



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ROGER NABEYAMA MICHELS

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
E DE IMAGENS DIGITAIS NO ESTUDO DE DOENÇAS DE
PLANTAS**

ROGER NABEYAMA MICHELS

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
E DE IMAGENS DIGITAIS NO ESTUDO DE DOENÇAS DE
PLANTAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Fitossanidade/Fitopatologia.

Orientador: Dr. Marcelo Giovanetti Canteri.
Coorientador: Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva.

Londrina
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Sandra Gomes de Oliveira Reis – CRB 9/1287)

M623í Michels, Roger Nabeyama
Índice de vegetação por diferença normalizada e de imagens digitais no estudo de doenças de plantas / Roger Nabeyama Michels - Londrina: [s.n.], 2014.
XV, 69 f.: il. color; 30 cm

Orientador: Prof Dr Marcelo Giovanetti Canteri
Coorientador: Prof Dr Marcelo Giovanetti Canteri
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Londrina, 2014.
Bibliografia: f. 61-69

1. *Glycine max.* 2. *P. pachyrhizi.* 3. Radiômetro. 4. Tamanho de parcela. I. Canteri, Marcelo Giovanetti. II. Silva, Marcelo Augusto de Aguiar e. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 632

ROGER NABEYAMA MICHELS

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA E DE
IMAGENS DIGITAIS NO ESTUDO DE DOENÇAS DE PLANTAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Fitossanidade / Fitopatologia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Dauri José Tessmann
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Prof. Dr. Ciro Hideki Sumida
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^a. Dr^a. Debora Cristina Santiago
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof^a. Dr^a. Inês Cristina de Batista Fonseca
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 08 de dezembro de 2014.

Dedico este trabalho a minha esposa Tatiane Cristina Dal Bosco, aos meus pais Rosalina Kazuko Nabeyama e José Beno Michels, por serem as pessoas mais importantes em minha vida e aos meus afilhados Athael, Cecília, Isabela e Lorenzo pelas alegrias que sempre proporcionam.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus pela força espiritual, tão essencial para enfrentar todos os obstáculos.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Marcelo Giovanetti Canteri, pela oportunidade do ingresso no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela orientação e confiança em meu trabalho. Registro aqui minha admiração por este professor, em especial pela facilidade na resolução de problemas e nele me inspiro para que, no futuro, possa ser um orientador igualmente competente.

Agradeço ao meu Coorientador, Professor Doutor Marcelo Augusto Aguiar e Silva, o primeiro docente a me receber no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, apostando em um discente com formação muito diferente da habitual. Obrigado pela oportunidade, pela confiança e pelas atitudes motivadoras ao longo deste período de convivência.

Agradeço à Professora Doutora Inês Cristina de Batista Fonseca, por toda a orientação relacionada à estatística, me atendendo sempre com muita paciência e cordialidade.

Ao Professor Doutor Mauricio Ursi Ventura pela colaboração enquanto banca avaliadora da qualificação, com as valiosas sugestões para o desenvolvimento desta tese.

Aos professores doutores Ciro Hideki Sumida, Dauri José Tessmann e Debora Cristina Santiago por aceitarem participar da banca avaliadora e contribuir com ricas sugestões.

Aos professores que tive a honra de ser aluno em suas respectivas disciplinas e que nunca pouparam esforços para transpor seus conhecimentos e experiências, os Professores Doutores: Edison Miglioranza, Luzia Doretto Paccola-Meirelles, Maria Isabel Balbi Peña e Pedro Manuel Oliveira Janeiro Neves.

Ao técnico de laboratório, José Aparecido Rocha, pela importante contribuição na condução dos experimentos em campo. Sem sua ajuda tudo seria muito mais difícil. Registro minha admiração pelo enorme coração que tens e meu

agradecimento pela amizade.

À senhora Weda Aparecida Westin que sempre esteve pronta a sanar minhas dúvidas sobre o Programa de Pós Graduação em Agronomia e sempre me atende com muita cordialidade.

Ao colega de trabalho e amigo pessoal, Professor Doutor Janksyn Bertozzi por toda a força, seja ela braçal, intelectual ou motivacional.

Ao Professor Doutor Carlos Alberto Paulinetti da Câmara que, com genialidade e humildade, desenvolveu o *software* utilizado neste trabalho e que, com certeza, resultará em muitos frutos.

Ao professor Doutor José Alexandre França e ao Doutor Dari de Oliveira Toginho Filho pela ampla contribuição na fase inicial do projeto.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Apucarana e Campus Londrina por apoiarem meus estudos e permitirem que eu os desenvolvesse paralelamente às minhas atividades profissionais.

Um agradecimento especial à minha esposa, professora Doutora Tatiane Cristina Dal Bosco, por ser um exemplo de profissional, por sempre me passar confiança e por ser um porto seguro em minha vida.

Por fim, destaco que raro é o trabalho de pesquisa que consegue ser desenvolvido de forma solitária. Por isso, quero agradecer a todos que contribuíram para o desenvolvimento do meu doutoramento, em especial aos meus amigos e familiares que, de maneira não científica, mas sim com apoio motivacional e emocional, são fundamentais neste momento da minha vida tão tumultuado, repleto de desafios e preocupações.

Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe.

Leonardo da Vinci

MICHELS, Roger Nabeyama. **Índice de vegetação por diferença normalizada e de imagens digitais no estudo de doenças de plantas**. 2014. 69 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

RESUMO

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e imagens digitais podem ser utilizados como ferramentas no estudo de doenças de plantas, seja para a quantificação da doença ou no auxílio para a tomada de decisão do melhor momento para a aplicação de defensivos. O GreenSeeker[®] é um equipamento que fornece o NDVI via medidas de refletância, cuja interpretação pode fornecer informações de forma rápida e direcionada sobre as condições nutricionais, estado fisiológico, estresse e rendimento potencial das culturas. Atualmente, câmeras digitais são equipamentos promissores para medição de cobertura foliar em condições de campo por serem portáteis, obtendo imagens com boa resolução, de modo rápido e simples, o que permite uma avaliação em campo, otimizando a tomada de decisões. A manipulação das imagens digitais, por meio de programas editores de imagem, fornece índices que expressam a cor verde da planta. Porém, para estes estudos, é importante verificar o tamanho ótimo de parcela, de modo a se obter ensaios que minimizem os erros experimentais, os quais podem comprometer os resultados. O objetivo desta tese foi avaliar formas de aplicar o NDVI e imagens digitais processadas em *software* no estudo de doenças de plantas, além de estimar o tamanho ótimo de parcelas para o uso do radiômetro. Os experimentos foram conduzidos na Universidade Estadual de Londrina, nas safras de soja de 2012/13 e 2013/14. O gradiente de doença foi gerado por meio da aplicação de fungicida de forma calendarizada, atrasando a aplicação em cada tratamento. O NDVI foi obtido por meio de leituras em triplicata da área útil de cada parcela (4 m lineares em três linhas). A severidade da ferrugem asiática da soja foi avaliada com auxílio de escala diagramática, analisando três trifólios (baixeiro, mediano e superior) em quatro plantas por parcela, em área específica para ensaios destrutivos, com os tratamentos controle (seis aplicações de fungicida) e testemunha (sem aplicação de fungicida). A análise de desfolha foi realizada na bordadura dos tratamentos, analisando as folhas que caíram e as remanescentes em dez plantas por tratamento por semana. As imagens digitais foram obtidas perpendicularmente à planta, utilizando máquina fotográfica digital amadora em três alturas (1,20, 2,00 e 3,00 m), em três pontos por tratamento. A cobertura foliar foi quantificada por meio de processamento das imagens digitais em *software*. O tamanho ótimo de parcela foi obtido a partir de leituras do radiômetro, com comprimento de 1 m em cada linha dos tratamentos, denominada unidade básica e realizando o máximo de combinações possíveis para aplicar o método de curvatura máxima modificada e o método de máxima distância. Conclui-se que o NDVI é um método a ser considerado para tomada de decisão do melhor momento de aplicação de fungicida na cultura da soja para controle da ferrugem asiática. É possível estimar a desfolha em soja provocada pela ferrugem asiática por meio de análise de imagens processadas via *software*. O método de Máxima Distância foi o que possibilitou estimar o tamanho ótimo de parcela, em trabalhos que utilizem NDVI em soja, sendo este de 6,75 m², com agrupamento de três linhas de 5 m.

Palavras-chave: *Glycine max*, *P. pachyrhizi*. Radiômetro. Tamanho de parcela.

MICHELS, Roger Nabeyama. **Normalized difference vegetation index and digital images in the plant diseases study** . 2014. 69 p. Thesis (Doctorate in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

ABSTRACT

The normalized difference vegetation index (NDVI) and digital images can be used as tools in the study of plant diseases, for the quantification of the disease or the assistance to the decision-making of the best moment for the application of pesticides GreenSeeker® is an equipment that provides NDVI track measures reflectance, whose interpretation can provide quickly information and targeted manner on the nutritional and physiological condition, stress and potential crop yields. Nowadays, digital cameras are promising equipments for measuring leaf coverage in the field conditions for being portable, obtaining images with good resolution, so quick and simple, which allows a field evaluation, optimizing decision-making. The manipulation of digital images by means of programs image editors, provides indices that express the green color of the plant. However, for these studies, it is important to check the optimum size of the plot, in order to obtain tests that minimize the experimental errors, which can compromise the results. The objective of this thesis was to evaluate ways to apply NDVI and digital images processed in software in the study of plant diseases in addition to estimate the optimum size of plots for the use of the radiometer. The experiments were carried out at Universidade Estadual de Londrina, the harvests of soy from 2012/13 and 2013/14 The gradient of disease was generated through the application of fungicide scheduled way, delaying the application in each treatment. The NDVI was obtained through readings in triplicate readings the useful area of each plot (4 m linear in three lines). The severity of Asian soybean rust was evaluated using diagrammatic scale, analyzing three sheets (botton, middle and upper) in four plants per plot in specific area for destructive tests, with the control treatment (six applications of fungicide) and control (without application of fungicide) The analysis of defoliation was performed on machine embroidery of treatments, analyzing the leaves that have fallen and the remaining ten plants per treatment per week in treatments surround, Digital images were obtained perpendicular to the plant, using consumer digital camera in three heights (1.20, 2.00 and 3.00 m) in three points per treatment. The leaf cover was measured by digital image processing in software. The optimum size of plot was obtained from readings of the radiometer, with a length of 1 m in each line of the treatments, called basic unit and realizing the maximum possible combinations to apply the method of maximum curvature modified and the method of maximum distance. It follows that NDVI is a method to be considered for decision making on the best moment for fungicide application in the soybean crop for control Asian soybean rust. It is possible to estimate the defoliation in soybean caused by Asian soybean rust through analysis of processed images via software. The method of Maximum Distance allowed estimating the optimum size of plot in studies that use NDVI in soybeans, which was 6,75m² with grouping 3 rows of 5m.

Key words: *Glycine Max. P. pachyrhizi*. Radiometer. Plot size.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 –** Evolução da severidade da doença (%) nas avaliações destrutivas dos tratamentos controle e testemunha no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) nas safras 2012/13 (A) e 2014/13 (B).....34
- Figura 2 –** Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) nos tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja gerado por diferentes números de aplicações de fungicida (6, 5, 4, 3, 2 e 0 pulverizações) no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) na safra 2012/13 e safra 2013/14.35
- Figura 3 –** Massa de 1000 Grãos (g) e produtividade (kg.ha⁻¹) nos tratamentos com diferentes número de aplicações de fungicida (6, 5, 4, 3, 2, 0 pulverizações) das safras 2012/13 (A) e 2013/14 (B).39
- Figura 4 –** Relação polinomial de terceira ordem da massa de 1000 grãos (g) com o número de aplicação do fungicida nas safras 2012/13 e 2013/14..39
- Figura 5 –** Relação polinomial de terceira ordem entre a área abaixo da curva do NDVI e o número de aplicação do fungicida nas safra 2012/13 e 2013/14.40
- Figura 6 –** Imagens digitais nas alturas 1,20 m (A), 2,00 m (B) e 3,00 m (C) e posteriormente processadas em *software* para determinação da cobertura foliar da soja (D, E e F)..46
- Figura 7 –** Comportamento da cobertura foliar obtida por imagens digitais processadas em *software* (A), NDVI (B), número de folhas caídas (C), severidade da doença (D) e número de folhas (E), em relação aos tratamentos com diferentes números de aplicações de fungicida no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência)47
- Figura 8 –** Regressão potencial dos dados de Cobertura Foliar e NDVI.....50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Número e momento de pulverizações realizadas para controle da ferrugem asiática da soja (<i>P. pachyrhizi</i>), nas safras 2012/13 e 2013/14	32
Tabela 2 –	Correlação de Pearson entre a severidade da doença e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) entre os tratamentos e a área destrutiva das safras 2012/13 e 2013/14	34
Tabela 3 –	Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja (6, 5, 4, 3, 2 e 0 pulverizações) no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) da safra 2012/13	35
Tabela 4 –	Severidade de ferrugem asiática da soja para os tratamentos testemunha e controle no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) para a safra 2012/13.	36
Tabela 5 –	Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) nos tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja (6, 5, 4, 3, 2 e 0 pulverizações) no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) da safra 2013/14.	36
Tabela 6 –	Severidade de ferrugem asiática da soja para os tratamentos testemunha e controle no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) para a safra 2013/14.	37
Tabela 7 –	Diferença estatística a 5% de significância nas variáveis: altura de planta (cm), número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos (g) e produtividade (kg.ha ⁻¹) entre os tratamentos com diferentes números de pulverizações de fungicida (6, 5, 4, 3, 2 e 0 pulverizações) para as safras 2012/13 e 2013/14	38
Tabela 8 –	Resultados da correlação de Pearson entre os dados de número de folhas com a cobertura foliar obtida por imagem digitais processadas em <i>software</i> e NDVI em tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja	48

Tabela 9 –	Resultados da correlação de Pearson entre os dados de cobertura foliar obtida por imagens digitais processadas em <i>software</i> com NDVI e severidade da doença em tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja.....	49
Tabela 10 –	Número e momento de pulverizações realizadas nos respectivos tratamentos para controle da ferrugem asiática da soja (<i>P. pachyrhizi</i>) na safra 2013/14 com a intenção de criar um gradiente da doença nas áreas.....	53
Tabela 11 –	Unidades de largura e comprimento, combinação de comprimento e largura (CxL), tamanho da parcela (m ²), tipo de agrupamento (m) e número total de parcelas.	56
Tabela 12 –	Valores das estimativas <i>a</i> e <i>b</i> de Lessman e Atkins, coeficiente angular <i>c</i> e coeficiente linear <i>d</i> da reta y_r , coeficiente angular <i>e</i> da reta y_p e R^2 utilizando o CV para os tratamentos com diferentes números de pulverizações de fungicida.....	57
Tabela 13 –	Valores das estimativas <i>a</i> e <i>b</i> de Lessman e Atkins, coeficiente angular <i>c</i> e coeficiente linear <i>d</i> da reta y_r , coeficiente angular da reta y_p e R^2 utilizando a V para os tratamentos com diferentes números de pulverizações de fungicida.....	58
Tabela 14 –	Combinação de comprimento e largura (CxL) e tamanho ótimo de parcela (m ²) obtidos pelos métodos de Curvatura Máxima Modificada (CMM) e Máxima Distância (MD) para os dados de Coeficiente de Variação (CV) e Variância (V) com 75, 50 e 25 simulações para os estádios R5.5 e R6.....	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEC	Associação Nacional dos Exportadores de Cereais.
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index.</i>
NIR	Radiação Infravermelha Próxima.
RED	Radiação na Faixa do Vermelho.
m	Metros.
kg	Quilogramas.
ha	Hectare.
%	Por cento.
™	<i>Trademark.</i>
nm	Nanômetros.
g	Gramas.
cm	Centímetros.
m ²	Metros quadrados.
®	Registrado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	CULTURA DA SOJA: CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA, CENÁRIO ATUAL E IMPORTÂNCIA	18
2.2	FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA E MEDIDAS DE AVALIAÇÃO	19
2.3	REFLETÂNCIA COM APLICAÇÃO AGRONÔMICA	23
2.4	IMAGENS DIGITAIS COM APLICAÇÃO AGRONÔMICA.....	25
2.5	TAMANHO ÓTIMO DE PARCELAS PARA ESTUDOS AGRONÔMICOS.....	26
3	ARTIGO A – UTILIZAÇÃO DO NDVI COMO TOMADA DE DECISÃO PARA A APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NO PATOSSISTEMA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA	28
3.1	RESUMO	28
3.2	ABSTRACT.....	29
3.3	INTRODUÇÃO	29
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.6	CONCLUSÕES.....	40
4	ARTIGO B – VALIDAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE IMAGEM EM SOFTWARE PARA ESTIMAÇÃO DE DESFOLHA CAUSADA PELA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA	41
4.1	RESUMO	41
4.2	ABSTRACT.....	42
4.3	INTRODUÇÃO	43
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	44
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.6	CONCLUSÕES.....	50

5	ARTIGO C – ESTIMAÇÃO DO TAMANHO ÓTIMO DE PARCELAS PARA EXPERIMENTOS COM RADIÔMETRO EM SOJA TRATADA COM FUNGICIDA	51
5.1	RESUMO	51
5.2	ABSTRACT.....	51
5.3	INTRODUÇÃO	53
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.6	CONCLUSÕES.....	58
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
7	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das culturas de maior importância para o Brasil, que é o segundo maior produtor do mundo. A ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd, é a doença de maior gravidade para os produtores de soja no Brasil. Após sua detecção, várias medidas são necessárias para contornar os danos provocados por esta doença, que se resume em: desfolha precoce da cultura, diminuição do tamanho e número de grãos por planta e, conseqüentemente, redução da produtividade.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), obtido com o radiômetro, apresenta utilização restrita no Brasil no setor agrícola. Em todo o mundo, este índice tem sido utilizado para a determinação da produtividade de trigo e cevada e na intensidade da doença e rendimento de grãos no patossistema ferrugem da folha de trigo. Em estudos com soja, o aparelho é utilizado na estimativa do efeito de fungicida na cultura, na quantificação de danos do patossistema ferrugem asiática da soja, na relação entre área foliar sadia, severidade da ferrugem asiática e produtividade da cultura da soja.

As imagens digitais, com o desenvolvimento tecnológico de máquinas fotográficas e aparelhos celulares, são promissoras para a obtenção de dados referentes à cobertura foliar e a índices que expressam a cor verde da planta. As imagens digitais já são utilizadas para a determinação de nitrogênio em gramíneas e feijão, na estimativa da área foliar em laranja lima e na estimativa do tamanho de folíolos de soja. Esta tecnologia pode substituir as escalas diagramáticas para notas de cobertura foliar, sem que o avaliador possua experiência e/ou treinamento.

Os experimentos com radiômetro são usualmente conduzidos com parcelas de tamanhos iguais para a análise de produtividade, com área útil de dimensões de quatro metros de comprimento e três linhas. Porém, é necessário o levantamento do tamanho de parcela ótimo para este tipo de estudo, com o intuito de diminuir o erro experimental e, assim, garantir a confiabilidade dos dados obtidos a partir deste equipamento.

