NDVI = \frac{(R_{800} - R_{670})}{(R_{800} + R_{670})} \quad (2)$	Rouse et al. (1974)
Índice de vegetação da diferença de verde normalizado	$GNDVI = \frac{(R_{800} - R_{550})}{(R_{800} + R_{550})} \quad (3)$	Gitelson et al. (1996)
Índice de vegetação ajustado para o solo (L=0,5)	$SAVI = \frac{(1+L)(R_{800} - R_{670})}{(R_{800} + R_{670} + L)} \quad (4)$	Huete (1988)
SAVI Otimizado	$OSAVI = \frac{(1+0,16)(R_{800} - R_{670})}{(R_{800} + R_{670} + 0,16)} \quad (5)$	Rondeaux et al. (1996)
Índice modificado da reflectância e absorção da clorofila 1	$MCARI1 = 1,2[2,5(R_{800} - R_{670}) - 1,3(R_{800} - R_{550})] \quad (6)$	Haboudane et al. (2004)
Índice modificado da reflectância e absorção da clorofila 2	$MCARI2 = \frac{1,5[2,5(R_{800} - R_{670}) - 1,3(R_{800} - R_{550})]}{\sqrt{(2R_{800} + 1)^2 - (6R_{800} - 5\sqrt{R_{670}}) - 0,5}} \quad (7)$	Haboudane et al. (2004)

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

### 3.3 Aquisição de imagens multiespectrais

Simultaneamente às medidas dos fatores de reflectância espectral, foram adquiridas imagens do dossel do feijoeiro. Para isso, nos Experimentos 1 e 2 foi utilizado o sistema de aquisição de imagens STH-DCSG-VAR/-C *stereo head* do fabricante Videre Design (Califórnia, EUA). Este sistema foi composto por duas câmeras (uma colorida e uma monocromática), distanciadas de 13,5 cm, que capturavam duas imagens, simultaneamente, da mesma cena. Na câmera monocromática foi acoplado um filtro óptico que bloqueava a faixa do espectro visível, sensibilizando o sensor da câmera na faixa do infravermelho próximo (IVP) no intervalo de 695 a 1050 nm. As faixas do espectro que sensibilizavam o sensor da câmera colorida estão apresentadas na Figura 5.

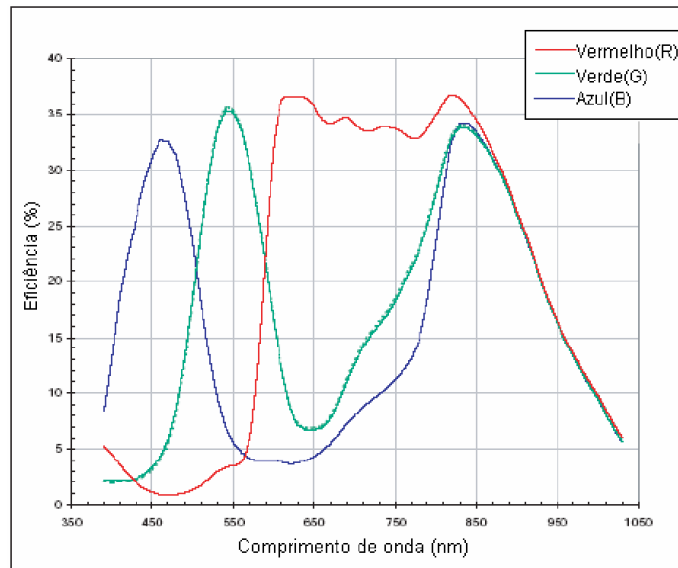


Figura 5 – Espectro de sensibilidade do sensor MT9V022 às bandas do vermelho(R), verde (G) e azul (B) da câmera colorida em função do comprimento de onda. Fonte: VIDERE DESIGN (2011).

As câmeras foram conectadas a um microcomputador portátil por meio de cabos de 10 m de comprimentos conectados em um cartão de interface digital PCMCIA IEEE 1394a. Para o funcionamento das câmeras, foi necessária uma alimentação de energia externa, utilizando uma extensão de 150 m de fio que era conectada à energia elétrica.

O padrão de lentes utilizadas foi o C-mount com distância focal de 2,8 mm. As imagens foram salvas no formato BMP (Bitmap) com dimensão de 480 (H) x 640 (V) pixels, utilizando o software SRI's Small Vision System (SVS) fornecido pelo próprio fabricante das câmeras. O sensor das câmeras era o CMOS MT9V022 no formato de 1/3".

As câmeras foram posicionadas em uma estrutura metálica, de forma que as imagens foram adquiridas a uma altura de 3,0 m, sobre as linhas centrais da parcela, compreendendo uma área de amostragem de aproximadamente 3,18 x 4,87 m com uma resolução espacial de aproximadamente 7 mm pixel<sup>-1</sup>. Foram adquiridas três imagens por parcela, nas mesmas posições das leituras com o espectrorradiômetro (Figura 3). As características das câmeras, tempo de exposição, ganho e correção do gamma, foram ajustadas para 50, 17 e 1, respectivamente. Com exceção da correção do gama, que é decimal, estes valores são em porcentagem e foram escolhidos baseados em testes preliminares. O ajuste do foco e a

abertura da entrada de luz (diafragma) foram regulados por meio da análise da imagem formada no computador, observando o efeito do ruído (saturação do valor de pixel). Estas configurações foram mantidas durante todas as coletas.

No Experimento 3, foram utilizadas duas câmeras digitais Polaroid modelo i1035, 10.0 Megapixels. Em uma das câmeras foi retirado o filtro RGB e acoplado um filtro infravermelho B+W da empresa Schneider Optics que bloqueia a luz visível e deixa passar o infravermelho no comprimento de onda entre 785 nm e 835 nm, sendo possível assim, abranger as quatro bandas de interesse: R, G e B com uma das câmeras e IVP com a outra.

As câmeras foram posicionadas em uma estrutura metálica, de forma que as imagens foram adquiridas a uma altura de 3,0 m, sobre as linhas centrais da parcela, compreendendo uma área de amostragem de aproximadamente 2,20 m x 1,76 m, com uma resolução espacial de aproximadamente 3,4 mm pixel<sup>1</sup>. As imagens das duas câmeras foram capturadas ao mesmo tempo, manualmente, utilizando um fio extensor de 3 metros conectado ao botão de acionamento das câmeras.

As imagens, nos quatro experimentos, foram obtidas sempre no mesmo horário, entre 10:00 e 14:00 horas, minimizando as possíveis mudanças na reflectância da cultura. No Experimento 1, foram feitas aquisições de imagens das parcelas aos 60, 71, 91, e 102 DAE; no Experimento 2, aos 13, 27, 34, 42 e 91 DAE; e no Experimento 3, aos 10, 28, 33 e 42 DAE e no Experimento 4 aos 10, 33 e 71 DAE.

Nos Experimentos 2 e 3 foi testado um método de calibração utilizando quatro painéis com diferentes níveis de cinza. As imagens foram convertidas em imagens reflectância baseadas em três equações de calibração (uma para cada banda espectral de interesse: verde, vermelha, e infravermelha próxima) utilizando quatro painéis pintados com pintura automotiva e reflectâncias conhecidas (4%, 10%, 40% e 65%, medidas em condições de campo). Foi feito também um teste de ruído para saber se tinha reflectância negativa e as imagens de reflectância foram salvas. Os índices de vegetação foram calculados utilizando as imagens de reflectância

salvas anteriormente como mostra os anexos D e E. Na Figura 6 é possível visualizar a disposição da câmera com os painéis.



Figura 6 – Disposição da câmera com os painéis de calibração.

As equações de calibração foram obtidas pelo ajuste de uma equação de regressão linear simples entre os valores de pixels dos painéis e os valores de reflectância dos quatro painéis, conforme Equação 8.

$$\hat{\gamma} = \beta_0 + \beta_1\rho \quad (8)$$

Em que

$\hat{\gamma}$  : valor estimado da reflectância;  $\beta_0$  : constante de regressão;  
 $\beta_1$ : coeficiente da regressão;  $\rho$ : valor dos pixels da parcela.

As imagens foram processadas com o programa computacional Matlab determinando-se os mesmos índices espectrais calculados com as medidas dos fatores de reflectância (Tabela 5).

O teste do método foi realizado através do cálculo do erro médio entre os índices de vegetação calculados pela imagem e pelo espectrorradiômetro.

### **3.4 Avaliação da severidade de mofo-branco e da mancha-angular no feijoeiro**

A severidade do mofo-branco foi avaliada visualmente aos 102 DAE no Experimento 1 e aos 92 DAE no Experimento 2 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 09 mostra o cálculo do índice de severidade do mofo-branco da parcela.

$$ISD(\%) = \frac{\sum (\text{notas de todas as plantas})}{4 \times (\text{número total de plantas})} \times 100 \quad (09)$$

Aos 65 e 70 DAE, na severidade da mancha-angular foi verificada a partir de avaliação visual em cada parcela como um todo, utilizando-se uma escala com nove graus, propostas por Pastor-Corrales & Jara (1995), em que: 1 – plantas sem sintoma da doença; 2 – presença com até 3% de lesões; 3 – presença de até 5% de lesões foliares, sem esporulação do patógeno; 4 – presença de lesões esporuladas cobrindo 10% da área foliar; 5 – presença de várias lesões esporuladas entre 2 e 3 mm, cobrindo 10-15% da área foliar; 6 – presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3 mm, cobrindo entre 15-20% da área foliar; 7 – presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3mm, cobrindo entre 20-25% da área foliar; 8 – presença de numerosas lesões esporuladas maiores que 3 mm, que cobrem entre 25-30% da área foliar, associadas aos tecidos; e 9 – sintomas severos da doença, resultando em queda prematura de folhas e morte da planta. Nessas avaliações, foram utilizadas as plantas colhidas na fileira central da parcela, sendo duas linhas nos Experimentos 1 e 2 e três linhas nos Experimentos 3 e 4.

### **3.5 Leitura indireta do teor de clorofila foliar**

Estimativas do teor de clorofila foliar em cada parcela foram obtidas de forma indireta utilizando-se um medidor portátil de clorofila SPAD 502, fabricante Konica Minolta, não destrutivo, nas mesmas épocas de obtenção

das medidas de reflectância e das imagens digitais para os quatro experimentos.

As folhas das plantas foram posicionadas entre o emissor e o receptor do equipamento, de modo que a radiação transmitida através da folha fosse convertida em sinais eletrônicos, conforme mostrado na Figura 7. Os valores foram calculados com base na quantidade de radiação transmitida pela folha na faixa do vermelho e do infravermelho próximo (SCHEPERS et al., 1996).



Figura 7 - Medição utilizando o SPAD.

Em cada círculo de medição espectral (Figura 3), foram obtidos aleatoriamente 30 valores SPAD. Essa medida foi efetuada diretamente nas folhas mais novas completamente desenvolvidas em diferentes plantas. A média das 30 leituras foi considerada como o valor SPAD do ponto.

### 3.6 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF) foi determinado simultaneamente à aquisição de medidas dos fatores de reflectância espectral e às imagens, nos quatro experimentos, realizadas sempre no mesmo período do dia, entre 10:00 e 14:00 horas, utilizando um ceptômetro AccuPAR, modelo LP-80, do fabricante Decagon.

Em cada parcela foram realizadas, ao acaso, seis repetições de medições de PAR dentro e acima do dossel do feijoeiro nos Experimentos 1 e 2, por serem parcelas menores, sendo duas medições dentro de cada círculo de medição espectral (Figura 3), e 12 medições no Experimento 3 por serem parcelas maiores, sendo quatro medições dentro de cada círculo da

medição espectral (Figura 3). As medições realizadas abaixo do dossel foram feitas diagonalmente entre as linhas do feijão, com objetivo de aumentar a cobertura da área, conforme visualizado na Figura 8.



Figura 8 – Medições do Índice de Área Foliar.

### **3.7 Estimativa da produtividade do feijoeiro e seus componentes de rendimento**

Para determinar a produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) a 13% de teor de água em base úmida, a colheita de feijão foi realizada quando os grãos estavam com sua maturação fisiológica completa. Foram arrancadas manualmente, de cada parcela, plantas inteiras do solo: duas fileiras centrais dos Experimentos 1 e 2 e três fileiras centrais de 4 m de cada parcela dos Experimentos 3 e 4. As plantas arrancadas foram enleiradas até completar o processo de secagem natural. Foram realizados os processos de trilha, separação e limpeza da semente manualmente. As parcelas foram pesadas e homogêneas, e em cada parcela foram retiradas três amostras para determinação da umidade por meio do método padrão de estufa, a uma temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$  por 24 horas (BRASIL, 2011).

Após a limpeza, os grãos foram pesados para determinar os componentes de rendimento. Os componentes de rendimento, número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de 100 grãos (MCG), foram obtidos com as plantas utilizadas na determinação da produtividade. O número médio de vagens por planta foi obtido pela contagem do número total de vagens, dividido pelo número de plantas contido na linha. O número médio de grãos por vagem foi obtido por meio da

contagem total de grãos, dividido pelo número total de vagens. A massa de 100 grãos foi avaliada através da massa de todos os grãos obtidos de todas as plantas da linha, dividida pelo número total de grãos e multiplicado por 100.

### **3.8 Análise dos dados**

Para cada um dos quatro experimentos foram geradas análises de variâncias (anexo L) e gráficos com valores da repostagem espectral média do dossel para cada tratamento e em cada data de coleta de dados, com a finalidade de visualização do comportamento espectral no progresso da severidade das doenças. Os valores foram compreendidos entre 400 nm a 850 nm, abrangendo a região do visível e Infravermelho próximo.

Para identificação das sensibilidades dos índices de vegetação à variação da Clorofila Foliar (SPAD) e do Índice de Área Foliar da cultura (IAF) foram feitas análises de correlação entre IV versus IAF e IV versus (SPAD) em todos os dias das coletas para os quatro experimentos.

#### **3.8.1 Avaliação da correlação entre índices de vegetação com o índice de severidade e a produtividade do feijoeiro**

Foi realizada uma análise de correlação entre os índices de vegetação, para cada época de coleta de dados a severidade das doenças e a produtividade do feijoeiro. Também foi realizada uma análise de correlação dos valores de SPAD e o índice de área foliar com o índice de severidade da doença e a produtividade do feijoeiro. Todas as análises de correlação foram realizadas com auxílio do programa de estatística SAS.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Severidade das doenças e produtividade do feijoeiro

As Tabelas 6 a 9 correspondem às severidades e produtividades médias de cada Experimento.

Tabela 6 – Índice de Severidade (ISD) de mofo-branco e produtividade do Experimento 1

<b>Tratamento</b>	<b>ISD de mofo-branco (%)</b>	<b>Produtividade (kg/ha)</b>
T0	2,5	1460,1
T1	2	2100,0
T2	1,38	2195,7
T3	1	2104,3
T4	1	1793,7

Tabela 7 – Índice de Severidade de mofo-branco e produtividade do Experimento 2

<b>Tratamento</b>	<b>ISD de mofo-branco (%)</b>	<b>Produtividade (kg/ha)</b>
T0	4,38	2490,47
T1	7,66	2616,64
T2	5,31	2745,72
T3	5,15	2247,18
T4	1,25	2506,69
T5	2,82	2797,89

Tabela 8 – Severidade de mancha-angular e produtividade do Experimento 3

<b>Tratamento</b>	<b>Severidade de mancha-angular</b>	<b>Produtividade (kg/ha)</b>
T0	6,33	2172,70
T1	4,50	2346,93
T2	4,33	2381,04

Tabela 9 – Severidade de mancha-angular e produtividade do Experimento 4

<b>Tratamento</b>	<b>Severidade de mancha-angular</b>	<b>Produtividade (kg/ha)</b>
T0	4,83	2329,40
T1	3,83	2454,58
T2	3,83	2427,05

Foi realizada uma análise de variância para severidade das doenças estudadas e produtividade do feijoeiro dos diferentes experimentos (Anexo L).

Houve diferença significativa entre os efeitos dos tratamentos, ao nível de 10% de probabilidade pelo teste F, apenas nos Experimentos 3 e 4. Na análise de variância para produtividade do feijoeiro os tratamentos não diferem entre si.

As variáveis climáticas (umidade, temperatura, vento, entre outras) interferem na incidência de doenças, pois afetam o crescimento, a reprodução e a dispersão das plantas e dos patógenos (BETTIOL & MORANDI, 2009). O mofo-branco desenvolve-se bem à temperatura de 11°C a 25°C, e culturas em solo compactado, com excesso de umidade (PRADO & ARAÚJO, 2011). A intensidade do mofo-branco nos Experimentos 1 e 2 foi considerada baixa, apresentando nível máximo de severidade na testemunha de 3,5% para o Experimento 1 e 15% para o Experimento 2. Isso pode ter ocorrido devido ao revolvimento do solo antes do plantio, o que pode ter ocasionado o deslocamento do inóculo para maiores profundidades. Outro fator que colaborou para a baixa severidade da doença foi o inverno relativamente ameno em 2009 e 2010. De acordo com dados da Estação Meteorológica da UFV (2011), em 2009, a temperatura média registrada durante o experimento foi de 17,9°C, máxima de 18,6°C e mínima de 17,3°C; umidade do ar média de 78,5% e escasso em chuvas (102,8 mm). No ano de 2010, a temperatura média foi de 16,5°C, a máxima de 17,2°C e a mínima de 15,6°C, com umidade do ar média de 77,7%, e escasso em chuvas, considerado atípico para a região de Viçosa, porém os experimentos foram irrigados.

A mancha-angular-do-feijoeiro ocorre na maioria das regiões produtoras de feijão do Brasil, principalmente na safra da seca (Vale et al., 1997). É favorecida por temperatura entre 18-25°C associada com períodos de alta umidade. As perdas variam de 7,9 a 11,5%, dependendo da resistência da cultivar de feijoeiro (SARTORATO & RAVA,1992). No Experimento 3, a cultivar teve uma nota máxima de 7 (escala de 1 a 9) para a severidade da mancha-angular e no Experimento 4, com nota 4, ambas no tratamento testemunha (Tabelas 6 a 9). Nesse caso, foi possível discriminar melhor o efeito dos tratamentos em relação à severidade de doença (Tabelas 12 e 13). Durante os Experimentos 3 e 4 a temperatura média registrada foi de 19,2°C, máxima de 26,1°C e mínima de 14,8°C, umidade do ar média de 81,2% e 62,3 mm de chuvas.

Os tratamentos foram definidos buscando obter diferentes níveis de severidade do mofo-branco para os Experimentos 1 e 2 e mancha-angular para o Experimento 3 e, conseqüentemente, variações na área foliar e produtividade (Tabelas 6 à 9). A ausência de diferenças significativas para os Experimentos 1 e 2 para as variáveis estudadas (Anexo L), pode ser explicada pela baixa intensidade de doença.

Para análise dos índices de vegetação, compostos a partir das curvas de resposta espectral do feijoeiro, em cada Experimento, foram selecionadas fases distintas dentro do ciclo da cultura.

#### **4.2 Teste da calibração radiométrica**

Não houve nenhuma tendência dos erros quando foi realizada a calibração, ou seja, durante as coletas os valores dos erros não se diferenciaram, variando entre maiores e menores (quando calibrados), não ficando claro o teste (Tabelas 10, 11 e 12). Diante do exposto, os resultados serão apresentados com e sem calibração.

Tabela 10 – Valor relativo dos erros do NDVI<sup>4</sup> para o Experimento 2 com e sem calibração

<b>ERRO</b>	<b>13 DAE</b>	<b>27 DAE</b>	<b>34 DAE</b>	<b>42 DAE</b>
<b>CALIBRADO</b>	0,48429	0,50860	0,49612	0,46812
<b>SEM_CALIBRAR</b>	0,42374	0,51585	0,55074	0,49587

Tabela 11 – Valor absoluto dos erros do NDVI para o Experimento 3 com e sem calibração

<b>ERRO</b>	<b>10 DAE</b>	<b>28 DAE</b>	<b>33 DAE</b>	<b>42 DAE</b>
<b>CALIBRADO</b>	0,43819	0,47252	0,49617	0,48954
<b>SEM_CALIBRAR</b>	0,45532	0,46453	0,49936	0,47895

Tabela 12 – Valor absoluto dos erros do NDVI para o Experimento 4 com e sem calibração

<b>ERRO</b>	<b>10 DAE</b>	<b>33 DAE</b>	<b>71 DAE</b>
<b>CALIBRADO</b>	0,49678	0,50987	0,45678
<b>SEM_CALIBRAR</b>	0,48893	0,49785	0,46376

Em cada imagem dos Experimentos 2 e 3, foram posicionados quatro placas de referência com reflectâncias conhecidas, no campo de visão da imagem, para transformação do valor do pixel para cada banda em reflectância. Foram calculados valores do NDVI com e sem a calibração das placas, testando assim o método de calibração radiométrica.

Em cada uma das quatro placas foi feito um recorte manual que representasse a placa na sua totalidade, tanto na imagem colorida, quanto na infravermelha. Depois foi recortada parte útil da parcela que a representasse e foram salvos os dados. Esses recortes foram feitos utilizando o programa MatLab. Os anexos A e B mostram a rotina desenvolvida durante o processo do recorte para uma data com a calibração e sem calibração, respectivamente. O anexo C mostra a rotina da análise de regressão para uma data. Nessa rotina foram utilizadas as imagens salvas no processo de recorte e foram retirados os valores saturados, calculados os coeficientes de regressão de cada banda (R, G, B e IV) e convertidos os

<sup>4</sup> Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

valores numéricos do pixel em valores de fator de reflectância de cada parcela.

O teste do método foi realizado através do cálculo do erro relativo, subtração dos índices de vegetação obtidos pelo espectrorradiômetro pelos valores dos índices obtidos pela imagem, dividido pelo valor dos índices de vegetação obtidos pelo espectrorradiômetro.

### **4.3 Resposta espectral**

Como já foi mencionado anteriormente, obtiveram-se as médias das reflectâncias das medidas feitas em campo, em cada coleta, correspondente às bandas das câmeras utilizadas em cada Experimento. Nos Experimentos 2, 3 e 4, como o aparelho estava causando muito ruído ao gerar os gráficos, foram feitas médias móveis no Excel a cada 50 valores, ou seja, a média do valor equivalente à célula 51, era equivalente a valores que se encontravam nas células de 1 a 50; a média dos valores equivalente à célula 52, era equivalente a valores que se encontravam nas células de 2 a 51 e assim, sucessivamente (Figuras 9 a 25). Os gráficos gerados seguiram as mesmas tendências dos gráficos sem as médias móveis.

#### **4.3.1 Comportamento espectral da cultura – Experimento 1**

As medidas de reflectância espectral foram obtidas em quatro datas (60, 71, 91 e 102 DAE) para o Experimento 1. Os valores visualizados nos gráficos estão compreendidos entre 400 e 850 nm devido ao excesso de ruído nos extremos da faixa espectral medida pelo aparelho. Simultaneamente às medidas de reflectância espectral foram adquiridas imagens do dossel do feijoeiro. Os gráficos gerados com as médias dos tratamentos, bem como exemplos de imagens colorida e infravermelho próximo são também apresentadas nas Figuras 9 a 12 para cada data de coleta.