Desta forma, este trabalho teve por objetivo geral utilizar o índice de vegetação por diferença normalizada e imagens digitais no estudo de doenças de

plantas.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a utilização do NDVI na detecção do momento ideal para a aplicação de fungicida na soja e a relação entre a refletância e a produtividade da cultura;
- Validar, por meio do NDVI, a utilização de imagens digitais processadas em *software*, como forma alternativa para a quantificação da desfolha provocada por ferrugem asiática da soja; e,
- Estimar o tamanho ótimo de parcelas em experimentos utilizando a refletância para a avaliação da necessidade de aplicação de fungicida em soja.

A estrutura adotada para apresentação desta tese prevê uma revisão bibliográfica geral e a divisão de capítulos, na forma de artigos. Em cada um dos capítulos, apresentar-se-á a estrutura de um artigo científico: Resumo, *Abstract*, Introdução, Material e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusão. Deste modo, são três capítulos intitulados:

- Artigo A – Utilização do NDVI como tomada de decisão para a aplicação de fungicida no patossistema ferrugem asiática da soja.
- Artigo B – Validação do processamento de imagem em *software* para estimação de desfolha causada pela ferrugem asiática da soja.
- Artigo C – Estimação do tamanho ótimo de parcelas para experimentos com radiômetro em soja tratada com fungicida.

Por fim, o documento apresentará as Considerações Finais e as

Referências.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURA DA SOJA: CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA, CENÁRIO ATUAL E IMPORTÂNCIA

A soja é uma planta que pertence à família Fabaceae e à subfamília Faboideae (GOELLNER et al., 2010). É uma das culturas mais antigas, originária do nordeste da China, que se espalhou pelo mundo por intermédio dos viajantes ingleses e por imigrantes chineses e japoneses. A soja chegou ao Brasil via Estados Unidos, em 1882. Gustavo Dutra, então professor da Escola de Agronomia da Bahia, realizou os primeiros estudos de avaliação de cultivares provenientes daquele país. Em 1891, testes de adaptação de cultivares foram realizados no Instituto Agrônomo de Campinas, Estado de São Paulo. Assim como nos EUA, a soja dessa época no Brasil era estudada mais como cultura forrageira (EMBRAPA, 2004; MISSÃO, 2006).

A soja é uma planta herbácea de cultivo anual, de porte pequeno, talo reto, folha trifoliada e flores de cor branca. É composta quimicamente por carboidratos (23,5%), proteínas de alto valor biológico (37%), lipídios (2-3%) e fibra (12%). Também contém saponinas, vitaminas e minerais (P, Ca, Mg, Fe), enzimas, ácido fítico e isoflavonas (LUIS, 2007). Este grão desempenha um papel importante na produção da cadeia de alimentos para o consumo humano e animal (MIRANDA et al., 2013). A soja representa uma fonte de proteína de alta qualidade, com baixo teor de gordura saturada e uma grande quantidade de fibras dietéticas, apresentando vantagens nutricionais quando substitui a proteína animal. Apresenta ainda, como vantagens, a redução de doenças cardiovasculares e controle glicêmico desempenhando assim, um papel importante para a promoção da saúde (MATEO-APARICIO et al., 2008).

O farelo de soja é usado, basicamente, como suplemento rico em proteínas para a criação de gado, suínos e aves. Emprega-se ainda o farelo de soja como alimento na aquicultura, na produção de ração de animais domésticos e como substitutos do leite para bezerros. O óleo de soja é rico em ácidos graxos poli-insaturados. Pode ser usado como óleo de salada, de cozinha e de fritura e para a produção de maionese e margarinas. O óleo, também, apresenta aplicações industriais como fabricação de tinta de caneta, biodiesel, tintas de pintura em geral, xampus, sabões e detergentes (MISSÃO, 2006).

Apesar do significativo crescimento da produção no decorrer dos anos 1960, foi na década seguinte que a soja se consolidou como a principal cultura do agronegócio brasileiro, passando de 1,5 milhões de toneladas (1970) para mais de 15 milhões de toneladas (1979) (EMBRAPA, 2004). A safra mundial de 2012/2013 teve produção aproximada de 285,3 milhões de toneladas, assim distribuída: Estados Unidos com 32,3% ou 92,3 milhões de toneladas, Brasil com 29,8% ou 85 milhões de toneladas e Argentina com 19,1% ou 54,5 milhões de toneladas (CONAB, 2014).

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais teve expansão nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área cultivada com grãos no país. O aumento da produtividade está associado aos avanços tecnológicos, ao manejo e à eficiência dos produtores. O grão é componente essencial na fabricação de rações animais e apresenta uso crescente na alimentação humana. Cultivada especialmente nas regiões Centro Oeste e Sul do país, a soja se firmou como um dos produtos mais destacados da agricultura nacional e da balança comercial (MAPA, 2013).

O complexo soja foi o terceiro produto mais exportado pelo Brasil em 2012 com 26,1 bilhões de dólares, perdendo para o minério de ferro, com 33,2 bilhões de dólares, e para o petróleo e derivados, com 30,9 bilhões de dólares. Dentre os três produtos, o complexo soja foi o único que apresentou crescimento positivo em 2012, com 8,2% de aumento (CONAB, 2013).

No Paraná, segundo maior estado produtor de soja do Brasil, a produção na safra 2013/2014 foi de 16,6 milhões de toneladas, com área cultivada de 4,96 milhões de hectares e produtividade média de 3.348 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2014).

A produção e exportação do complexo soja na safra 2013/14 foi dividida em: produção e exportação de farelo, 28.336 mil toneladas e 12.173 mil toneladas consecutivamente e, produção e exportação de óleo, 7.176 mil toneladas e 1.362 mil toneladas consecutivamente (ANEC, 2014).

2.2 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA E MEDIDAS DE AVALIAÇÃO

Entre os principais fatores que limitam a obtenção de altos rendimentos da soja estão as doenças. Aproximadamente 40 doenças causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus já foram identificadas no Brasil (EMBRAPA,

2011). A incidência e a severidade variam de acordo com a variedade da cultura, esquema de rotação de cultura, condições climáticas e fonte de inóculo do patógeno (WEIRICH NETO et al., 2013).

As plantas respondem de forma diferenciada ao ataque de patógenos podendo apresentar manchas foliares, cloroses ou necroses de partes fotossintéticas das plantas, injúria nas folhas, desfolha antecipada, murchas, dentre outros (GUAN; NUTTER JR, 2002). As principais doenças da parte aérea da cultura da soja são o oídio, a mancha parda, o crestamento foliar e, atualmente, destaca-se a ferrugem asiática (LUDWIG et al., 2010). Na última década, esta doença espalhou-se gradualmente na África e na América (PIVONIA; YANG, 2006). Na América do Sul, a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., foi identificada no Paraguai, em março de 2001. Em maio do mesmo ano, foi detectada no estado do Paraná, no Brasil, que é o segundo maior estado produtor de soja do país, e de lá, rapidamente se espalhou para outros estados (YORINORI et al., 2005). Foi relatada em nível epidêmico em 2003/04, sendo a principal doença na cultura da soja no Brasil (NASCIMENTO et al., 2012).

Os sintomas, no início da doença, são lesões pequenas, de cor castanho dourado e são restritas às nervuras das folhas. As lesões se ampliam em 5 a 8 dias após a infecção inicial e as pústulas de ferrugem (Urédios) tornam-se visíveis. Os Urédios se desenvolvem mais frequentemente em lesões na superfície inferior da folha do que na superfície superior e a liberação dos esporos ocorre pelas pústulas abertas (GOELLNER et al., 2010).

Apesar da ferrugem da soja incidir inicialmente nas folhas mais baixas do dossel, a doença rapidamente progride para as folhas mais altas até que todas as folhas apresentem os sintomas da doença, reduzindo drasticamente a fotossíntese da planta (KUMUDINI et al., 2010).

A perda de rendimento da soja por ferrugem é atribuída à (i) perda prematura de folhas, (ii) redução na área foliar do dossel verde devido a lesões, (iii) redução no acúmulo de matéria seca, e (iv) redução do índice de colheita. A resposta do índice de colheita é atribuída à produção de sementes e reduzida massa de sementes, resultando provavelmente em reduções na taxa de acúmulo de matéria seca (KUMUDINI et al., 2008).

Muitas plantas doentes podem se tornar completamente desfolhadas. A perda de tecidos foliares resulta na redução de produtividade devido

à diminuição do tamanho e número de grãos. Danos na produtividade de 30 a 80% já foram relatados, porém estes índices dependem de quando a doença iniciou e quão rápido ela progrediu. Além das folhas, a ferrugem da soja também pode aparecer em pecíolos, hastes e até em cotilédones, porém a maioria das lesões da ferrugem ocorre nas folhas (RUPE; SCONYERS, 2014).

A temperatura e a umidade são reconhecidas como os dois fatores ambientais mais importantes que determinam a velocidade de desenvolvimento da ferrugem da soja (MELCHING et al., 1989; DEL PONTE et al., 2006). BONDE et al. (2013) ressaltam que, embora possa haver vários fatores ambientais que limitam a doença, com a ferrugem da soja, a temperatura é uma das mais importantes. A falta de umidade suficiente na superfície das plantas restringe a germinação dos esporos e iniciação da infecção (SCHMITZ; GRANT, 2009; BONDE et al., 2013). As correntes de ar e os ventos, também, são necessários para o transporte de esporos. Sem este tipo de transporte não ocorrerá a doença em áreas livres do fungo.

Para diminuir os danos e evitar perdas significativas causadas pela ferrugem asiática, a aplicação de fungicidas ainda é o principal método de controle e é adotada na maioria das regiões produtoras (MUELLER et al., 2009; DEB et al., 2010; CRUZ et al., 2012). É indicada a aplicação de fungicida de forma preventiva ou no aparecimento dos primeiros sintomas da doença e estudos preconizam aplicações calendarizadas em três aplicações (EMBRAPA, 2012). Pesquisas mostram que o controle da ferrugem da soja por fungicidas, no Brasil, é altamente eficaz (SCHERM et al., 2009). Porém, em condição climática favorável aliada à grande quantidade de inóculo inicial do fungo, em algumas regiões do país têm se exigido elevado número de pulverizações para o controle da doença, aumentando os custos de produção (HIKISHIMA et al., 2010).

No Brasil, como não ocorre inverno frio o suficiente para eliminar as plantas voluntárias e com isso inviabilizar os uredosporos (WALKER et al., 2014), para reduzir o risco de danos à cultura, as estratégias de manejo recomendadas para essa doença são: a utilização de cultivares de ciclo precoce com semeaduras no início da época recomendada; a eliminação de plantas voluntárias de soja e a ausência de cultivo da mesma na entressafra por meio do vazio sanitário; o monitoramento da lavoura desde o início do desenvolvimento da cultura; a utilização de fungicidas no aparecimento dos sintomas ou preventivamente; e a utilização de cultivares resistentes, quando disponíveis (EMBRAPA, 2011).

A maioria das doenças gera algum tipo de manifestação no espectro visível e, na grande maioria dos casos, o diagnóstico, ou, pelo menos, uma primeira estimativa sobre a doença, é realizada visualmente por pessoas (BARBEDO, 2013), pois as avaliações visuais tendem a ser fáceis e rápidas de executar (DE CONINCK et al., 2012).

A fim de reduzir a subjetividade das estimativas visuais de severidade da doença, as escalas diagramáticas têm sido desenvolvidas para vários patossistemas. Escalas diagramáticas são representações de uma série de plantas ou partes de plantas com sintomas em diferentes níveis de severidade da doença e é uma ferramenta útil para obtenção de avaliações visuais mais precisas (GODOY et al., 2006).

A escala diagramática para avaliação da severidade da ferrugem da soja, desenvolvida por GODOY et al. (2006), tem sido sugerida na avaliação de ensaios de fungicidas para o controle de doenças da soja e a escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela ferrugem asiática em soja, proposta por HIRANO et al. (2010), pode ser utilizada como parâmetro para estimar danos, para avaliar tratamentos em ensaios de controle de doenças em soja e, também, para teste de materiais genéticos resistentes à ferrugem asiática. Porém, a precisão desta prática está limitada à experiência do técnico (BAESSO et al., 2007), pois estimativas visuais podem levar a imprecisões que resultam em erros e alteram conclusões de experimentos, além da possibilidade de resultados de baixa precisão, acuracidade e reprodutibilidade (NUTTER et al., 1993; MARTINS et al., 2004).

BARBEDO (2013) afirma que avaliadores treinados podem ser eficientes no reconhecimento e quantificação de doenças, no entanto, são associados a algumas desvantagens, dentre as quais destacam-se:

- Os avaliadores podem cansar e perder a concentração, diminuindo assim sua precisão.
- Pode haver variabilidade e subjetividade nas leituras.
- Há necessidade de desenvolver escalas diagramáticas para a avaliação.
- O treinamento pode ter de ser repetido para manter a qualidade.
- A avaliação visual pode ser destrutiva se as amostras são coletadas no campo para posterior avaliação em laboratório.
- Os avaliadores são propensos a várias ilusões (por exemplo,

número e tamanho de lesões e área infectada).

Outro ponto que deve ser considerado são as culturas que se estendem por grandes áreas, dificultando o monitoramento.

2.3 REFLETÂNCIA COM APLICAÇÃO AGRONÔMICA

Entende-se por sensoriamento remoto um conjunto de técnicas que capturam informações espectrais dos pigmentos das plantas, mensurando a refletância da cultura, porém, sem ter contato entre o dispositivo de medição e o objeto (SILVA JÚNIOR et al., 2008). Desta forma pode-se avaliar a sanidade e o vigor das plantas, por meio de várias leituras, de forma não evasiva e sem danos (NILSSON, 1995). Ao observar as mudanças no posicionamento das folhas ao longo do tempo em uma planta, pode-se detectar o estresse hídrico; a cor das folhas pode informar deficiências e desequilíbrios nutricionais; além da possibilidade de relacionar com o ataque de pragas e doenças (BARTON, 2012). Segundo MALENOVSKÝ et al. (2009) os dados adquiridos podem ser utilizados para estimar, por exemplo, o teor de clorofila, teor de água ou o índice de área foliar

As plantas verdes têm propriedades espectrais únicas quando comparadas com o solo e resíduos vegetais mortos (FELTON et al., 2002). A radiação refletida por uma planta é função de características da própria espécie vegetal estudada e das condições em que se encontram. Doenças e pragas, frequentemente, são responsáveis por alterar a refletância, pois as propriedades radiantes de tecidos de plantas saudáveis diferem daquelas de tecido de plantas doentes. Em geral, tecidos infectados apresentam menor refletância na região do infravermelho quando comparados aos tecidos saudáveis. Assim, a avaliação de doenças pode ser realizada com qualquer instrumento capaz de quantificar as diferenças de refletância dessa faixa do espectro (BERGAMIN FILHO et al., 1995; NILSSON, 1995).

Do ponto de vista do balanço energético, todo fluxo de radiação solar incidente sobre qualquer objeto é refletido, transmitido ou absorvido. Para vegetação, no espectro de luz visível, a refletância é muito baixa, a transmitância é quase zero e a absorção é alta. E nos comprimentos de onda mais longos, na porção do infravermelho próximo do espectro, tanto a refletância quanto a transmitância são elevadas, enquanto que a absorção é muito baixa. Esse padrão

de refletância permitiu a origem de muitos índices, dentre eles, o NDVI (THELEN et al., 2004).

Vários sensores multiespectrais são capazes de medir a radiação eletromagnética refletida ou emitida a partir de vegetação (MALENOVSKÝ et al., 2009). O equipamento utilizado para a obtenção do valor de refletância é o radiômetro e sua aplicação na agricultura só foi possível por meio do desenvolvimento de sensores proximais como o GreenSeeker[®], N-Sensor e o Crop Circle (BREDEMEIER, et al., 2013).

O GreenSeeker[®] é um instrumento que fornece o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) via medidas de refletância, cuja interpretação pode fornecer informações de forma rápida e direcionada sobre as condições nutricionais, estado fisiológico, estresse e rendimento potencial das culturas (GROHS et al., 2009; GUTIÉRREZ-SOTO et al., 2011).

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é o índice normalizado da vegetação, definido como:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Equação 1

onde, RED é a radiação na faixa do vermelho (650 nm) incidente sobre a superfície vegetal e NIR é a radiação infravermelha próxima (770 nm) refletida por ela.

O GreenSeeker[®], sensor desenvolvido pela Universidade de Oklahoma, utiliza diodos para a emissão da radiação e a leitura da refletância é calculada por microcontroladores internos que é transmitida a um computador portátil adaptado ao sensor. Atualmente, é um sensor utilizado amplamente em diversos países, porém pouco divulgado no Brasil (GROHS et al., 2009; GUTIÉRREZ-SOTO et al., 2011).

A refletância já é utilizada na estimativa do efeito de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja (SILVA et al., 2009), na quantificação de danos e relações entre severidade e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja (HIKISHIMA et al., 2010), nas relações entre intensidade da doença e rendimento de grãos no patossistema ferrugem da folha de trigo (REIS et al., 2006), na relação entre área foliar sadia, severidade da ferrugem asiática e produtividade

da cultura da soja (KOGA et al., 2007), na avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade em amendoim (CANTERI et al., 1999), nas relações entre área foliar sadia, produtividade, eficiência fotossintética e severidade de mancha angular em feijoeiro (CANTERI et al., 1998), na estimativa de rendimento do amendoim pela medição da refletância da luz solar com radiômetro multiespectral portátil estimando a porcentagem de desfolha (NUTTER JR; LITTREL, 1996).

A soja apresenta alta capacidade de absorver luz, comparada com outras cultivaras, pois apresenta alto índice de área foliar (SANTOS et al., 2003). Assim, o monitoramento da área foliar é uma estratégia para a manutenção do potencial produtivo das culturas (FIOREZE et al., 2011).

2.4 IMAGENS DIGITAIS COM APLICAÇÃO AGRONÔMICA

Relatos apontam que a fotografia foi utilizada para a detecção de doença de plantas na década de 1920, porém, o primeiro estudo que utilizou esta técnica foi publicado por Colwell em 1956 (BRENCHLEY, 1968). Muitos patógenos provocam a diminuição da eficiência do uso da radiação pela planta que, conseqüentemente levam a uma copa menor, que, por sua vez, interceptará menos luz (BERGAMIN FILHO et al., 1995). Desta forma, a análise de fotografias pode ser relacionada com a modificação da coloração das folhas ou com a diminuição da cobertura foliar, provocada pela desfolha antecipada ou pela necrose de partes da planta.

Com uma fotografia digitalizada e processada é possível obter dados de interesse para a fitopatometria (NILSSON, 1995).

Atualmente, câmeras digitais são equipamentos promissores para medição de área foliar em campo (ADAMI et al., 2008), uma vez que são portáteis, obtendo imagens com boa resolução, de modo rápido e simples (GODOY et al., 2007). ZABOT et al. (2008) afirmam que a utilização de imagens digitais é uma ferramenta de fácil utilização, sendo possível a captação de várias imagens em tempo relativamente reduzido, para posterior processamento com o auxílio de programas específicos de leitura de imagens. Estes programas específicos podem detectar, quantificar e classificar as doenças de plantas a partir de imagens digitais no espectro visível (BARBEDO, 2013). Outra vantagem é que as análises por

imagens digitais apresentam baixo custo, podendo chegar a custar menos de um décimo do valor de um equipamento de medição de área foliar (GONG et al., 2013).

A manipulação das imagens digitais, por meio de programas editores de imagem, fornece índices que expressam a cor verde da planta. A utilização de técnicas rápidas, como a análise da imagem digital, que permita uma avaliação diretamente no campo, pode otimizar a tomada de decisões (BACKES et al., 2010).

PAGOLA et al. (2009) demonstraram que o método de captura de imagens digitais simples pode ser utilizado para avaliar o estado de nutrição de plantas de cevada, por meio da análise de cor da imagem.

A imagem digital vem sendo utilizada, também, para determinação do nível de nitrogênio em gramínea (BACKES et al., 2010; LIMA et al., 2012) e feijão (BAESSO et al., 2007), no crescimento inicial do feijão (ZABOT et al., 2008), na estimativa do tamanho de folíolos de soja (ADAMI et al., 2008), na estimativa da área foliar em laranja lima (GODOY et al., 2007), na quantificação de lesões necróticas em diferentes estágios de infecção em beterrabas (DE CONINCK et al., 2012).

Com uma ampla variedade de atividades agrícolas reconhecidas (FREEMAN e FREELAND, 2014) e maior facilidade de acesso aos veículos aéreos não tripulados, também, conhecidos como VANT ou drones, relacionados com máquinas fotográficas digitais de boa qualidade, será possível explorar a relação altura x precisão e ampliar as pesquisas para a utilização de imagens digitais no estudo de doenças de planta.

2.5 TAMANHO ÓTIMO DE PARCELAS PARA ESTUDOS AGRONÔMICOS

Atualmente, em pesquisas que se utiliza o NDVI obtido por radiômetros portáteis em soja, o tamanho de parcelas adotadas é similar às parcelas de estudos de produtividade, o que pode ser um erro experimental.

Planejar ensaios agrícolas, avaliar corretamente a sua precisão e conhecer a variabilidade produtiva da cultura agrícola são importantes para determinar o grau de credibilidade dos resultados obtidos a partir do experimento (STORCK, 2011; STORCK et al., 2011). Planejamentos experimentais adequados, em campo, necessitam de correto dimensionamento do tamanho ótimo de parcela para a obtenção de informações precisas sobre os tratamentos em avaliação

(CARGNELUTTI FILHO et al., 2011a).

O erro experimental, que consiste na variância existente entre unidades experimentais que receberam o mesmo tratamento, é estimado mediante a aplicação da repetição, que é um dos princípios da experimentação. Para evitá-lo é necessário conhecer as características da área experimental e a cultura cultivada (OLIVEIRA et al., 2005). Vários fatores são responsáveis pela ocorrência do erro experimental, como a heterogeneidade do material experimental, as competições intra e interparcelar e a heterogeneidade do solo (STORCK et al., 2005). A redução do erro experimental e o consequente aumento da precisão experimental podem ser obtidos com a aplicação do tamanho ótimo de parcelas experimentais (STORCK et al., 2005).

A estimativa do tamanho ótimo de parcela, em qualquer cultura, é uma das maneiras de se aumentar a eficiência e a precisão experimental e maximizar as informações obtidas em um experimento, possibilitando e apoiando futuros trabalhos, pois possibilitam maximizar a utilização de recursos, além de possibilitar ao pesquisador um maior controle e manejo do seu experimento, quando realizado em área de menor tamanho (SILVA et al., 2012; LACKEY e STEIN, 2014).

Uma forma de estimar o tamanho ótimo de parcela é pelo método da curvatura máxima modificada proposto por MEIER e LESSMAN (1971). Este método já foi adotado para estimar o tamanho ótimo de parcela para cultura do feijão-vagem (SANTOS et al., 2012), tamanho ótimo para experimento com rabanete (SILVA et al., 2012), tamanho e forma de parcela para pimentão em estufa plástica (LORENTZ e LÚCIO, 2009), tamanho ótimo de parcelas experimentais de híbridos de milho simples, triplo e duplo (CARGNELUTTI FILHO et al., 2011b), tamanho ótimo de parcela e número de repetições em soja (MARTIN et al., 2005). Outro método para estimar o tamanho ótimo de parcela é o da máxima distância, proposto por LORENTZ et al. (2012) que apresentaram resultados coerentes em relação ao método da curvatura máxima modificada.

3 ARTIGO A

UTILIZAÇÃO DO NDVI COMO TOMADA DE DECISÃO PARA A APLICAÇÃO DE FUNGICIDA NO PATOSSISTEMA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

3.1 RESUMO

O GreenSeeker[®] é um instrumento que fornece o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) via medidas de refletância, cuja interpretação pode fornecer informações de forma rápida e direcionada sobre o estado fisiológico de plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar o GreenSeeker[®] na detecção do momento ideal para a aplicação de fungicida na soja e a relação entre NDVI e a produtividade da cultura. Para tanto, foram conduzidos dois experimentos na Universidade Estadual de Londrina, nas safras 2012/2013 e 2013/2014, ambos com delineamento experimental de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos visaram obter um gradiente de doença para a ferrugem asiática da soja, mediante diferentes números e épocas de aplicações de fungicida. A quantificação da severidade de doença foi realizada por meio da escala diagramática, em duas áreas para o ensaio destrutivo com os tratamentos controle e testemunha, e as leituras de NDVI, utilizando o GreenSeeker[®], com o equipamento posicionado sobre o dossel das plantas a uma altura de 0,50 m, ambas análises realizadas semanalmente. Após a colheita foram analisados massa total, massa de 1000 grãos, umidade e a produtividade em kg ha⁻¹. No mesmo momento em que se observou diferença estatística ($P < 0,05$) na severidade da doença entre as duas áreas destrutivas, houve, também, diferença estatística entre os valores de NDVI para os tratamentos, sendo um indicativo para o momento de aplicação do fungicida. Observou-se, com representatividade de 0,798, decréscimo na produtividade conforme o atraso na aplicação do fungicida. O mesmo ocorreu com a área abaixo da curva do NDVI, onde foi observado correlação acima de 0,840. Conclui-se que o NDVI pode ser utilizado para a tomada de decisão do melhor momento de aplicação de fungicida na cultura da soja para controle da ferrugem asiática e apresenta resultados aceitáveis para a estimativa de produtividade para a cultura da soja.

PALAVRAS-CHAVE: NDVI, *Phakopsora pachyrhizi*, radiômetro.

3.2 ABSTRACT

GreenSeeker® is a tool that provides the normalized difference vegetation index (NDVI) track measures reflectance, whose interpretation can provide information quickly and directed on the physiological status of plants. The aim of this study was to evaluate the application of GreenSeeker® for the detection of ideal time for fungicide application on soybean and the relationship between NDVI and potential crop yield. Two experiments were conducted at Universidade Estadual de Londrina, during the 2012/2013 and 2013/2014 seasons, both with randomized blocks experimental design with six treatments and four replications. Treatments aimed to obtain a gradient of disease (Asian soybean rust) by different numbers and times of fungicide applications. The quantification of the severity of the disease was performed by diagrammatic scale, in two areas for the destructive testing, with the control treatment and witness, and NDVI readings, using GreenSeeker®, with the positioning device on the canopy of plants at a height of 0.50 m, both analyses were made weekly. After harvest total mass, mass of 1000 seeds, moisture and productivity were analyzed and the yield in kg ha⁻¹ was estimated. At the same time that statistical difference was observed ($P < 0.05$) in the severity of the disease between the two areas destructive, there was, also, statistical difference between the values of NDVI for the treatments, being a target for the moment of application of fungicide. It was observed, with representativeness of 0.789, a decrease in productivity as the delay in the implementation of the fungicide. The same occurred with the area under NDVI curve, which was observed ratio above 0.840. It follows that NDVI can be considered for decision making about the best time for fungicide application on soybeans to control Asian soybean rust and presents regular results to estimate productivity for soybean.

KEY- WORDS: NDVI, *Phakopsora pachyrhizi*, radiometer

3.3 INTRODUÇÃO

A ocorrência da ferrugem asiática, importante doença da soja, ocasionada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P.Syd, detectada no Brasil em 2001 (YORINORI et al., 2005), provoca a desfolha antecipada, reduzindo a

fotossíntese da planta e influenciando, conseqüentemente, no número e na massa de sementes (GUAN; NUTTER JR, 2002; KUMUDINI et al., 2008; KUMUDINI et al., 2010; ANTUNIASSI et al., 2011; GREGORUTTI et al., 2012). Deste modo, uma opção para reduzir perdas na produtividade é a aplicação de fungicidas (DEB et al., 2010).

O esporo do fungo é facilmente disseminado pelo vento e pode infectar a cultura a partir dos estádios iniciais de desenvolvimento. As condições ambientais como molhamento foliar, alta umidade e temperaturas adequadas são fundamentais no desenvolvimento das epidemias (MIRANDA et al., 2013). O uso de fungicidas na cultura da soja, para controlar e reduzir prejuízos ocorre de forma calendarizada, com duas a três aplicações em média, que iniciam a partir do florescimento (GODOY et al., 2009; MARTINS; JULIATTI, 2014).

A soja apresenta alta capacidade de absorver luz, comparada com outras plantas, pois apresenta alto índice de área foliar (SANTOS et al., 2003). Assim, o monitoramento da área foliar é uma estratégia para a manutenção do potencial produtivo das culturas (FIOREZE et al., 2011).

Do ponto de vista do balanço energético, todo fluxo de radiação solar incidente sobre qualquer objeto é refletido, transmitido ou absorvido. Para a vegetação, no espectro de luz visível, a refletância é muito baixa, a transmitância é quase zero e a absorção é alta. Nos comprimentos de onda mais longos, na porção do infravermelho próximo do espectro, tanto a refletância quanto a transmitância são elevadas, enquanto que a absorção é muito baixa. Esse padrão de refletância permitiu a origem de muitos índices, dentre eles, o NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (THELEN et al., 2004).

O comportamento das medidas de refletância, porcentagem da luz solar refletida pela planta, em diferentes situações de cultivo, são informações relevantes para serem usadas na elaboração de modelos de estimativa de dano baseados em medidas de refletância (HIKISHIMA et al., 2010) para previsão de produtividades (ALI et al., 2014), na agricultura de precisão para aplicação de fertilizantes (CHANG et al., 2014), e para a detecção precoce de lesões na cultura da soja a partir de herbicidas (YAO et al., 2012). Pode, ainda, detectar variações na área foliar de plantas atacadas por doenças, servindo de parâmetro para estimar danos na produção (KOGA et al., 2007; SILVA et al., 2009; HIKISHIMA et al., 2010; ALI et al., 2014).

As medidas de refletância têm sido realizadas por sensoriamento remoto, de forma não evasiva e sem danos, com intervalos de sete a quatorze dias entre leituras após a primeira aplicação do fungicida (NILSSON, 1995; SILVA et al., 2009, HIKISHIMA et al., 2010).

O NDVI é um índice normalizado da vegetação definido como: $NDVI = \frac{RED - NIR}{RED + NIR}$, onde RED é a radiação na faixa do vermelho (650 nm) incidente sobre a superfície vegetal e NIR é a radiação infravermelha próxima (770 nm) refletida por ela. O GreenSeeker[®], sensor que mede automaticamente o NDVI, foi desenvolvido pela Universidade de Oklahoma e utiliza diodos para a emissão da radiação. A refletância é calculada por microcontroladores internos que transmitem os dados a um computador portátil adaptado ao sensor. Atualmente, é um sensor de ampla aplicabilidade, utilizado em diversos países, porém pouco divulgado no Brasil (GROHS et al., 2009; GUTIÉRREZ-SOTO et al., 2011; YAO et al., 2013).

O NDVI deve ser adotado como um sistema transportável, ou seja, um modelo utilizável em diversas localidades, capaz de produzir recomendações precisas e exatas para a quantificação de danos, auxiliando para a tomada de decisão do melhor momento de aplicação de defensivos, e para isto é necessária a adoção da parcela controle, livre de doença, para obter a diferença da absorção da radiação se comparado com a situação de produção (BERGAMIN FILHO et al., 1995). O radiômetro captaria, em tempo hábil para o controle, variações entre parcelas doentes e parcelas controladas.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação do NDVI na detecção do momento ideal para a aplicação de fungicida na soja e a relação entre a refletância e a produtividade da cultura.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos na Universidade Estadual de Londrina (UEL), localizada no município de Londrina, Paraná, a 23°19'40,92" de latitude Sul e 51°12'19,20" de longitude Oeste e 560 m de altitude, nas safras 2012/13 e 2013/14. As sementeiras foram realizadas em 14/12/2012 na safra 2012/13 e em 05/12/2013 na safra 2013/14. As cultivares de soja foram a BMX Potência RR e a M 6410 IPRO, respectivamente. As sementeiras foram realizadas no limite final da época recomendada, com a finalidade de garantir maior quantidade

de inóculo do fungo, proveniente das primeiras semeaduras na região (GODOY et al., 2009).

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada repetição constituída por parcelas com cinco linhas de seis metros de comprimento, ambas espaçadas 0,45 m entre linhas. Considerou-se como área útil para a aplicação dos tratamentos e coleta de dados as três linhas centrais e quatro metros lineares. Como bordadura utilizou-se duas linhas externas e um metro das extremidades da parcela (HIKISHIMA et al., 2010). O gradiente de intensidade de ferrugem foi gerado por meio da variação da aplicação de fungicida em forma calendarizada (Tabela 1).

Os tratamentos visaram obter um gradiente de doença (ferrugem asiática da soja) mediante diferentes números e épocas de aplicações de fungicida. O fungicida utilizado para o gradiente de intensidade da ferrugem asiática da soja foi a mistura comercial de Piraclostrobina + Epoxiconazol (66,5 + 25 g i.a. ha⁻¹), para um volume de calda de 200 L.ha⁻¹, acrescido de óleo mineral como veículo, na dose de 500 mL.ha⁻¹.

Tabela 1 – Número e momento de pulverizações realizadas para controle da ferrugem asiática da soja (*P. pachyrhizi*), nas safras 2012/13 e 2013/14.

Tratamento (Número de pulverizações)	Momento da pulverização (Dias após emergência)
6	30, 45, 60, 75, 90, 105
5	45, 60, 75, 90, 105
4	60, 75, 90, 105
3	75, 90, 105
2	90, 105
0	-

O tratamento com 6 pulverizações foi estabelecido como parcela controle, com o intuito de ser a parcela livre da doença, necessária para verificar o momento em que ocorria diferença do NDVI com os demais tratamentos e servindo de parâmetro para estimar o melhor momento para aplicação do fungicida.

A quantificação da severidade, definida como a porcentagem da área foliar coberta com sintomas da doença, foi realizada por meio da escala diagramática (GODOY et al., 2006). As avaliações tiveram início a partir do desenvolvimento das primeiras pústulas e realizadas, semanalmente, até a desfolha total. Duas áreas de 10 m x 10 m, com seis pulverizações e isentas de pulverizações, denominados como controle e testemunha respectivamente,

conduzidas em paralelo ao experimento, foram destinadas a ensaios destrutivos, para evitar o arranque de trifólios nas parcelas onde foram realizadas as leituras do NDVI. Deste modo, foram evitadas influências, diferentemente de HIKISHIMA et al. (2010), que quantificaram a severidade da doença nas parcelas onde foram coletados os dados de refletância. Utilizou-se a metodologia de HIKISHIMA et al. (2010) em que as avaliações foram realizadas em 12 trifólios (quatro do terço inferior, quatro do terço médio e quatro do terço superior) por parcela.

As leituras de refletância, ou seja, porcentagem de luz refletida pela planta, foram realizadas semanalmente após a primeira aplicação de fungicida, utilizando o equipamento portátil GreenSeeker[®], modelo RT100, da NTech. Foram realizadas três leituras por parcela, com o equipamento sobre a área útil de cada parcela, a 0,50 m de distância do dossel das plantas. As leituras foram realizadas no período da manhã, entre 09:00 h e 12:00 h.

Após a colheita e trilhagem da soja contida na área útil das parcelas foram analisados: massa total (g), massa de 1000 grãos (g), umidade (%) das sementes e estimada a produtividade (kg.ha⁻¹). Também foram colhidas dez plantas por parcela e analisadas separadamente: altura de planta (cm), número de vagens por planta e número de grãos por vagem.

Para as análises dos dados foram utilizadas a correlação de Pearson e a comparação de médias de Scott-Knott e Teste t de student, a 5% de significância.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar a correlação de Pearson entre a severidade da doença na área destrutiva com o tratamento testemunha e a média do NDVI obtida na mesma área, observou-se o valor de 0,969 na safra 2012/13 e 0,983 na safra 2013/14, e entre a média do NDVI nas repetições do tratamento isento de pulverização, observou-se o valor de 0,969 na safra 2012/13 e 0,988 na safra 2013/14.

Quando a correlação foi realizada entre a severidade da doença na área destrutiva com o tratamento controle e a média do NDVI medida na mesma área, obteve-se o valor de 0,860 na safra 2012/13 e 0,977 na safra 2013/14, e entre a média do NDVI nas repetições do tratamento com 6 pulverizações obteve-se o

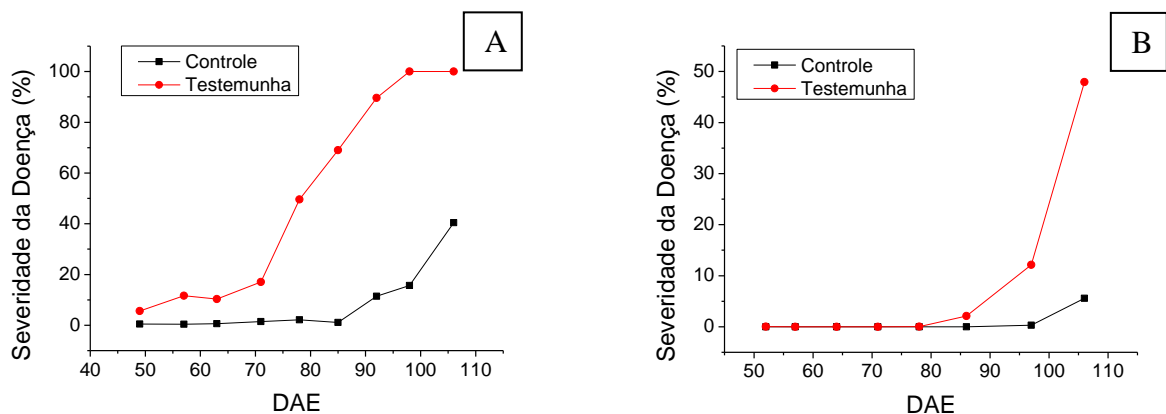
valor de 0,900 na safra 2012/13 e 0,985 na safra 2013/14. Isso significa que há uma forte correlação entre a quantificação da severidade da ferrugem asiática da soja e o NDVI, tanto nas leituras realizadas na própria área destrutiva quanto na comparação com os tratamentos (Tabela 2), mostrando transportabilidade dos dados de severidade das áreas analisadas para os tratamentos. Ao realizar regressão linear, HIKISHIMA et al. (2010) encontraram R^2 entre 0,906 e 0,985 entre os dois parâmetros, valores próximos aos apresentados neste estudo.