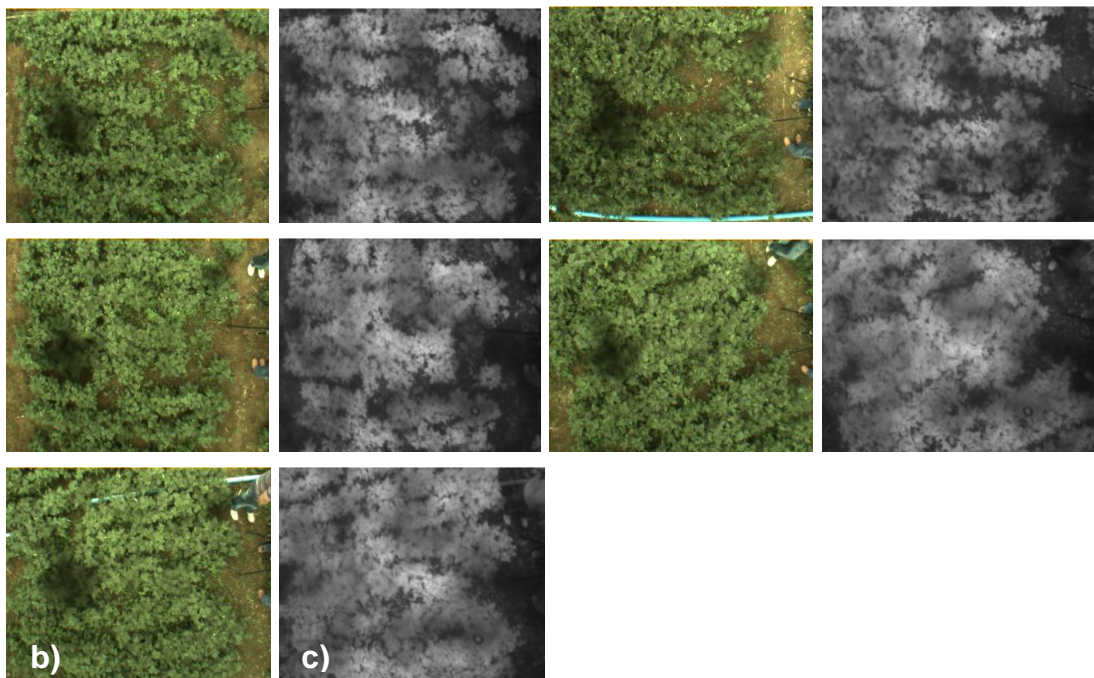
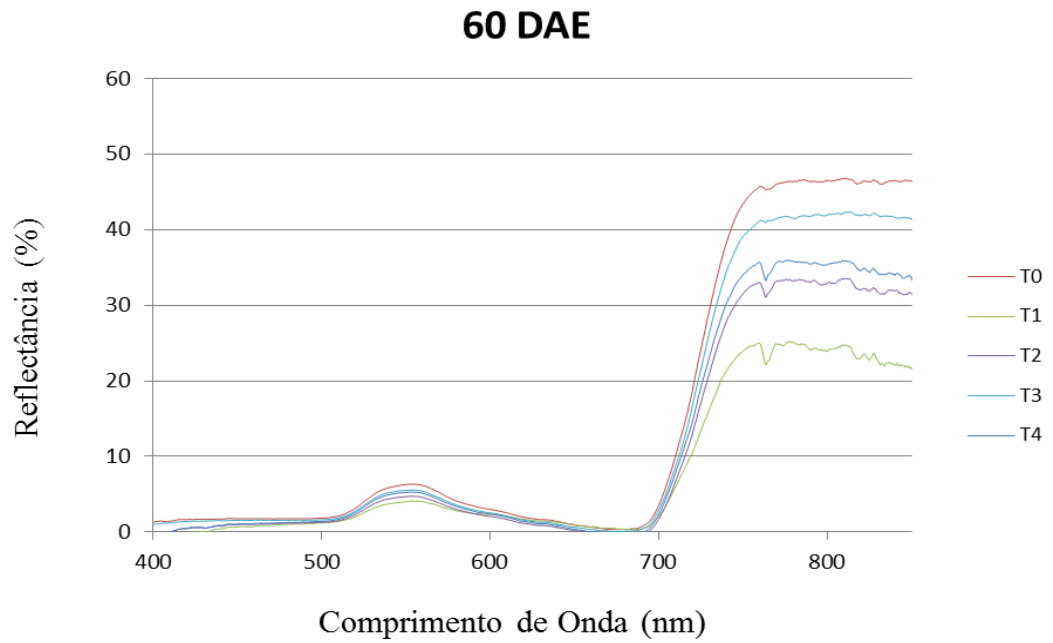
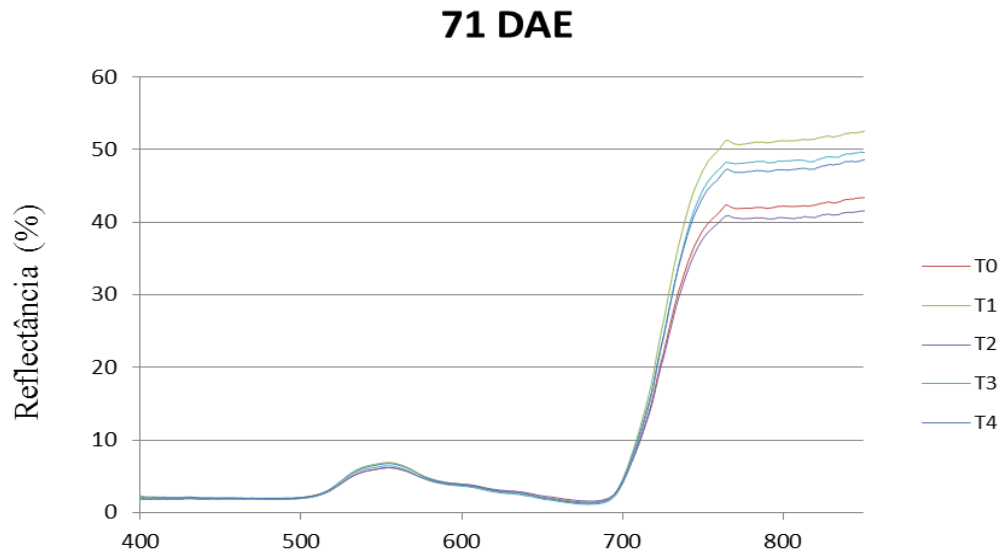


Figura 9 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos 5 tratamentos do Experimento 1 aos 60 DAE; b) imagens coloridas referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.



a)

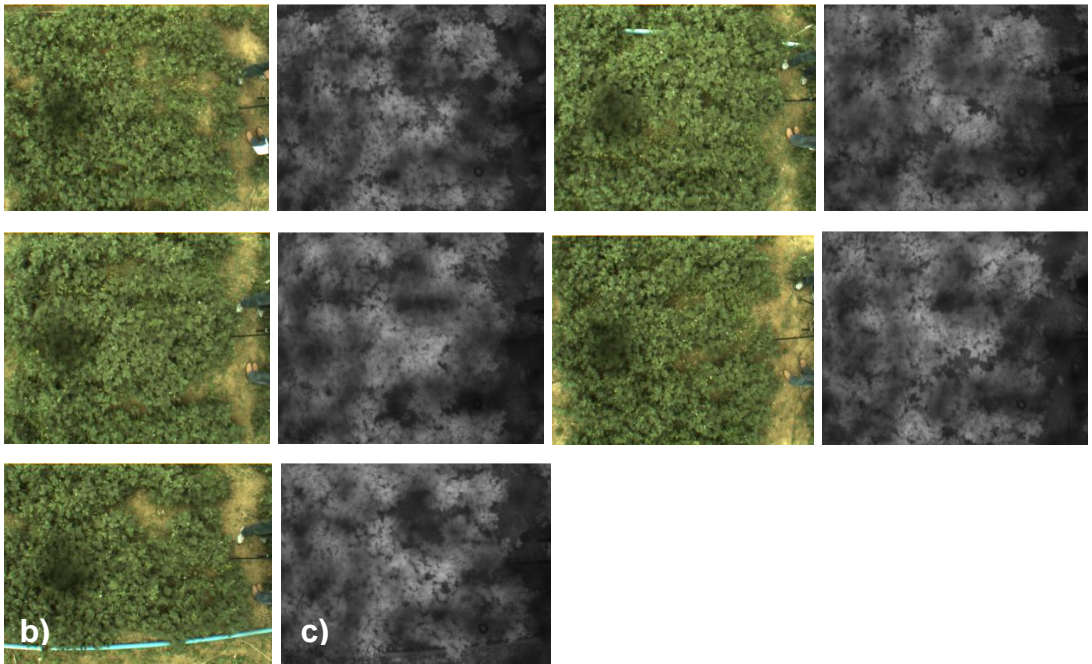


Figura 10 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos 5 tratamentos do Experimento 1 aos 71 DAE; b) imagens coloridas referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

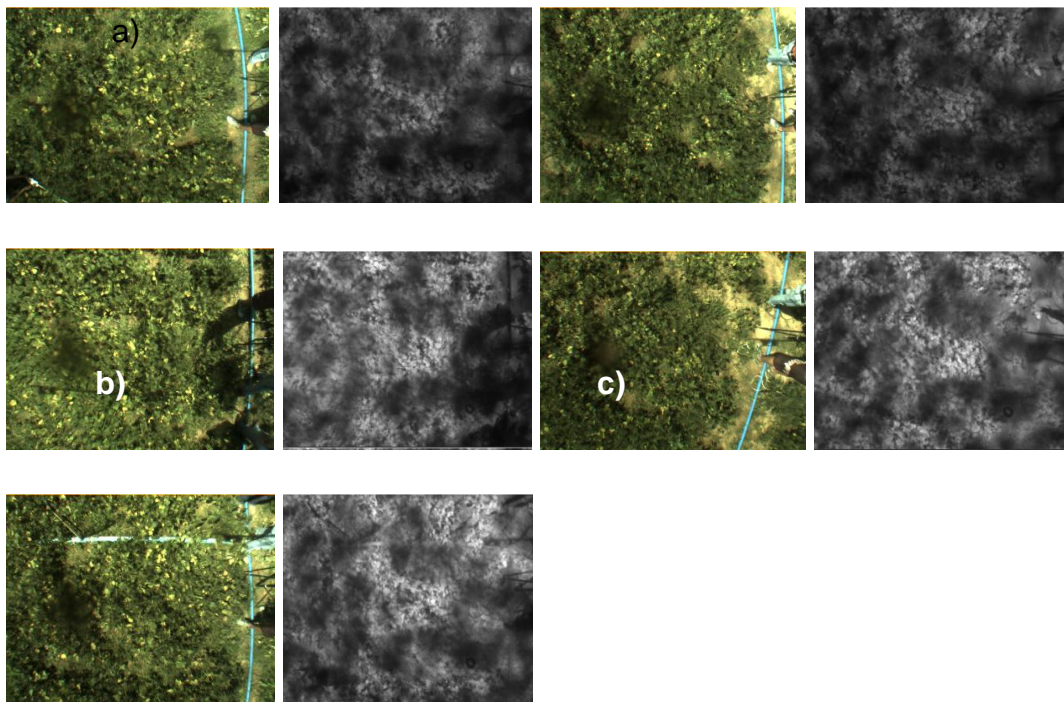
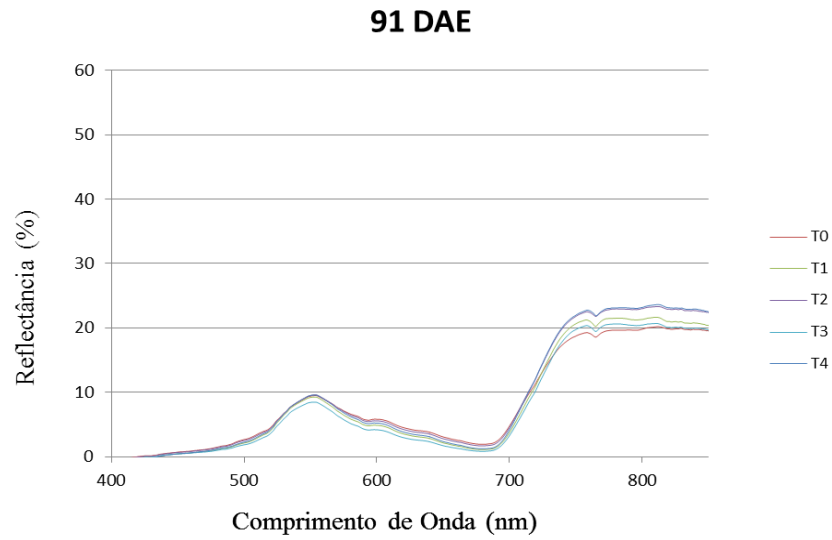


Figura 11 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos 5 tratamentos do Experimento 1 aos 91 DAE; b) imagens coloridas referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

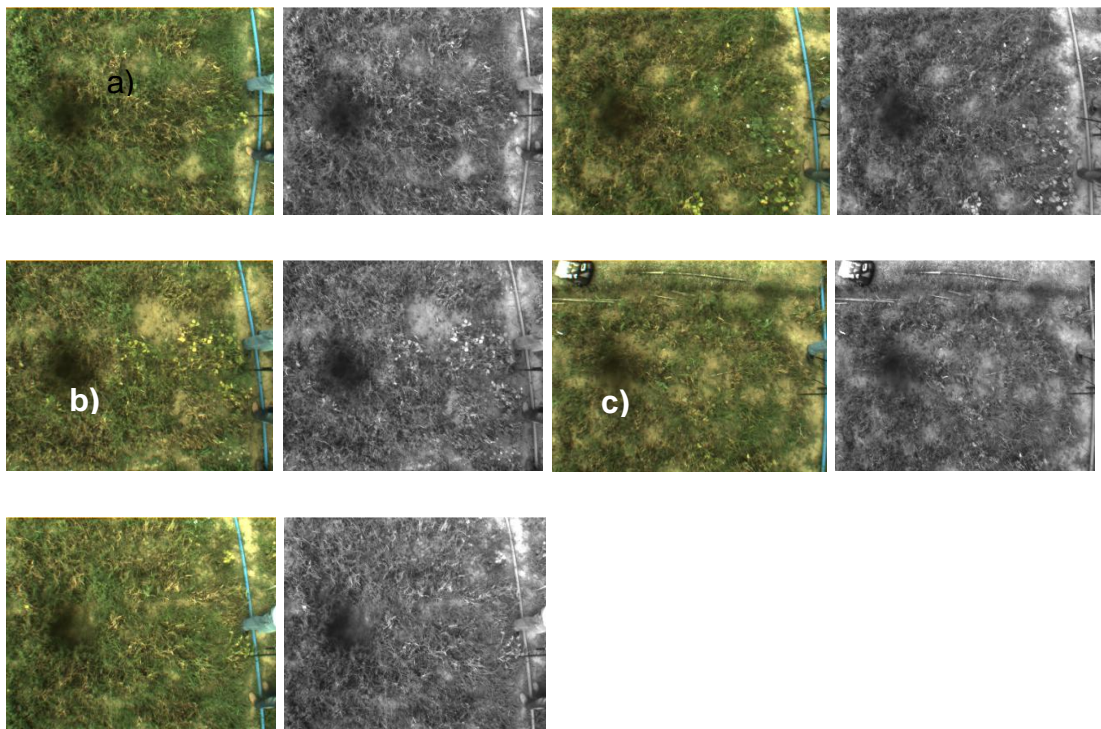
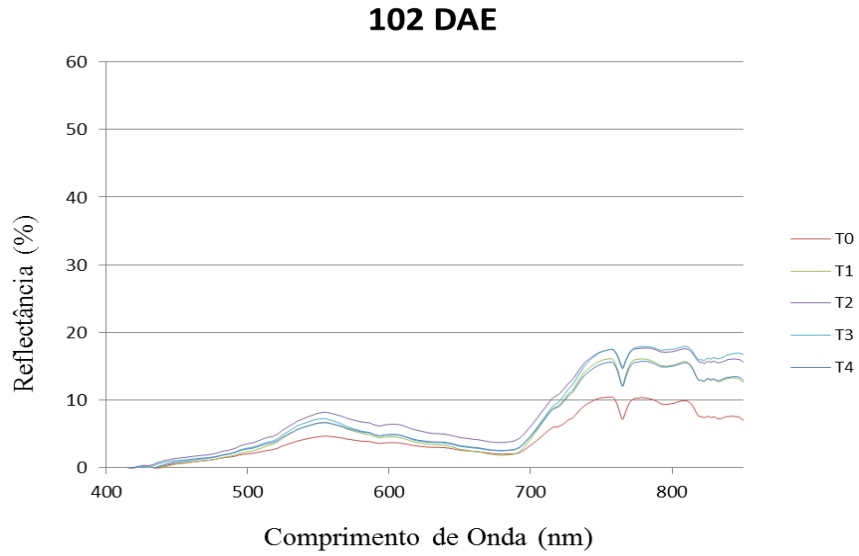


Figura 12 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos 5 tratamentos do Experimento 1 aos 102 DAE; b) imagens coloridas referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

Aos 60 DAE, na região do infravermelho próximo (IVP), houve uma tendência de maior reflectância no Tratamento 0 (testemunha) e menor reflectância no Tratamento 2 (IBIQF 200 + TIOFANATO METÁLICO 500 SC –

200 + 500g i.a./ha<sup>5</sup>). Já na região do visível (VIS), as respostas espectrais apresentaram comportamentos semelhantes, ocorrendo o contrário, uma tendência de maior reflectância no Tratamento 0 (testemunha) e menor no Tratamento 2 (IBIQF 200 + TIOFANATO METÁLICO 500 SC – 200 + 500g i.a./ha). Aos 71 DAE, na região do IVP, as respostas espectrais apresentaram uma tendência de maior reflectância no Tratamento 2 (IBIQF 200 + TIOFANATO METÁLICO 500 SC– 200 + 500g i.a./ha) e menor no Tratamento 3 (IBIQF 200 + FLUAZINAM – 100 + 250g i.a./ha). Na região do VIS não foi possível detectar diferença nesta data. Aos 91 DAE, na região do IVP, as repostas espectrais apresentaram uma tendência de maior reflectância no Tratamento 4 (IBIQF 200 + FLUAZINAM – 300 + 250g i.a./ha) e menor no Tratamento 1 (IBIQF 200 + TIOFANATO METÁLICO 500 SC – 100 + 500g i.a./ha). Na região do VIS, houve tendência de maior reflectância no Tratamento 1 (IBIQF 200 – 100g i.a./ha) e menor também no Tratamento 1 (IBIQF 200 + TIOFANATO METÁLICO – 100 + 500g i.a./ha). Já aos 102 DAE, na região do IVP, as respostas espectrais apresentaram uma tendência de maior reflectância no Tratamento 4 (IBIQF 200 + FLUAZINAM – 300 + 250g i.a./ha) e menor no Tratamento 0 (testemunha). Na região do VIS, a tendência de menor reflectância pode ser vista no Tratamento 0 (testemunha) e a maior no Tratamento 3 (IBIQF 200 + FLUAZINAM – 100 + 250g i.a./ha). A diferença nos tratamentos foi mais visível na região do IVP.

#### **4.3.2 Comportamento espectral da cultura – Experimento 2**

As medidas de reflectância espectral foram obtidas em seis datas (13, 27, 34, 56, 71 e 91 DAE) para o Experimento 2. Os valores visualizados nos gráficos estão compreendidos entre 400 e 850 nm devido ao excesso de ruído nos extremos da faixa espectral medida pelo aparelho. Com a finalidade de suavizar as curvas espectrais e também devido aos ruídos nas leituras do espectrorradiômetro, foram determinadas médias móveis a cada 50 valores de reflectância das medições espectrais. Simultaneamente às medidas de reflectância espectral foram adquiridas imagens do dossel do

---

<sup>5</sup> grama do ingrediente ativo por hectare

feijoeiro. Os gráficos gerados com as médias dos tratamentos, bem como exemplos de imagens colorida e IVP são apresentados nas Figuras 13 a 18 para cada data de coleta.

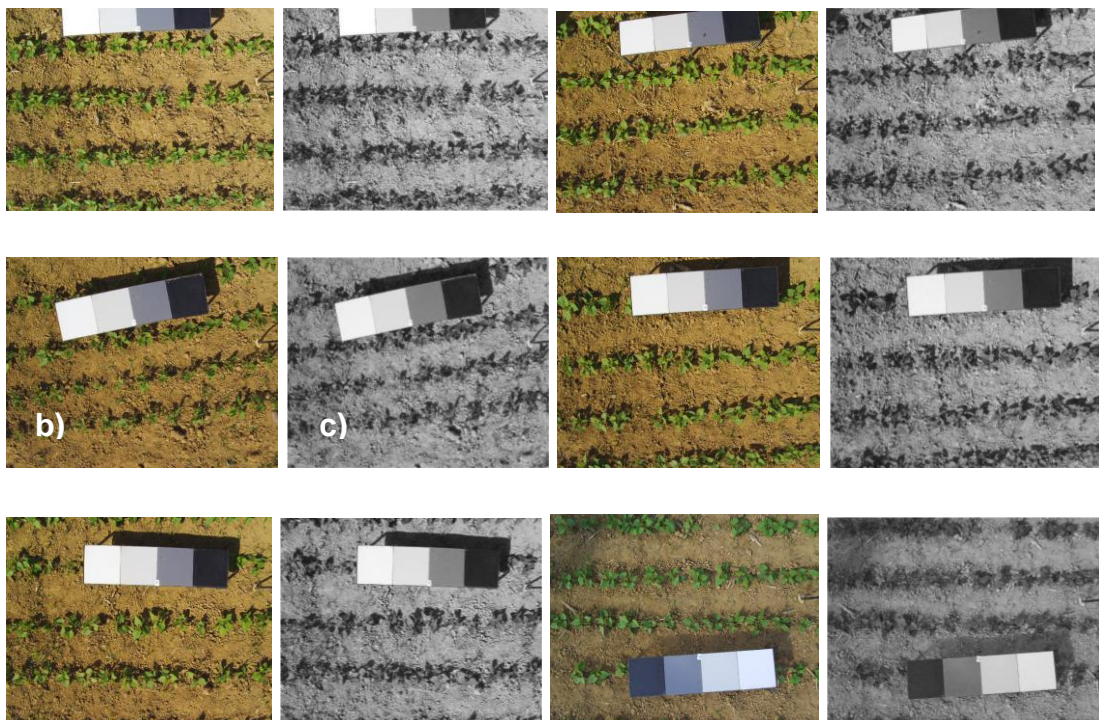
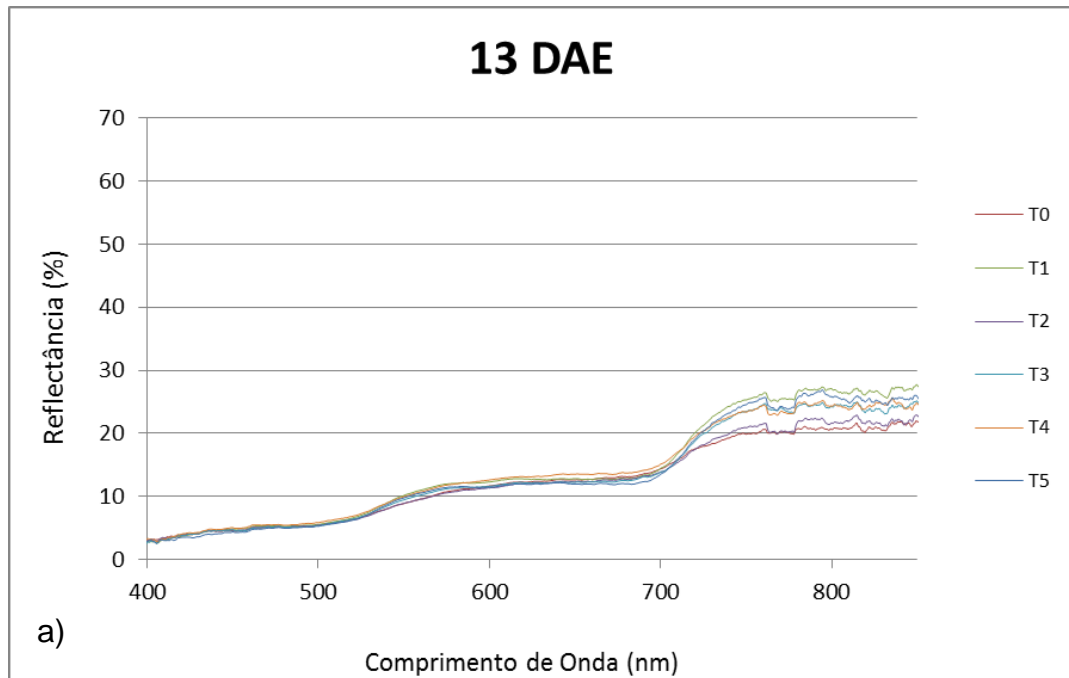


Figura 13 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos seis tratamentos do Experimento 2 aos 13 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

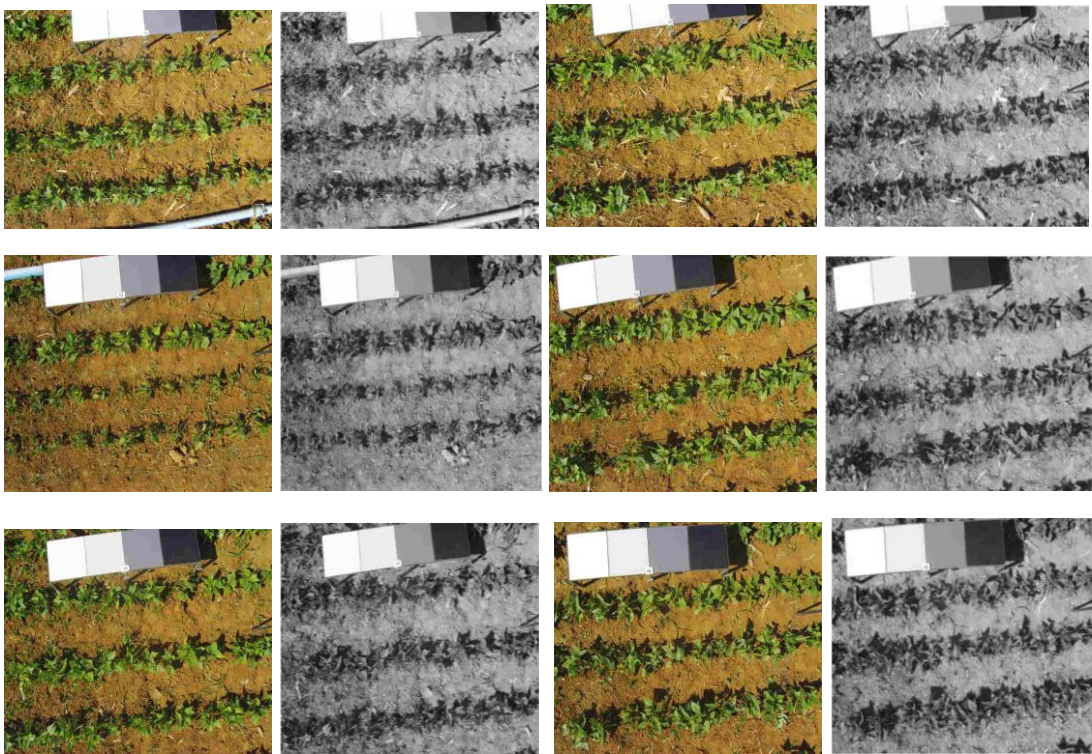
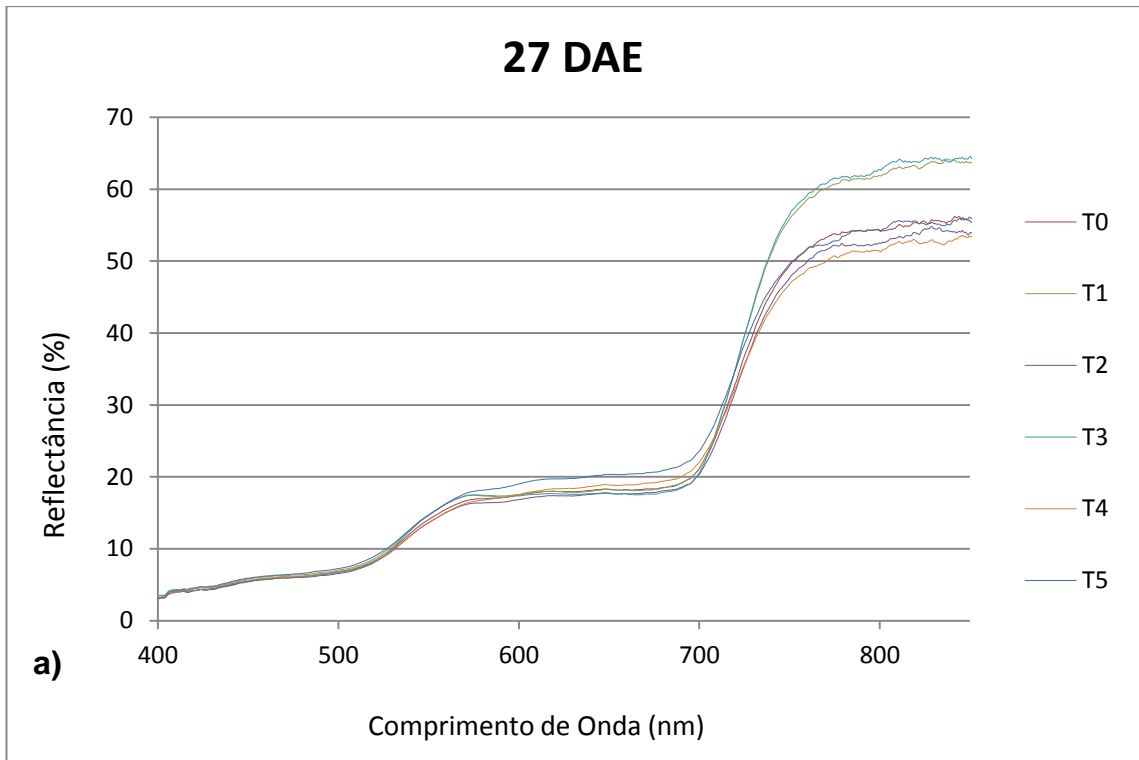