Tabela 2 – Correlação de Pearson entre a severidade da doença e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) entre os tratamentos e a área destrutiva das safras 2012/13 e 2013/14.

Severidade da doença	NDVI	Correlação de Pearson Experimento 1	Correlação de Pearson Experimento 2
Testemunha	Testemunha	0,966	0,983
Testemunha	Isento de pulverização	0,969	0,988
Controle	Controle	0,860	0,977
Controle	6 pulverizações	0,900	0,985

A doença apresentou sintomas na cultura no final do ciclo em ambos os experimentos, porém, na safra 2012/13, a severidade foi numericamente superior e ocorreu com maior antecedência. Na safra 2013/14 houve menor progresso da ferrugem asiática por não ter ocorrido precipitações em quantidades suficientes. A mesma ocorrência foi relatada por KOGA et al. (2007). O comportamento da evolução da severidade da doença entre as duas áreas destrutivas nas safras 2012/13 e 2013/14 pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Evolução da severidade da doença (%) nas avaliações destrutivas dos tratamentos controle e testemunha no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) nas safras 2012/13 (A) e 2014/13 (B).



O comportamento do NDVI entre os tratamentos do experimento pode ser visualizado na Figura 2 e acompanhando a tendência da severidade da ferrugem asiática da soja, notou-se maior diferença numérica para a safra 2012/13 e, na safra 2013/14 observou-se menor variabilidade dos dados devido à baixa severidade da doença.

Figura 2 – Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) nos tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja gerado por diferentes números de aplicações de fungicida (6, 5, 4, 3, 2 e 0 pulverizações) no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) na Safra 2012/13 e Safra 2013/14.

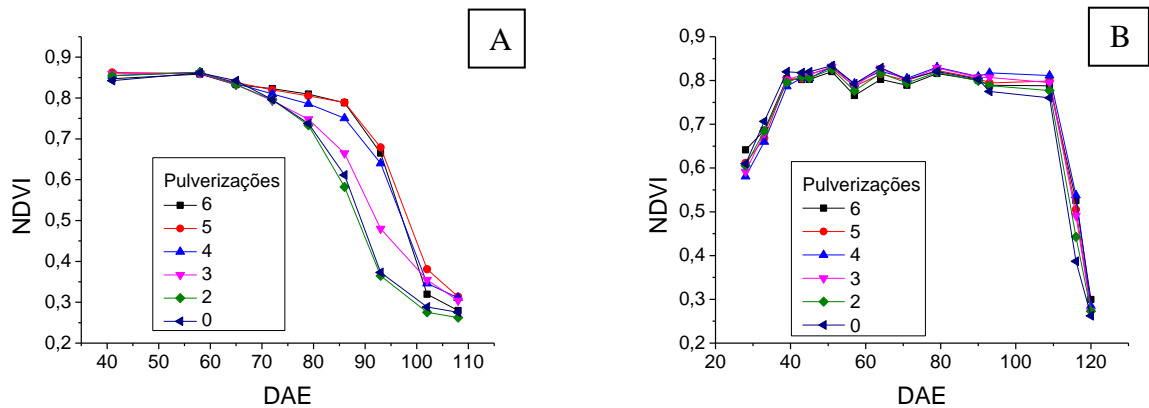


Tabela 3 – Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja (6, 5, 4, 3, 2 e 0 pulverizações) no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) da safra 2012/13.

Trat.	Safra 2012/13								
	41 DAE	58 DAE	65 DAE	72 DAE	79 DAE	86 DAE	92 DAE	102 DAE	108 DAE
6	0,847a	0,858a	0,832a	0,823b	0,809b	0,788c	0,678c	0,319a	0,279a
5	0,862a	0,860a	0,838a	0,819b	0,805b	0,789c	0,665c	0,380b	0,313a
4	0,854a	0,862a	0,835a	0,810b	0,785b	0,750c	0,639c	0,346b	0,311a
3	0,859a	0,860a	0,832a	0,793a	0,748a	0,664b	0,480b	0,354b	0,304a
2	0,854a	0,863a	0,832a	0,795a	0,733a	0,582a	0,364a	0,275a	0,262a
0	0,842a	0,861a	0,842a	0,796a	0,737a	0,611a	0,372a	0,288a	0,275a
CV(%)	0,86	0,20	0,40	1,63	4,48	13,00	27,41	12,38	7,30

*Letras iguais na coluna indicam igualdade estatística a 5% de significância ($P < 0,05$).

Ao realizar a comparação de médias utilizando o teste de Scott-Knott a 5% de significância, no decorrer do tempo, com as leituras do radiômetro, encontrou-se diferença estatística nos dados a partir de 72 DAE (Tabela 3), sendo

os tratamentos com 6, 5 e 4 pulverizações do fungicida superiores aos tratamentos com 3, 2 e 0 pulverizações na safra 2012/13 e a maior variação dos dados foi encontrada em 92 DAE, com CV de 27,41%.

Ao realizar o Teste t student para os dados de severidade da ferrugem asiática da soja, no decorrer do tempo, para as áreas destrutivas com os tratamentos testemunha e controle, observa-se diferença estatística ($P < 0,05$) a partir de 72 DAE (Tabela 4), ou seja, na mesma data que se observou diferença estatística no NDVI.

Tabela 4 – Severidade de ferrugem asiática da soja para os tratamentos testemunha e controle no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) para a safra 2012/13.

Trat.	Safra 2012/13								
	41 DAE	58 DAE	65 DAE	72 DAE	79 DAE	86 DAE	92 DAE	102 DAE	108 DAE
Controle	0,458a	0,375a	0,591a	1,450a	2,141a	1,100a	11,42a	15,65a	40,41a
Testemunha	5,608a	3,033a	10,35a	17,08b	49,58b	69,00b	89,68b	100,0b	100,0a

*Letras iguais na coluna indicam igualdade estatística a 5% de significância ($P < 0,05$).

Tabela 5 – Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) nos tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja (6, 5, 4, 3, 2 e 0 pulverizações) no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) da safra 2013/14.

Trat.	Safra 2013/14											
	33 DAE	43 DAE	51 DAE	57 DAE	64 DAE	71 DAE	78 DAE	86 DAE	97 DAE	100 DAE	106 DAE	113 DAE
6	0,685a	0,802a	0,820a	0,765a	0,802a	0,789a	0,815a	0,800a	0,789a	0,787b	0,525c	0,299b
5	0,668a	0,804a	0,828a	0,786b	0,814a	0,800b	0,822a	0,804a	0,794a	0,798b	0,505c	0,279a
4	0,660a	0,805a	0,831a	0,793b	0,821a	0,804b	0,830b	0,809a	0,817b	0,796b	0,517c	0,284b
3	0,680a	0,812a	0,831a	0,787b	0,827a	0,800b	0,830b	0,807a	0,806b	0,795b	0,494c	0,273a
2	0,684a	0,808a	0,826a	0,776a	0,816a	0,794a	0,818a	0,799a	0,788a	0,776a	0,442b	0,272a
0	0,706a	0,817a	0,834a	0,792b	0,829a	0,803b	0,820a	0,803a	0,775a	0,760a	0,386a	0,262a
CV(%)	0,70	0,83	0,59	1,35	1,19	0,73	0,70	0,47	1,88	2,26	11,82	4,53

*Letras iguais na coluna indicam igualdade estatística a 5% de significância ($P < 0,05$).

Na safra 2013/14, ao realizar a comparação de médias utilizando o teste de Scott-Knott a 5% de significância, no decorrer do tempo, com as leituras do radiômetro, observou-se diferenças a partir de 57 DAE. Porém, estas ocorreram devido a manchas no solo devido, em virtude do histórico da área, que apresentava um pomar de pessegueiros. A partir de 100 DAE houve diferença estatística do NDVI devido a efeitos da doença, sendo os tratamentos com 6, 5, 4 e 3 pulverizações,

superiores aos tratamentos com 2 e 0 pulverizações e a maior variação dos dados foi encontrada em 106 DAE, com CV de 11,82% (Tabela 5).

Ao realizar o Teste t de student para os dados de severidade da ferrugem asiática da soja, no decorrer do tempo, para os tratamentos testemunha e controle, observa-se diferença estatística ($P < 0,05$) a partir de 97 DAE (Tabela 6), ou seja, três dias antes da detecção da diferença estatística no NDVI.

Tabela 6 – Severidade de ferrugem asiática da soja para os tratamentos testemunha e controle no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência) para a safra 2013/14.

Trat.	Safra 2013/14								
	51 DAE	57 DAE	64 DAE	71 DAE	78 DAE	86 DAE	97 DAE	100 DAE	106 DAE
Controle	0,000a	0,000a	0,000a	0,008a	0,000a	0,000a	0,312a	2,416a	8,708a
Testemunha	0,016a	0,004a	0,008a	0,008a	0,025a	2,095a	12,13b	44,16b	51,66b

*Letras iguais na coluna indicam igualdade estatística a 5% de significância ($P < 0,05$).

Isolando-se os valores de NDVI dos tratamentos com 0 e 6 pulverizações de fungicida e aplicando-se o Teste t de student, com significância de 5%, encontrou-se diferença estatística na mesma data que o teste de Scott-Knott e o Teste t de student para a severidade da doença no experimento da safra 2012/13, ou seja, 72 DAE. Na safra 2013/14 a diferença ocorreu com 97 DAE, 3 dias antes da diferença encontrada no teste de médias de Scott-Knott e mesma data da diferença estatística encontrada no Teste t de student da severidade da ferrugem asiática da soja. Desta forma, nota-se que a doença diminuiu a cobertura foliar sadia da cultura, influenciando no valor do NDVI. HIKISHIMA et al. (2010) observaram o mesmo efeito em seu estudo.

Mesmo com variações numéricas, não houve diferenças estatísticas, utilizando o teste de Scott-Knott a 5% de significância, entre os tratamentos, nas variáveis altura de planta, número de vagem por planta e número de grãos por vagem, nos Experimentos 1 e 2 (Tabela 7).

Para a produtividade, em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, na safra 2012/13, houve diferença estatística entre os tratamentos com 6, 5 e 4 pulverizações do fungicida quando comparada aos tratamentos com 3, 2 e 0 pulverizações. O tratamento controle apresentou produtividade 45,58% superior ao tratamento testemunha. Na safra 2013/14 o tratamento controle apresentou praticamente a mesma produtividade, ou

seja, diferença de 0,09%. HIKISHIMA et al. (2010) obtiveram diferenças de produtividade entre os tratamentos controle e testemunha de 26,2%, 28,5%, 45,2% e 69,8%.

Ao analisar a massa de 1000 grãos no experimento da safra 2012/13, utilizando o teste de médias de Scott-Knott a 5% de significância, observou-se melhor rendimento nos tratamentos com 6, 5 e 4 pulverizações ao comparar com os tratamentos com 3, 2 e 0 pulverizações, coincidindo com a primeira diferença encontrada no NDVI. O tratamento testemunha apresentou resultado 21,83% inferior quando comparado com o tratamento controle.

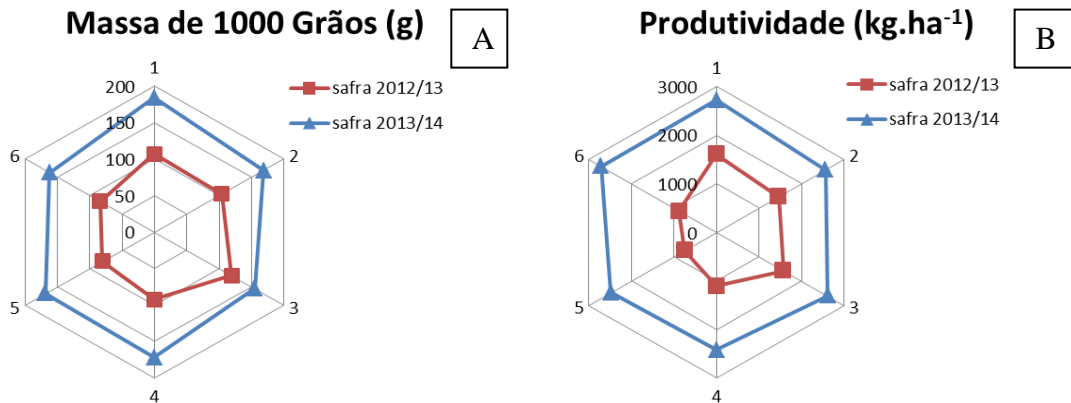
Já na safra 2013/14, o melhor resultado foi encontrado no tratamento com 6 pulverizações. Os tratamentos com 5, 4, 3 e 2 pulverizações apresentaram resultado inferior ao tratamento com 6 aplicações e superiores ao tratamento isento de pulverizações, que, por ser o tratamento testemunha, apresentou o pior resultado, ou seja, 11,72% inferior ao resultado do tratamento controle. Os resultados com as diferenças estatísticas da massa de 1000 grãos não são idênticos às diferenças estatísticas do NDVI, porém apresentam forte tendência de representatividade. O comportamento dos dados das safras 2012/13 e 2013/14, referente à massa de 1000 grãos e produtividade, pode ser visualizado na Figura 3.

Tabela 7 – Diferença estatística a 5% de significância nas variáveis: altura de planta (cm), número de vagem por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos (g) e produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) entre os tratamentos com diferentes números de pulverizações de fungicida (6, 5, 4, 3, 2 e 0 pulverizações) para as safras 2012/13 e 2013/14.

Safra	Pulverizações	Altura de planta	Número de vagem	Número de grão por vagem	Massa de 1000 grãos	Produtividade
2012/13	6	82,58 ns	40,75 ns	1,940 ns	107,24±5,78 b	1603,19 b
	5	92,60 ns	48,00 ns	1,948 ns	104,34±25,14 b	1467,91 b
	4	87,45 ns	34,87 ns	1,947 ns	119,15±14,96 b	1576,87 b
	3	77,75 ns	35,83 ns	2,597 ns	92,56±18,99 a	1103,89 a
	2	80,40 ns	23,77 ns	1,899 ns	80,34±5,50 a	740,69 a
	0	79,05 ns	31,37 ns	1,690 ns	83,84±20,14 a	872,50 a
2013/14	6	68,02 ns	39,37 ns	2,355 ns	183,72±9,55 c	2717,59 a
	5	70,07 ns	43,90 ns	2,545 ns	168,64±10,50 b	2560,18 a
	4	74,25 ns	41,80 ns	2,546 ns	164,99±8,49 b	2615,74 a
	3	73,70 ns	52,05 ns	2,381 ns	171,92±10,79 b	2416,66 a
	2	71,07 ns	45,07 ns	2,520 ns	168,83±8,41 b	2481,48 a
	0	74,10 ns	45,85 ns	2,385 ns	162,20±2,50 a	2715,27 a

*ns representa diferença não significativa e letras iguais na coluna indicam igualdade estatística a 5% de significância ($P < 0,05$).

Figura 3 – Massa de 1000 Grãos (g) e produtividade (kg.ha⁻¹) nos tratamentos com diferentes número de aplicações de fungicida (6, 5, 4, 3, 2, 0 pulverizações) das safras 2012/13 (A) e 2013/14 (B).



Analisando a massa de 1000 grãos pelo número de aplicações de fungicida, verifica-se tendência de ganho de massa de acordo com o número de aplicações do defensivo (Figura 4), tanto para a safra 2012/13 ($R^2 = 0,798$), quanto para a safra 2013/14 ($R^2 = 0,921$). A mesma tendência é observada ao analisar a área abaixo da curva do índice de vegetação por diferença normalizada (AACNDVI) pelo número de aplicações do fungicida (Figura 5), que apresentou $R^2 = 0,999$ para a safra 2012/13 e $R^2 = 0,841$ para a safra 2013/14.

Figura 4 – Relação polinomial de terceira ordem da massa de 1000 grãos (g) com o número de aplicação do fungicida nas safras 2012/13 e 2013/14.

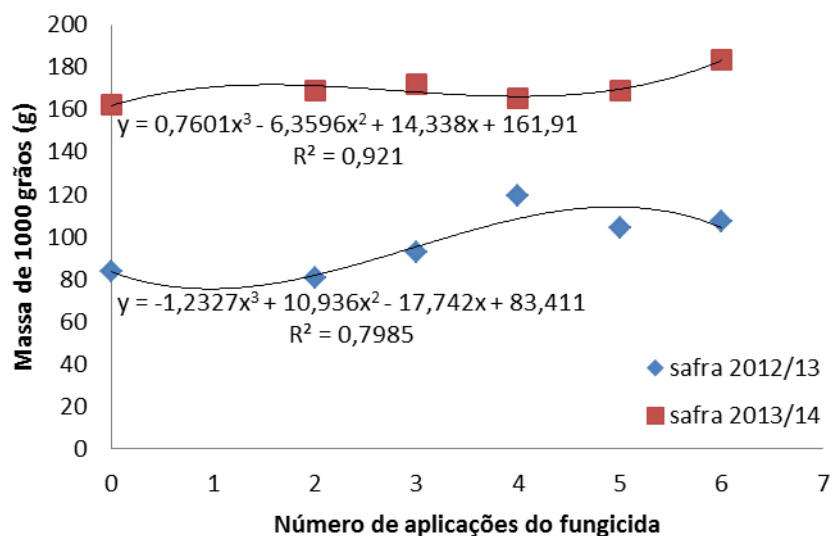
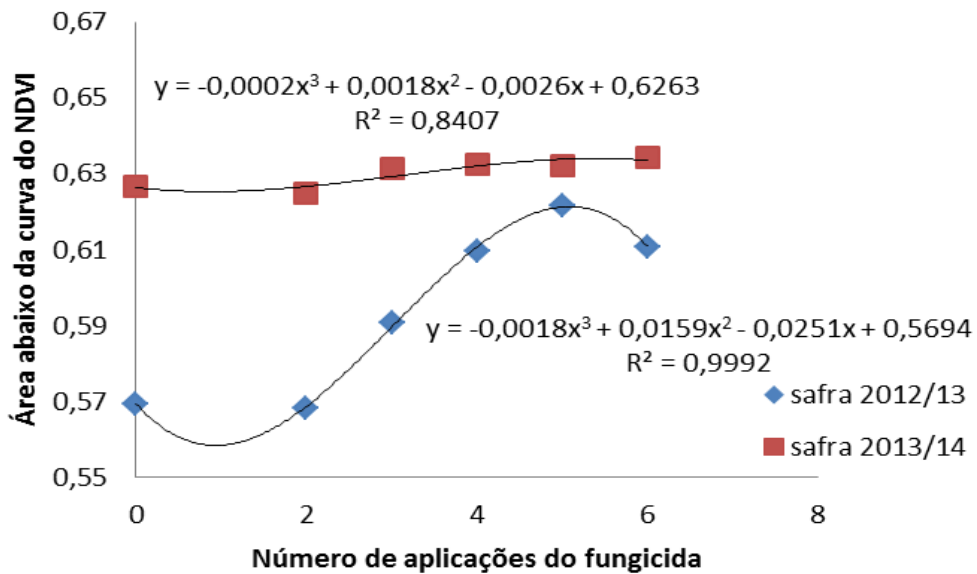


Figura 5 – Relação polinomial de terceira ordem entre a área abaixo da curva do NDVI e o número de aplicação do fungicida nas safras 2012/13 e 2013/14.