Figura 14 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos seis tratamentos do Experimento 2 aos 27 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

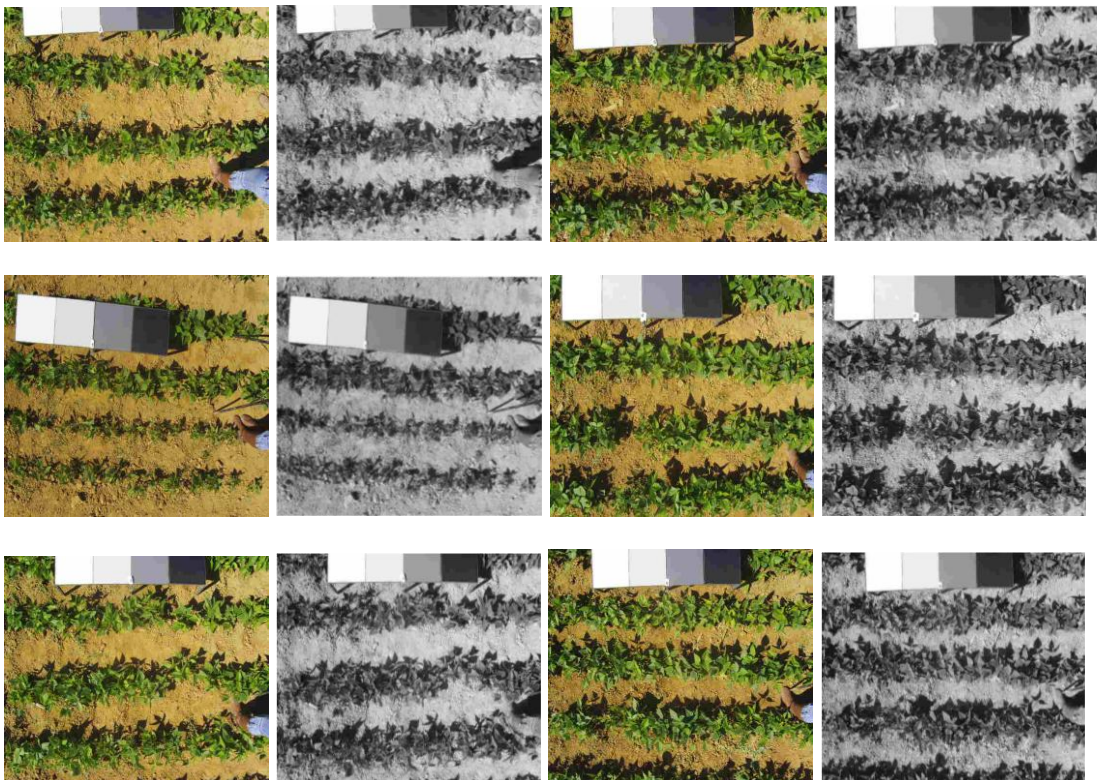
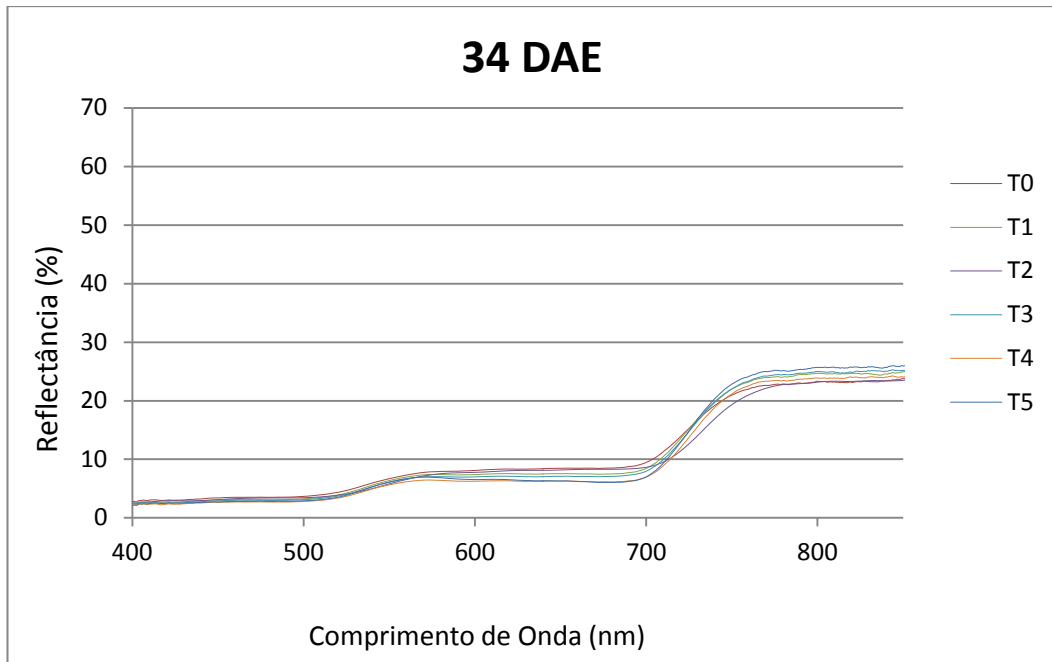


Figura 15 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos seis tratamentos do Experimento 2 aos 34 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

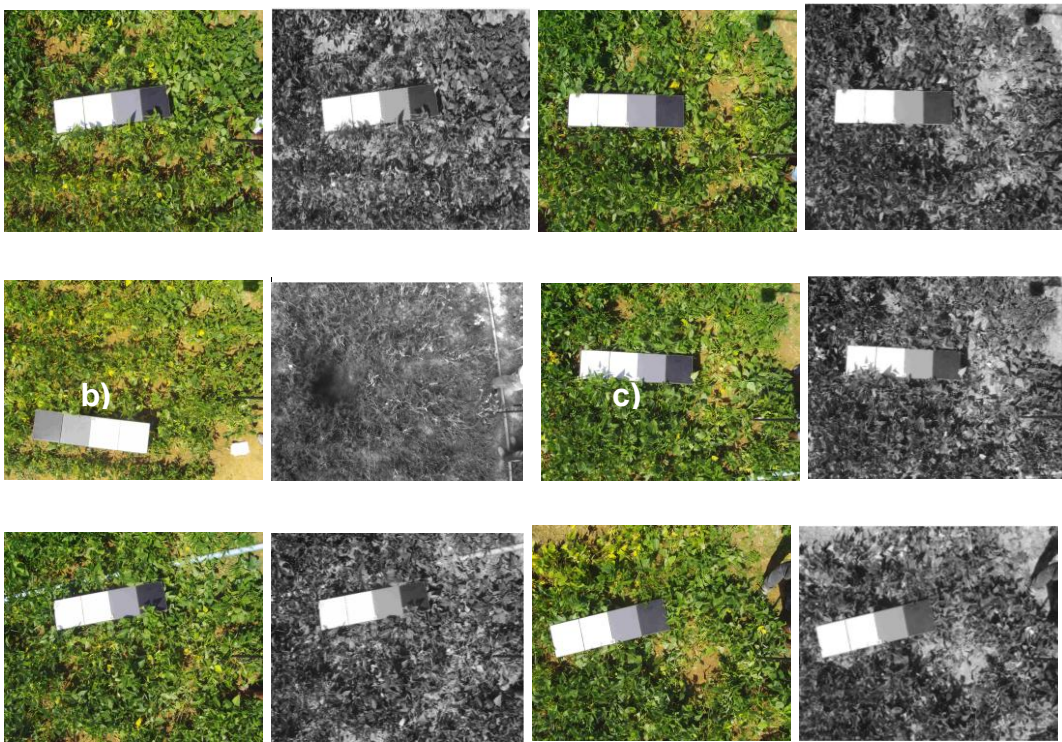
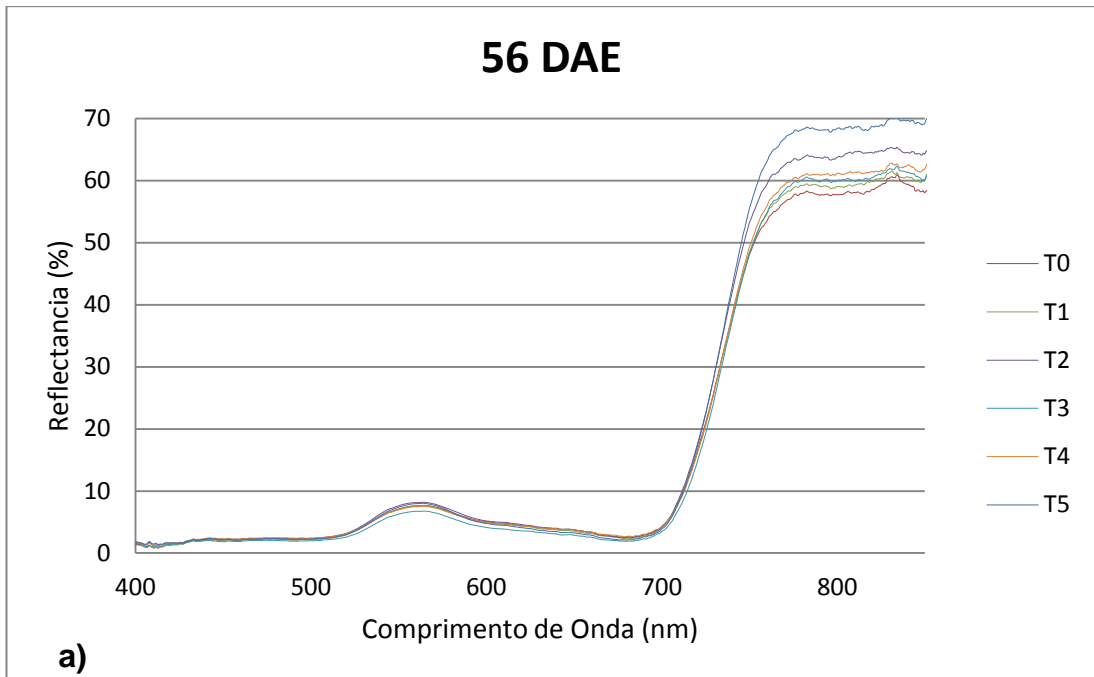


Figura 16 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos seis tratamentos do Experimento 2 aos 56 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

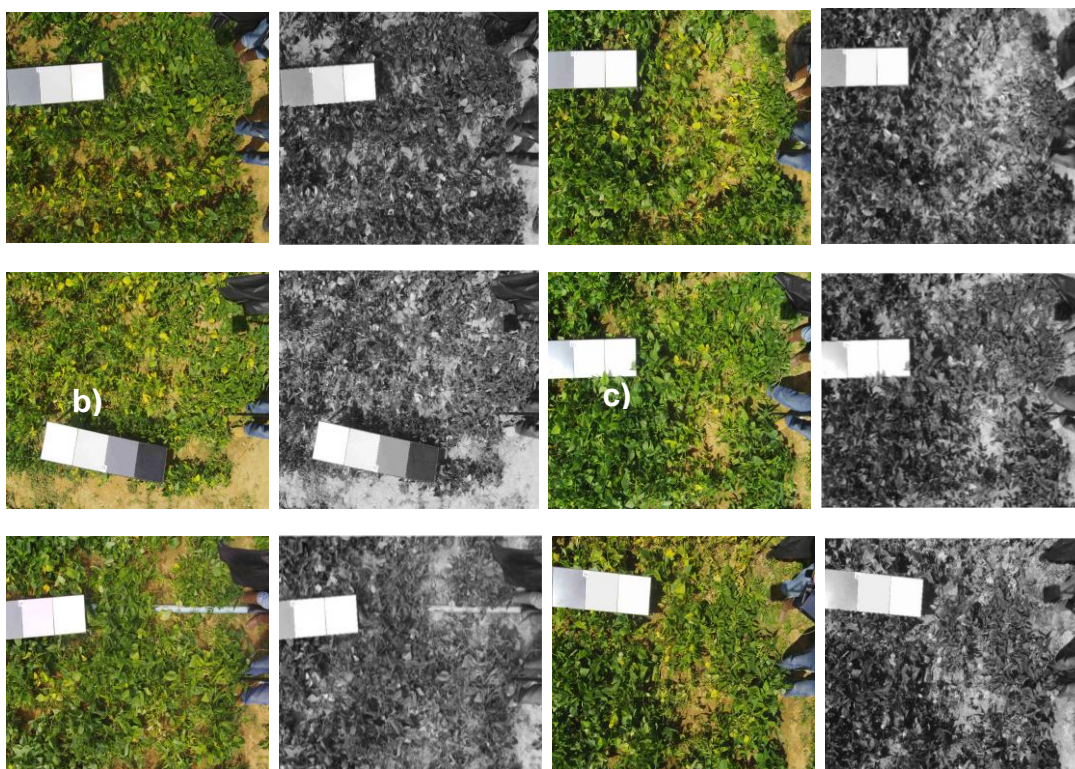
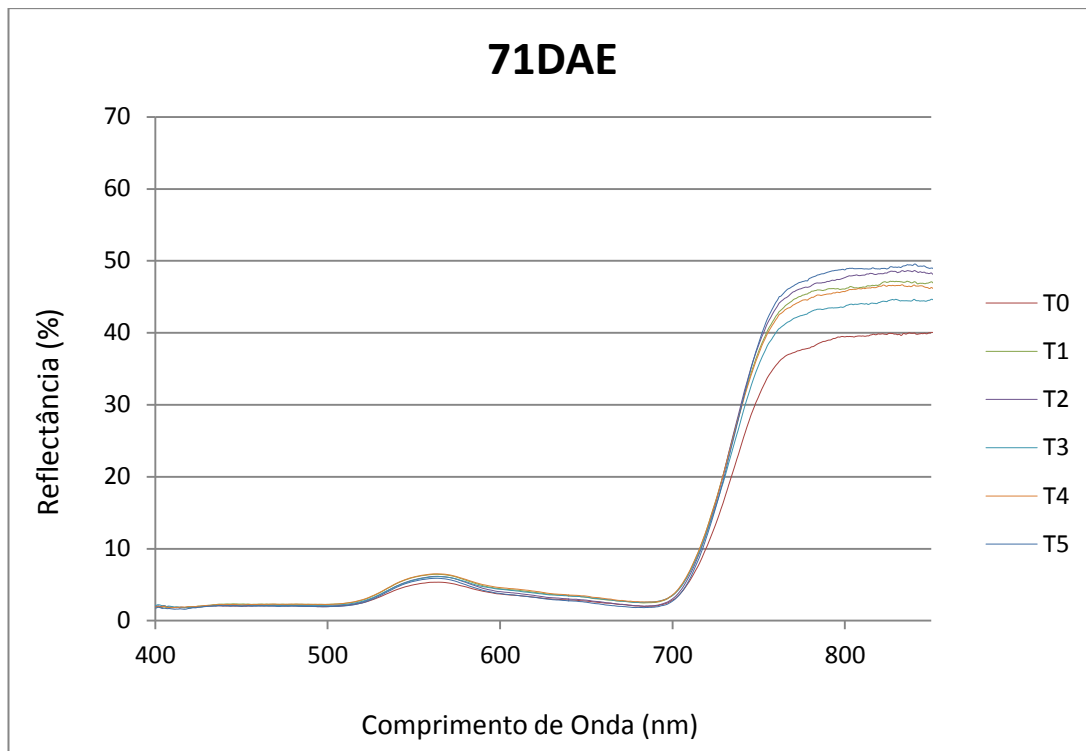


Figura 17 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos seis tratamentos do Experimento 2 aos 71 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

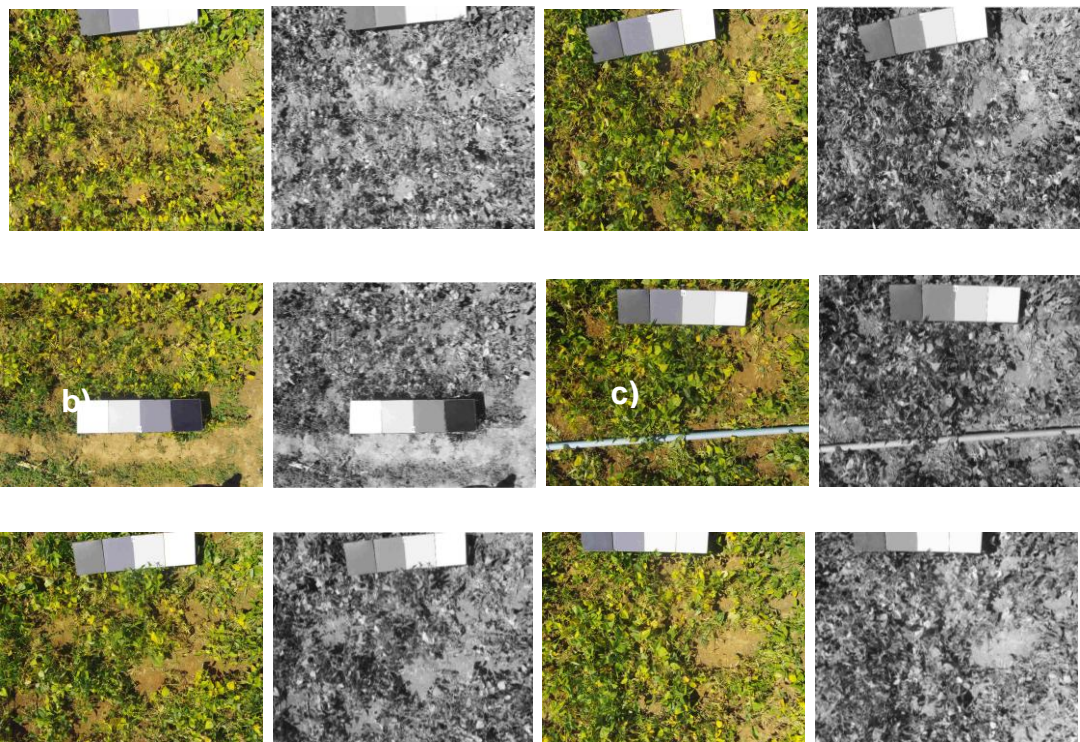
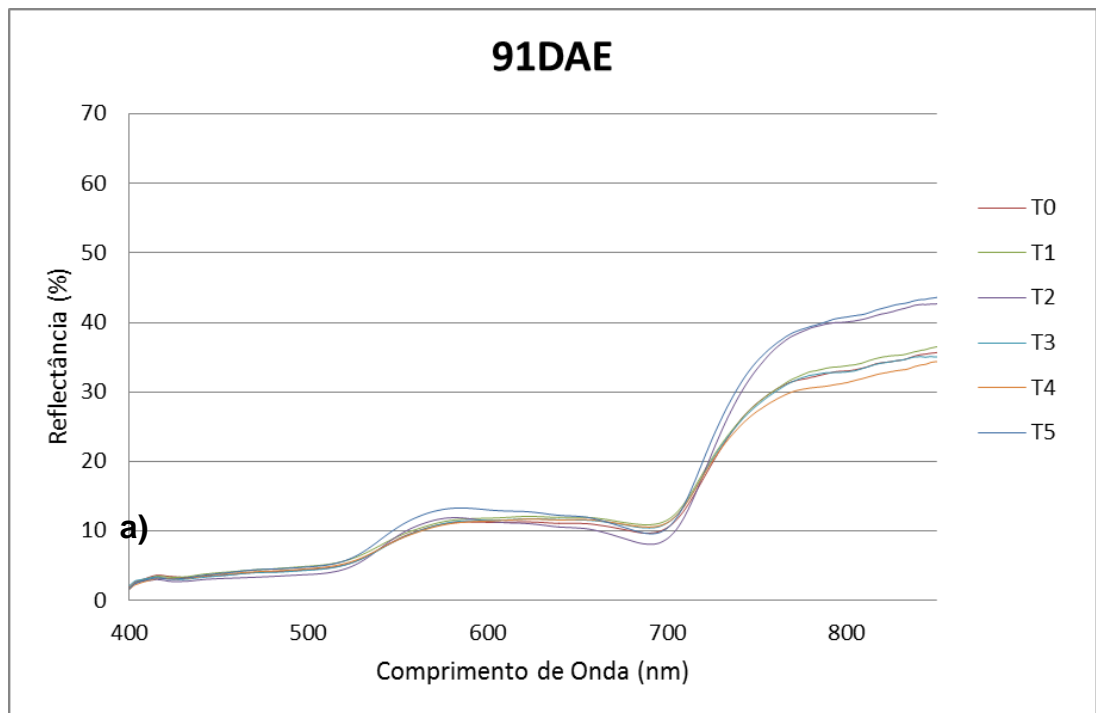


Figura 18 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos seis tratamentos do Experimento 2 aos 91 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

Aos 13 DAE, apesar dos valores de reflectância serem baixos, observou-se na região do IVP uma tendência de menor reflectância para o

Tratamento 0 (testemunha) e maior reflectância para o Tratamento 1 (IBIQF 2525 – 500g i.a./ha). No entanto, na região do VIS, a tendência de maior reflectância pode ser vista no Tratamento 4 (TIOFANATO METÁLICO – 500g i.a./ha), enquanto nos Tratamentos 0 (testemunha) e 2 (IBIQF 2525 – 750g i.a./ha) as menores. Aos 27 DAE, na região do IVP houve tendência de maior reflectância no Tratamento 3 (IBIQF 2525 – 1000g i.a./ha) e menor no Tratamento 4 (TIOFANATO METÁLICO – 500g i.a./ha). Na região do VIS, a tendência de maior reflectância encontrada também foi no Tratamento 3 (IBIQF 2525 – 1000g i.a./ha) e a menor nos Tratamentos 0 (testemunha) e 2 (IBIQF 2525 – 750g i.a./ha), sendo igual a encontrada na data anterior. Aos 34 DAE, na região do IVP, houve tendência de menor reflectância no Tratamento 0 (testemunha) e maior no Tratamento 5 (FLUAZINAM – 500g i.a./ha). Na região do VIS, no Tratamento houve tendência de maior reflectância no Tratamento 0 (testemunha) e menor no Tratamento 4 (TIOFANATO METÁLICO – 500g i.a./ha). Nesse DAE, houve problema na medição, pois não era esperada uma queda no valor de reflectância no IVP com o desenvolvimento do dossel. Aos 56 DAE, na região do IVP, no Tratamento 5 houve tendência de maior reflectância e a menor no Tratamento 0 (testemunha). Os valores da região do VIS ficaram bem próximos sendo possível identificar apenas a tendência de menor reflectância no Tratamento 3 (IBIQF 2525 – 1000g i.a./ha). Aos 71 DAE, na região do IVP, o tratamento 5 (FLUAZINAM – 500g i.a./ha) continuou com tendência de maior reflectância e o Tratamento 0 (testemunha), a menor. Na região do VIS, o Tratamento 0 (testemunha) também se encontrou com a tendência de menor reflectância e o Tratamento 4 (TIOFANATO METÁLICO – 500g i.a./ha) a maior. Aos 91 DAE, as folhas já estavam em processo de senescência, fazendo com o que o gráfico perdesse um pouco a sua característica da curva espectral da vegetação, mas o Tratamento 5 (FLUAZINAM – 500g i.a./ha) permaneceu com tendência maior de reflectância na região do IVP e região do VIS e o Tratamento 4 (TIOFANATO METÁLICO – 500g i.a./ha), a menor em ambas.

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.