3.6 CONCLUSÕES

Conclui-se que o NDVI é um índice a ser considerado para a tomada de decisão do melhor momento de aplicação de fungicida na cultura da soja para controle da ferrugem asiática. Para que o resultado seja de maior confiabilidade, há a necessidade de aumentar a frequência das leituras do NDVI para duas ou três leituras semanais ou, até mesmo, desenvolver sistema estático com tomada de dados constantes entre a parcela controle e testemunha.

O NDVI apresenta resultados satisfatórios para a estimativa de produtividade para a cultura da soja.

4 ARTIGO B

VALIDAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE IMAGEM EM SOFTWARE PARA ESTIMAÇÃO DE DESFOLHA CAUSADA PELA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

4.1 RESUMO

A desfolha antecipada da soja pode ser ocasionada pela ferrugem asiática e a quantificação da cobertura foliar pode ser utilizada como parâmetro para estimar danos, para avaliar tratamentos em ensaios de controle de doenças em soja, para tomada de decisão do momento de aplicação de defensivos e, também, para teste de materiais genéticos resistentes à doença. Um método amplamente utilizado para avaliar a cobertura foliar é a estimativa subjetiva com ou sem o auxílio da escala diagramática, no entanto, requer experiência do avaliador para ser eficiente. Assim, este trabalho teve por objetivo desenvolver e validar o processamento de imagens digitais em *software* para quantificação de cobertura foliar, empregando correlação a valores de desfolha e NDVI com vários gradientes de desfolha, e de severidade no patossistema ferrugem asiática da soja. As imagens digitais foram obtidas de experimento conduzido na Universidade Estadual de Londrina, na safra de 2013/2014. O delineamento experimental adotado em campo contou com quatro tratamentos e três repetições, considerando a área útil de cada parcela sendo 4 m lineares em três linhas espaçadas a 0,45 m. Os gradientes de desfolha foram obtidos mediante os tratamentos com fungicida para controlar a ferrugem asiática da soja com 0, 3, 4 e 6 aplicações. As avaliações foram realizadas semanalmente. A quantificação da severidade da doença foi realizada por meio da escala diagramática. Os valores de NDVI foram obtidos utilizando o GreenSeeker[®], conduzindo o equipamento sobre as plantas a altura de 0,50 m. As fotos digitais foram obtidas em três alturas (1,20 m, 2,00 m e 3,00 m) e, posteriormente, processadas em *software*. Foi, ainda, realizada a amostragem da desfolha em 10 plantas por tratamento. Os dados de processamento de imagem se correlacionaram com a desfolha (0,942) e o NDVI (0,893) e, também, observou-se correlação da desfolha com o NDVI (0,962%). Isto permite validar a utilização das imagens digitais como forma alternativa para a quantificação de cobertura vegetal, com a vantagem de ser um método dinâmico, rápido e sem necessidade de experiência do avaliador

para quantificação da desfolha em soja.

PALAVRAS-CHAVE: Ferrugem Asiática da Soja; NDVI; Refletância.

4.2 ABSTRACT

Early defoliation of soybean can be caused by Asian soybean rust and the quantification of leaf cover can be used as a parameter to estimate damages in trials, for evaluating treatments for disease control in soybeans, for decision-making at the time of application of pesticides and, also, for testing of genetic material resistant to the disease. A method widely used to assess the leaf cover is to estimate subjective with or without the aid of diagrammatic scale, however, requires experience of the evaluator to be efficient. Thus, the objective of this work was to develop and validate the digital image processing software for quantification of leaf cover, using the correlation values of defoliation and NDVI with multiple gradients of defoliation, and severity in rust pathosystem Asian soybean. The digital images were obtained from experiments conducted at Universidade Estadual de Londrina, in 2013/2014 season. The experimental design used in the field with four treatments and three repetitions, whereas the useful area of each plot was 4 m linear in three rows spaced 0.45 m. The gradients of defoliation were obtained by treatment with fungicide to control the Asian rust in soybeans with 0, 3, 4 and 6 applications. The way evaluations performed on a weekly basis. The quantification of the severity of the disease was performed by the diagrammatic scale. The values of NDVI were obtained using GreenSeeker®, leading the equipment on the plant height of 0.50 m. Digital photos were taken at three different heights (1.20 m, 2.00 m and 3.00 m) and subsequently processed in software. It was also performed the sampling of defoliation on 10 plants per treatment. The data of image processing correlated with defoliation (0.942) and NDVI (0.893) and it was also observed the correlation of defoliation with NDVI (0.962). This allows for validating the use of digital images as an alternative way for quantifying vegetation cover, with the advantage of being a dynamic and fast method and without the need to experience the evaluator to quantify defoliation in soybeans.

KEY-WORDS: Asian Soybean Rust; NDVI; Reflectance.

4.3 INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática da soja, ocasionada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P.Syd, provoca a desfolha antecipada na cultura (GOULART et al., 2011). É considerada a mais destrutiva doença foliar da soja e influencia no número e peso de grãos (GREGORUTTI et al., 2012; MIRANDA et al., 2013). A aplicação de fungicida é o principal método para controlar a doença e tem sido útil para reduzir as perdas na produtividade, pois diminui os níveis de desfolha precoce, o que contribui no rendimento de grãos da cultura (DEB et al., 2010; SILVA et al., 2011; CRUZ et al., 2014).

Esta doença pode infectar a cultura a partir dos estádios iniciais de desenvolvimento e as condições ambientais são fundamentais na ocorrência das epidemias (SILVA et al., 2013). Mesmo cultivares com tolerância à doença utilizam aplicações de fungicida de forma a reduzir prejuízos (MARTINS; JULIATTI, 2014). A aplicação de fungicidas na cultura da soja tem sido feita de forma calendarizada, com duas a três aplicações em média, que iniciam a partir do florescimento (GODOY et al., 2009).

A quantificação de doenças de plantas é parte fundamental para a correta interpretação de estudos de controle e epidemiologia. As medidas mais utilizadas são a incidência e a severidade. A decisão sobre qual tipo de medida utilizar dependerá das características da própria doença e do tempo disponível para a avaliação (ALVES e NUNES, 2012).

A desfolha vem sendo utilizada em campo para estimar o efeito de métodos de controle de doença, principalmente, em avaliações no final do ciclo da cultura onde apresenta correlação com a produtividade (HIRANO et al., 2010). Entretanto, nem sempre os métodos para estimar a desfolha são precisos e/ou rápidos. Bons resultados têm sido obtidos com medições de NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* (GUAN e NUTTER JR, 2002; MIRIK et al., 2006; SPRUCE et al., 2011).

O GreenSeeker[®] é um instrumento que fornece o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), cuja interpretação pode fornecer informações de forma rápida e direcionada sobre as condições nutricionais, estado fisiológico, estresse e rendimento potencial das culturas (GUTIÉRREZ-SOTO et al., 2011). Este sensor óptico ativo emite luz no comprimento de onda do vermelho (660

nm) e do infravermelho próximo (770 nm), mede a luz refletida pelas plantas e calcula automaticamente o NDVI (MOTOMIYA et al., 2009).

A refletância, porcentagem de luz refletida pela planta, pode detectar variações na área foliar de plantas atacadas por doenças, servindo de parâmetro para estimar danos na produção e determinar o limiar de dano econômico (KOGA et al., 2007; SILVA et al., 2009; HIKISHIMA et al., 2010). O comportamento das medidas de refletância em diferentes situações de cultivo, são informações relevantes para serem usadas na elaboração de modelos de estimativa de dano baseados em medidas de refletância (HIKISHIMA et al., 2010), para previsão de produtividade (ALI et al., 2014; CAO et al., *in press*) na agricultura de precisão para aplicação de fertilizantes (CHANG et al., 2014) e para a detecção precoce de lesões na cultura da soja a partir de herbicidas (YAO et al., 2012). Porém, condições como o orvalho, podem influenciar nestas medidas (DAUGHTRY et al., 2000). Apesar dos bons resultados obtidos com a radiometria, ainda trata-se de equipamentos caros.

A análise de imagens digitais em computador permite a avaliação direta da severidade, podendo também ser utilizada em outras áreas da pesquisa, como na avaliação de área foliar. A tendência futura na avaliação da severidade é a automatização da etapa de processamento, na qual um algoritmo faria a separação das áreas sadias e doentes (ALVES e NUNES, 2012). As análises por imagens digitais apresentam baixo custo, podendo chegar a custar menos de um décimo do valor de um equipamento de medição de área foliar (GONG et al., 2013).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi validar por meio do NDVI a utilização de imagens digitais processadas em *software* como forma alternativa para a quantificação da desfolha provocada por ferrugem asiática da soja.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Estadual de Londrina (UEL), localizada no município de Londrina, Paraná, a 23°19'40,92" de latitude Sul e 51°12'19,20" de longitude Oeste e 560 m de altitude, na safra 2013/14. A semeadura da soja foi realizada em 05/12/2013. A cultivar utilizada foi a M 6410 IPRO.

Para a condução do experimento foram utilizados quatro tratamentos em áreas de 12 m de comprimento por 12 linhas de largura, com espaçamento de 0,45 m entre elas. Dentro de cada área foram estipuladas três subáreas, utilizadas

como repetições e onde foram realizadas as tomadas de dados. Os tratamentos tiveram por finalidade proporcionar o gradiente de desfolha provocada pela ferrugem asiática da soja, onde foi considerado testemunha o tratamento sem aplicação do defensivo; no tratamento controle foram realizadas seis pulverizações (30, 45, 60, 75, 90 e 105 dias após a emergência); houve, ainda, tratamentos com quatro pulverizações (60, 75, 90 e 105 dias após a germinação) e três pulverizações (75, 90 e 105 dias após a emergência).

O fungicida utilizado para o gradiente de intensidade da ferrugem asiática da soja foi a mistura comercial de Piraclostrobina + Epoxiconazol (66,5 + 25 g i.a. ha⁻¹), por volume de calda de 200 L.ha⁻¹, acrescido de óleo mineral como veículo, na dose de 500 mL.ha⁻¹.

Por meio de escala diagramática, desenvolvida por GODOY et al. (2006), foi realizada a quantificação da severidade, definida como a porcentagem da área foliar coberta com sintomas da doença. As avaliações foram iniciadas a partir do desenvolvimento das primeiras pústulas e repetidas semanalmente até a desfolha total da cultura. As avaliações foram realizadas em 12 trifólios (quatro do terço inferior, quatro do terço médio e quatro do terço superior por parcela), conforme metodologia de HIKISHIMA et al. (2010).

As leituras do NDVI foram realizadas semanalmente após a primeira aplicação de fungicida, utilizando o equipamento portátil GreenSeeker[®], modelo RT100, da NTech. Foram realizadas três leituras por subárea, passando o equipamento sobre a área útil, a 0,50 m de distância da parte superior das plantas. As leituras foram realizadas no período da manhã, entre 09:00 h e 12:00 h.

As imagens foram obtidas com uma máquina fotográfica Lumix, modelo DMC-FS3 de 8.1 MP (ISO 1600 a 6400), da Panasonic. A máquina fotográfica era posicionada perpendicularmente às plantas em três alturas (1,20 m, 2,00 m e 3,00 m), com auxílio de aparato desenvolvido para este fim. As imagens foram obtidas nas três subáreas em cada tratamento, transferidas para uma CPU e processadas no *software* LeafCover.

O *software* LeafCover foi utilizado para quantificar a cobertura foliar por meio da contabilidade dos pixels verdes em uma foto digital. O *software* LeafCover, responsável pelas determinações de grau de recobrimento através da análise dos componentes RGB das imagens digitais, foi desenvolvido, em linguagem de programação Borland C++ Builder 6.0, compatível com a plataforma Windows 32

bits.

A estimativa da desfolha foi realizada por meio de coleta destrutiva onde foram extraídas 10 plantas da bordadura de cada tratamento e contadas as folhas na haste principal, folhas nas hastes secundárias, folhas caídas na haste principal e folhas caídas nas hastes secundárias.

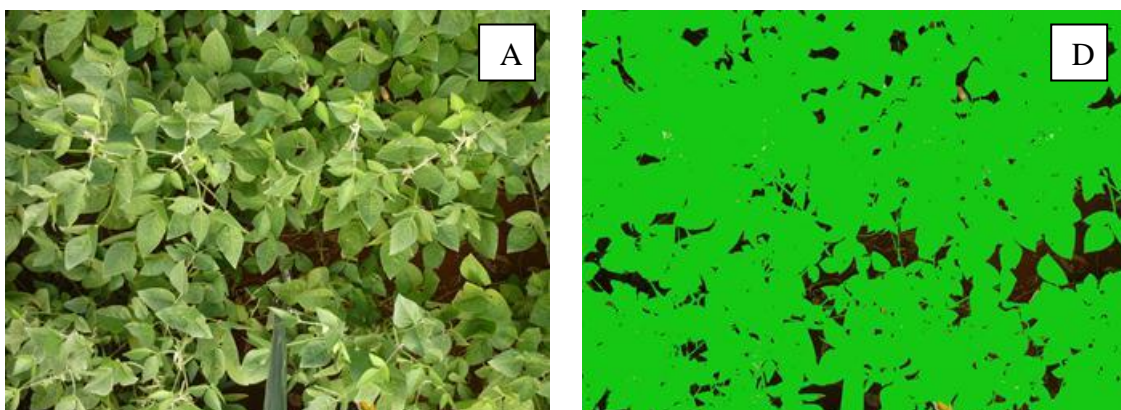
Foram adotados como métodos estatísticos a Correlação de Pearson e a comparação de médias por Scott-Knott a 5% de significância.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens digitais foram obtidas em três alturas e depois processadas em *software* para obtenção da cobertura foliar (Figura 6). Ao realizar análise de comparação de médias pelo teste Scott-Knott, a 5% de significância, comparando os valores nas diferentes alturas, obteve-se igualdade estatística, ou seja, a altura não influenciou na leitura da cobertura foliar obtida por meio de processamento de imagem digital.

Na Figura 7 é possível visualizar o comportamento da cobertura foliar obtida por imagens digitais processadas em *software* (A), do NDVI (B), do número de folhas caídas (C), da severidade da doença (D), e do número de folhas (E) no decorrer do tempo de coleta de dados dos tratamentos com 6, 4, 3 e 0 pulverizações, verifica-se comportamentos semelhante entre os métodos no decorrer do tempo.

Figura 6 – Imagens digitais nas alturas 1,20 m (A), 2,00 m (B) e 3,00 m (C) e posteriormente processadas em *software* para determinação da cobertura foliar da soja (D, E e F).



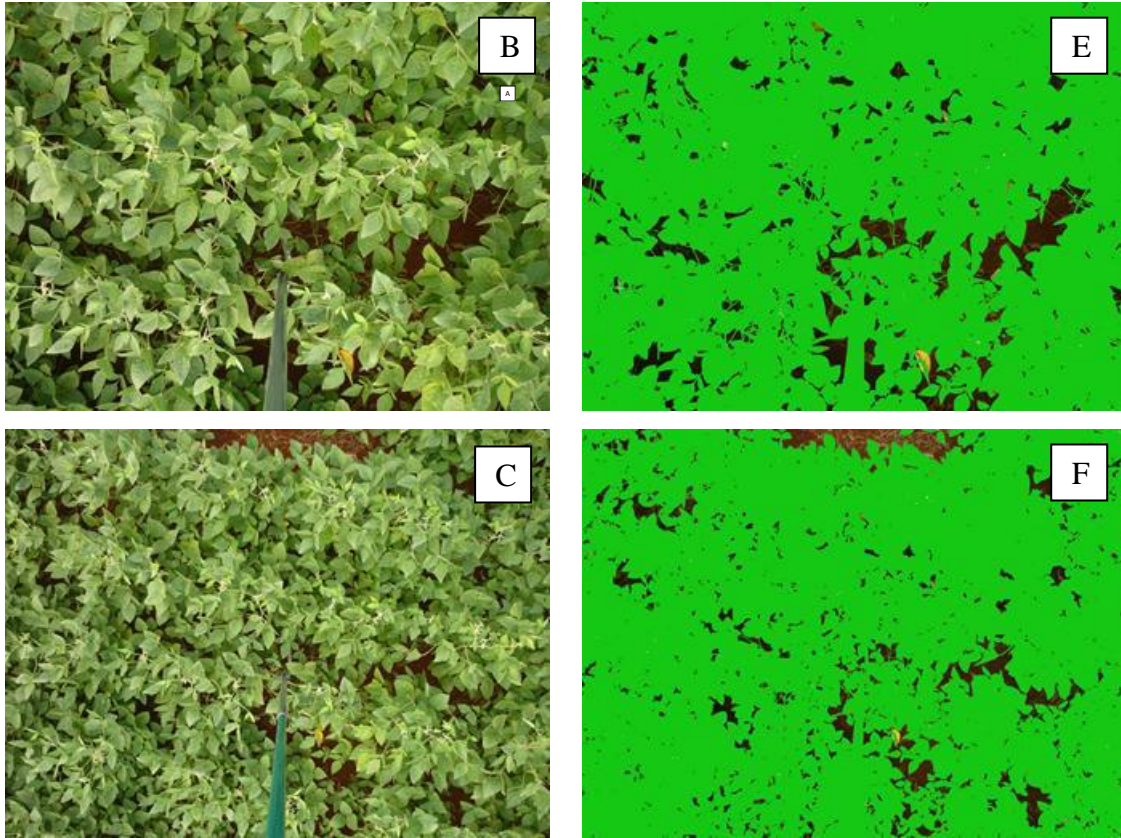
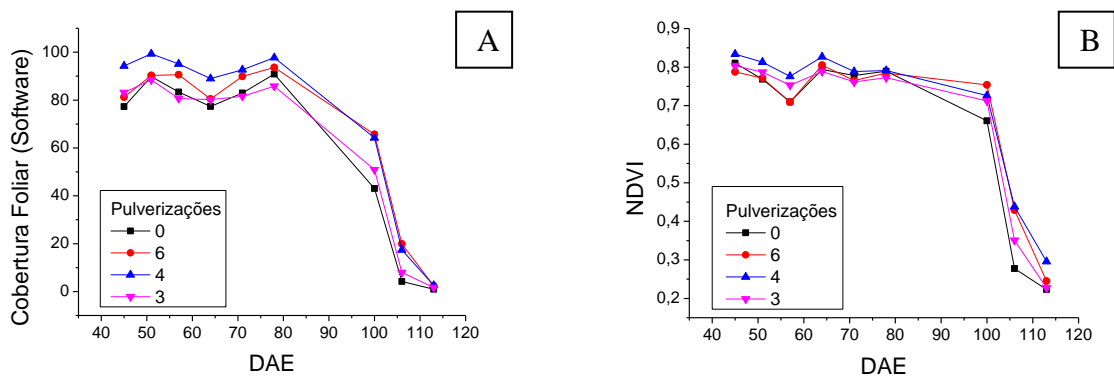
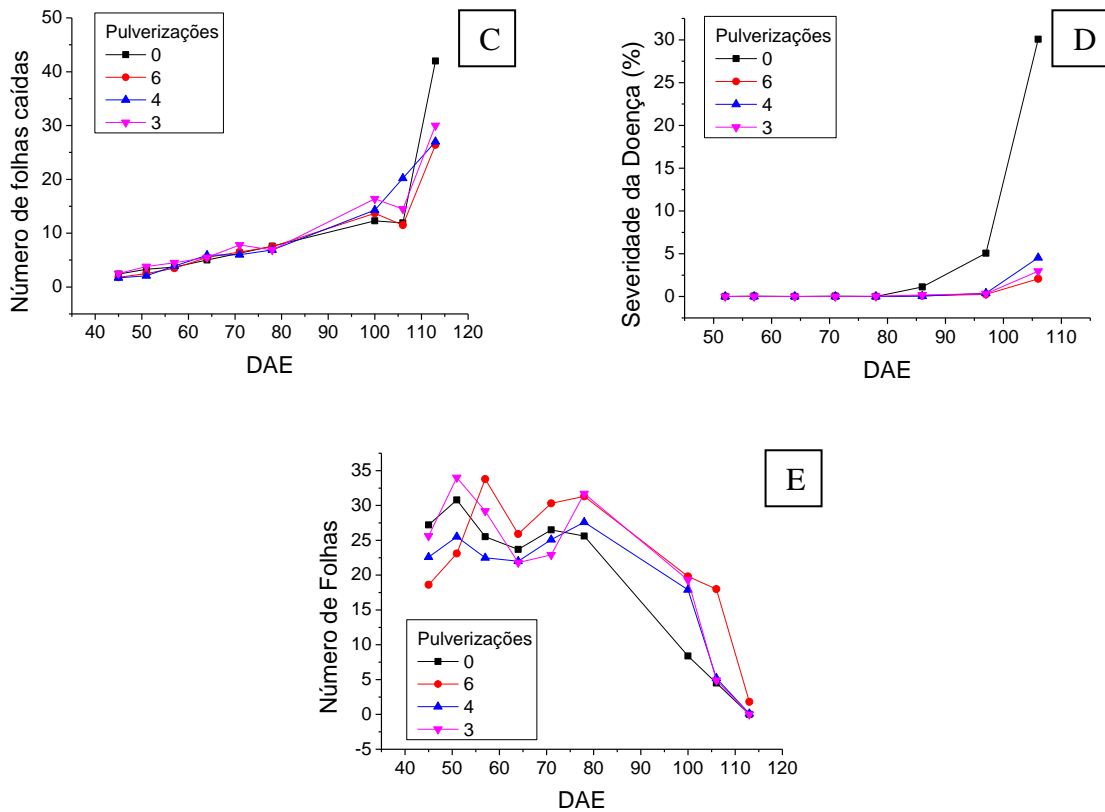


Figura 7 – Comportamento da cobertura foliar obtida por imagens digitais processadas em *software* (A), NDVI (B), número de folhas caídas (C), severidade da doença (D) e número de folhas (E), em relação aos tratamentos com diferentes números de aplicações de fungicida no decorrer do tempo (DAE – dias após emergência).





Utilizando a Correlação de Pearson obteve-se valores acima de 0,72 entre a desfolha e os demais itens avaliados: NDVI, cobertura foliar obtida por meio de imagens digitais e processadas em *software* (Tabela 13) e a severidade da doença nos tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja.

Tabela 8. Resultados da correlação de Pearson entre os dados de número de folhas com a cobertura foliar obtida por imagens digitais processadas em *software* e NDVI em tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja.

Pulverização	6	4	3	0	Média
NDVI	0,777±0,034	0,965±0,004	0,926±0,003	0,903±0,005	0,893
Cobertura Foliar	0,856±0,015	0,987±0,002	0,956±0,002	0,970±0,005	0,942

Valores médios de 0,893 foram encontrados na relação entre o NDVI e o número de folhas. O NDVI pode oferecer estimativas de desfolha de forma precisa e consistente, confirmando afirmações de RITCHIE e BEDNARZ (2005), que desenvolveram estudos com feijão. GUAN e NUTTER JR (2002) afirmam ainda que, em estudos com alfafa, o NDVI apresenta maior correlação com a produção se comparado com análise visual de desfolha.

Entre as variáveis, número de folhas e cobertura foliar obtida por meio de imagem digital processada em *software*, os valores médios foram de 0,942, apresentando, assim como no NDVI, potencial para substituir as análises de cobertura foliar visual utilizando escala diagramática, que segundo HIRANO et al. (2010), pode apresentar subjetividade nas estimativas.

A desfolha na cultura da soja ocorre devido à senescência natural da cultura ou precocemente por consequência da doença ferrugem asiática da soja (GOELLNER et al., 2010). A influência da senescência natural da cultura influenciou nos valores de correlação encontrados entre a desfolha e a severidade da doença, que apresentou média de 0,78.

A correlação entre os dados de cobertura foliar obtida por imagens digitais processadas em *software* com: NDVI e severidade da doença (Tabela 14) foi considerada alta (0,961 e -0,941, respectivamente), assim como a correlação entre o NDVI e a severidade da doença (0,977).

Tabela 9 – Resultados da correlação de Pearson entre os dados de cobertura foliar obtida por imagem digitais processadas em *software* com NDVI e severidade da doença em tratamentos com diferentes gradientes de ferrugem asiática da soja.

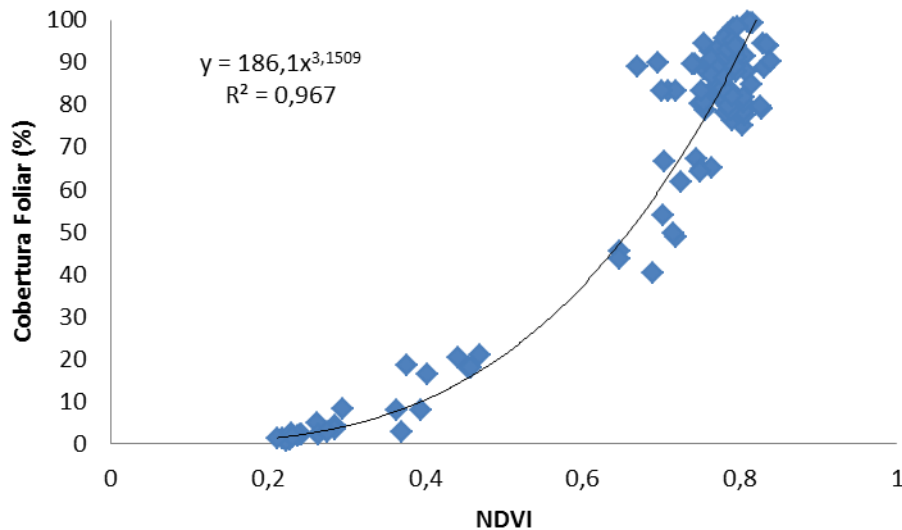
Tratamento	6	4	3	0	Média
Doença	-0,953±0,003	-0,945±0,010	-0,938±0,010	-0,927±0,009	-0,941
NDVI	0,948±0,007	0,975±0,008	0,967±0,011	0,955±0,010	0,961

Valores médios de -0,941 foram obtidos por meio da Correlação de Pearson entre porcentagem de cobertura foliar, a partir do processamento de imagens digitais via *software*, e a porcentagem da doença ferrugem asiática da soja analisada com auxílio de escala diagramática (GODOY et al., 2006). No decorrer do experimento (Tabela 14), os valores foram próximos aos apresentados por MARTIN et al. (2013) que, utilizando o *software* ImageJ e um integrador de área foliar, obtiveram valores de R² entre 0,914 e 0,968 em estudo com feijão. Ao correlacionar a severidade da doença com os valores de NDVI obteve-se a média de 0,977, concluindo-se que há alta correlação entre as duas variáveis e corroborando com os resultados obtidos por HIKISHIMA et al. (2010), que obtiveram R² variando de 0,906 a 0,985.

Ao analisar a cobertura foliar obtida por processamento de imagens

digitais em *software* e correlacionar os valores com o NDVI, em cada tratamento do experimento, observa-se valores médios de 0,961 (Tabela 14). ZARATE-VALDEZ et al. (2012) obtiveram R^2 de 0,90 entre o NDVI e imagens de satélite em pomar de amêndoas. Com esta alta correlação pode-se obter, por meio de regressão potencial, em gráfico de dispersão, a expressão $y = 186,1x^{3,1509}$ (Figura 8). Com R^2 de 0,967 verifica-se um resultado de maior precisão ao comparar com os valores de HIRANO et al. (2010), que obtiveram R^2 médio de 0,75 na precisão das estimativas de desfolha quando comparado com os dados reais de desfolha da soja provocada pela ferrugem asiática.

Figura 8 – Regressão potencial dos dados de Cobertura Foliar e NDVI.



4.6 CONCLUSÕES

Conclui-se que é possível estimar a desfolha em soja provocada pela ferrugem asiática por meio de análise de imagens processadas via *software*.

5 ARTIGO C

ESTIMAÇÃO DO TAMANHO ÓTIMO DE PARCELAS PARA EXPERIMENTOS COM RADIÔMETRO EM SOJA TRATADA COM FUNGICIDA

5.1 RESUMO

A falta de planejamento experimental e a probabilidade de erro em estudos agrícolas de campo pode resultar na repetição do trabalho e, conseqüentemente, gastos de recursos financeiros e humanos. Uma forma de diminuir este problema é pela determinação do tamanho ótimo de parcela experimental para realização dos tratamentos. O objetivo deste trabalho foi estimar o tamanho ótimo de parcelas para medida de refletância em soja, tratada com diferentes doses de fungicida, utilizando-se o método de curvatura máxima modificada e o método de máxima distância. Foram realizadas leituras de refletância na cultura da soja com auxílio do equipamento GreenSeeker®, em unidades básicas de 0,45 m², numa área de 10 linhas e 10 metros de comprimento em cada tratamento. Os tratamentos foram aplicados para criar um gradiente da doença ferrugem asiática da soja, variando o número de aplicação do defensivo. Os dados foram coletados em dois estádios fenológicos (R5.5 e R6), obtendo-se 300 simulações de área experimental em cada estádio. Com base nos resultados, recomenda-se o uso de parcelas de 6,75m², com agrupamento de três linhas de 5 m de comprimento.

PALAVRAS-CHAVE: Curvatura máxima modificada; Máxima distância; NDVI;.

5.2 ABSTRACT

The lack of experimental design and the probability of error in studies of agricultural field can result repetition of work and, consequently, the cost of financial and human resources. A way to reduce this problem is by determining the optimum size of experimental plots for the attainment of treatments. The aim of this work was to estimate the optimum size of plots to measure reflectance in soybean, treated with different doses of fungicide, using the method of maximum curvature modified and the method of maximum distance.. Readings of reflectance in soybean with the aid of

equipment GreenSeeker® were taken obtaining basic units of 0.45 m², in an area of 10 lines and 10 meters in length in each treatment. Treatments were applied to create a gradient of Asian soybean rust disease, by varying the number of defensive application. Data were collected in two phenological stages (R5.5 and R6), resulting in 300 simulations of experimental area at each stage. On the basis of the results, it is recommended the use of plots of 6.75m², with grouping of three rows of 5 m length.

KEY-WORDS: Modified maximum curvature; Maximum distance; NDVI;

5.3 INTRODUÇÃO

A refletância, porcentagem de luz refletida pela planta, pode ser utilizada para detectar variações na área foliar de plantas atacadas por doenças, servindo de parâmetro para estimar danos na produção e determinar o limiar de dano econômico (KOGA et al., 2007; SILVA et al., 2009; HIKISHIMA et al., 2010).

O GreenSeeker® é um instrumento que fornece o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) via medidas de refletância, cuja interpretação pode fornecer informações de forma rápida e direcionada sobre as condições nutricionais, estado fisiológico, estresse e rendimento potencial das culturas (GROHS et al., 2009; GUTIÉRREZ-SOTO et al., 2011).

Para experimentos que utilizem a refletância como parâmetro é necessário verificar o tamanho de parcela ideal. Com o objetivo de quantificar os danos e a relação entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja, HIKISHIMA et al. (2010) adotaram como unidade experimental uma área de 6,75 m², ou seja, três linhas de 5 m de comprimento.

O planejamento experimental quanto à escolha adequada do tamanho de parcela é procedimento indispensável para a execução de ensaios com precisão experimental de magnitude aceitável (STORCK; SILVA, 2014). A economia de recursos humanos e financeiros, sem perder a precisão experimental, é considerada um fator importante no planejamento de experimentos (CARGNELUTTI FILHO et al., 2009).

O estabelecimento de tamanho ótimo de parcela, em qualquer

cultura, é uma das maneiras de se aumentar a precisão experimental e maximizar as informações obtidas em um experimento (SILVA et al., 2012), além de ser uma forma reconhecida para redução do erro experimental, existindo vários métodos para sua estimação, baseados em diferentes princípios (LORENTZ et al., 2012).

Para a determinação do tamanho ótimo de parcela por meio do método da curvatura máxima modificada e do método da máxima distância é necessário um experimento com a cultura de interesse e, em seguida, a subdivisão da área experimental em porções menores, denominadas de unidades básicas, das quais são coletados os dados de forma independente, identificando a posição relativa. Após a tomada dos dados, são simuladas parcelas de tamanhos e formas diferentes, por meio da soma das parcelas contíguas (LORENTZ et al., 2012).

O objetivo deste trabalho foi estimar o tamanho ótimo de parcelas para avaliação da refletância em experimentos com tratamento de fungicida em soja pelos métodos de curvatura máxima modificada e da máxima distância.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Londrina (UEL), localizada no município de Londrina, Paraná, a 23°19'40,92" de latitude Sul e 51°12'19,20" de longitude Oeste e 560 m de altitude, na safra 2013/14. A semeadura foi realizada no dia 05/12/2013. A cultivar de soja utilizada foi a Monsoy 6410 IPRO.

Foram utilizadas quatro áreas de 12 m de comprimento e 12 linhas, com distância de 0,45 entre elas, sendo a área útil para a coleta de dados de 10 linhas x 10 m, ou seja, 45 m² centrais. Cada parcela foi conduzida com um tratamento para simular diferente intensidade da ferrugem asiática, que foi possível em função da aplicação de fungicida em forma calendarizada (Tabela 8).

Tabela 10 – Número e momento de pulverizações realizadas nos respectivos tratamentos para controle da ferrugem asiática da soja (*P. pachyrhizi*) na safra 2013/14 com a intenção de criar um gradiente da doença nas áreas.

Número de pulverizações	Pulverizações (dias após a germinação)
6	30, 45, 60, 75, 90, 105
4	60, 75, 90, 105
3	75, 90, 105
0	-

O fungicida utilizado para o gradiente de intensidade da ferrugem asiática da soja foi a mistura comercial Piraclostrobina + Epoxiconazol (66,5 + 25 g i.a. ha⁻¹), por volume de calda de 200 L.ha⁻¹, acrescido de óleo mineral como veículo, na dose de 500 mL.ha⁻¹.

As leituras de refletância foram realizadas nos estádios R5.5 e R6 (09/03/2014 e 23/04/2013, respectivamente), entre às 8h e 8h30min, nas 10 linhas centrais de cada parcela, em intervalos de metro em metro para cada tratamento, totalizando 10 m por linha e 100 leituras por tratamento, por estádio. O equipamento utilizado para a medição da refletância foi o GreenSeeker®, modelo RT100, da NTEch, tomando dados a uma distância de 50 cm do dossel da cultura.

O tamanho ótimo de parcela foi estimado utilizando-se, inicialmente, o método da curvatura máxima modificada, proposto por LESSMAN; ATKINS (1963) apud MEIER; LESSMAN (1971). Neste método, a medida de variabilidade dada pelo coeficiente de variação (CV_x) e o tamanho da parcela com X unidades básicas é esclarecida por $CV_x = aX^{-b}$, onde a e b são os parâmetros a serem estimados. O tamanho ótimo da parcela foi estimado pela expressão:

$$X_0 = \exp \left\{ \left[\frac{1}{2b + 2} \right] \log \left[\frac{(ab)^2(2b + 1)}{b + 2} \right] \right\}$$

Onde, X_0 é o valor da abscissa no ponto de máxima curvatura, o qual corresponde ao tamanho ótimo da parcela (MEIER e LESSMAN, 1971). Para confirmar os resultados, além do coeficiente de variação (CV_x) foram repetidos os cálculos com os dados de variância (V_x), esclarecida por $V_x = aX^{-b}$.

Conforme PARANAÍBA et al. (2009) é recomendado o uso de mais de um método de determinação de tamanho ótimo de parcelas experimentais. Desta forma, o método da máxima distância foi utilizado posteriormente, onde sua resolução parte da geometria formada por uma curva y_c , descrita por $CV_x = aX^{-b}$, e uma reta secante a esta curva, y_r . Procurou-se o ponto da curva y_c que estava à maior distância da reta y_r , desde que o segmento de reta ao longo dessa distância fosse perpendicular à reta y_r (LORENTZ et al., 2012).

O método de solução apresentado por LORENTZ et al. (2012) propõe expressar a reta perpendicular à reta y_r , como auxílio para encontrar o ponto procurado da curva y_c . Assim, esta reta perpendicular à reta y_r denomina-se y_p ,

expressa por $y_p = ex + f$. O coeficiente angular c e o coeficiente linear d , ambos da reta y_r , são fixos e podem ser obtidos a partir de dois pontos de y_r comuns à curva y_c .

O ponto em comum entre y_c e y_r que está mais à esquerda, dado por (x_{cri}, y_{cri}) , e o ponto em comum mais à direita é dado por (x_{crf}, y_{crf}) . Então c e d são expressos, respectivamente, por: $c = (y_{crf} - y_{cri}) / (x_{crf} - x_{cri})$ e $d = y_{cri} - cx_{cri}$ ou $d = y_{crf} - cx_{crf}$ sendo estas expressões para d obtidas, isolando-se na equação para y_r , tendo sido substituído nesta, o ponto (x_{cri}, y_{cri}) , ou o ponto (x_{crf}, y_{crf}) . O coeficiente angular e da reta y_p também é fixo e pode ser obtido, usando-se a condição de que as retas y_r e y_p sejam perpendiculares entre si. Desta maneira, $e = -1/c$.

A determinação do coeficiente linear f da reta y_p faz parte do método iterativo proposto por LORENTZ et al. (2012) e que tem como solução: $x_{rpj} = f - d/c - e$.

A distância entre os pontos (x_{cj}, y_{cj}) e (x_{rpj}, y_{rpj}) , distância esta sobre a reta y_{pj} , a qual é perpendicular a y_r , é dada por: $d_{cr} = \sqrt{(y_{cj} - y_{rpj})^2 + (x_{cj} - x_{rpj})^2}$.

As análises foram realizadas dentro de cada área e em cada estádio fenológico (R5.5 e R6). Desta forma, pode-se considerar cada área como tratamento em branco, conforme pesquisa desenvolvida por LORENTZ et al. (2012). Os dois estádios foram escolhidos conforme fosse encontrada diferença estatística entre um dos tratamentos.

Para a determinação do tamanho ótimo de parcela é necessário o agrupamento de unidades experimentais básicas (UEB) dos dados de NDVI coletados para determinar a área e o número das parcelas. Na Tabela 9 são apresentadas as simulações, a largura em metros, o comprimento de 0,45m de cada unidade, a relação entre comprimento e largura (CxL), tamanho da parcela em m², o tipo de agrupamento e o número de parcelas. A UEB neste trabalho é considerada 0,45m², ou seja, 1m de comprimento por 0,45m de largura.