### 4.3.3 Comportamento espectral da cultura – Experimento 3

As medidas de reflectância espectral foram obtidas para o experimento 3 em quatro datas (59, 65, 70 e 76 DAE). Os valores visualizados nos gráficos estão compreendidos entre 400 e 850 nm devido ao excesso de ruído nos extremos da faixa espectral medida pelo aparelho. Com a finalidade de suavizar as curvas espectrais e também devido aos ruídos nas leituras do espectrorradiômetro foram determinadas médias móveis a cada 50 valores de reflectância das medições espectrais. Simultaneamente às medidas de reflectância espectral foram adquiridas imagens do dossel do feijoeiro. Os gráficos gerados com as médias dos tratamentos, bem como exemplos de imagens colorida e IVP são apresentadas nas Figuras 19 a 22 para cada data de coleta, exceto aos 59 DAE, quando não houve coleta de imagem.

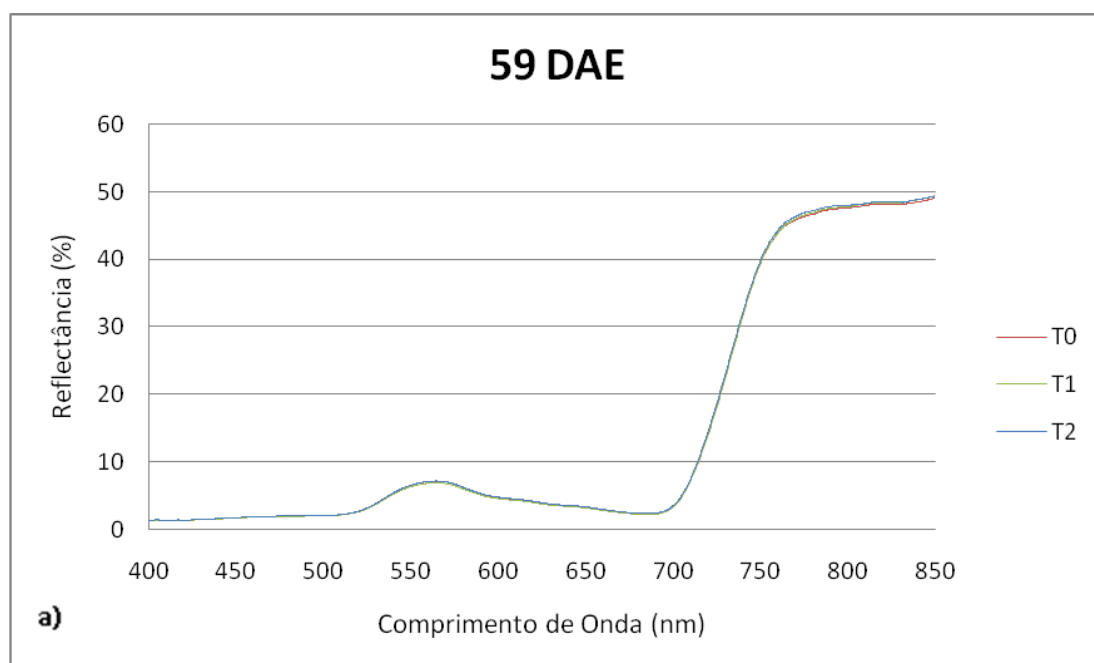


Figura 19 - Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos três tratamentos do Experimento 3 aos 59 DAE.

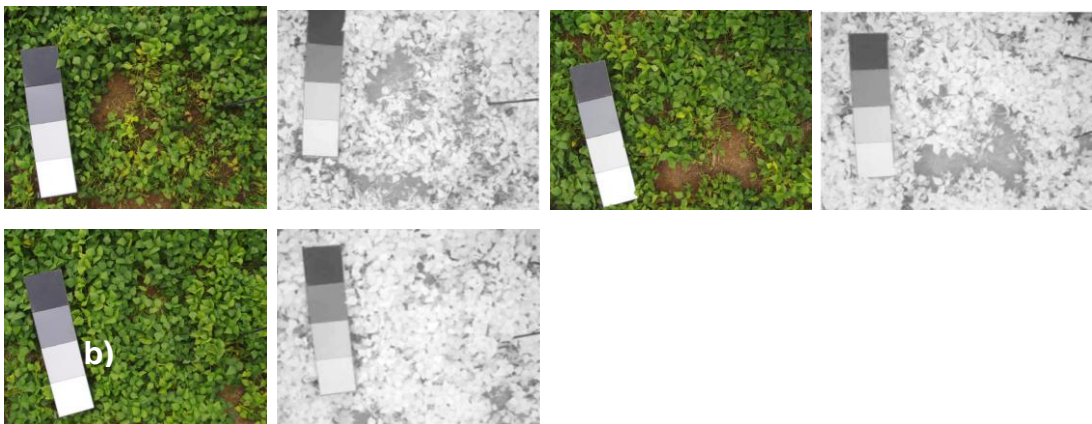
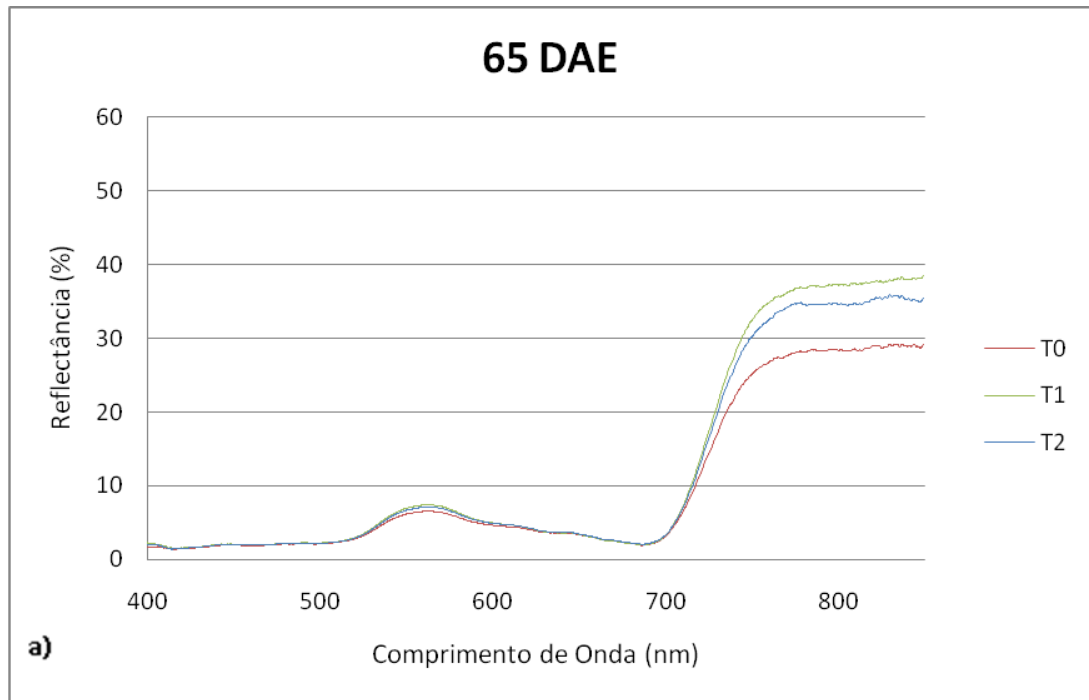


Figura 20 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos três tratamentos do Experimento 3 aos 65 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

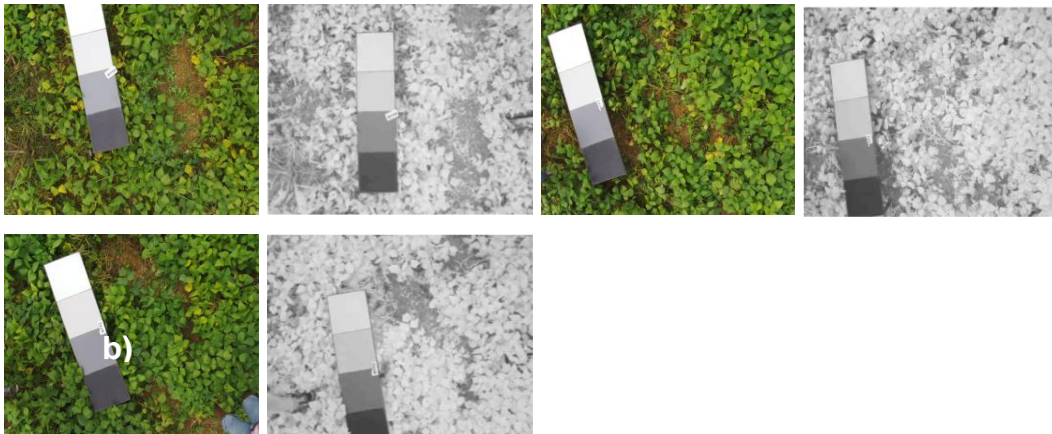
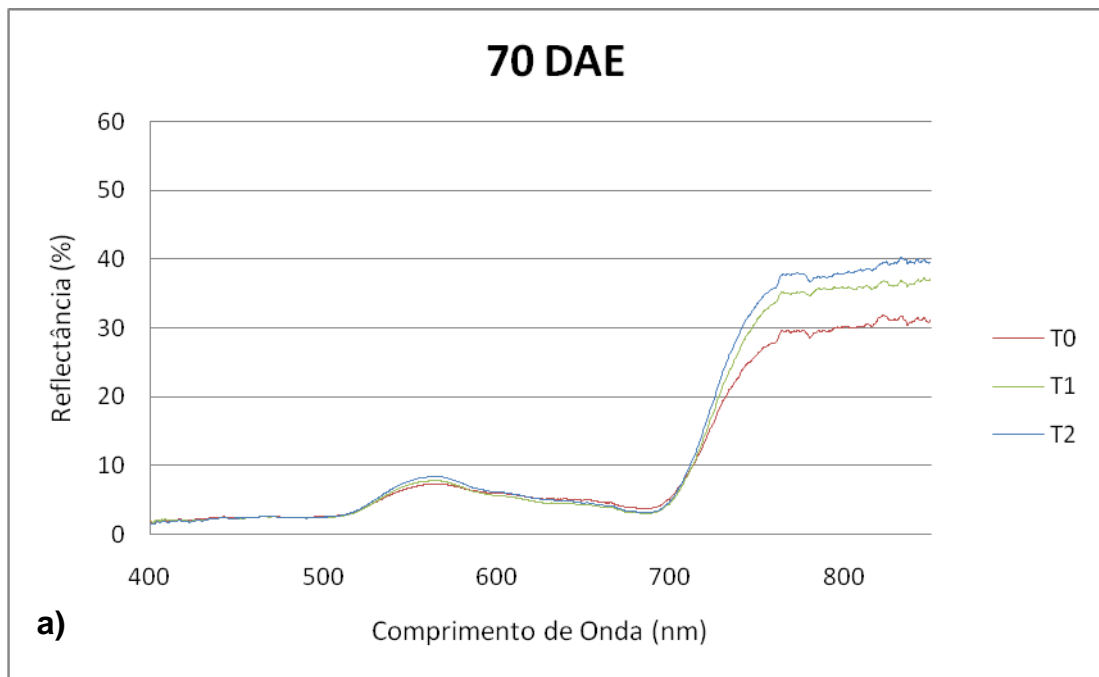


Figura 21 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos três tratamentos do Experimento 3 aos 70 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

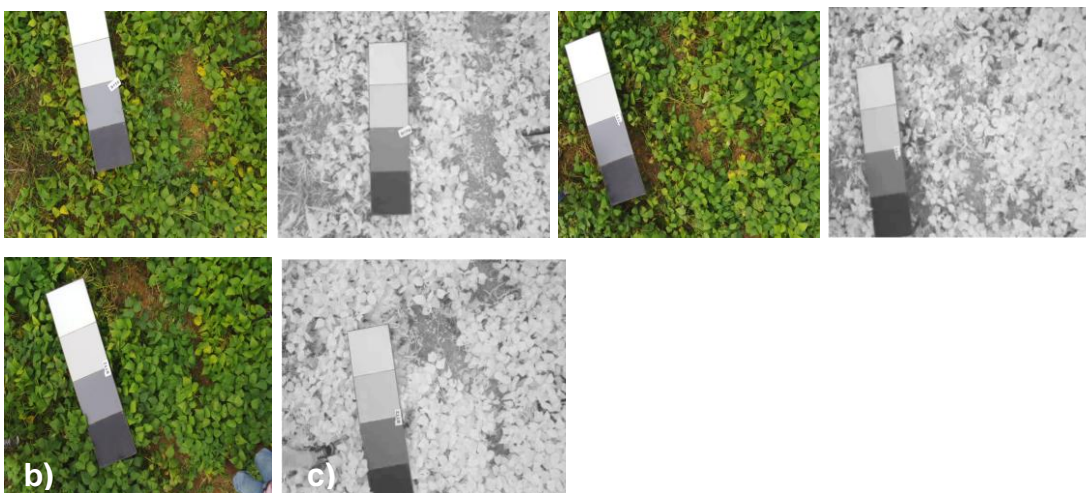
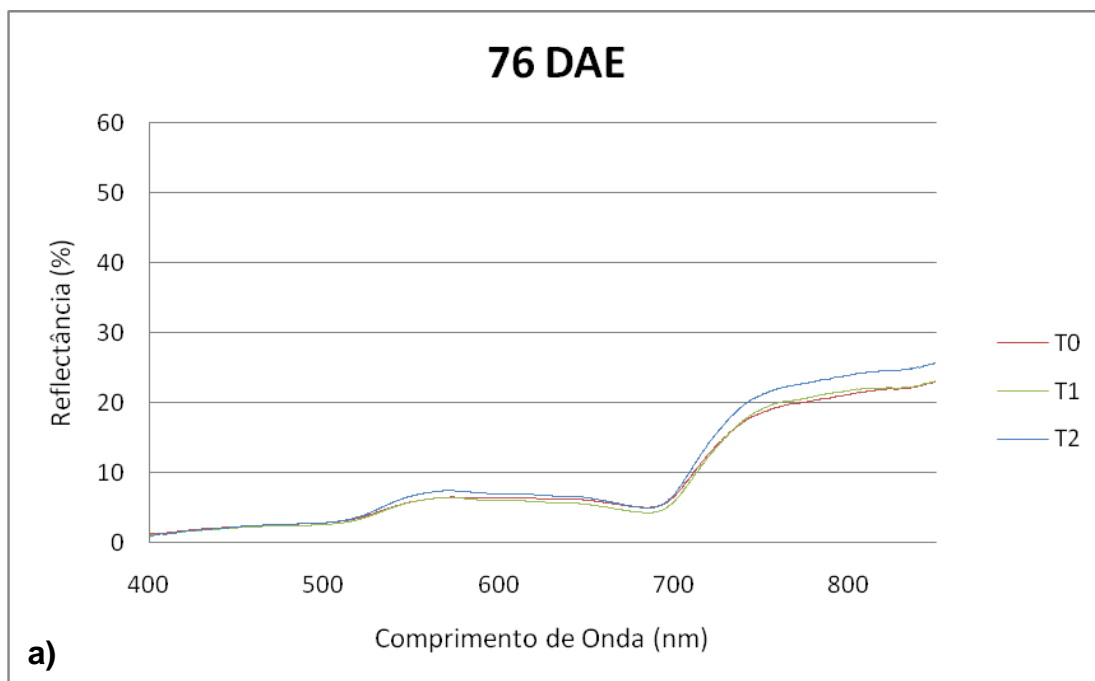


Figura 22 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos três tratamentos do Experimento 3 aos 76 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

Aos 59 DAE, as respostas espectrais apresentaram comportamentos semelhantes para os três tratamentos, tanto na região do VIS quanto no IVP. Aos 65 DAE, houve tendência de uma maior reflectância no AZOXYSTROBIN – 50g i.a./ha e menor na testemunha em todo o espectro. Aos 70 DAE, na região do IVP e VIS houve tendência de menor reflectância na testemunha e no AZOXYSTROBIN – 100g i.a./ha houve tendência de maior reflectância tanto no IVP quanto no VIS. Aos 76 DAE, o tratamento

AZOXYSTROBIN – 100g i.a./ha foi maior tanto na região do VIS quanto no IVP e a testemunha foi menor na região do IVP. Na região do VIS, testemunha e AZOXYSTROBIN – 50g i.a./ha foram menores.

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.

#### **4.3.4 Comportamento espectral da cultura – Experimento 4**

As medidas de reflectância espectral foram obtidas para o experimento 4 em três datas (59, 65 e 70 DAE). Os valores visualizados nos gráficos estão compreendidos entre 400 e 850 nm devido ao excesso de ruído nos extremos da faixa espectral medida pelo aparelho. Com a finalidade de suavizar as curvas espectrais e também devido aos ruídos nas leituras do espectrorradiômetro foram determinadas médias móveis a cada 50 valores de reflectância das medições espectrais. Simultaneamente às medidas de reflectância espectral foram adquiridas imagens do dossel do feijoeiro. Os gráficos gerados com as médias dos tratamentos, bem como exemplos de imagens colorida e IVP são apresentadas nas Figuras 23 a 25 para cada data de coleta, exceto aos 59 DAE, quando não houve coleta de imagem.

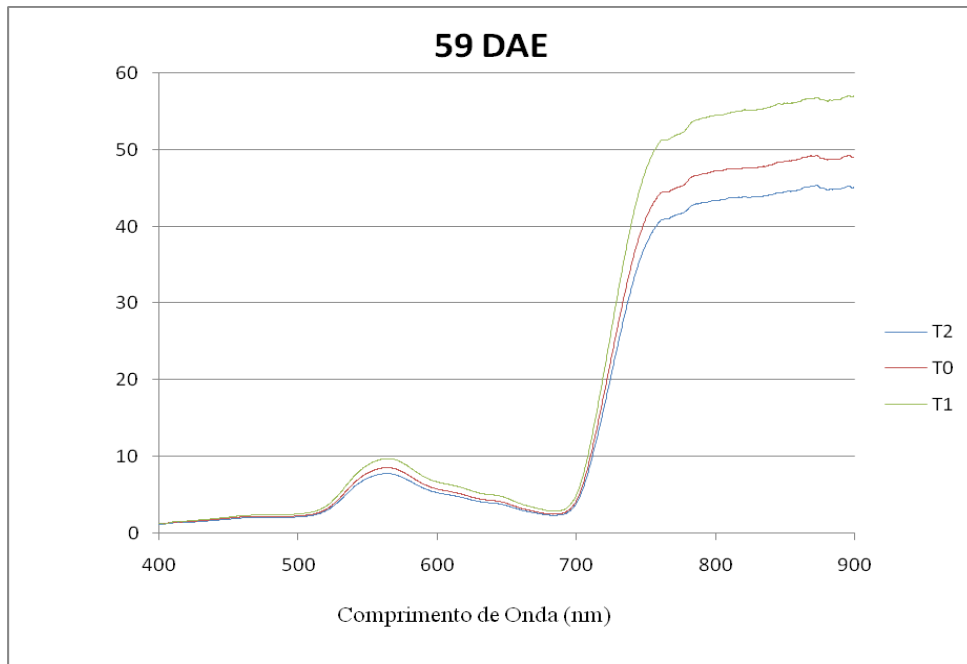
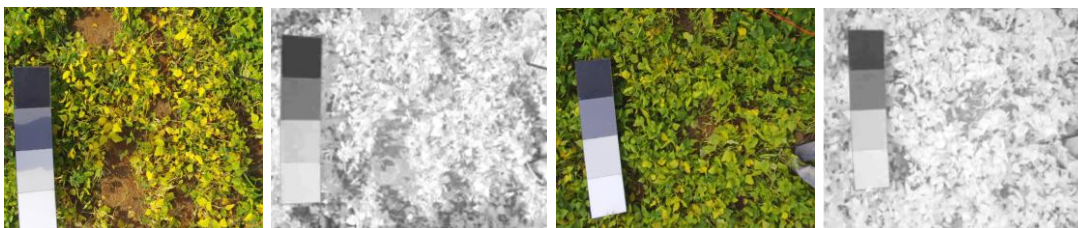
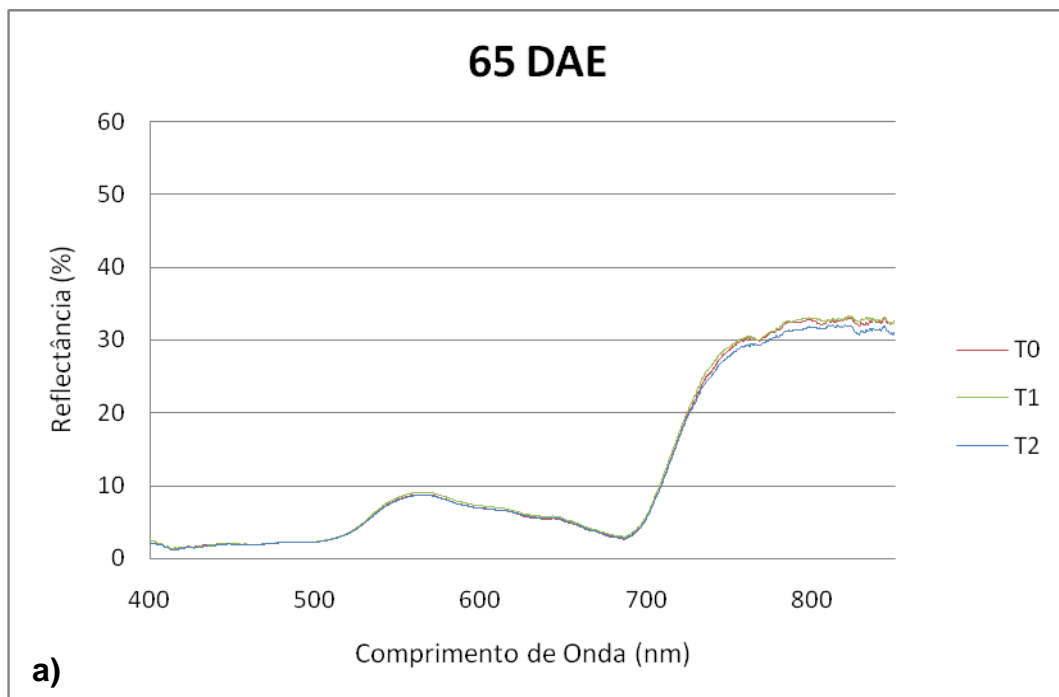


Figura 23 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos três tratamentos do Experimento 3 aos 59 DAE.



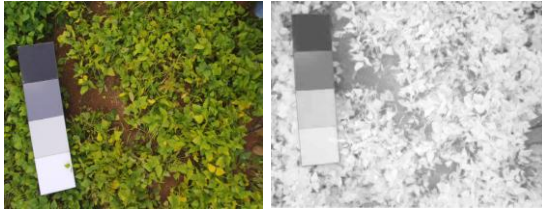


Figura 24 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos três tratamentos do Experimento 4 aos 65 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

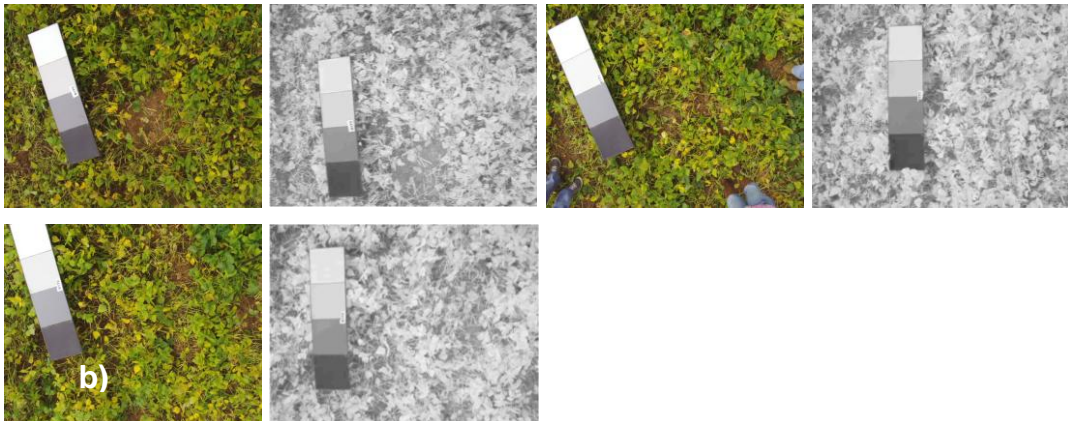
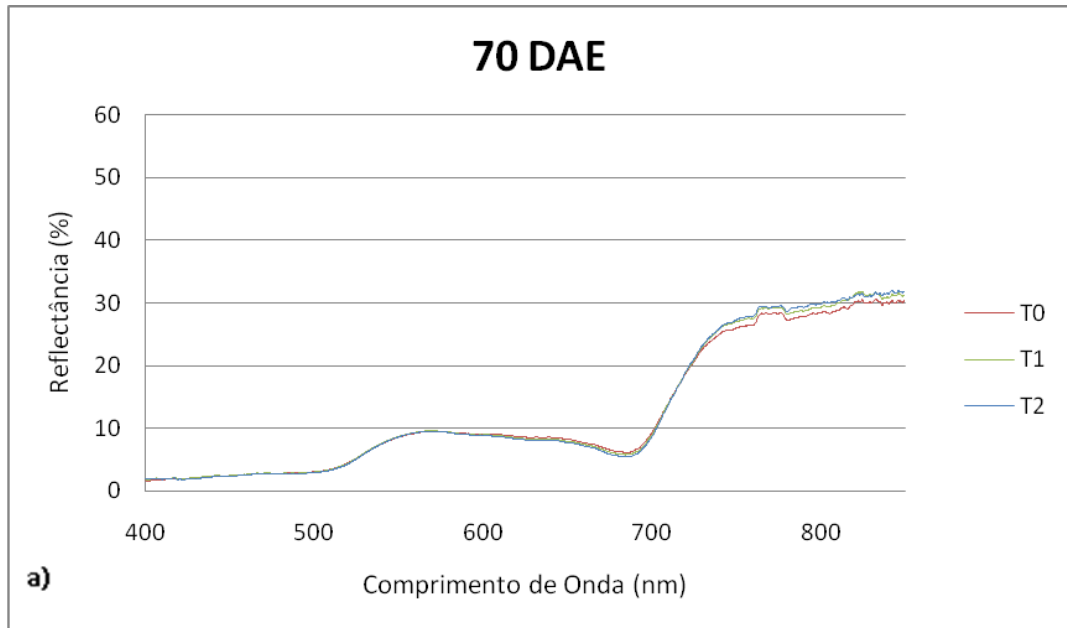


Figura 25 - a) Reflectância média do dossel em função do comprimento de onda nos três tratamentos do Experimento 4 aos 70 DAE; b) imagem colorida referente a todos os tratamentos; c) imagem IVP referente a todos os tratamentos.

Aos 59 DAE, houve tendência de maior reflectância no AZOXYSTROBIN – 50g i.a./ha tanto na região do VIS, quanto no IVP. A tendência de menor reflectância encontrada foi no AZOXYSTROBIN – 100g

i.a./ha nas duas regiões do espectro. Aos 65 DAE, na região do IVP, ocorreu uma tendência de maior reflectância na testemunha e AZOXYSTROBIN – 50g i.a./ha com valores bem próximos. Na região do VIS, os três tratamentos foram semelhantes, não sendo possível encontrar diferenças. Aos 70 DAE, na região do IVP, a tendência de maior reflectância ocorreu no AZOXYSTROBIN – 50g i.a./ha e AZOXYSTROBIN – 100g i.a./ha com valores bem próximos. Na região do VIS, nos três tratamentos, as respostas espectrais apresentaram comportamentos semelhantes. Aos 76 DAE, não houve coleta na cultivar Madrepérola, pois o feijão já havia sido colhido.

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.

#### **4.3.5 Comportamento espectral dos experimentos**

Nos quatro experimentos, em todos os gráficos de reflectância *versus* comprimento de onda foi possível observar uma resposta espectral esperada pela vegetação, ou seja, picos nos comprimentos de onda entre 500 e 600nm (verde) e acima dos 700nm (infravermelho próximo). Essa observação é corroborada por Brandelero (2010) em seu trabalho sobre espectrometria em eucaliptos. Neste caso quando foram tomadas as leituras, as folhas verdes ainda estavam realizando fotossíntese, com isso, produziu-se uma curva espectral característica de vegetação sadia, com bandas de absorção devidas à clorofila nas regiões do azul e do vermelho (próximo de 5% de reflectância em 450 nm e 4,6% em 650 nm, respectivamente), além de um pico de reflectância no verde (8,6% em 550 nm). Na região do IVP (próximo a 800 nm), aproximadamente 47% do fluxo radiante incidente foi refletido pela folha. Jensen (2009), em estudo com folhas de *Liquidambar styraciflua* L. (árvore do âmbar) que possui frutificação e produção de sementes anualmente, obteve para as folhas verdes sadias reflectância de 6% no comprimento de onda 450 nm e 5% em 650 nm abrangendo assim a região do azul e do vermelho, além de um pico no verde de 11% em 550 nm e na região do IVP (900 nm) com aproximadamente 76%.

No início do ciclo do crescimento (Figuras 13 e 14) é possível perceber pela curva espectral que houve influência do solo, pois nota-se um aumento na reflectância do vermelho, fator também encontrado por HAMADA (2000) que relata em seu trabalho que houve, possivelmente, influência da fração de área do terreno exposto (solo e restos da palhada) e no estágio de maturação final, o efeito foi ocasionado pela senescência da planta. À medida que a cultura se desenvolve, há um aumento da biomassa e, conseqüentemente, menor contribuição da porção solo na reflectância, sendo importante a análise dos parâmetros que influenciam o espectro de reflectância da vegetação, como área foliar, distribuição angular de folhas, reflectância do solo, ângulo zenital solar, ângulo de visada e ângulo azimutal (LUIZ et al., 2001).

Na fase de senescência, a partir dos 91 DAE (Figuras 11, 12 E 18) verificou-se, que a radiação refletida pelas folhas em senescência, na região do VIS foi maior do que aquela da folha verde e diminuiu no infravermelho, resultado também encontrado por Papa (2009) e Göergen et al. (2009). Esta maior reflectância no VIS ocorre em consequência da degradação dos pigmentos, principalmente clorofilas, responsáveis pela absorção da energia nesta faixa do espectro da radiação solar. Carvalho Júnior et al. (2005) e Moreira (2005) relatam que essa degradação ocorre devido ao processo de senescência das folhas, apresentando redução no teor de clorofila, assim, a intensidade das bandas de absorção no intervalo entre 45 e 65% nm reduz e ocorre um aumento simultâneo da reflectância.

De acordo com Silva et al. (2009) as leituras de refletância no Infravermelho Próximo (próximo a 810nm) apresentaram resultados inversamente proporcionais às avaliações de severidade das doenças, resultado também encontrado aos 71, 91 e 102 DAE no Experimento 1 (Figuras 10 a 12); aos 13, 27, 34, 56, 71 e 91 DAE no Experimento 2 (Figuras 13 a 18); aos 65, 70 e 76 DAE no Experimento 3, cultivar Ouro Vermelho (Figuras 20 a 22) e aos 70 DAE no Experimento 4, cultivar Madrepérola (Figura 25), sendo datas que estão após a floração. Esse ocorrido pode ser indicativo a infecção do patógeno já estava ocorrendo, mesmo antes do aparecimento dos sintomas. Segundo Silva (2009),

reflectância em comprimentos de onda próximos ao infravermelho apresentam boa correlação com quantidade de tecido vegetal vivo. Aos 59 DAE nas cultivares Ouro Vermelho e Madrepérola e aos 65 DAE na cultivar Madrepérola, as leituras de reflectância da testemunha no IVP apresentaram uma tendência de permanecerem entre o maior e o menor valor, o que pode ter ocorrido devido a alguma alteração nas estruturas internas das folhas, fato descrito por Oviedo (2000) que relata que em seu trabalho a alteração na morfologia, fisiologia e estrutura do dossel agrícola, decorrente do efeito do estresse hídrico, alterou o comportamento espectral do dossel.

Em alguns dias durante as coletas, não se atentou para o fato da irrigação ter ocorrido no dia anterior, ou até mesmo no dia da coleta. Ponzoni & Shimabukuro (2009) salientam que na região do IVP ocorre pequena absorção da radiação e espalhamento interno da radiação na folha. A reflectância é constante nessa região e a absorção da água, considerada baixa. A disponibilidade de água pode causar alterações no mesófilo, alterando a quantidade da reflectância da vegetação nesta região. As folhas infectadas por fungos exibem reflectância maior do que as folhas sadias na região do visível, fato que ocorre devido à perda de clorofila. Essa quantidade de água pode ter influenciado nas respostas espectrais nos dias em que não houve a resposta espectral esperada, ou seja, a existência de correlações significativas entre os índices e a produtividade do feijoeiro e ou a severidade das doenças.

De acordo com Oviedo (2000) as épocas ideais para aquisição de imagens ou campanhas radiométricas para o monitoramento da cultura do trigo são 36, 64 e 81 dias após o plantio. Segundo o autor, os resultados obtidos são encorajadores, pois mostram que os dados espectrais podem ser obtidos durante um período bastante amplo (35 a 80 dias após o plantio).

#### **4.4 Correlação entre índices de vegetação**

Em apenas algumas foram observadas correlações significativas para alguns dos índices estudados com a severidade da doença ou produtividade do feijoeiro, tanto com a utilização do espectrorradiômetro, quanto com a câmera digital.

#### 4.4.1 Correlação entre índices de vegetação e a severidade da doença – Experimento 1

Este estudo mostrou que há correlação significativa e negativa no Experimento 1 entre os índices estudados (dados obtidos pela câmera digital) NDVI, GNDVI, SAVI e OSAVI e a severidade da doença aos 71 DAE.

Foi realizada uma análise de correlação de *Spearman* entre os índices de vegetação e a severidade do mofo-branco em quatro datas, com os dados coletados com o espectrorradiômetro e com a câmera digital sem calibração (Tabela 13).

Tabela 13 – Correlação de *Spearman* entre índices de vegetação (obtidos com espectrorradiômetro e câmera) e severidade do mofo-branco e *p-value*

	DAE	NDVI	GNDVI	SAVI	OSAVI	MCARI1	MCARI2
Espectro	60	0,090 p<0,53	0,216 p<0,12	0,025 p<0,85	0,028 p<0,84	0,008 p<0,95	0,012 p<0,92
	71	-0,139 p<0,32	-0,099 p<0,48	-0,060 p<0,67	-0,063 p<0,65	-0,063 p<0,65	-0,051 p<0,71
	90	-0,064 p<0,65	-0,032 p<0,82	-0,044 p<0,75	-0,048 p<0,73	-0,032 p<0,81	-0,053 p<0,70
	102	0,108 p<0,44	0,244 p<0,45	-0,073 p<0,60	-0,011 p<0,93	-0,174 p<0,21	-0,045 p<0,74
Imagem sem_cal	60	0,105 p<0,46	-0,027 p<0,85	0,124 p<0,37	0,113 p<0,42	0,218 p<0,11	0,186 p<0,18
	71	-0,397 p<0,00	-0,401 p<0,00	-0,396 p<0,00	-0,397 p<0,00	-0,207 p<0,14	-0,211 p<0,13
	90	0,127 p<0,37	0,017 p<0,90	-0,038 p<0,78	-0,041 p<0,77	-0,268 p<0,15	0,043 p<0,76
	102	-0,069 p<0,62	0,094 p<0,56	0,028 p<0,84	0,026 p<0,85	0,052 p<0,71	0,043 p<0,75

Considerando um nível de significância de 10%, não houve correlação significativa em nenhuma data analisada entre os índices obtidos com o espectrorradiômetro. Já com os índices obtidos com a câmera digital, houve correlação significativa a 10% de probabilidade entre o NDVI, GNDVI, SAVI e OSAVI com a severidade aos 71 DAE. A maior correlação significativa obtida pela imagem da câmera digital foi de -0,4014 aos 71 DAE com o GNDVI.

#### 4.4.2 Correlação entre índices de vegetação e a severidade da doença – Experimento 2

No Experimento 2 houve correlação significativa e negativa entre o índice MCARI 1 obtido com dados espectrorradiômetro aos 56 DAE. Foi realizada uma análise de correlação de *Spearman* entre os índices de vegetação e de severidade de mofo-branco em seis datas, com os dados coletados com o espectrorradiômetro e com a câmera digital com e sem calibração (Tabela 14).

Tabela 14 – Correlação de *Spearman* entre índices de vegetação (obtidos com espectrorradiômetro e câmera) e severidade da de mofo-branco e *p-value*

		NDVI	GNDVI	SAVI	OSAVI	MCARI1	MCARI2
Espectro	13 DAE	0,145 p<0,49	0,285 p<0,17	0,163 p<0,44	0,156 p<0,46	0,132 p<0,54	0,121 p<0,57
	27 DAE	0,103 p<0,63	-0,004 p<0,98	-0,079 p<0,71	0,006 p<0,97	-0,124 p<0,56	-0,050 p<0,81
	34 DAE	0,154 p<0,47	0,129 p<0,54	0,158 p<0,46	0,158 p<0,46	0,163 p<0,44	0,132 p<0,53
	56 DAE	0,233 p<0,27	0,124 p<0,56	0,320 p<0,12	0,292 p<0,16	0,360 p<0,08	0,288 p<0,17
	71 DAE	-0,362 p<0,08	0,301 p<0,15	0,172 p<0,42	0,225 p<0,29	0,120 p<0,57	0,223 p<0,29
	79 DAE	-0,330 p<0,10	-0,344 p<0,10	-0,297 p<0,15	0,311 p<0,13	0,181 p<0,28	0,313 p<0,13
91 DAE	0,198 p<0,35	0,049 p<0,82	0,121 p<0,57	0,157 p<0,46	0,123 p<0,56	0,148 p<0,49	
Imagem cal.	13 DAE	0,069 p<0,74	-0,160 p<0,45	0,051 p<0,81	0,055 p<0,79	-0,127 p<0,55	-0,259 p<0,22
	27 DAE	-0,193 p<0,36	-0,166 p<0,43	-0,160 p<0,45	-0,180 p<0,39	-0,314 p<0,13	-0,292 p<0,16
	34 DAE	0,023 p<0,91	-0,076 p<0,73	0,034 p<0,88	0,021 p<0,92	0,101 p<0,65	0,106 p<0,63
	42 DAE	0,326 p<0,30	0,178 p<0,57	0,301 p<0,34	0,301 p<0,34	0,333 p<0,28	0,298 p<0,34
	91 DAE	-0,011 p<0,97	-0,251 p<0,54	-0,011 p<0,97	-0,011 p<0,97	-0,011 p<0,97	-0,011 p<0,97
Imagem sem_cal	13 DAE	-0,250 p<0,32	-0,215 p<0,21	-0,342 p<0,13	-0,351 p<0,12	-0,330 p<0,13	-0,319 p<0,14
	27 DAE	-0,199 p<0,25	-0,310 p<0,13	-0,315 p<0,14	-0,307 p<0,14	-0,299 p<0,15	-0,253 p<0,23
	34 DAE	-0,298 p<0,17	0,264 p<0,12	-0,290 p<0,19	-0,297 p<0,17	-0,057 p<0,80	-0,077 p<0,73
	42 DAE	-0,010 p<0,97	-0,308 p<0,32	-0,010 p<0,97	-0,010 p<0,97	0,232 p<0,46	0,242 p<0,44
	91 DAE	-0,059 p<0,88	-0,155 p<0,71	-0,023 p<0,95	-0,059 p<0,88	-0,323 p<0,43	-0,107 p<0,79

Considerando um nível de significância de 10%, nos dados obtidos pelos espectrorradiômetro, a correlação foi significativa aos 56 DAE com o índice MCARI1 e a severidade, aos 71 DAE entre o NDVI e a severidade e

aos 79 DAE com o NDVI e GNDVI com a severidade de mofo-branco. A menor correlação obtida pelo espectrorradiômetro foi aos 79 DAE com o índice NDVI de 0,330 e a maior foi aos 71 DAE no índice NDVI de 0,363. Nas datas analisadas não houve correlação significativa entre os índices estudados e as imagens da câmera digital antes e após a calibração.

#### 4.4.3 Correlação entre índices de vegetação e a severidade da doença – Experimento 3

No Experimento houve correlação significativa e negativa entre os dados obtidos pelo espectrorradiômetro em todos os índices estudados e a severidade da doença aos 65 e 76 DAE.

Foi realizada uma análise de correlação de *Spearman* entre os índices de vegetação estudados e de severidade da mancha-angular em quatro datas com os dados coletados com o espectrorradiômetro e com a câmera digital (Tabela 15).

Tabela 15 – Correlação de *Spearman* entre índices de vegetação (obtidos com espectrorradiômetro e câmera) e severidade de mancha-angular e *p-value*

		NDVI	GNDVI	SAVI	OSAVI	MCARI1	MCARI2
Espectro	<b>59 DAE</b>	0,009 p<0,96	-0,103 p<0,68	-0,046 p<0,85	-0,027 p<0,91	-0,062 p<0,80	-0,022 p<0,92
	<b>65 DAE</b>	-0,475 p<0,04	-0,615 p<0,00	-0,529 p<0,02	-0,577 p<0,01	-0,475 p<0,04	-0,541 p<0,02
	<b>70 DAE</b>	-0,414 p<0,08	-0,389 p<0,09	-0,372 p<0,10	-0,391 p<0,09	-0,355 p<0,10	-0,387 p<0,10
	<b>76 DAE</b>	-0,194 p<0,44	0,071 p<0,77	-0,079 p<0,75	-0,107 p<0,67	-0,089 p<0,72	-0,105 p<0,67
Imagem cal.	<b>10 DAE</b>	0,093 p<0,71	0,084 p<0,74	0,086 p<0,73	0,096 p<0,70	0,071 p<0,77	0,063 p<0,80
	<b>28 DAE</b>	-0,164 p<0,67	-0,047 p<0,90	-0,377 p<0,31	-0,390 p<0,29	-0,321 p<0,39	-0,389 p<0,30
	<b>33 DAE</b>	0,093 p<0,73	0,043 p<0,87	0,035 p<0,90	0,068 p<0,80	0,011 p<0,96	0,049 p<0,86
	<b>42 DAE</b>	-0,579 p<0,87	-0,170 p<0,63	0,011 p<0,97	0,024 p<0,94	-0,043 p<0,90	0,026 p<0,94
Imagem sem_cal	<b>10 DAE</b>	-0,024 p<0,92	-0,024 0,92	-0,364 p<0,13	-0,358 p<0,14	-0,353 p<0,15	-0,362 p<0,14
	<b>28 DAE</b>	0,553 p<0,12	0,553 p<0,12	-0,430 p<0,24	-0,430 p<0,24	-0,536 p<0,13	-0,58 p<0,15
	<b>33 DAE</b>	-0,229 p<0,411	-0,229 p<0,411	0,238 p<0,39	0,196 p<0,48	0,374 p<0,17	0,198 p<0,47
	<b>42 DAE</b>	-0,151 p<0,67	-0,1246 p<0,73	-0,098 p<0,78	-0,322 p<0,36	0,007 p<0,98	-0,269 p<0,45

Considerando um nível de significância de 10%, nas datas analisadas não houve correlação significativa entre os índices estudados e as imagens da câmera digital antes e após a calibração. Com o espectrorradiômetro, aos 65 e 70 DAE, em todos os índices houve correlação significativa. O menor valor encontrado entre os índices e a severidade da doença pelo espectrorradiômetro foi de -0.355 aos 70 DAE no MCARI 1 e o maior foi de -0,615 aos 65 DAE com o índice GNDVI.

#### 4.4.4 Correlação entre índices de vegetação e a severidade da doença – Experimento 4

No Experimento 4 houve correlação significativa e negativa entre os dados obtidos pelo espectrorradiômetro em todos os índices estudados e a severidade da doença aos 70 DAE. Já com os dados obtidos pela câmera digital (valores calibrados) houve correlação significativa de todos os índices aos 10 DAE.

Foi realizada uma análise de correlação de *Spearman* entre os índices de vegetação estudados e de severidade da mancha-angular em três datas com os dados coletados com o espectrorradiômetro e com a câmera digital (Tabela 16).

Tabela 16 – Correlação de *Spearman* entre índices de vegetação (obtidos com espectrorradiômetro e câmera) e severidade de mancha-angular e *p-value*

	DAE	NDVI	GNDVI	SAVI	OSAVI	MCARI1	MCARI2
Espectro	59	0,017 p<0,94	-0,079 p<0,75	-0,196 p<0,43	-0,205 p<0,41	-0,163 p<0,51	-0,216 p<0,38
	65	0,065 p<0,79	0,173 p<0,49	0,249 p<0,31	0,242 p<0,33	0,259 p<0,29	0,249 p<0,17
	70	-0,403 p<0,09	-0,355 p<0,10	-0,451 p<0,06	-0,433 p<0,07	-0,461 p<0,05	-0,436 p<0,06
Imagem cal	10	-0,402 p<0,09	-0,384 p<0,10	-0,528 p<0,02	-0,480 p<0,04	-0,519 p<0,02	-0,495 p<0,03
	33	0,315 p<0,25	0,349 p<0,20	0,295 p<0,28	0,313 p<0,25	0,244 p<0,37	0,287 p<0,29
	71	-0,036 p<0,88	0,075 p<0,76	-0,245 p<0,32	-0,134 p<0,59	-0,441 p<0,06	-0,325 p<0,18
Imagem sem_cal	10	-0,010 p<0,96	0,0973 p<0,70	0,048 p<0,84	0,061 p<0,80	0,065 p<0,79	0,088 p<0,72
	33	0,221 p<0,42	0,168 p<0,54	0,215 p<0,24	0,237 p<0,13	0,214 p<0,20	0,258 p<0,23
	71	-0,050 p<0,84	0,155 p<0,53	0,023 p<0,92	-0,050 p<0,84	-0,159 p<0,53	-0,176 p<0,48

Considerando um nível de significância de 10%, houve correlação significativa entre todos os índices estudados e a severidade da mancha-angular pelos dados do espectrorradiômetro aos 70 DAE e pelas imagens da câmera digital após a calibração aos 10 DAE. O menor valor de correlação encontrado entre os índices e o espectrorradiômetro foi de -0,355 aos 70 DAE pelo índice GNDVI e o maior foi de -0,461 aos 70 DAE pelo MCARI1. O menor valor de correlação encontrado pelos índices das imagens da câmera digital foi de -0,384 aos 71 DAE pelo NDVI e o maior foi de -0,528 pelo SAVI. Nas datas analisadas não houve correlação significativa entre os índices estudados das imagens da câmera digital antes da calibração.

#### **4.4.5 Correlação entre índices de vegetação e severidade dos experimentos**

Como se esperava, as relações entre o índice de vegetação e a variável produtividade foram positivas, respondendo esses índices crescentemente à biomassa verde, que, por sua vez, está associada positivamente à produtividade (HAMADA, 2000).

Rosatti (2006) relata que com os dados obtidos a partir da aplicação dos índices de vegetação NDVI, face às diferenças apresentadas pelos seus valores, ficou confirmada a detecção da doença “mela” nas pastagens de *Braquiaria brizantha* cv MG-5. Com isso pode-se concluir que emprego do índice de vegetação NDVI foi válido para a diferenciação de pastagens infectadas com a referida doença de pastagens sadias, a partir das imagens de reflectância da superfície.

Ponzoni & Shimabukuro (2007) mencionam que a estrutura celular é bastante variável. As variações ocorrem entre espécies diferentes e até mesmo entre folhas de uma mesma espécie, dependendo das condições ambientais durante o crescimento, o que pode ter ocasionado diferentes resultados de correlação significativa para cada cultivar.

As correlações encontradas entre os índices de vegetação e a severidade das doenças demonstraram ser bastante promissoras (TABELAS 13 a 16). Rodrigues et al. (1999) observaram uma correlação negativa e significativa entre a severidade da mancha-angular e da ferrugem com a

produção, indicando a influência das enfermidades em reduzir a produção de grãos.

Marchiorato et al. (2002) relatam em seu experimento que existe correlação entre a população de nematoides com massa de matéria fresca e NDVI, sendo esta, uma relação inversa. O que pode ser visualizado nesse estudo nas Figuras (9, 12 a 14, 17, 21 e 22). A correlação amostral entre as variáveis consideradas no estudo de Marchiorato et al. (2002) apresentou-se altamente significativa ( $p < 0,001$ ). As plantas com menor infecção por nematoides têm maior capacidade de absorção da energia incidente e, conseqüentemente, refletem menos no comprimento de onda centrado em 670 nm (vermelho). Na região do infravermelho próximo (a partir de 760 nm) grande parte da energia incidente foi refletida devido à estrutura interna e número de camadas de folhas. As plantas, ou amostras situadas em pontos de menor densidade populacional de nematoides, apresentaram tendência de aumento nos valores do fator de reflectância (energia refletida) na região do IVP, em função da maior quantidade de biomassa, em resposta ao menor ataque dos nematoides. Neste estudo essa constatação pode ser confirmada nas Tabelas (13 a 16).

#### **4.5 Correlação entre índices de vegetação e a produtividade do feijoeiro**

Analisando-se os dados de produtividade (Tabelas 6 a 9) e as correlações existentes entre os índices de vegetação e produtividade (Tabelas 14 a 20, observou-se que na maioria dos DAEs é possível estimar a produtividade através dos índices. Foi possível visualizar uma produtividade menor nos tratamentos em que a severidade foi maior.

##### **4.5.1 Correlação entre índices de vegetação e produtividade – Experimento 1**

Este estudo mostrou que há correlação significativa e positiva entre todos os índices estudados (obtidos pelo espectrorradiômetro) e a produtividade do feijoeiro aos 90 DAE no Experimento 1 e aos 13, 34, 56 e 91 DAE.

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre os índices de vegetação e produtividade do feijoeiro em quatro datas, com os dados coletados com o espectrorradiômetro e com a câmera digital (Tabela 17).

Tabela 17 – Correlação de *Pearson* entre índices de vegetação (obtidos com o espectrorradiômetro e câmera) e produtividade do feijoeiro e *p-value*

		NDVI	GNDVI	SAVI	OSAVI	MCARI1	MCARI2
Espectro	60 DAE	0,081 p<0,56	0,130 p<0,35	0,190 p<0,17	0,172 p<0,22	0,202 p<0,15	0,167 p<0,23
	71 DAE	0,149 p<0,29	0,293 p<0,03	0,328 p<0,01	0,298 p<0,03	0,352 p<0,01	0,267 p<0,05
	90 DAE	0,478 p<0,00	0,384 p<0,00	0,336 p<0,01	0,337 p<0,01	0,319 p<0,02	0,318 p<0,02
	102 DAE	0,126 p<0,37	0,026 p<0,85	0,191 p<0,17	0,197 p<0,16	0,169 p<0,22	0,162 p<0,25
Imagem sem cal	60 DAE	-0,007 p<0,96	0,163 p<0,24	-0,029 p<0,83	-0,016 p<0,90	-0,029 p<0,84	0,007 p<0,95
	71 DAE	-0,074 p<0,60	0,013 p<0,92	-0,067 p<0,63	-0,071 p<0,61	-0,214 p<0,12	-0,212 p<0,12
	90 DAE	0,088 p<0,53	-0,254 p<0,16	0,037 p<0,79	-0,147 p<0,29	0,078 p<0,58	0,195 p<0,16
	102 DAE	-0,147 p<0,29	-0,031 p<0,82	-0,094 p<0,50	-0,090 p<0,52	-0,264 p<0,15	-0,254 p<0,16

Considerando um nível de significância de 10%, foi possível observar correlação significativa com o espectrorradiômetro aos 71 e 90 DAE entre o GNDVI, SAVI, OSAVI, MACARI1 e MCARI2 e a produtividade do feijoeiro e, aos 90 DAE, entre o NDVI e a produtividade, sendo a menor encontrada aos 71 DAE, com o índice MCARI 1, de 0,267 e a maior aos 90 DAE, de 0,4789 com o índice NDVI. Com a câmera digital não foi encontrada correlação significativa em nenhuma data estudada.