Foram realizados os cálculos para determinação do tamanho ótimo de parcela utilizando as simulações de 1 a 75, 1 a 50 e 1 a 25, com o intuito de obter um R² mais significativo.

Tabela 11 – Unidades de largura e comprimento, combinação de comprimento e largura (CxL), tamanho da parcela (m²), tipo de agrupamento (m) e número total de parcelas.

Simulação	Largura	Comprimento	CxL	Tamanho (m ²)	Tipo de Agrupamento (m)	Número de parcelas
1	1	1	1	0,45	0,45 x 1,00	100
2	2	1	2	0,90	0,90 x 1,00	50
3	3	1	3	1,35	1,35 x 1,00	30
4	4	1	4	1,80	1,80 x 1,00	20
5	5	1	5	2,25	2,25 x 1,00	20
6	6	1	6	2,70	2,70 x 1,00	10
7	7	1	7	3,15	3,15 x 1,00	10
8	8	1	8	3,60	3,60 x 1,00	10
9	9	1	9	4,05	4,05 x 1,00	10
10	10	1	10	4,50	4,50 x 1,00	10
11	1	2	2	0,90	0,45 x 2,00	50
12	1	3	3	1,35	0,45 x 3,00	30
13	1	4	4	1,80	0,45 x 4,00	20
14	1	5	5	2,25	0,45 x 5,00	20
15	1	6	6	2,70	0,45 x 6,00	10
16	1	7	7	3,15	0,45 x 7,00	10
17	1	8	8	3,60	0,45 x 8,00	10
18	1	9	9	4,05	0,45 x 9,00	10
19	1	10	10	4,50	0,45 x 10,00	10
20	2	2	4	1,80	0,90 x 2,00	25
21	3	2	6	2,70	1,35 x 2,00	15
22	4	2	8	3,60	1,80 x 2,00	10
23	5	2	10	4,50	2,25 x 2,00	10
24	6	2	12	5,40	2,70 x 2,00	5
25	7	2	14	6,30	3,15 x 2,00	5
26	8	2	16	7,20	3,69 x 2,00	5
27	9	2	18	8,10	4,05 x 2,00	5
28	10	2	20	9,00	4,50 x 2,00	5
29	2	3	6	2,70	0,90 x 3,00	15
30	3	3	9	4,05	1,35 x 3,00	9
31	4	3	12	5,40	1,80 x 3,00	6
32	5	3	15	6,75	2,25 x 3,00	6
33	6	3	18	8,10	2,70 x 3,00	3
34	7	3	21	9,45	3,15 x 3,00	3
35	8	3	24	10,80	3,60 x 3,00	3
36	9	3	27	12,15	4,05 x 3,00	3
37	10	3	30	13,50	4,50 x 3,00	3
38	2	4	8	3,60	0,90 x 4,00	10
39	3	4	12	5,40	1,35 x 4,00	6
40	4	4	16	7,20	1,80 x 4,00	4
41	5	4	20	9,00	2,25 x 4,00	4
42	6	4	24	10,80	2,70 x 4,00	2
43	7	4	28	12,60	3,15 x 4,00	2
44	8	4	32	14,40	3,60 x 4,00	2
45	9	4	36	16,20	4,05 x 4,00	2
46	10	4	40	18,00	4,50 x 4,00	2
47	2	5	10	4,50	0,90 x 5,00	10
48	3	5	15	6,75	1,35 x 5,00	6
49	4	5	20	9,00	1,80 x 5,00	4
50	5	5	25	11,25	2,25 x 5,00	4
51	6	5	30	13,50	2,70 x 5,00	2
52	7	5	35	15,75	3,15 x 5,00	2
53	8	5	40	18,00	3,60 x 5,00	2
54	9	5	45	20,25	4,05 x 5,00	2
55	10	5	50	22,50	4,50 x 5,00	2
56	2	6	12	5,40	0,90 x 6,00	5
57	3	6	18	8,10	1,35 x 6,00	3
58	4	6	24	10,80	1,80 x 6,00	2
59	5	6	30	13,50	2,25 x 6,00	2

60	2	7	14	6,30	0,90 x 7,00	5
61	3	7	21	9,45	1,35 x 7,00	3
62	4	7	28	12,60	1,80 x 7,00	2
63	5	7	35	15,75	2,25 x 7,00	2
64	2	8	16	7,20	0,90 x 8,00	5
65	3	8	24	10,80	1,35 x 8,00	3
66	4	8	32	14,40	1,80 x 8,00	2
67	5	8	40	18,00	2,25 x 8,00	2
68	2	9	18	8,10	0,90 x 9,00	5
69	3	9	27	12,15	1,35 x 9,00	3
70	4	9	36	16,20	1,80 x 9,00	2
71	5	9	45	20,25	2,25 x 9,00	2
72	2	10	20	9,00	0,90 x 10,00	5
73	3	10	30	13,50	1,35 x 10,00	3
74	4	10	40	18,00	1,80 x 10,00	2
75	5	10	50	22,50	2,25 x 10,00	2

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para estimar o tamanho ótimo de parcela pelo método da curvatura máxima modificada (CMM) é necessário obter os valores das estimativas a e b apresentadas por Lessman e Atkins (MEIER; LESSMAN, 1971) e pelo método da MD, ainda, é necessário os valores de c , d e e dos coeficientes linear e angular das retas y_r e y_p (LORENTZ et al., 2012), valores apresentados na Tabela 10, para os dados de Coeficiente de Variação e na Tabela 11, para os dados de Variância.

Tabela 12 – Valores das estimativas a e b de Lessman e Atkins, coeficiente angular c e coeficiente linear d da reta y_r , coeficiente angular e da reta y_p e R^2 utilizando o CV para os tratamentos com diferentes números de pulverizações de fungicida.

Trat.	Estádio	Simulação	a	b	c	d	e	R ²
6	R5.5	75	2,151	0,381	-0,0354	2,186	28,248	0,412
		50	2,359	0,435	-0,0804	2,439	12,439	0,631
		25	2,351	0,444	-0,1376	2,489	7,267	0,770
	R6	75	12,615	0,653	-0,2421	12,857	4,130	0,255
		50	18,075	0,884	-0,7294	18,804	1,370	0,549
		25	9,309	0,520	-0,5818	9,891	1,718	0,502
4	R5.5	75	2,527	0,810	-0,0500	2,577	20,000	0,408
		50	3,916	1,072	-0,1607	4,076	6,222	0,483
		25	1,506	0,496	-0,0924	1,598	10,822	0,894
	R6	75	9,960	0,418	-0,1698	10,130	5,889	0,385
		50	8,437	0,345	-0,2604	8,697	3,840	0,539
		25	9,432	0,433	-0,5456	9,978	1,832	0,533
3	R5.5	75	3,320	0,506	-0,0601	3,380	16,638	0,439
		50	2,486	0,344	-0,0766	2,563	13,054	0,686
		25	2,737	0,397	-0,1519	2,889	6,583	0,740
	R6	75	13,764	0,432	-0,2374	14,001	4,212	0,215
		50	13,005	0,436	-0,4451	13,500	2,246	0,534
		25	15,212	0,571	-0,9839	16,196	1,016	0,541
0	R5.5	75	2,634	0,522	-0,0481	2,682	20,790	0,375
		50	2,862	0,590	-0,1074	2,969	9,310	0,592
		25	2,215	0,452	-0,1307	2,346	7,651	0,684
	R6	75	25,181	0,486	-0,4509	25,632	2,217	0,179
		50	32,828	0,677	-1,2710	34,099	0,786	0,471
		25	25,025	0,574	-1,6216	26,647	0,616	0,432

Tabela 13 – Valores das estimativas a e b de Lessman e Atkins, coeficiente angular c e coeficiente linear d da reta y_r , coeficiente angular da reta y_p e R^2 utilizando a V para os tratamentos com diferentes números de pulverizações de fungicida

Trat.	Estádio	Simulação	a	b	c	d	e	R ²
6	R5.5	75	0,0003	0,763	-0,000006	0,0003	166666	0,413
		50	0,0004	0,872	-0,00001	0,0003	100000	0,633
		25	0,0004	0,888	-0,00003	0,0004	33333	0,772
	R6	75	0,0078	1,307	-0,0002	0,008	5000	0,255
		50	0,016	1,772	-0,0007	0,016	1428	0,550
		25	0,0043	1,046	-0,0003	0,0046	3333	0,501
4	R5.5	75	0,0004	1,621	-0,000008	0,0004	125000	0,408
		50	0,001	2,144	-0,000004	0,0001	250000	0,483
		25	0,0002	0,993	-0,00001	0,0002	100000	0,895
	R6	75	0,0005	1,044	-0,00001	0,0005	100000	0,387
		50	0,0005	1,179	-0,00002	0,0005	50000	0,546
		25	0,0003	0,903	-0,00002	0,0003	50000	0,542
3	R5.5	75	0,0007	1,012	-0,00001	0,0007	100000	0,440
		50	0,0004	0,691	-0,0002	0,0004	50000	0,689
		25	0,0005	0,796	-0,00004	0,0005	25000	0,742
	R6	75	0,0007	0,863	-0,0001	0,0073	10000	0,217
		50	0,0062	0,871	-0,0003	0,0068	3333	0,540
		25	0,0088	1,137	-0,0007	0,0095	1428	0,546
0	R5.5	75	0,0005	1,044	-0,00001	0,0005	100000	0,375
		50	0,0005	1,179	-0,00002	0,0005	50000	0,592
		25	0,0003	0,903	-0,00002	0,0003	50000	0,685
	R6	75	0,0183	0,962	-0,0004	0,0187	2500	0,178
		50	0,0308	1,337	-0,0013	0,0321	789,2	0,468
		25	0,0175	1,116	-0,0013	0,0013	769,2	0,433

Para os dois estádios da cultura em que foram coletados os dados de NDVI (R5.5 e R6) e nas simulações de áreas de 75, 50 e 25, pelo método da curvatura máxima modificada (CMM), nos quatro tratamentos, utilizando-se dos dados de coeficiente de variação (CV) e variância (V), obteve-se como tamanho ótimo de parcela a área de 0,45m², relação de comprimento por largura igual a 1, ou seja, área igual a UEB (Tabela 12). Conforme PARANAÍBA et al. (2009), o método da máxima curvatura pode subestimar o tamanho da parcela, devido aos baixos valores do coeficiente de variação que, segundo LORENTZ et al. (2012) influencia na estimativa do tamanho ótimo da parcela.

O método de máxima distância estima que, para o tratamento isento de pulverização de fungicida, o tamanho ótimo de parcela é de 6,30m² (CxL=14); para os tratamentos com 6 e 4 aplicações, 4,50m² (CxL=10); e para o tratamento com 3 pulverizações, 4,05m² (CxL=9). Segundo MORAIS et al. (2014) para se ter uma maior qualidade nos dados obtidos, é preciso adotar o maior tamanho de parcela. Desta forma, o tamanho ótimo de parcela para estudos de refletância em soja é de 6,30 m², sendo duas linhas de 7 m, ou também pode-se recomendar a adoção de CxL imediatamente superior, neste caso, CxL = 15 ou 6,75m², com

agrupamento de três linhas de 5 m. Este tamanho de parcela é igual ao adotado por Hikishima et al. (2010) em seu trabalho, porém, superior ao estimado por MARTIN et al. (2005), que desenvolveram o estudo para rendimento de grão em soja e recomendaram parcelas de 3,96m².

Tabela 14 – Combinação de comprimento e largura (CxL) e tamanho ótimo de parcela (m²) obtidos pelos métodos de Curvatura Máxima Modificada (CMM) e Máxima Distância (MD) para os dados de Coeficiente de Variação (CV) e Variância (V) com 75, 50 e 25 simulações para os estádios R5.5 e R6.

Simulações	CMM		MD		
	CV	V	CV	V	
		6 pulverizações			
75 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=10 (4,50m ²)	CxL=8 (3,60m ²)	
50 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=7 (3,15m ²)	
25 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	
75 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=8 (3,60m ²)	CxL=6 (2,70m ²)	
50 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	
25 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=5 (2,25m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	
		4 pulverizações			
75 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=8 (3,60m ²)	CxL=5 (2,25m ²)	
50 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=5 (2,25m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	
25 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=5 (2,25m ²)	
75 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=10 (4,50m ²)	CxL=7 (3,15m ²)	
50 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=5 (2,25m ²)	
25 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	
		3 pulverizações			
75 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=9 (4,05m ²)	CxL=8 (3,60m ²)	
50 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	
25 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	
75 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=9 (4,05m ²)	CxL=9 (4,05m ²)	
50 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	
25 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	
		Isento de pulverizações			
75 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=9 (4,05m ²)	CxL=7 (3,15m ²)	
50 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=10 (4,50m ²)	CxL=5 (2,25m ²)	
25 – R5.5	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	
75 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=9 (4,05m ²)	CxL=7 (3,15m ²)	
50 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	
25 – R6	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=1 (0,45m ²)	CxL=4 (1,80m ²)	CxL=14 (6,30m ²)	

5.6 CONCLUSÕES

Conclui-se que o método de máxima distância foi o que possibilitou estimar o tamanho ótimo de parcela. Desta forma, em trabalhos que utilizem medidas de refletância em soja, recomenda-se o uso de parcelas de 6,75m², com agrupamento de 3 linhas de 5m.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) tem correlação com a severidade de ferrugem asiática da soja, expressa pela porcentagem de área foliar doente, com potencial para determinação do melhor momento da aplicação de fungicida no patossistema ferrugem asiática da soja. Sugere-se a continuidade do estudo comparando o NDVI entre a parcela controle, parcela em situação normal de cultivo e parcela testemunha, porém com tomadas de dados de maior frequência (a cada 2 ou 3 dias) ou, preferencialmente, por meio de um sistema estático, com coleta contínua dos dados.

A ferrugem asiática da soja apresenta, como uma de suas consequências, a desfolha antecipada da cultura, sendo o método de estimativa mais adotado, a escala diagramática. Validada por meio do NDVI, a análise de imagens digitais processadas via *software* pode ser utilizada para a estimativa da desfolha sem a necessidade de experiência do avaliador e eliminando a possibilidade de subestimar ou sobrestimar a estimativa. Sugere-se desenvolver uma forma ainda mais dinâmica para avaliar a desfolha, eliminando a necessidade de transferência das imagens digitais da câmera para o computador e posterior processamento da imagem. Para isso bastaria adequar o *software* para um aplicativo, possibilitando ao agricultor ou pesquisador estimar a desfolha momentaneamente com a utilização de um celular ou *tablet*.

Para trabalhos com o índice de vegetação por diferença normalizada em soja é indicado a utilização de parcelas de 6,75 m², estruturadas em 3 linhas de 5 metros. A mesma medida pode ser utilizada para culturas de estrutura fisiológica similares, porém o mais indicado é estimar o tamanho ótimo de parcela para cada cultura.

7 REFERÊNCIAS

- ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, R. T. de. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, vol. 67, n. 4, p. 1053-1058, Out., 2008.
- ALI, A. M.; THIND, H. S.; SHARMA, S.; SINGH, V. Prediction of dry direct-seeded rice yields using chlorophyll meter, leaf color chart and GreenSeeker optical sensor in northwestern India. **Field Crops Research**, v. 161, p. 11-15, 2014.
- ALVES, S. A. M.; NUNES, C. C. **Metodologia para elaboração de escalas diagramáticas para avaliação de doenças em plantas**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, Comunicado Técnico, p. 6, 2012.
- ANEC – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE CEREAIS. Exportação de Farelo e Óleo de Soja. Disponível em: <http://www.anec.com.br/pdf/ExportacaUltimos23anosFareloDeSoja.pdf>. Acessado em 05 de mai. de 2014.
- ANTUNIASSI, U. R.; VELINI, E. D.; OLIVEIRA, R. B. de; OLIVEIRA, M. A. P. de; FIGUEIREDO, Z. N. Systems of aerial spraying for soybean rust control. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p. 695-703. Abr., 2011.
- BACKES, C.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, C. P. de; GODOY, L. J. G. de; BÜLL, L. T.; SANTOS, A. J. M. Estado nutricional em nitrogênio da grama esmeralda avaliado por meio do teor foliar, clorofilômetro e imagem digital, em área adubada com lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, vol. 69, n. 3, p. 661-668, 2010.
- BAESSO, M. M.; PINTO, F. de A. de C.; QUEIROZ, D. M. de; VIEIRA, L. B. de; ALVES, E. A. Determinação do "status" nutricional de nitrogênio no feijoeiro utilizando imagens digitais coloridas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, vol. 27, n. 2, p. 520-528, Mai., 2007.
- BARBEDO, J. G. A. Digital image processing techniques for detecting, qualifying and classifying plant disease, **SpringerPlus**, Heidelberg, v. 2, p. 660-672, Dez., 2013.
- BARTON, C. V. M. Advances in remote sensing of plant stress. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1-2, p. 41-44, May., 2012.
- BERGAMIN FILHO, A.; LOPES, D. B.; AMORIN, L.; GODOY, C.V.; BERGER, R. D. Avaliação de danos causados por doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 3, p. 133-184, 1995.
- BONDE, M. R.; NESTER, S. E.; BERNER, D. K. Effects of frequency of "extreme" temperature highs on development of soybean rust. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 103, n. 7, p. 708-716, Fev., 2013.
- BREDEMEIER, C.; VARIANI, C.; ALMEIDA, D.; ROSA, A. T. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 7, p. 1147-1154, Jul. 2013.

BRENCHLEY, G. H. Aerial photography for the study of plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 6, p. 1-20, Set., 1968.

CANTERI, M. G.; PRIA, M. D.; SCHIEBELBEIN, L. M.; SILVA, O. C. da; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Relações entre área foliar sadia, produtividade, refletância, eficiência fotossintética e severidade de mancha angular em feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 23, n.4, p. 498-501, Out., 1998.

CANTERI, M. G.; VITTI, A. J.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade em amendoim. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 25, n.3, p. 228-233, Mar., 1999.

CAO, Q.; MIAO, Y.; FENG, G.; GAO, X.; LI, F.; LIU, B.; Y, S.; CHENG, S.; USTIN, S. L. KHOSLA, R. (in press) Active canopy sensing of winter wheat nitrogen status: An evaluation of two sensor systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, disponibilizado *on line* em Set., 2014.

CARGNELUTTI FILHO, A.; RIBEIRO, N. D.; STORCK, L. Número de repetições para a comparação de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 9, Dec. 2009.

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; FICK, A. L.; CASAROTTO, G. Tamanhos de parcela e de ensaio de uniformidade em nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1517-1525, Set., 2011a.

CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; BURIN, C.; CASAROTTO, G., LÚCIO, A. D. Métodos de estimativa do tamanho ótimo de parcelas experimentais de híbridos de milho simples, triplo e duplo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, p. 1509-1516, Set., 2011b.

CHANG D.; ZHANG, J.; ZHU, L.; GE, S.; LI, P.; LIU, G. Delineation of management zones using an active canopy sensor for tobacco field. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 109, pp. 172-178, Nov., 2014.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira - Grãos**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_12_10_16_06_56_boletim_portugues_dezembro_2013.pdf. Acesso em 09 dez. 2014.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária – Safra 2013/2014**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_13_14_55_32_perspectivas_da_agropecuaria_2013.pdf. Acesso em 02 nov. 2013.