#### 4.5.2 Correlação entre índices de vegetação e produtividade – Experimento 2

No Experimento 2 houve correlação significativa e positiva entre todos os índices estudados obtidos com dados da câmera digital (valores calibrados) aos 34 e 42 DAE.

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre os índices de vegetação e produtividade do feijoeiro em 13 datas, com os dados coletados com o espectrorradiômetro e com a câmera digital (Tabela 18).

Tabela 18 – Correlação de *Pearson* entre índices de vegetação (obtidos com o espectrorradiômetro e câmera) e produtividade do feijoeiro e *p-value*

		NDVI	GNDVI	SAVI	OSAVI	MCARI1	MCARI2
Espectro	13 DAE	0,408 p<0,04	0,512 p<0,01	0,447 p<0,02	0,434 p<0,03	0,386 p<0,06	0,384 p<0,06
	27 DAE	0,068 p<0,75	0,148 p<0,48	0,200 p<0,34	0,152 p<0,47	0,251 p<0,23	0,181 p<0,39
	34 DAE	0,539 p<0,006	0,511 p<0,01	0,576 p<0,00	0,564 p<0,00	0,581 p<0,00	0,558 p<0,00
	56 DAE	0,542 p<0,00	0,453 p<0,02	0,597 p<0,00	0,584 p<0,00	0,606 p<0,00	0,587 p<0,00
	71 DAE	0,508 p<0,01	0,348 p<0,09	0,154 p<0,47	0,259 p<0,22	0,064 p<0,83	0,269 p<0,20
	79 DAE	0,637 p<0,00	0,691 p<0,00	0,523 p<0,00	0,574 p<0,00	0,452 p<0,02	0,547 p<0,00
	91 DAE	0,395 p<0,05	0,353 p<0,09	0,402 p<0,05	0,403 p<0,05	0,399 p<0,05	0,416 p<0,04
Imagem cal	13 DAE	0,096 p<0,65	-0,006 p<0,97	0,118 p<0,58	0,107 p<0,61	0,067 p<0,75	-0,045 p<0,83
	27 DAE	0,247 p<0,24	0,173 p<0,41	0,233 p<0,27	0,241 p<0,25	0,076 p<0,72	0,077 p<0,71
	34 DAE	0,377 p<0,08	0,350 p<0,05	0,397 p<0,06	0,389 p<0,07	0,439 p<0,04	0,431 p<0,04
	42 DAE	0,797 p<0,00	0,663 p<0,01	0,783 p<0,00	0,790 p<0,00	0,766 p<0,00	0,764 p<0,00
	91 DAE	-0,097 p<0,81	-0,200 p<0,63	-0,136 p<0,74	-0,117 p<0,78	-0,098 p<0,81	-0,078 p<0,85
Imagem sem_cal	13 DAE	-0,207 p<0,33	-0,227 p<0,28	-0,198 p<0,35	-0,204 p<0,34	-0,149 p<0,48	-0,163 p<0,44
	27 DAE	0,011 p<0,95	-0,123 p<0,56	0,038 p<0,85	0,022 p<0,91	0,129 p<0,54	0,103 p<0,63
	34 DAE	-0,002 p<0,99	-0,251 p<0,139	0,004 p<0,98	-0,001 p<0,99	0,241 p<0,28	0,220 p<0,32
	42 DAE	0,114 p<0,72	0,646 p<0,02	0,155 p<0,63	0,130 p<0,68	0,562 p<0,05	0,513 p<0,08
	91 DAE	0,186 p<0,66	0,442 p<0,27	0,158 p<0,70	0,175 p<0,67	-0,103 p<0,80	-0,057 p<0,89

Considerando um nível de significância de 10%, nos dados obtidos pelos espectrorradiômetro, foi possível observar correlação significativa entre todos os índices e a produtividade aos 13, 34, 58, 79 e 91 DAE, e aos 71 DAE nos índices NDVI e GNVI. A menor correlação obtida foi de 0,335 aos 98 e 49 DAE com o índice GNDVI e a maior foi de 0,692 aos 79 DAE no GNDVI. Com os dados calibrados das imagens da câmera digital houve correlação significativa aos 34 e 42 DAE em todos os índices, sendo a

menor correlação obtida aos 34 DAE de 0,350 no GNDVI e a maior aos 42 DAE de 0,797 no NDVI. Já com os dados sem a calibração, não houve correlação significativa.

#### 4.5.3 Correlação entre índices de vegetação e produtividade – Experimento 3

No Experimento 3 houve correlação significativa e positiva apenas entre os dados obtidos pelo espectrorradiômetro nos índices SAVI, OSAVI, MCARI 1 e MCARI 2 e a produtividade aos 76 DAE. Já com os dados obtidos pela câmera digital (valores calibrados) houve correlação significativa dos índices NDVI E GNDVI aos 28 DAE.

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre os índices de vegetação estudados e de produtividade do feijoeiro em quatro datas com os dados coletados com o espectrorradiômetro e com a câmera digital (Tabela 19).

Tabela 19 – Correlação de *Pearson* entre índices de vegetação (obtidos com o espectrorradiômetro e câmera) e produtividade do feijoeiro e *p-value*

	DAE	NDVI	GNDVI	SAVI	OSAVI	MCARI1	MCARI2
Espectro	59	0,192 p<0,44	0,290 p<0,24	-0,019 p<0,93	0,038 p<0,875	-0,089 p<0,72	0,028 p<0,90
	65	0,250 p<0,31	-0,009 p<0,97	0,049 p<0,84	0,099 p<0,69	0,036 p<0,88	0,121 p<0,63
	70	-0,108 p<0,67	-0,141 p<0,57	-0,116 p<0,64	-0,099 p<0,69	-0,155 p<0,53	-0,128 p<0,61
	76	-0,288 p<0,24	-0,335 p<0,17	0,569 p<0,01	0,537 p<0,02	0,547 p<0,01	0,530 p<0,02
Imagem calibrada	10	0,059 p<0,81	0,014 p<0,01	0,022 p<0,93	0,034 p<0,89	0,042 p<0,86	0,041 p<0,87
	28	0,632 p<0,06	0,662 p<0,05	-0,102 p<0,79	0,223 p<0,56	-0,287 p<0,45	-0,060 p<0,87
	33	-0,255 p<0,39	-0,261 p<0,34	-0,255 p<0,35	-0,259 p<0,34	-0,204 p<0,46	-0,240 p<0,38
	42	-0,088 p<0,80	-0,049 p<0,89	-0,125 p<0,72	-0,181 p<0,61	-0,058 p<0,87	-0,154 p<0,67
Imagem sem_cal	10	-0,346 p<0,15	-0,352 p<0,15	-0,278 p<0,26	-0,374 p<0,12	-0,163 p<0,51	-0,260 p<0,29
	28	0,084 p<0,83	-0,050 p<0,89	-0,486 p<0,90	0,033 p<0,93	-0,128 p<0,74	0,022 p<0,95
	33	0,052 p<0,85	0,537 p<0,84	0,205 p<0,46	0,237 p<0,39	0,125 p<0,65	0,207 p<0,45
	42	0,313 p<0,22	0,340 p<0,14	0,110 p<0,76	0,311 p<0,38	0,069 p<0,84	0,256 p<0,47

Considerando um nível de significância de 10%, aos 76 DAE houve correlação significativa encontrada pelo espectrorradiômetro entre os índices SAVI, OSAVI, MCARI1 e MCARI2 e a produtividade. Aos 28 DAE houve correlação significativa encontrada pelas imagens obtidas pela câmera digital entre os índices NDVI e GNDVI. O menor valor de correlação encontrado entre os índices e o espectrorradiômetro foi de 0,53 aos 76 DAE pelo índice MCARI 2 e o maior foi de 0,569 aos 76 DAE pelo SAVI. O menor valor de correlação encontrado pelos índices obtidos pelas imagens da câmera digital após a calibração foi de 0,632 aos 28 DAE pelo NDVI e o maior foi de 0,662 aos 28 DAE pelo GNDVI. Nas datas analisadas não houve correlação significativa entre os índices estudados e as imagens da câmera digital após a calibração.

#### 4.5.4 Correlação entre índices de vegetação e produtividade – Experimento 4

No Experimento 4 houve correlação significativa e positiva apenas entre os dados obtidos pelo espectrorradiômetro nos índices NDVI e GNDVI aos 59 DAE e SAVI, OSAVI e MCARI 1 e a produtividade aos 65 DAE.

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre os índices de vegetação estudados e de produtividade do feijoeiro em três datas com os dados coletados com o espectrorradiômetro e com a câmera digital (Tabela 20).

Tabela 20 – Correlação de *Pearson* entre índices de vegetação (obtidos com o espectrorradiômetro e câmera) e produtividade do feijoeiro e *p-value*

	DAE	NDVI	GNDVI	SAVI	OSAVI	MCARI1	MCARI2
Espectro	<b>59</b>	0,559 p<0,01	0,459 p<0,05	-0,087 p<0,73	-0,139 p<0,58	-0,054 p<0,83	-0,111 p<0,66
	<b>65</b>	-0,144 p<0,56	0,358 p<0,14	0,394 0,10	0,370 p<0,10	0,407 p<0,09	0,337 p<0,17
	<b>70</b>	-0,327 p<0,18	-0,167 p<0,50	-0,340 p<0,16	-0,337 p<0,17	-0,364 p<0,13	-0,362 p<0,13
Imagem calibrada	<b>10</b>	0,013 p<0,95	0,028 p<0,91	0,042 p<0,86	0,030 p<0,90	0,035 p<0,89	0,024 p<0,92
	<b>33</b>	0,336 p<0,22	0,324 p<0,23	0,324 p<0,23	0,334 p<0,22	0,305 p<0,26	0,310 p<0,25
	<b>71</b>	-0,104 p<0,67	-0,181 p<0,47	-0,064 p<0,79	-0,092 p<0,17	0,028 p<0,90	-0,034 p<0,89

Imagem sem_cal	<b>10</b>	0,005 p<0,98	-0,041 p<0,87	0,232 p<0,35	0,204 p<0,41	0,231 p<0,35	0,213 p<0,39
	<b>33</b>	0,343 p<0,21	0,368 p<0,17	0,170 p<0,54	0,277 p<0,31	0,056 p<0,84	0,233 p<0,40
	<b>71</b>	-0,240 p<0,33	-0,3977 p<0,12	-0,244 p<0,32	-0,242 p<0,33	-0,136 p<0,58	-0,137 p<0,58

Considerando um nível de significância de 10%, não houve correlação significativa em nenhuma data analisada entre os índices obtidos pelas imagens da câmera digital nem antes e nem após a calibração. Aos 59 DAE houve correlação significativa entre os índices pelo espectrorradiômetro NDVI e GVDVI e aos 65 DAE entre os índices SAVI, OSAVI e MCARI1 e a produtividade. O menor valor de correlação encontrado entre os índices do espectrorradiômetro foi de 0,370 aos 65 DAE pelo índice OSAVI e o maior foi de 0,559 aos 59 DAE pelo NDVI.

#### **4.5.5 Correlação entre índices de vegetação e produtividade dos experimentos**

A explicação para uma boa correlação entre medidas de reflectância e produtividade, segundo Silva (2009) é de que a produtividade está relacionada à quantidade de radiação interceptada pela cultura e a refletância correlaciona com quantidade de tecido foliar fotossinteticamente ativo presente por unidade de área capaz de interceptar a radiação solar (CANTERI et al., 1999).

Os resultados obtidos por Pontes et al. (2005) mostraram que existe correlação entre o índice NDVI e a produtividade da cultura de cana-de-açúcar. Esta correlação é mais evidente no pico do ciclo vegetativo da cultura. O estudo mostrou que existe potencial na utilização de índices de vegetação para diferenciação de produção de cana-de-açúcar, oferecendo um subsídio à previsão de safras.

#### **4.6 Correlação entre teor de clorofila e a severidade das doenças e a produtividade do feijoeiro**

Apenas nos Experimentos 1 e 2 houve correlação significativa e positiva em algumas datas entre o teor de clorofila medido pelo SPAD e a

produtividade do feijoeiro (Tabelas 21 e 22). A correlação significativa e negativa entre o teor de clorofila medido pelo SPAD e a severidade das doenças foram encontradas nos Experimentos 1, 2, 3 e 4 (Tabelas 21 a 24).

#### 4.6.1 Correlação entre teor de clorofila, severidade do mofo-branco e produtividade do feijoeiro – Experimento 1

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre o valor da clorofila obtido pelo SPAD e a produtividade do feijoeiro, bem como uma análise de correlação de *Spearman* entre o valor da clorofila obtido pelo SPAD e a severidade da doença, em quatro datas (Tabela 21).

Tabela 21 – Correlação de *Spearman* entre teor de clorofila com severidade do mofo-branco e correlação de *Pearson* entre teor de clorofila e produtividade e *p-value*

DAE	Clorofila X Produtividade	Clorofila X Severidade
60	-0,003 p<0,98	-0,088 p<0,53
71	0,227 p<0,10	-0,251 p<0,07
91	0,282 p<0,04	-0,241 p<0,08
102	0,043 p<0,76	-0,048 p<0,73

Considerando um nível de significância de 10%, aos 71 e 91 DAE houve correlação entre o teor de clorofila na planta e a severidade da doença e a produtividade do feijoeiro. A maior correlação obtida entre clorofila e produtividade foi de 0,2826 aos 91DAE e a menor foi de 0,227 aos 71 DAE. A maior correlação obtida entre clorofila e severidade foi de -0,2517 aos 71DAE e a menor de -0,241 aos 91 DAE.

#### 4.6.2 Correlação entre teor de clorofila, severidade do mofo-branco e produtividade do feijoeiro – Experimento 2

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre o valor da clorofila obtido pelo SPAD e a produtividade do feijoeiro, bem como uma

análise de correlação de *Spearman* entre o valor da clorofila obtido pelo SPAD e a severidade da doença em 13 datas (Tabela 22).

Tabela 22 – Correlação de *Spearman* entre teor de clorofila com severidade da doença e correlação de *Pearson* entre teor de clorofila com produtividade e *p-value*

DAE	Clorofila x Produtividade	Clorofila x Severidade
13	0,678 p<0,00	-0,422 p<0,04
20	0,319 p<0,10	-0,326 p<0,10
27	-0,118 p<0,58	0,141 p<0,51
42	0,436 p<0,03	-0,394 p<0,05
58	0,154 p<0,47	0,069 p<0,74
71	0,321 p<0,10	-0,112 p<0,60
79	0,630 p<0,00	0,277 p<0,19
91	0,668 p<0,00	0,290 p<0,17

Considerando um nível de significância de 10%, aos 13, 20 e 42 DAE houve correlação significativa entre o teor de clorofila e a severidade doença e teor de clorofila e a produtividade do feijoeiro. Aos 71, 79 e 91 DAE, apenas para a produtividade houve correlação significativa. A menor correlação significativa de produtividade e teor de clorofila encontrada foi de 0,319 aos 20 DAE e a maior foi de 0,678 aos 13 DAE. A menor correlação de severidade e teor de clorofila encontrada foi de -0,326 aos 20 DAE e a maior foi de -0,422 aos 13 DAE.

#### 4.6.3 Correlação entre teor de clorofila, severidade da mancha-angular e produtividade do feijoeiro – Experimento 3

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre o valor da clorofila obtido pelo SPAD e a produtividade do feijoeiro, bem como uma análise de correlação de *Spearman* entre o valor da clorofila obtido pelo SPAD e a severidade da doença em nove datas (Tabelas 23).

Tabela 23 – Correlação de *Spearman* entre teor de clorofila com severidade da doença e correlação de *Pearson* entre teor de clorofila com produtividade e *p-value*

DAE	Clorofila x Produtividade	Clorofila x Severidade
7	0,072 p<0,77	-0,423 p<0,07
9	0,250 p<0,31	0,274 p<0,27
10	0,327 p<0,18	0,098 p<0,69
28	0,341 p<0,16	0,032 p<0,89
33	0,093 p<0,71	0,175 p<0,48
42	0,166 p<0,50	-0,672 p<0,00
71	0,173 p<0,49	-0,647 p<0,00
74	-0,209 p<0,40	-0,575 p<0,01
80	0,432 p<0,07	-0,262 p<0,29

Considerando um nível de significância de 10%, houve correlação significativa entre o teor de clorofila e a produtividade do feijoeiro apenas aos 80 DAE. Também houve correlação significativa entre teor de clorofila e a severidade da doença aos 42, 71 e 74 DAE. A maior correlação de produtividade e teor de clorofila encontrada foi de 0,432 aos 80 DAE. A menor correlação de severidade e teor de clorofila encontrada foi de -0,575 aos 74 DAE e a maior foi de -0,672 aos 42 DAE.

#### 4.6.4 Correlação entre teor de clorofila, severidade da mancha-angular e produtividade do feijoeiro – Experimento 4

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre o valor da clorofila obtido pelo SPAD e a produtividade do feijoeiro, bem como uma análise de correlação de *Spearman* entre o valor da clorofila obtido pelo SPAD e a severidade da doença em nove datas (Tabela 24).

Tabela 24 – Correlação de *Spearman* entre teor de clorofila com severidade da doença e correlação de *Pearson* entre teor de clorofila com produtividade e *p-value*

DAE	Clorofila x Produtividade	Clorofila x Severidade
7	-0,175 p<0,17	0,120 p<0,63
9	-0,252 p<0,31	-0,059 p<0,81
10	0,342 p<0,16	-0,235 p<0,34
28	-0,174 p<0,48	0,049 p<0,84
33	0,184 p<0,46	-0,167 p<0,50
42	0,226 p<0,36	-0,825 p<0,00
71	0,035 p<0,88	-0,418 p<0,08
74	-0,338 p<0,17	0,070 p<0,78
80	0,087 p<0,73	-0,394 p<0,10

Considerando um nível de significância de 10%, não houve correlação significativa entre o teor de clorofila e a produtividade do feijoeiro em nenhuma data analisada, mas houve correlação significativa entre teor de clorofila e a severidade da doença aos 42, 71 e 80 DAE. A menor correlação de severidade e teor de clorofila encontrada foi de -0,394 aos 80 DAE e a maior foi de -0,825 aos 42 DAE.

#### 4.6.5 Correlação entre teor de clorofila e a severidade das doenças e a produtividade do feijoeiro dos experimentos

Segundo Argenta (2001), a relação verificada entre leitura com medidor portátil de clorofila e teor de clorofila extraível evidencia que as leituras efetuadas com clorofilômetro estimam adequadamente o grau de esverdeamento da folha de milho, ou seja, o teor relativo de clorofila na folha, independente do estágio avaliado e do híbrido de milho.

Argenta (2001) relata que a leitura utilizando um clorofilômetro, pode ser bem empregada, dependendo do estágio fenológico da cultura, pois, nas fases iniciais de desenvolvimento, os valores das leituras não são muito precisos, tendo uma maior precisão nas informações nas datas no meio do ciclo da cultura, o que é corroborado nos Experimentos 1, 2, 3 e 4 onde

houve correlação positiva com a produtividade a partir dos 65 DAEs (Tabelas 13 a 16).

Sant'Ana et al. (2010) encontraram correlação positiva entre a leitura de SPAD e a produtividade de grãos. O uso do clorofilômetro como parâmetro de avaliação do estado nutricional, seja com relação ao teor de N, seja com relação à produção é encontrado em vários trabalhos e para diversas culturas. Gil et al. (2002), em estudo com batata, afirmam que o índice SPAD pode ser usado para prognóstico da produtividade da cultura, em razão da correlação positiva entre N e produção. No Experimento 1 e 2 as datas encontradas com correlação positiva para produtividade em comum foram aos 71 e 91 DAEs, o que as tornam favoráveis para as coletas. Para a cultura do feijoeiro, o clorofilômetro se mostrou uma ferramenta eficaz como indicador dos efeitos de adubação nitrogenada em cobertura (SILVEIRA et al., 2003). Leal et al. (2007), estudando os efeitos da adubação nitrogenada na implantação e na formação de um pomar de caramboleira a campo, observaram que houve efeito significativo dos tratamentos sobre as leituras, obtendo boa correlação entre os valores SPAD e o teor foliar de N.

Para a correlação negativa para a severidade foram encontradas datas comuns Experimentos 1, 3 e 4 aos 71 DAEs e Experimentos 1, 3 e 4 aos 42 DAEs. Pode-se recomendar que a coleta para estimar a severidade das doenças estudadas seja realizada entre os 42 e 71 DAEs, visto que as avaliações visuais são feitas mais no final do ciclo da cultura do feijão.

#### **4.7 Correlação entre o índice de área foliar e a severidade das doenças e a produtividade do feijoeiro**

Apenas no Experimento 3 foi possível encontrar correlação significativa entre o IAF e a produtividade do feijoeiro aos 59 e 65 DAEs, (Tabela 27) e aos 59 DAE com a severidade, no Experimento 4 (Tabela 28). No Experimento 1 as coletas com o ceptômetro começaram tarde, o que pode ter influenciado para não encontrar correlação significativa.

#### 4.7.1 Correlação entre índice de área foliar, severidade de mofo-branco e produtividade do feijoeiro – Experimento 1

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre o índice de área foliar obtido pelo ceptômetro e a produtividade do feijoeiro, bem como uma análise de correlação de *Spearman* entre o índice de área foliar e a severidade de mofo-branco em duas datas (Tabela 25).

Tabela 25 – Correlação de *Spearman* entre índice de área foliar com severidade de mofo-branco e correlação de *Pearson* entre IAF e produtividade e *p-value*

DAE	IAF X Produtividade	IAF X Severidade
91	-0,035 p<0,80	0,077 p<0,58
102	-0,103 p<0,46	-0,036 p<0,79

Considerando um nível de significância de 10%, não houve correlação significativa entre o índice de área foliar e produtividade do feijoeiro ou severidade da doença em nenhuma das datas estudadas.

#### 4.7.2 Correlação entre índice de área foliar e severidade do mofo-branco e produtividade do feijoeiro – Experimento 2

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre o índice de área foliar obtido pelo ceptômetro e a produtividade do feijoeiro, bem como uma análise de correlação de *Spearman* entre o índice de área foliar e a severidade da doença em seis datas (Tabela 26).

Tabela 26 – Correlação de *Spearman* entre índice de área foliar e severidade da doença e correlação de *Pearson* entre IAF produtividade e *p-value*

DAE	IAF X Produtividade	IAF X Severidade
49	-0,039 p<0,86	-0,106 p<0,65
58	0,237 p<0,31	0,104 p<0,66
71	0,264 p<0,26	0,299 p<0,20
79	0,223 p<0,34	0,20 p<0,61

84	0,271 p<0,24	0,255 p<0,27
91	0,022 p<0,92	0,127 p<0,59

Não houve correlação significativa entre o índice de área foliar e produtividade do feijoeiro ou severidade da doença, ao nível de significância de 10%.

#### 4.7.3 Correlação entre índice de área foliar e severidade de mancha-angular e produtividade do feijoeiro – Experimento 3

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre o índice de área foliar obtido pelo ceptômetro e a produtividade do feijoeiro, bem como uma análise de correlação de *Spearman* entre o índice de área foliar e a severidade de mancha-angular em três datas (Tabela 27).

Tabela 27 – Correlação de *Spearman* entre índice de área foliar e severidade de mancha-angular e correlação de *Pearson* entre IAF produtividade e *p-value*

DAE	IAF X Produtividade	IAF X Severidade
59	0,391 p<0,10	0,005 p<0,98
65	0,584 p<0,01	-0,129 p<0,60
70	0,264 p<0,28	-0,233 p<0,35

Considerando um nível de significância de 10%, nos dias coletados, não houve correlação significativa entre o índice de área foliar ou severidade de mancha-angular, mas entre o índice de área foliar e produtividade do feijoeiro houve correlação significativa aos 59 e 65 DAE, sendo a menor correlação encontrada aos 59 DAE de 0,391 e a maior de 0,584 aos 65 DAE.

#### 4.7.4 Correlação entre índice de área foliar e severidade da doença e produtividade do feijoeiro – Experimento 4

Foi realizada uma análise de correlação de *Pearson* entre o índice de área foliar obtido pelo ceptômetro e a produtividade do feijoeiro, bem como uma análise de correlação de *Spearman* entre o índice de área foliar e a severidade da doença em três datas (Tabela 28).

Tabela 28 – Correlação de *Spearman* entre índice de área foliar e severidade da doença e correlação de *Pearson* entre IAF produtividade e *p-value*

DAE	IAF X Produtividade	IAF X Severidade
59	0,056 $p < 0,82$	-0,518 $p < 0,02$
65	0,033 $p < 0,89$	0,034 $p < 0,89$
70	0,011 $p < 0,96$	0,292 $p < 0,23$

Nos dias coletados, não houve correlação significativa entre o índice de área foliar e produtividade do feijoeiro, mas entre o índice de área foliar e a severidade da doença houve correlação significativa aos 59 DAE de -0,518, considerando um nível de significância de 10%.

#### 4.7.5 Correlação entre o índice de área foliar e a severidade das doenças e a produtividade do feijoeiro dos experimentos

Segundo Silva (2009), falhas no plantio, problemas com população de plantas ou com ervas daninhas podem interferir nas leituras.

O ceptômetro possui uma barra de sensores, que medem a radiação fotossinteticamente ativa nos comprimentos de onda de 400 a 700 nm, estimando assim, indiretamente, o IAF (CANTERI et al., 1999). No entanto, segundo Oviedo (2000), o índice de área foliar mostrou-se um parâmetro eficiente para o monitoramento das condições do dossel, especialmente durante o período vegetativo. Este parâmetro pode ser utilizado em modelos de crescimento de plantas visando monitorar a variabilidade temporal que determina a interação do dossel com a radiação solar e, conseqüentemente, modular a produtividade agrícola e os fluxos de superfície.

Madeira et al. (1988), analisando o patossistema *Ascochyta fabae* – *Vicia faba*, observaram que parcelas com plantas infectadas mostraram uma queda mais acentuada no índice de área foliar do que nas parcelas de plantas sadias sugerindo a senescência precoce. A baixa expansão e duração da área foliar causada por estresses nutricionais e hídricos, bem como a incidência de doenças, aceleram o processo de senescência da folha, modificando a área de interceptação da radiação. As conseqüências desse distúrbio refletem diretamente na fotossíntese líquida e, conseqüentemente, na produção da cultura (DOMINGUES, 2010). A

aceleração da senescência das folhas já tem sido apontada como uma das maiores causas da redução da área foliar verde em alguns patossistemas, como a mancha foliar em alfafa por *Stemphylium botryosum* (BASU, 1976).

Diante destes resultados faz-se necessária a discussão de alguns pontos, como a dificuldade na padronização da radiação solar incidente durante as avaliações, pois esta é extremamente variável nas diferentes horas do dia. Segundo Buzzerio (2001), em geral os métodos indiretos de medições do LAI são dependentes da arquitetura do dossel, isto é, a forma e a área de vários órgãos das plantas (folhas, flores e ramos, etc.), ângulo de distribuição das folhas e ângulo de inclinação das folhas, portanto o horário da realização das leituras tem influência nas medições. O autor relata que em dias sem nebulosidade, ao meio dia solar, observou-se que as folhas do feijoeiro assumiam o chamado heliotropismo, isto é, orientação preferencial das folhas em direção aos raios solares, especialmente em dias ensolarados. Este fenômeno proporcionava ao equipamento a possibilidade de capturar uma maior interceptação de luz através de todas as camadas do dossel e conseqüentemente proporcionava valores mais elevados de LAI. Durante este estudo, outro fator de interferência nas leituras foi a passagem constante de nuvens sobre o sol nos momentos das avaliações, o que provocava a redução da radiação incidente e conseqüentemente a redução das leituras do LAI.

Barradas et al. (1999), estudando a orientação e distribuição foliar em *Phaseolus vulgaris*, observaram que a maior proporção de inclinação das folhas foi ao redor de 30 – 40° em dias nublados e entre 40 – 50° em dias ensolarados. Diante desta dificuldade, neste trabalho procurou-se executar as medições da radiação incidente ao sol entre 12:00h e 14:00h. Vale ressaltar que nem sempre no momento das leituras essas características de iluminação estavam presentes, o que pode ter provocado a subestimação dos valores de LAI com o equipamento. Quando Welles & Norman (1991) estimaram o LAI de soja e trigo utilizando um ceptômetro (LAI-2000), concluíram que o equipamento subestimou em pelo menos 15% as medições quando estas foram comparadas com as medições diretas (BUZZERIO, 2001).

## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se que Técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas na detecção de mofo-branco e mancha-angular no feijoeiro.

Foi possível estudar o comportamento espectral da cultura do feijoeiro com diferentes níveis de severidade de mofo-branco e de mancha-angular. A severidade dessas doenças foi avaliada pelos índices entre 65 e 70 DAE e a produtividade do feijoeiro pode ser estimada a partir dos 70 DAE.

O teste de um método de calibração radiométrica foi feito, mas não foi possível uma grande distinção entre a imagem calibrada e a imagem não calibrada.

Houve correlação significativa entre todos os índices de vegetação e a severidade das doenças. Aos 71 DAE, nos quatro experimentos foi encontrada correlação significativa com NDVI e severidade.

Nos experimentos 1 e 2, aos 71 DAE, foi encontrada correlação significativa entre o GNDVI e a produtividade, e aos 91 DAE, todos os índices obtiveram correlação significativa com a produtividade.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2010. **Anuário da agricultura brasileira: feijão**. São Paulo: FNP, 2010. p. 318-323.

ANGULO FILHO, R.A.; CUNHA, C.A.H.; RUDORFF, B.F.T.; MOREIRA, M.A. Comportamento espectral da cultura do feijão (IAC - Carioca 80) irrigado com diferentes lâminas de água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 3-10.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; BARTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.

ASRAR, G.; FUCHS, M.; KANEMASU, E.T. et al. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**, v. 76, p. 300-306, 1984.

BACKES, K. S. **Variações do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) do sensor modis associadas a variáveis climáticas para o estado do Rio Grande do Sul**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

BARRADAS, V.L.; JONES, H.G.; CLARK, J.A. Leaf orientation and distribution in a *Phaseolus vulgaris* crop and their relation to light microclimate. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, n. 2, p. 64-70, 1999.

BASU, S. Correlated measurements of scintillations and in-situ F-region irregularities from OGO-6. **Geophysical Research Letter**, vol. 3, n. 11, p. 681-684, 1976.

BATISTA, G.T.; DIAS, N.W. **Introdução ao sensoriamento remoto e processamento de imagens**. São José dos Campos: INPE, 2005.

BETTIOL, W; MORANDI, M. A. B. **Biocontrole de doenças de plantas: usos e perspectivas**. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, SP, 2009.

BOCK, C. H.; POOLE, G. H. PARKER, P.E.; GOTTWALD, T.R. Plant Disease Severity Estimated Visually, by Digital Photography and Image Analysis, and by Hyperspectral Imaging, Critical Reviews. **Plant Sciences**, vol. 29, n.2, p. 59-107, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.bs.cca.ufsc.br/publicacoes/regras%20analise%20sementes.pdf>> Acesso em: 18 nov. 2011.

BRANDELERO, C. **Espectrorradiometria do visível e infravermelho próximo em povoamento de *Eucalyptus grandis* W Hill ex Maiden**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

BRENCHLEY, G.H. Aerial photography for the study of plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, v. 6, p. 1-23, 1968.

BUZZERIO, N.F. **Ferrugem e mancha-angular do feijoeiro**: efeito de fungicidas no desenvolvimento do hospedeiro e no progresso das doenças. 2001. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2001.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v.20, n.3, p. 395-403, 1996.

CAMARGO, F. F.; ADAMI, M.; BREUNIG, F.M.; MANTELLI, L, R.; COSTA, M. C.; PONZONI, F. J. Avaliação de Índices de Vegetação e de Índice de Área Foliar na caracterização espectral de dosséis de trigo (*Triticum aestivum*, L. - IAC-370). IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 103-110.

CAMILO, A. A.; COSTA FILHO, J.F.; SÁ, T. F. F.; BRAGA JÚNIOR, J. M. Resposta Espectral da cana-de-açúcar irrigada no município de Quixeré no Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3, 2010, Recife. **Anais...** Recife, 2010. p. 103-110.

CANTERI, M.G. **Uso de medidas e área foliar sadia e reflectância no manejo da mancha angular do feijoeiro**. 1998. 83 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1998.

CANTERI, M.G.; DALLA PRIA, M.; SILVA, O.C. **Principais doenças fúngicas do feijoeiro**: orientações para manejo econômico e ecológico. Ponta Grossa: UEPG, 1999.

CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; MARTINS, E.S.; CARVALHO, A.P.F.; GOMES, R.A.T. Aplicação do método de identificação espectral para imagens do sensor ASTER em ambiente de Cerrado. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 23, n. 2, 2005.

CHRISTENSEN, S.; SOGAARD, H.T.; KUDSK, P.; NORREMARK, M.; LUND, I.; NADIMI, E.S.; JORGENSEN, R. Site-specific weed control technologies. **Weed Research**, v. 49, n. 3, p. 233-241, 2009.

COELHO, A.M. **Agricultura de precisão**: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2005. (Documentos, 46).

COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão e Colheita Mecanizada em Citros**. Estágio Profissionalizante em Engenharia Agrônômica. Departamento de Engenharia Rural. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2008.

CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003.

CUNHA, C.A.H. **Relação entre comportamento espectral, índice de área foliar e produção de matéria seca em capim Tanzânia submetido a diferentes níveis de irrigação e doses de nitrogênio**. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2004.

DALLA PRIA, M.; SILVA, O.C. **Cultura do feijão**: doenças e controle. Ponta Grossa: UEPG, 2010.

DOMINGUES, L.S. **Influência de cultivares e densidades de plantas sobre a eficácia da proteção química no patossistema soja-*Phakopsora pachyrrizi***. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

EMBRAPA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Sistemas de produção**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafrSulMG/index.htm>>. Acesso em: 17 nov. 2011.

EPIPHANIO, J.C.N.; GLERRIANI, J.M.; FORMAGGIO, A.R.; RUDORFF, B.F.T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FERRAZ, P.; ÂNGULO FILHO, R.; PIEDADE, S.M.S.; MONTEIRO, R.O.C. Influência do ângulo de visada na resposta espectral da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6335-6342.

FLETCHER, R. S.; ESCOBAR, D. E.; SKARIA, M. Technical Note: Response of ratio vegetation indices to foot rot-infected citrus trees. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.19, p.3967-3972, 2004.

GALLO, K.P.; DAUGHTRY, C.S.T.; BAUER, M.F. Spectral estimation in corn canopies. **Agronomy Journal**, v. 78, n. 5, p. 752-756, 1985.

GENÚ, A.M. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização e avaliação pontual e espacial de solos e seus atributos**.2006. 120 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2006.

GIL, P.T.; FONTES, P.C.R.; CECON, P.R.; FERREIRA, F.A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.

GIMENEZ, L.M.; ANJOS, W.G. **Agricultura de precisão**: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 2008.

GITELSON, A.A.; KAUFAMAN, Y.J.; MERZLYAK, M.N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 289-298, 1996.

GITELSON, A.A.; VIÑA, A.; ARKEBAUER, T.J. et al. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. **Geophysical Research Letters**, v. 30, n. 5, p. 52, 2003.

GÖERGEN, L.C.; BERRA, E.F.; BENEDETTI, A.C.P.; BRANDELERO, C.; BACKES, K.S.; PEREIRA, R.S. Caracterização espectral de folhas e influência do tempo após a coleta de folhas na reflectância de *Erythrina crista-galli* L. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2753-2759.

GONZALEZ, R.C.; WOODS, R.E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

GRÖLL, K. **Use of sensor technologies to estimate and assess the effects of various plant diseases on crop growth and development**. 2008. Dissertation (Dr. sc. agr. /Ph.D. in Agricultural Sciences) – Faculty of

Agricultural Science of the University of Hohenheim, Bietigheim-Bissingen, 2008.

GUIMARÃES, T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ, V.H.; NONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

HABOUDANE, D.; MILLER, J.R.; PATTEY, E.; TEJADA, P.J.Z.; STRACHAN, I.B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p.337-352, 2004.

HALL, R.; PHILLIPS, L.G. Evaluation of parameters to assess resistance of white bean to white mold. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, v. 39, p. 306-307, 1996.

HAMADA, E. **Desenvolvimento fenológico do trigo (cultivar IAC 24 - Tucuruí), comportamento espectral e utilização de imagens NOAA-AVHRR**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000.

HIRANO, A.; MADDEN, M. WELCH, R. Hyperspectral Image data for mapping wetland vegetation. **Wetlands**, vol. 23, n.2, p.436-448, 2003.

HIKISHIMA, M.; CANTERI, M.G.; GODOY, CV.; KOGA, L.J.; da SILVA, A.J. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, p. 096-103, 2010.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estatística da produção agrícola**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr\\_201101.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201101.pdf)>. Acesso em: 28 fev. 2011.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598p.

JESUS, Simone Verdes de; MARENCO, Ricardo Antonio. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amaz.**, Manaus, v. 38, n. 4, 2008.

LABSPHERE. Reflectance characteristics of Spectralon panels. Reflectance Calibration Laboratory. Labsphere Inc., Sutton, NH, USA, 9 p., 1998.

LEAL, R.M.; NATALE, W.; PRADO, R.M.; ZACCARO, R.P. Adubação nitrogenada na implantação e formação de pomares de caramboleira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1111-1119, 2007.

LUIZ, A.J.B.; BARROS, M.G.M.; FORMAGGIO, A.R.; EPHIPHANIO, J.C.N. Comportamento espectral associado a parâmetros agrônômicos de soja (*Glycine max*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 103-110.

LUIZ, A.J.B. et al. Reflectância a partir do número digital de imagens Etm+. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2071-2078.

MADEIRA, A.C.; CLARK, J.A.; ROSSAL, S. Growth, light interception and disease in field bean (*Vicia faba*): the effect of late infection by *Ascochyta fabae*. **Annals of Applied Biology**, v.112, p.585-595, 1988.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Estado do Paraná. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural. **Análise da Conjuntura Agropecuária Safra 2011/2012**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br>> Acesso em 07 de fevereiro de 2012.

MARCHIORATO, I.A. et al. Medidas de espectrorradiometria de campo para detecção de *Meloidogyne incognita* em lavoura de algodão. **Summa Phytopathologica**, Jaguariuna, v.28, p.248-252, 2002.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2.ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 292p.

MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S.M. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

MESQUITA, F.R.; CORRÊA, A.D.; ABREU, C.M.P.; LIMA, R.A.Z.; ABREU, A.F.B. Linhagens de Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade protéica. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1114-1121, 2007.

MILTON, E.J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 12, p. 1807-1827, 1987.

MISHRA, A. KARIMI, D. EHSANI, R. ALBRIGO, G. Evaluation of an active optical sensor for detection of Huanglongbing (HLB) disease. **Biosystems Engineering**, v. 110, p. 302 e 309, 2011.

MORAES, E.C. Radiometria óptica espectral: comportamento espectral: In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. **Anais...** Salvador, 1996. p.1-22.

MORAL, F.J.; TERRÓN, J.M.; REBOLLO, F.F. Site-specific management zones based on the Rasch model and geostatistical techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, p. 223-230, 2011.

MOREIRA, M.A. **Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agrônômicos**. 1997. 142 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1997.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. INPE: UFV, 2001.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2005.

NILSSON, H.E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. **Annu.Rev. Phytopathol.**, v. 15, p. 489-527, 1995.

NOVO, E.M.L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

OLIVEIRA, W.M.; CHAVES, I.B.; LIMA, E.R.V. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um neossolo litólico do semi-árido paraibano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 2103-2110.

ORTEGA, R.A.; SANTIBÁÑEZ, O.A. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.58, p.49-59, 2007.

OVIEDO, A.F.P.; RUDORFF, B.F.T. Índice de área foliar e resposta espectral da cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) submetida ao estresse hídrico. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 39-47, 2000.

PASTOR-CORRALES, M.A.; JARA, C.E. La evolucion de *Phaeoisopsis griseola* con El frijol comum em América Latina. **Fitopatologia Colombiana**, v.19, p. 15-22, 1995.

PAPA, R.A. **Comportamento espectro temporal da cultura do feijão por meio de dados obtidos por espectro radiometria, câmera digital e imagem Áster**. 2009. 132 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

PAULA JÚNIOR, T.J.; VIEIRA, R.F.; LOBO JÚNIOR, M.; MORANDI, M.A.B.; CARNEIRO, J.E.S.; ZAMBOLIM, L. **Manejo integrado do mofo-branco do feijoeiro**. Viçosa:EPAMIG, 2006. 47p.

PAULA JÚNIOR, T.J.; TEIXEIRA, H.; VIEIRA R.F. **Laudo técnico de eficiência da aplicação de fungos antagonistas no controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) na cultura do feijão**.Viçosa: EPAMIG, 2009.

PINKARD, E.A.; PATEL, V.; MOHAMMEDE, C. Chlorophyll and nitrogen determination for plantation-grown *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* using a non-destructive meter. **Forest Ecology and Management**, v. 223, p. 211-217, 2006.

PINTO, L.M. et al. Caracterização espectral de folhas e influência do tempo após a coleta de folhas na reflectância de duas cultivares de *Pennisetum purpureum Schum*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p.362.

PONTES, P. P. B.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R.. A. C. Análise temporal de índices de vegetação como subsídio à previsão de safras de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p.217-224.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, 2007.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, 2009.

PORTILLO, J.E.; EPIPHÂNIO, J.C.N.; GÜRTLER, S.; BARRETO LUIZ, A.J. **Evolução da superfície cultivada com as principais culturas agrícolas em Guará, Ipuã e São Joaquim da Barra-SP, via imagens de satélite**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p. 215-222.

PRADO, M. D. R.; ARAÚJO, E, O. Mofo Branco: a ameaça tem jeito. **Revista a Granja**. Ed. 744. Dezembro, 2010. Disponível em: <<http://www.edcentaurus.com.br/materias/granja.php?id=3363>> Acesso em 24 de novembro de 2011.

PRINCE, S.D. A model of regional primary production for use with coarse-resolution satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, n.6, p.1313-1330, 1991.

QUEIROZ, D.M.; GUTEMBERG, P.D.; MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2000. **Anais...** Viçosa, 2000. p. 1-42.

ROBINOVE, C.J. Computation of physical values for Landsat digital data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 48, n. 5, p. 781-784, 1982.

RODRIGUES, F. A.; FERNANDES, J. J.; MARTINS, M. Influência de semeaduras sucessivas de feijoeiro na severidade da mancha-angular e ferrugem e perdas de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.8, p.1373-1378, 1999.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, p. 95-107, 1996.

ROSATTI, J.C. **Detecção da doença “mela-das-sementes da braquiária” em gramíneas forrageiras através de técnicas de sensoriamento remoto.** 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual de São Paulo, Presidente Prudente, SP, 2006.

ROSYARA, U.R.; DUVEILLER, E.; PANT, K.; SHARMA, R.C. Variation in chlorophyll content, anatomical traits and agronomic performance of wheat genotypes differing in spot blotch resistance under natural epiphytotic conditions. **Australasia Plant Pathology**, v. 36, p. 245-251, 2007.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation.** Greenbelt: NASA/GSFC, 1974. 371 p.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 491-496, 2010.

SANTOS JÚNIOR, R. F.; SANTOS, J. M.; RUDORFF, B. F. T.; MARCHIORATO, I. A. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. **Fitopatologia Brasileira**. v.27, n.4, p.355-360, 2002.

SARTORATO, A. & RAVA, C.A. Influência da cultivar e do número de inoculações na severidade da mancha angular (*Isariopsis griseola*) e nas perdas na produção do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*). **Fitopatologia Brasileira**, v.17, p.247-251,1992.

SCHEPERS, J.S.; BLACKMER, T.M.; WILHELM, W.W.; RESENDE, M. Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. **Journal of Plant Physiology**, v. 148, p. 523-529, 1996.

SILVA, A.J.; CANTERI, M.G.; SANTIAGO, D.C.; HIKISHIMA, M.; SILVA, A.L. A reflectância na estimativa do efeito de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Summa Phytopathologica**, v.35, n.1, p.53-56, 2009.

SILVA JÚNIOR, M. C.; PINTO, F. A. C; QUEIROZ, D. M.; SENA JÚNIOR, D. G. ABRAHÃO, S. A. Utilização de imagens multiespectrais para detectar diferentes níveis nutricionais na forrageira *Brachiaria decumbens*. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 401-406.

SILVEIRA, P.M.; BRAZ, A.J.B.P.; DIDONET, A.D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n.9, p.1083-1087, 2003.

SIMÕES, M.S.; ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. Variáveis espectrais e Indicadores de Desenvolvimento e Produtividade da cana-de-Açúcar. **Sci. agric.** v. 62, 2005.

SINCLAIR, W.A.; WHITLOW, T.H.; GRIFFITHS, H.M. Heritable tolerance of ash yellows phytoplasmas in green ash. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, p.1928-1935, 1997.

SOUSA JÚNIOR, J.G. **Sensoriamento remoto e informações geográficas na caracterização de solos e quantificação de seus atributos**.2005. 141 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2005.

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

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. Departamento de Engenharia Agrícola. **Estação Climatológica Principal de Viçosa**. Boletim meteorológico do período de maio a agosto de 2009 e março a agosto de 2010. Viçosa, 2011.

VALE, F.X.R.; COSTA, H.; ZAMBOLIM, L. Feijão comum: doenças da parte aérea causada por fungos. In: VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. v.1, p.341-350.

VARGAS, I.C. **A agricultura de precisão**. Disponível em: <[www.webrural.com.br/webrural/artigos/tecnologia/ap/ap.htm](http://www.webrural.com.br/webrural/artigos/tecnologia/ap/ap.htm)>. Acesso em: 17 nov. 2011.

VIEIRA, R.F. Ganhos de produtividade com aplicações de fungicidas em feijões com diferentes graus de resistência a doenças. **Revista Ceres**, v. 51, p. 355- 366, 2004.

VIEIRA, C.; VIEIRA, R.F. Épocas de plantio do feijão e proposta de nomenclatura para designá-las. **Revista Ceres**, v. 42, n. 244, p. 685-688, 1995.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. **Feijão**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006.

VIGANÓ, H. A.; BORGES, E. F.; FRANCA-ROCHA, W. J. S. Análise do desempenho dos Índices de Vegetação NDVI e SAVI a partir de imagem Aster. IN: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011 p. 1828.

WELLES, J.M.; NORMAN, J.M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**,v. 83, p. 818-825, 1991.