CRUZ, T. V. da, PEIXOTO, C. P., MARTINS, M. C., LARANJEIRA F. F., LIMA LOPES, P. V., ANDRADE, N. S., LEDO, C. A. da S. Perdas causadas pela ferrugem-asiática em cultivares de soja semeadas em diferentes épocas, no Oeste da Bahia. **Tropical plant pathology**, Brasília, v. 37, n. 4, Ago. 2012.

CRUZ, M. F. A.; RODRIGUES, F. Á.; DINIZ, A. P. C.; MOREIRA, M. A.; BARROS, E. G. Soybean resistance to *Phakopsora pachyrhizi* as affected by Acibenzolar-S-Methyl, jasmonic acid and silicon. **Journal of Phytopathology**, Malden, v. 162, n. 2, p. 133-136, Fev., 2014.

DAUGHTRY, C. S. T.; WALTHALL, C. L.; KIM, M. S.; BROWN de COLSTOUN, E.; McMURTRY III, J. E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p. 229-239, 2000.

DE CONINCK, B. M. A.; AMAND, O.; DELAURÉ, S. L.; LUCAS S.; HIAS, N.; WEYENS, G.; MATHYS, J.; DE BRUYNE, E.; CAMMUE, B. P. A. The use of digital image analysis and real-time PCR fine-tunes bioassays for quantification of *Cercospora* leaf spot disease in sugar beet breeding. **Plant Pathology**, Londres, v. 61, n. 1, p. 76-84, Jun., 2012.

DEB, D.; ENGEL, B. A.; HARBOR, J.; HAHN, L.; LIM, K. J.; ZHAI, T. Investigating potential water quality impacts of fungicides used to combat soybean rust in Indiana. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 207, n. 1-4, p. 273-288. Mar. 2010.

DEL PONTE, E. M.; GODOY, C. V.; LI, X.; YANG, X. B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 96, n. 7, p. 797-803, Mar., 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Tecnologia de Produção de Soja – região central do Brasil 2004.**: Paraná. Londrina: Embrapa Soja, 2004.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Tecnologias de Produção de Soja - região central do Brasil 2012 e 2013.**: Paraná. Londrina: Embrapa Soja, 261 p. 2011.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2011/12: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos.**: Paraná. Londrina: Embrapa Soja, 8 p. 2012.

FELTON, W. L.; ALSTON, C. L.; HAIGH, B. M.; NASH, P. G.; WICKS, G. A. HANSON, G. E. Using reflectance sensors in agronomy and weed science. **Weed Technology**, Washington, v. 16, n. 3, p. 520-527. Jul., 2002.

FIGLIORINI, S. L., PIVETTA, L. G., FANO, A., MACHADO, F. R., GUIMARÃES, V. F. Comportamento de genótipos de soja submetido a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.3, p.342-349, Mai., 2011.

FREEMAN, P. K.; FREELAND, R. S. Politics & technology: U.S. polices restricting unmanned aerial systems in agriculture. **Food Policy**, v. 49, n. 1, p. 302-311, Dec., 2014.

GODOY, C. V., KOGA, L. J., CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n.1, p. 63 – 68, Jan., 2006.

GODOY, L. J. G. de; YANAGIWARA, R. S.; VILLAS BÔAS, R. L.; BACKES, C.; LIMA, C. P. de. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja "Pêra". **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, vol. 29, n. 3, p. 420-424, Dez., 2007.

GODOY, C V.; FLAUSINO, A. M.; SANTOS, L. C.M., DEL PONTE, E. M. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 56-61, Jan., 2009.

GOELLNER, K.; LOEHRER, M.; LANGENBACH, C.; CONRATH, U.; KOCH, E.; SCHAFFRATH, U. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agente of Asian soybean rust. **Molecular Plant Pathology**, Malden, v. 11, n. 2, p. 169-177, Mar., 2010.

GONG, A.; WU, X.; QIU, Z.; HE, Y. A handheld device for leaf area measurement. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 98, pp. 74-80, Out., 2013.

GOULART, A.C.P.; FURLAN, S.H.; FUJINO, M.T. Controle integrado da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhisi*) com o fungicida fluquinconazole aplicado nas sementes em associação com outros fungicidas pulverizados na parte aérea da cultura. **Summa Phytopathologica**, Batucatu, v. 37, n. 2, p. 113-118, Abr., 2011.

GREGORUTTI, V.C., CAVIGLIA, O.P., SALUSO, A. Defoliation affects soybean yield depending on time and level of light interception reduction. **Australian Journal of Crop Science**, vol.6, n.7, p.1166-1171, 2012.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. **Engenharia Agrícola** Jaboticabal, vol.29, n.1 p. 101-112. Mar., 2009.

GUAN, J.; NUTTER JR., F. W. Relationships between defoliation, dry weight, percentage reflectance, leaf-to-stem ratio, and green leaf area index in the. **Crop Science**, Madson, v. 42, p. 1264-1273, Jul., 2002.

GUTIERREZ-SOTO, M. V; CADET-PIEDRA, E.; RODRIGUEZ-MONTERO, W.; ARAYA-ALFARO, J. M. El GreenSeeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los cultivos. **Agronomía Mesoamericana**, San Pedro, v. 22, n. 2, p. 397-403, 2011.

HIKISHIMA, M., CANTERI, M. G., GODOY, C. V., KOGA, L. J., SILVA, A. J. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 96 – 103, Mar., 2010.

HIRANO, M.; HIKISHIMA, M.; SILVA, A. J. DA; XAVIER, S. A.; CANTERI, M. G. Validação de escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela

ferrugem asiática em soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 36, n. 3, p. 248-250, Abr. 2010.

KOGA, L. J., CANTERI, M. G., GODOY, C. V. Relação entre medidas de refletância e área foliar sadia, severidade da ferrugem asiática e produtividade da cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.28, n.4, p.571-580, Out., 2007

KUMUDINI, S.; GODOY, C. V.; BOARD, J. E.; OMIELAN, J.; TOLLENAAR, M. Mechanisms involved in soybean rust-induced yield reduction. **Crop Science**. Madison, v. 48, n. 6, p. 2334-2342, Nov., 2008.

KUMUDINI, S.; GODOY, C. V.; KENNEDY, B.; PRIOR, E.; OMIELAN, J.; BOERMA, H. R.; HERSHMAN, D. Role of host-plant resistance and disease development stage on leaf photosynthetic competence of soybean rust infected leaves. **Crop Science**, Madison, v.50, n. 6, p. 2533-2542, Nov., 2010.

LACKEY, L. G.; STEIN, E. D. Selecting the optimum plot size for a California design-based stream and wetland mapping program. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 4, p. 2599-2608, Abr., 2014.

LIMA, C. P. de; BACKES, C.; FERNANDES, D. M.; SANTOS, A. J. M.; GODOY, L. J. G. de; VILLAS BÔAS, R. L. Uso de índices de reflectância das folhas para avaliar o nível de nitrogênio em grama-bermuda. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol. 42, n. 9, p. 1568-1574, Set., 2012.

LORENTZ, L. H.; LÚCIO, A. D. Tamanho e forma de parcela para pimentão em estufa plástica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 8, p. 2380-2387, Nov., 2009.

LORENTZ, L. H.; ERICHSEN, R.; LUCIO, A. D. Proposta de método para estimação de tamanho de parcela para culturas agrícolas. **Revista. Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 6, Nov., 2012.

LUDWIG, M. P. DUTRA, L. M. C., LUCCA FILHO, O. A., ZABOT, L. UHRY, D., LISBOA, J. I. Produtividade de grãos da soja em função do manejo de herbicida e fungicidas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, Jul. 2010 .

LUIS, D. A.; PEREZ CASTRILLON, J. L.; ALLER, R.; CULEBRAS, J. Influencia del consumo de soja sobre la masa ósea. **Anales de Medicina Interna**, Madrid, v.24, n.8, p.361-364, Nov., 2007.

MALENOVSKÝ, Z.; MISHRA, K. B.; ZEMEK, F.; RASCHER, U.; NEDBAL, L. Scientific and technical challenges in remote sensing of plant canopy reflectance and fluorescence. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 11, p. 2987-3004, Mai., 2009.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Culturas – Soja**. 2013. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>. Acesso em: 02 nov. 2013.

MARTIN, T. N.; DUTRA, L. M. C.; JAUER, A.; STORCK, L.; ZABOT, L.; UHRY, D.; SANTI, A. L.; STEFANELLO, C.; LUCCA FILHO, O. A. Tamanho ótimo de parcela e número de repetições em soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 271-276, Abr., 2005.

MARTIN, T. N.; MARCHESE, J. A.; SOUSA, A. K. F. de; CURTI, G. L.; FOGOLARI, H.; CUNHA, V. dos S. Uso do *Software* ImageJ na estimativa de área folia para a cultura do feijão. **Interciencia**, Caracas, v. 38, n. 38, p. 843-848, Dez., 2013.

MARTINS, M. C.; GUERZONI, R. A.; CÂMARA, G. M. de S.; MATTIAZZI, P.; LOURENÇO, S. A.; AMORIM, L. Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 179-184, Mar., 2004

MARTINS, J. A. S.; JULIATTI, F. C. Genetic control of partial resistance to Asian soybean rust. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 36, n. 1, p. 11-17, Jan., 2014.

MATEO-APARICIO, I.; REDONDO CUENCA, A.; VILLANUEVA-SUAREZ, M. J.; ZAPATA-REVILLA, M. A. Soybean, a promising health source. **Nutrición Hospitalaria**, Madrid, v.23, n.4, p.305-312, Jul., 2008.

MEIER, V. D.; LESSMAN, K. J. Estimation of optimum field plot shape and size for testing yield in *Crambe abyssinica* Hochst. **Crop Science**, Madison, v. 11, p.648-650, 1971.

MELCHING, J. S.; DOWLER, W. M.; KOOGLE, D. L.; ROYER, M. H. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 73, p. 117-122. Fev., 1989.

MIRANDA, B. S.; LINARES, E. M.; THALHAMMER, S.; KUBOTA, L. T. Development of a disposable and highly sensitive paper-based immunosensor for diagnosis of Asian soybean rust. **Biosensors and Bioelectronics**, Linköping, v. 45, p. 123-128, Jul. 2013.

MIRIK, M.; MICHELS JR, G.J.; KASSYMZHANOVA-MIRIK, S.; ELLIOTT, N. C.; CATANA, V.; JONES, D. B.; BOWLING, R. Using digital image analysis and spectral reflectance data to quantify damage by greenbug (Hemitera: Aphididae) in winter wheat. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 51, pp. 86-98, Abr., 2006.

MISSÃO, M. R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management: Revista de Ciências Empresariais**, v.3, n.1, p.7-15, 2006.

MORAIS, A. R. de, ARAÚJO, A. G. de, PASQUAL, M., PEIXOTO, A. P. B. Estimção do tamanho de parcela para experimento com cultura de tecidos em videira. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 113-124, Jan./Fev., 2014.

MOTOMIYA, A. V. de A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista**

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 2, Abr., 2009.

MUELLER, T. A.; MILES, M. R.; MOREL, W.; MAROIS, J. J.; WRIGT, D. L.; KEMERAIT, R. C.; LEVY, C.; HARTMAN, G. L. Effect of Fungicide and Timing of Application on Soybean Rust Severity and Yield, **Plant Disease**, Saint Paul, v. 93, n. 3, p. 243-248, Mar., 2009.

NASCIMENTO, J. F. do, VIDA, J. B., TESSMANN, D. J. ZAMBOLIM, L., VIEIRA, R. A., OLIVEIRA, R. R. de. Progress of Asian soybean rust and airborne urediniospores of *Phakopsora pachyrhizi* in southern Brazil. **Summa phytopathologica**, Botucatu, v. 38, n. 4, Dez. 2012.

NILSSON, H. E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 33, p. 489-528, Set., 1995.

NUTTER JR., F. W.; GLEASON, M. L.; JENCO, J. H.; CHRISTIANS, N. C. Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and inter-rater reliability of disease assessment systems. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 83, n. 8, p. 806-812, Mar., 1993.

NUTTER JR., F. W.; LITTREL, R. H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. **Crop Protection**, Guilford, v. 15, n.2, p. 135-142, 1996.

OLIVEIRA, S. J. R. de; STORCK, L.; LOPES, S. J.; LÚCIO, A. D.; FEIJÓ, S.; DAMO, H. P. Plot size and experimental unit relationship in exploratory experiments. **Scientia Agricola**, Piracicaba v. 62, n. 6, p. 585-589, Dez., 2005.

PAGOLA, M.; ORTIZ, R.; IRIGOYEN, I.; BUSTINCE, H.; BARRENECHEA, E.; TEJO-APARICIO, P.; LAMSFUS, C.; LASA, B. New method to assess barley nitrogen nutrition status base dan image color analysis: Comparison with SPDA-502. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 65, n. 2, p. 213-218, Mar., 2009.

PARANAÍBA, P. F.; MORAIS, A. R.; FERREIRA, D. F. Tamanho ótimo de parcelas experimentais: Comparação de métodos em experimento de trigo e mandioca. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 27, p. 71-81, 2009.

PIVONIA, S.; YANG, X. B. Relating Epidemic Progress from a General Disease Model to Seasonal Appearance Time of Rusts in the United States: Implications for Soybean Rust. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 96, n. 4, p. 400-407, Nov., 2006.

REIS, E. M., LEITES, A., FORCELINI, C. A. Relações entre intensidade da doença, refletância da radiação solar e rendimento de grãos no patossistema ferrugem da folha de trigo Embrapa 16. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.31, n.5, p.447-454, Out., 2006.

RITCHIE, G. L.; BEDNARZ, C. W. Estimating desfoliation of two distinct cotton types using reflectance data. **The Journal of Cotton Science**, Cordova, v. 9, p. 182-188. 2005.

RUPE, J.; SCONYERS, L. **The Plant Health Instructor**. Disponível em: <https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRustPort.aspx>. Acessado em: 03 Mai. de 2014.

SANTOS, J. B. dos, PROCOPIO, S. de O., SILVA, A. A. da, COSTA, L. C. Captação e aproveitamento da radiação solar pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.147-153, 2003.

SANTOS, D.; HAESBAERT, F. M.; LÚCIO, A. D.; STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Tamanho ótimo de parcela para a cultura do feijão-vagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 119-128, Mar., 2012.

SCHERM, H.; CHRISTIANO, R. S. C.; ESKER, P. D.; DEL PONTE, E. M.; GODOY, C. V. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. **Crop Protection**, v. 28, n. 9, p. 774-782, Set., 2009.

SCHMITZ, H. F.; GRANT, R. H. Precipitation and dew in a soybean canopy: Spatial variations in leaf wetness and implications for *Phakopsora pachyrhizi* infection. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 10, p. 1621-1627, Out. 2009.

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

SILVA, J. V. C. da; JULIATTI, F. C.; SILVA, J. R. V. da; BARROS, F. C. Soybean cultivar performance in the presence of soybean Asian rust, in relation to chemical control programs. **European Journal of Plant Pathology**, v. 131, n. 3, p. 409-418, Nov., 2011.

SILVA, L. F. de O. da; CAMPOS, K. A.; MORAIS, A. R. de; COGO, F. D.; ZAMBON, C. R. Tamanho ótimo de parcela para experimentos com rabanetes. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 5, p. 624-629, Out., 2012.

SILVA, O. C.; SANTOS, H. A. A.; DESCHAMPS, C.; PRIA, M. D.; MIO, L. L. M de. Fontes de fosfito e acibenzolar-S-metílico associados a fungicidas para o controle de doenças foliares na cultura da soja. **Tropical Plant Pathology**, Viçosa, v. 38, n. 1, pp. 72-77, Jan., 2013.

SILVA JÚNIOR, M. C. da; PINTO, F. de A. de C.; FONSECA, D. M. da; QUEIROZ, D. M. de; MACIEL, B. F. Detecção do efeito da adubação nitrogenada em *Brachiaria decumbens* Stapf. utilizando um sistema de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 411-419, Mar., 2008.

SPRUCE, J. P.; SADER, S.; RYAN, R. E.; SMOOT, J.; KUPER, P.; ROSS, K.; PRADOS, D.; RUSSELL, J.; GASSER, G.; McKELLIP, R.; HARGROVE, W. Assessment of MODIS NDVI time series data products for detecting forest defoliation by gypsy moth outbreaks. **Remote Sensing of Environment**, v. 155, n. 2, pp. 427-437, Fev., 2011.

STORCK, L.; OLIVEIRA, S. J. R. de; GARCIA, D. C.; BISOGNIN, D. A. Comprimento e largura do tamanho ótimo da parcela experimental em batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1043-1048, Out., 2005.

STORCK, L. Partial collection of data on potato yield for experimental planning. **Field Crops Research**, v. 121, n. 2, p. 268-290, Mar., 2011.

STORCK, L.; LOPES, S. J.; LÚCIO, A. D.; CARGNELUTTI FILHO, A. Optimum plot size and number of replications related to selective precision. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 390-396, Mar., 2011.

STORCK, L.; SILVA, M. S. e; Precisão experimental de ensaios de trigo analisados pelo método de Papadakis. **Ciência Rural**, Santa Maria, vol.44, n.3, p. 407-413, Mar., 2014.

THELEN, K. D.; KRAVCHENKO, A. N.; LEE, C. D. Use of optical remote sensing for detecting herbicide injury in soybean. **Weed Technology**, Washington, v. 18, n. 2, p. 292-297, Abr., 2004.

WALKER, D. R.; HARRIS, D. K.; KING, Z. R.; LI, Z.; PHILLIPS, D. V.; BUCK, J. W.; NELSON, R. L.; BOERMA, H. R. Soybean germplasm accession seeding reactions to soybean rust isolates from Georgia. **Crop Science**, Madison, v.54, n. 4, p. 1433-1447, Jun., 2014.

WEIRICH NETO, P. H., FORNARI, A. J., BAUER, F. C., JUSTINO, A., GARCIA, L. C. Fungicide application using a trailing boom in soybean fields. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 876-882, Ago. 2013.

YAO, H.; HUANG, Y.; HRUSKA, Z.; THOMSON, S. J.; REDDY, K. N. Using vegetation index and modified derivative for early detection of soybean plant injury from glyphosate. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 89, pp. 145-157, Nov., 2012.

YAO, X.; YAO, X.; JIA, W.; TIAN, Y.; NI, J.; CAO, W.; ZHU, Y. Comparison and intercalibration of vegetation indices from different sensors for monitoring above-ground plant nitrogen uptake in Winter wheat. **Sensor**, Basel, v. 1, n. 3, p. 3109-3130, Mar., 2013.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. E.; GODOY, C. V.; NUNES JR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 98, n. 6, p. 675-677, Jun., 2005.

ZABOT, L.; DUTRA, L. M. C.; MENEZES, N. L. de; GARCIA, D. C.; LUDWIG, M. P.; SANTOS, V. J. dos. Uso de imagens digitais para avaliação de plântulas de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n. 2, pp. 184-192, 2008.

ZARATE-VALDEZ, J.; WHITING, M. L.; LAMPINEN, B. D.; METCALF, S.; USTIN, S. L.; BROWN, P. H. Prediction of leaf area index in almonds by vegetation indexes. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 85, pp. 24-32, Jul., 2012.