## ANEXOS

### Anexo A

#### Rotina do recorte das Imagens – com calibração

```
clear

% Caminho
m=[abs('c:\testecal\')];

for b=1:4 %bloco
for r=1:6 %tratamento
m1=[m abs('c_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))
abs('.jpg')];
nome=setstr(m1);
    rgb=imread(nome);
m1=[m abs('i_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))
abs('.jpg')];
nome=setstr(m1);
    ivv=imread(nome);
    iv=ivv(:,:,1);
    clear ivv;

% Coletando amostras RGB
imshow(rgb)
    preto=double(imcrop(rgb))./255;
    escuro=double(imcrop(rgb))./255;
    claro=double(imcrop(rgb))./255;
    branco=double(imcrop(rgb))./255;

    rgb=double(imcrop(rgb))./255;

    m1=[m abs('pc_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))];
nome=setstr(m1);
    save(nome, 'preto', 'escuro', 'claro', 'branco');

    clear pretoescuroclarobranco;

% Vetor de pixel para o infra-vermelho
imshow(iv)
    preto=double(imcrop(iv))./255;
    escuro=double(imcrop(iv))./255;
    claro=double(imcrop(iv))./255;
    branco=double(imcrop(iv))./255;

    iv=double(imcrop(iv))./255;

    m1=[m abs('pi_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))];
nome=setstr(m1);
    save(nome, 'preto', 'escuro', 'claro', 'branco');

m1=[m abs('par_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))];
nome=setstr(m1);
    save(nome, 'rgb', 'iv');

end
end
```

## Anexo B

### Rotina do recorte das Imagens – sem calibração

```
clear

% Caminho
m=[abs('c:\teste_semcal\')];

for b=1:4 %bloco
for r=1:6 %tratamento
m1=[m abs('c_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))
abs('.jpg')];
nome=setstr(m1);
    rgb=imread(nome);
m1=[m abs('i_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))
abs('.jpg')];
nome=setstr(m1);
ivv=imread(nome);
    iv=ivv(:,:,1);
    clear ivv;

% Coletando amostras RGB
imshow(rgb)

rgb=double(imcrop(rgb))./255;

    m1=[m abs('pc_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))];
nome=setstr(m1);
    save(nome);

% Vetor de pixel para o infra-vermelho
imshow(iv)

    iv=double(imcrop(iv))./255;

    m1=[m abs('pi_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))];
nome=setstr(m1);
    save(nome);

m1=[m abs('par_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))];
nome=setstr(m1);
    save(nome, 'rgb', 'iv');

end
end
```

## Anexo C

### Rotina da Análise de Regressão das Imagens calibradas

```
clear
% Carregar a imagem
%rgb=imread ('testeRGB_muito.jpg')

% Caminho
mm=[abs('c:\testecal\')];

%-----
%valor de reflectância das placas
Rr=[0.0329;0.0889;0.4166;0.6573];
Rg=[0.0403;0.1027;0.428;0.6738];
Rb=[0.0449;0.1125;0.4146;0.6519];
Riv=[0.0147;0.067;0.3737;0.6070];

for b=1:4 %bloco
for r=1:6 %repeticao

% Coletando amostras RGB
m1=[mm abs('pc_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))
abs('.mat')];
nome=setstr(m1);
load(nome);

% Vetor de pixel para o rgb - Pegando a média de cada banda para
cada
% placa
vpr=[];vpg=[];vpb=[];vpiv=[];
%preto - tira valores saturados
%
[m,n]=size(preto(:,:,1));
cr=0;sr=0;cg=0;sg=0;cb=0;sb=0;
for i=1:m
for j=1:n
if and(preto(i,j,1)~=1,preto(i,j,1)~=0)
cr=cr+1;
sr=sr+preto(i,j,1);
end
if and(preto(i,j,2)~=1,preto(i,j,2)~=0)
cg=cg+1;
sg=sg+preto(i,j,2);
end
if and(preto(i,j,3)~=1,preto(i,j,3)~=0)
cb=cb+1;
sb=sb+preto(i,j,3);
end
end
end
vpr=[vpr sr/cr]; vpg=[vpg sg/cg]; vpb=[vpb sb/cb];
%
%escuro - tira valores saturados
[m,n]=size(escuro(:,:,1));
cr=0;sr=0;cg=0;sg=0;cb=0;sb=0;
```

```

for i=1:m
for j=1:n
if and(escuro(i,j,1)~=1,escuro(i,j,1)~=0)
    cr=cr+1;
    sr=sr+escuro(i,j,1);
end
if and(escuro(i,j,2)~=1,escuro(i,j,2)~=0)
    cg=cg+1;
    sg=sg+escuro(i,j,2);
end
if and(escuro(i,j,3)~=1,escuro(i,j,3)~=0)
    cb=cb+1;
    sb=sb+escuro(i,j,3);
end
end
end
vpr=[vpr sr/cr]; vpg=[vpg sg/cg]; vpb=[vpb sb/cb];

%claro - tira valores saturados
[m,n]=size(claro(:, :, 1));
cr=0;sr=0;cg=0;sg=0;cb=0;sb=0;
for i=1:m
for j=1:n
if and(claro(i,j,1)~=1,claro(i,j,1)~=0)
    cr=cr+1;
    sr=sr+claro(i,j,1);
end
if and(claro(i,j,2)~=1,claro(i,j,2)~=0)
    cg=cg+1;
    sg=sg+claro(i,j,2);
end
if and(claro(i,j,3)~=1,claro(i,j,3)~=0)
    cb=cb+1;
    sb=sb+claro(i,j,3);
end
end
end
vpr=[vpr sr/cr]; vpg=[vpg sg/cg]; vpb=[vpb sb/cb];

%branco - tira valores saturados
[m,n]=size(branco(:, :, 1));
cr=0;sr=0;cg=0;sg=0;cb=0;sb=0;
for i=1:m
for j=1:n
if and(branco(i,j,1)~=1,branco(i,j,1)~=0)
    cr=cr+1;
    sr=sr+branco(i,j,1);
end
if and(branco(i,j,2)~=1,branco(i,j,2)~=0)
    cg=cg+1;
    sg=sg+branco(i,j,2);
end
if and(branco(i,j,3)~=1,branco(i,j,3)~=0)
    cb=cb+1;
    sb=sb+branco(i,j,3);
end
end
end
vpr=[vpr sr/cr]; vpg=[vpg sg/cg]; vpb=[vpb sb/cb];

```

```

vpr=vpr';vpg=vpg';vpb=vpb';

clear pretoescuroclarobranco;

% Vetor de pixel para o infra-vermelho
m1=[mm abs('pi_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))
abs('.mat')];
nome=setstr(m1);
        load(nome);

%preto - tira valores saturados iv
%
[m,n]=size(preto);
cr=0;sr=0;cg=0;sg=0;cb=0;sb=0;
for i=1:m
for j=1:n
if and(preto(i,j)~=1,preto(i,j)~=0)
        cg=cg+1;
        sg=sg+preto(i,j);
end
end
end
vpiv=[vpiv sg/cg];
%
%escuro - tira valores saturados
[m,n]=size(escuro);
cr=0;sr=0;cg=0;sg=0;cb=0;sb=0;
for i=1:m
for j=1:n
if and(escuro(i,j)~=1,escuro(i,j)~=0)
        cg=cg+1;
        sg=sg+escuro(i,j);
end
end
end
vpiv=[vpiv sg/cg];

%claro - tira valores saturados
[m,n]=size(claro);
cr=0;sr=0;cg=0;sg=0;cb=0;sb=0;
for i=1:m
for j=1:n
if and(claro(i,j)~=1,claro(i,j)~=0)
        cg=cg+1;
        sg=sg+claro(i,j);
end
end
end
vpiv=[vpiv sg/cg];

%branco - tira valores saturados
[m,n]=size(branco);
cr=0;sr=0;cg=0;sg=0;cb=0;sb=0;
for i=1:m
for j=1:n

```

```

if and(branco(i,j)~=1,branco(i,j)~=0)
    cg=cg+1;
    sg=sg+branco(i,j);
end
end
end
vpiv=[vpiv sg/cg];

vpiv=vpiv'

    px=[vpr vpg vpb vpiv]

% Regressao entre reflectancia e valor de pixel em cada banda e IV

% Coeficientes da regressao colorida
cfr=polyfit(vpr(1:3),Rr(1:3),1);
    br=cfr(1);
ar=cfr(2);

% Coeficientes da regressão da banda g
cfg=polyfit(vpg(1:3),Rg(1:3),1);
    bg=cfg(1);
ag=cfg(2);

% Coeficientes da regressão da banda b
cfb=polyfit(vpb(1:3),Rb(1:3),1);
    bb=cfb(1);
ab=cfb(2);

% Coeficientes da regressão da banda iv
cfiv=polyfit(vpiv(1:3),Riv(1:3),1);
    biv=cfiv(1);
aiv=cfiv(2);

% Convertendo valores de pixel em valores de reflectancia
m1=[mm abs('par_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))];
nome=setstr(m1);
    load (nome);

    refrpr=br.*rgb(:,:,1)+ar;
%refr=refr-(min(min(refr)));
    refpg=bg.*rgb(:,:,2)+ag;
%refg=refg-(min(min(refg)));
refpb=bb.*rgb(:,:,3)+ab;
%refb=refb-(min(min(refb)));
refpiv=biv.*iv+aiv;
%refiv=refiv-(min(min(refiv)));

% teste de ruido (reflectancia negativa)
tr=refpr<0;
ruidor = sum(tr(:))>(0.5*size(refpr,1)*size(refpr,2));
prp=sum(tr(:))/(size(refpr,1)*size(refpr,2));
%
tg=refpg<0;
ruidog = sum(tg(:))>(0.5*size(refpg,1)*size(refpg,2));
prg=sum(tg(:))/(size(refpg,1)*size(refpg,2));

```

```

        tb=refpb<0;
        ruidob = sum(tb(:))>(0.5*size(refpb,1)*size(refpb,2));
        prb=sum(tb(:))/(size(refpb,1)*size(refpb,2));

    tiv=refpiv<0;
        ruidoiiv = sum(tiv(:))>(0.5*size(refpiv,1)*size(refpiv,2));
        priv=sum(tiv(:))/(size(refpiv,1)*size(refpiv,2));

    %
        clear trtgtbtiv;

    % Salva imagens reflectancia
        m1=[mm abs('p_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))];
    if not(or(ruidor,or(ruidog,ruidoiiv)))

        save(setstr(m1),'px','ruidor','ruidog','ruidob','ruidoiiv','ar','br',
            'ag','bg','ab','bb','aiv','biv','refpr','refpg','refpiv','prr','prg',
            'prb','priv');

    else
        mens='parcela perdida :('

        save(setstr(m1),'px','ruidor','ruidog','ruidob','ruidoiiv','ar','br',
            'ag','bg','ab','bb','aiv','biv','prr','prg','prb','priv');
    end

end
end

```

## Anexo D

### Rotina do cálculo dos índices das Imagens calibradas

```
clear
% Caminho
md=[abs('c:\testecal\')];
final=zeros(24,11);
linha=0;
for b=1:4 %bloco
for r=1:6 %repeticao
    linha=linha+1;
m1=[md abs('p_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))
abs('.mat')];
nome=setstr(m1)
    load(nome);

if not(or(ruidor,or(ruidog,ruidoiv)))
% tira os valores saturados das imagens de reflectância
    [m,n]=size(refpr);
    cr=0;sr=0;
for i=1:m
for j=1:n
if refpr(i,j)>=0
                cr=cr+1;
                sr=sr+refpr(i,j);
end
end
end
    R=sr/cr;

    [m,n]=size(refpg);
    cg=0;sg=0;
for i=1:m
for j=1:n
if refpg(i,j)>=0
                cg=cg+1;
                sg=sg+refpg(i,j);
end
end
end
    G=sg/cg;

    [m,n]=size(refpiv);
    civ=0;siv=0;
for i=1:m
for j=1:n
if refpiv(i,j)>=0
    civ=civ+1;
                siv=siv+refpiv(i,j);
end
end
end
    NIR=siv/civ;

final(linha,:)= [b r G R NIR (NIR-R)/(NIR+R) (NIR-G)/(NIR+G)
1.5*(NIR-R)/(NIR+R+0.5) 1.16*(NIR-R)/(NIR+R+0.16) 1.2*(2.5*(NIR-R)-
1.3*(NIR-G)) (1.5*(2.5*(NIR-R)-1.3*(NIR-G)))/(sqrt(((2*NIR+1)^2)-
(6*NIR-5*sqrt(R))-0.5))]
```

```
else
final(linha,:)= [b r 0/0 0/0 0/0 0/0 0/0 0/0 0/0 0/0 0/0]
end
end
end

m1=[md abs('indice_')];
nome=setstr(m1);
save(nome, 'final');
```

## Anexo E

### Rotina do cálculo dos índices das Imagens – sem calibrar

```
clear
%índices sem calibração
% Caminho
md=[abs('c:\teste_exp\2009\11agosto\')];
final=zeros(18,11);
linha=0;
for b=1:4 %bloco
for r=1:13 %tratamentos
    linha=linha+1;
m1=[md abs('p_') abs(int2str(b)) abs('_') abs(int2str(r))
abs('.mat')];
nome=setstr(m1)
    load(nome);

if not(or(ruidor,or(ruidog,ruidoiv)))

%separando cada banda

    [m,n]=size(rgbr);

        cr=0;sr=0;
for i=1:m
for j=1:n
if rgbr(i,j)>=0
                                cr=cr+1;
sr=sr+rgbr(i,j);
end
end
end
        R=sr/cr;

        [m,n]=size(rgbg);
        cg=0;sg=0;
for i=1:m
for j=1:n
if rgbg(i,j)>=0
                                cg=cg+1;
                                sg=sg+rgbg(i,j);
end
end
end
        G=sg/cg;

        [m,n]=size(iv);
        civ=0;siv=0;
for i=1:m
for j=1:n
if iv(i,j)>=0
        civ=civ+1;
                                siv=siv+iv(i,j);
end
end
end
        NIR=siv/civ;
```

```
final(linha,:)=[b r G R NIR (NIR-R)/(NIR+R) (NIR-G)/(NIR+G)
1.5*(NIR-R)/(NIR+R+0.5) 1.16*(NIR-R)/(NIR+R+0.16) 1.2*(2.5*(NIR-R)-
1.3*(NIR-G)) (1.5*(2.5*(NIR-R)-1.3*(NIR-G)))/(sqrt(((2*NIR+1)^2)-
(6*NIR-5*sqrt(R))-0.5))]
```

```
end
end
end
```

```
m1=[md abs('indice_')];
nome=setstr(m1);
save(nome, 'final');
```

## Anexo F

### Componentes de Rendimento – Experimento 1

Tratamento	Bloco	Estande	Sever. MB (1-9)	Rendimento		Média Rend
				g/parcela	kg/ha	
0	1	28	3,5	508,9	1454,0	1460,1
0	2	39	1	685,8	1959,4	
0	3	31	3	408,8	1168,0	
0	4	35	2,5	440,6	1258,9	
1	1	35	2,5	760,9	2174,0	2100,0
1	2	38	1	724,4	2069,7	
1	3	39	2,5	634,4	1812,6	
1	4	47	2	820,3	2343,7	
2	1	37	2,5	745,7	2130,6	2195,7
2	2	38	1	681,3	1946,6	
2	3	39	1	792,3	2263,7	
2	4	39	1	854,7	2442,0	
3	1	41	1	927,8	2650,9	2104,3
3	2	31	1	574,9	1642,6	
3	3	41	1	870,9	2488,3	
3	4	38	1	572,4	1635,4	
4	1	37	1	718,1	2051,7	1793,7
4	2	31	1	596,0	1702,9	
4	3	27	1	578,8	1653,7	
4	4	33	1	618,3	1766,6	

## Anexo G

### Componentes de Rendimento – Experimento 2

Tratamento	Bloco	N.PLANTAS	N.VAGENS	N.GRAOS	NVP	NGV	MCG	MGu	MG <sub>13%</sub>	P <sub>13%</sub>	UMIDADE	Ui
0	1	101	766	2563	7,58416	3,34595	21,29276	720,73	712,446	2261,733	14,00	0,14
0	2	94	927	4174	9,8617	4,5027	20,56423	946,34	925,945	2939,507	14,88	0,14875
0	3	97	718	2836	7,40206	3,94986	16,92408	678,42	668,478	2122,151	14,28	0,14275
0	4	91	883	3854	9,7033	4,36467	20,03959	896,56	874,661	2776,702	15,13	0,15125
0	5	96	899	4086	9,36458	4,54505	20,64202	957,73	938,19	2978,381	14,78	0,14775
0	6	88	746	3296	8,47727	4,41823	16,50629	741,43	729,286	2315,193	14,43	0,14425
1	1	86	904	3770	10,5116	4,17035	20,21907	858	843,207	2676,847	14,50	0,145
1	2	98	1012	4448	10,3265	4,39526	22,42637	1008	985,697	3129,195	14,93	0,14925
1	3	94	1094	3394	11,6383	3,10238	26,6578	845,49	827,025	2625,477	14,90	0,149
1	4	88	801	3531	9,10227	4,40824	22,04814	992,76	971,935	3085,507	14,83	0,14825
1	5	85	493	1652	5,8	3,35091	11,49056	390,31	385,039	1222,345	14,18	0,14175
1	6	100	1018	4483	10,18	4,40373	23,17891	1041,08	1020,74	3240,435	14,70	0,147
2	1	97	942	4166	9,71134	4,42251	20,48179	921,43	905,808	2875,581	14,48	0,14475
2	2	89	614	2245	6,89888	3,65635	14,37622	535,65	525,645	1668,714	14,63	0,14625
2	3	97	1094	4244	11,2784	3,87934	28,0026	1111,55	1086,32	3448,624	14,98	0,14975
2	4	97	860	3336	8,86598	3,87907	17,28546	684,48	670,515	2128,619	14,78	0,14775
2	5	98	938	4115	9,57143	4,38699	21,02464	939,63	922,349	2928,093	14,60	0,146
2	6	100	963	4134	9,63	4,29283	21,31948	934,82	915,21	2905,429	14,83	0,14825
3	1	93	767	2973	8,24731	3,87614	17,45362	689	676,527	2147,704	14,58	0,14575
3	2	94	921	4060	9,79787	4,40825	19,50161	873,23	859,68	2729,142	14,35	0,1435
3	3	96	976	3997	10,1667	4,09529	21,43423	890,07	877,793	2786,645	14,20	0,142
3	4	91	970	3940	10,6593	4,06186	7,738845	320,23	314,341	997,907	14,60	0,146
3	5	93	942	4217	10,129	4,47665	20,39151	934,06	912,856	2897,955	14,98	0,14975
3	6	92	928	3747	10,087	4,03772	21,30192	880,09	860,111	2730,511	14,98	0,14975

## Anexo H

### Componentes de Rendimento – Experimento 3

Tratamento	Bloco	N.PLANTAS	N.VAGENS	N.GRÃOS	NVP	NGV	MCG	MG13%	P13%	Ui
0	1	126	894	4999	7.09524	5.59172	19.35381	1082.21	1803.686	0.18
1	1	84	815	4504	9.70238	5.52638	19.83226	1096.01	1826.677	0.160333
2	1	72	1004	5933	13.9444	5.90936	25.26323	1492.9	2488.159	0.159667
0	2	108	1017	5472	9.41667	5.38053	22.90622	1232.48	2054.127	0.160333
1	2	107	1166	6814	10.8972	5.84391	28.24346	1650.52	2750.871	0.157333
2	2	106	1191	6062	11.2358	5.08984	27.99081	1424.69	2374.480	0.157333
0	3	95	995	6094	10.4737	6.12462	23.87813	1462.45	2437.409	0.174333
1	3	99	1189	6993	12.0101	5.88141	29.58434	1739.98	2899.962	0.159333
2	3	105	1130	5736	10.7619	5.07611	29.89247	1517.37	2528.956	0.155667
0	4	98	1194	6848	12.1837	5.73534	27.83438	1596.4	2660.662	0.159333
1	4	80	947	5699	11.8375	6.01795	23.02777	1385.8	2309.667	0.155
2	4	91	1119	6001	12.2967	5.36282	18.34375	983.743	1639.572	0.183
0	5	88	1055	6321	11.9886	5.99147	24.1773	1448.58	2414.293	0.156
1	5	117	991	5407	8.47009	5.4561	24.49401	1336.42	2227.365	0.161667
2	5	74	979	5707	13.2297	5.82942	24.20361	1410.93	2351.549	0.160333
0	6	92	814	4272	8.84783	5.24816	19.04681	999.606	1666.011	0.156
1	6	89	926	4921	10.4045	5.31425	23.33769	1240.22	2067.041	0.151667
2	6	87	1139	6853	13.092	6.01668	28.95476	1742.12	2903.526	0.162167

## Anexo I

### Componentes de Rendimento – Experimento 4

Tratamento	Bloco	N.PLANTAS	N.VAGENS	N.GRAOS	NVP	NGV	MCG	MGu	MG <sub>13%</sub>	P <sub>13%</sub>	UMIDADE	Ui
0	1	152	1120	6048	7,36842	5,4	26,45692	1512,1	1428,67	2381,123	17,80	0,178
1	1	151	1144	6141	7,57616	5,36801	26,68465	1505,7	1432,43	2387,390	17,23	0,172333
2	1	146	1160	6119	7,94521	5,275	26,25713	1489,5	1385,06	2308,440	19,10	0,191
0	2	127	1206	9372	9,49606	7,77114	19,25208	1570,1	1496,11	2493,511	17,10	0,171
1	2	157	1257	5644	8,00637	4,49006	34,61742	1637,8	1554,34	2590,569	17,43	0,174333
2	2	139	1099	5811	7,90647	5,28753	26,50107	1433,1	1401,25	2335,422	14,93	0,149333
0	3	149	1069	5716	7,1745	5,34705	23,80822	1367,9	1273,04	2121,730	19,03	0,190333
1	3	151	1098	5692	7,27152	5,18397	27,77994	1532,9	1440,1	2400,173	18,27	0,182667
2	3	168	1338	7149	7,96429	5,34305	31,77168	1760,3	1697,58	2829,294	16,10	0,161
0	4	151	1136	5601	7,52318	4,93046	28,25336	1436,5	1393,02	2321,700	15,63	0,156333
1	4	153	1189	6502	7,77124	5,46846	27,59838	1589,6	1509,21	2515,344	17,40	0,174
2	4	150	1065	5663	7,1	5,31737	24,63105	1356,5	1309,72	2182,874	16,00	0,16
0	5	165	1160	5276	7,0303	4,54828	29,83168	1413,7	1356,83	2261,378	16,50	0,165
1	5	152	1200	6488	7,89474	5,40667	29,01142	1627,8	1568,55	2614,251	16,17	0,161667
2	5	154	1108	5994	7,19481	5,40975	26,44613	1524,1	1430,67	2384,448	18,33	0,183333
0	6	156	1152	6267	7,38462	5,4401	26,43665	1481,9	1438,18	2396,969	15,57	0,155667
1	6	136	970	5374	7,13235	5,54021	24,03952	1425,8	1331,84	2219,732	18,73	0,187333
2	6	151	1127	6286	7,46358	5,57764	27,12786	1602,1	1513,09	2521,824	17,83	0,178333

## Anexo J

### Rotina de Correlação entre os Índices de Vegetação e Severidade

```

OPTION NONUMBER NODATE;
TITLE LORENA;
DATA CORRELACAO; INPUT NDVI    GNDVI    SAVI  OSAVI    MCARI1    MCARI2    Severidade; CARDS;

0.0356    0.0146    0.0328    0.0344    0.1037    0.0698    1
0.0836    0.0302    0.0756    0.0801    0.1528    0.1051    1
0.0508    0.0042    0.0463    0.0489    0.1129    0.0767    1
0.0108    0.0455    0.0096    0.0103    0.0776    0.0535    1
0.0477    0.0543    0.03347   0.04056   0.02027   0.1423    2.5
0.0611    0.0196    0.0554    0.0586    0.1159    0.0792    2.5
0.0451    0.0997    0.0401    0.0429    0.0218    0.0148    1
0.0194    0.0286    0.0173    0.0185    0.0767    0.0528    2.5
0.0328    0.0193    0.0287    0.031    0.0914    0.0637    2
0.4596    0.0527    0.03087   0.03822   0.01782   0.1276    2.5
0.0951    0.0413    0.0867    0.0914    0.1686    0.1154    1
0.0369    0.0214    0.0341    0.0357    0.1169    0.0785    1
0.0201    0.0391    0.0191    0.0197    0.1079    0.0707    1
0.0961    0.01221   0.0813    0.0894    0.0597    0.0415    1
0.0145    0.0619    0.0128    0.0138    0.0418    0.0287    1
0.0822    0.01273   0.0711    0.0772    0.0257    0.0177    3
0.0325    0.0894    0.0287    0.0308    0.0362    0.0248    2.5

;
PROC CORR DATA=CORRELACAO spearman;
var NDVI    GNDVI    SAVI  OSAVI    MCARI1    MCARI2    Severidade;
run;

```

## Anexo K

### Rotina de Correlação entre os Índices de Vegetação e Produtividade

```
OPTION NONUMBER NODATE;
TITLE LORENA;
DATA CORRELACAO; INPUT NDVI    GNDVI    SAVI  OSAVI    MCARI1    MCARI2    Produtividade CARDS;

0.0799    0.0218    0.0735    0.0771    0.1614    0.1095    2632,89
0.0356    0.0146    0.0328    0.0344    0.1037    0.0698    2456,94
0.02014   0.2568    0.01697   0.1869    0.1112    0.0759    1983,98
0.0436    0.0082    0.0391    0.0416    0.1068    0.0735    2198,34
0.0836    0.0302    0.0756    0.0801    0.1528    0.1051    1998,65
0.0828    0.0323    0.0773    0.0804    0.1615    0.1082    2234,83
0.1499    0.01032   0.1297    0.1408    0.1921    0.1381    2187,43
0.0508    0.0042    0.0463    0.0489    0.1129    0.0767    2229,22
0.0108    0.0455    0.0096    0.0103    0.0776    0.0535    2323,99

;
PROC CORR DATA=CORRELACAO pearson;
var NDVI    GNDVI    SAVI  OSAVI    MCARI1    MCARI2    Produtividade;
run;
```

## Anexo L

### Análises de Variância dos quatro Experimentos

Análise de variância para o índice de severidade do mofo branco do feijoeiro –  
Experimento 1

	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	3,1375	1,04583	3,5352	0,0484
<b>Trat.</b>	<b>4</b>	6,9500	1,7375	5,8732	0,0074
<b>Resíduo</b>	<b>12</b>	3,5500	0,2958		
<b>Total</b>	<b>19</b>	19,2500			

Análise de variância para o índice de severidade do mofo branco do feijoeiro –  
Experimento 2

	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	16,7317	5,5772	0,6110	0,6184
<b>Trat.</b>	<b>5</b>	97,7864	19,5572	2,1420	0,1163
<b>Resíduo</b>	<b>15</b>	136,9791	9,1319		
<b>Total</b>	<b>23</b>	251,4973			

Análise de variância para a severidade da mancha-angular do feijoeiro –  
Experimento 3

	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloco</b>	<b>5</b>	4,9444	0,9888	3,0690	0,0618
<b>Trat.</b>	<b>2</b>	16,7777	8,3888	26,0340	0,0001
<b>Resíduo</b>	<b>10</b>	3,2222	0,3222		
<b>Total</b>	<b>17</b>	24,9444			

Análise de variância para a severidade da mancha-angular do feijoeiro –  
Experimento 4

	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloco</b>	<b>5</b>	1,3333	0,2666	0,7270	0,6187
<b>Trat.</b>	<b>2</b>	7,0000	3,5000	9,5450	0,0048
<b>Resíduo</b>	<b>10</b>	3,6666	0,3666		
<b>Total</b>	<b>17</b>	12,0000			

Análise de variância para a produtividade do feijoeiro – Experimento 1

	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	905957,9423	301985,9807	3,7270	0,0197
<b>Trat.</b>	<b>12</b>	1467001,4392	122250,1199	1,5090	0,1663
<b>Resíduo</b>	<b>36</b>	2917227,0976	81034,0860		
<b>Total</b>	<b>51</b>	5290186,4790			

Análise de variância para a produtividade do feijoeiro – Experimento 2

	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloco</b>	<b>3</b>	312776,7494	104258,9164	0,2110	0,8875
<b>Trat.</b>	<b>5</b>	797970,4895	159594,0979	0,3230	0,8916
<b>Resíduo</b>	<b>15</b>	7422898,1720	494859,8781		
<b>Total</b>	<b>23</b>	8533645,4110			

Análise de variância para a produtividade do feijoeiro – Experimento 3

	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloco</b>	<b>5</b>	594945,3832	118989,0766	0,6370	0,6773
<b>Trat.</b>	<b>2</b>	149852,1491	74926,0747	0,4010	0,6801
<b>Resíduo</b>	<b>10</b>	1869294,1975	186929,4197		
<b>Total</b>	<b>17</b>	2614091,299			

Análise de variância para a produtividade do feijoeiro – Experimento 4

	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Bloco</b>	<b>5</b>	40525,8091	8105,1618	0,1990	0,9554
<b>Trat.</b>	<b>2</b>	50378,8010	25189,4005	0,6200	0,5574
<b>Resíduo</b>	<b>10</b>	406312,4095	40631,2409		
<b>Total</b>	<b>17</b>	497217,0196			