



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

FELIPE ANDRÉ ARAÚJO

**REFLETÂNCIA E ÁREA FOLIAR SADIA PARA TOMADA DE
DECISÃO PARA O MANEJO QUÍMICO DA FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA**

Londrina
2018

FELIPE ANDRÉ ARAÚJO

**REFLETÂNCIA E ÁREA FOLIAR SADIA PARA TOMADA DE
DECISÃO PARA O MANEJO QUÍMICO DA FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Agronomia, da Universidade
Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti
Canteri.

Londrina
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Araújo, Felipe André.

Refletância e área foliar sadia para tomada de decisão para o manejo químico da ferrugem asiática da soja / Felipe André Araújo. - Londrina, 2018.
86 f. : il.

Orientador: Canteri Marcelo Giovanetti Canteri.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.
Inclui bibliografia.

1. Fungicidas - Tese. 2. Ferrugem asiática - Tese. 3. Soja - Sensoriamento remoto - Tese. 4. Soja - Doenças e pragas - Tese. I. Marcelo Giovanetti Canteri, Canteri. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

FELIPE ANDRÉ ARAÚJO

**REFLETÂNCIA E ÁREA FOLIAR SADIA PARA TOMADA DE
DECISÃO PARA O MANEJO QUÍMICO DA FERRUGEM ASIÁTICA
DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Agronomia, da Universidade
Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

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

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

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

Londrina, 28 de fevereiro de 2018.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao programa de pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina pela oportunidade de aprendizagem, aperfeiçoamento profissional, técnico e acadêmico e imersão em maiores responsabilidades.

Ao meu orientador Marcelo Giovanetti Canteri pela paciência, exímia didática e pelo exemplo a ser seguido.

Aos pais e irmãos pelo suporte durante o tempo em que me dediquei a esta empreitada. Em especial Janaína Rodrigues por ser meu pilar de sustentação sempre disposta a ajudar suportar toda e qualquer tormenta.

Aos amigos Ciro Sumida, Lucas Fantin, Karla Braga, Luis Bertoletti, Ricardo Gonçalves, Giovani Arieira e André Silva companheiros de rotina de laboratório.

Aos amigos Hélio Fernandes, Luiz Almeida, Guilherme Cito e Gustavo Freiria pela convivência gratificante e auxílio durante o tempo de mestrado.

Em especial à Marina Bracale pelo apoio no planejamento, na implantação, na condução e finalização dos ensaios. Também pelo apoio para superar os desafios que os dois anos de mestrado apresentaram.

ARAUJO, F. A. **Refletância e área foliar sadia para tomada de decisão da primeira aplicação para o manejo químico da ferrugem asiática da soja.** 86 f. 2018. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

A falta de consenso na adoção de uma metodologia que defina a primeira aplicação do manejo químico da ferrugem asiática da soja tem dificultado o controle da doença, favorecendo a seleção de indivíduos de *Phakopsora pachyrhizi* resistentes. O uso do sensoriamento remoto permite a obtenção de dados de forma eficaz e prática auxiliando a tomada de decisão sobre a primeira aplicação de fungicida para o manejo químico da doença. O trabalho teve como objetivo analisar dados de refletância do dossel de soja e correlacionar com dados de severidade de ferrugem asiática, índice de área foliar e produtividade para determinar variações na área foliar saudável e definir a primeira aplicação de fungicidas para ferrugem. O gradiente de severidade de ferrugem foi obtido com escalonamento de aplicações de combinações de ingredientes ativos de modos de ação diferentes. As avaliações foram semanais após a constatação dos primeiros sintomas, utilizando escala diagramática para posterior cálculo de área abaixo da curva de progresso da doença. As leituras de refletância foram realizadas semanalmente com espectrorradiômetro GreenSeeker® Hand Held Model 505, para posterior cálculo de área abaixo da curva de refletância, aproximadamente um metro sobre o dossel nos comprimentos de onda de 660nm e 770nm, os quais foram usadas para o cálculo do NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada). As medidas de largura e comprimento foliares usadas para o cálculo do índice de área foliar foram obtidas de plantas marcadas em cada uma das parcelas e posterior cálculo de duração da área foliar sadia. A colheita foi realizada após a soja atingir estágio fenológico R8. Procedeu-se da trilha, pesagem e aferição de umidade para correção para 13%. Os dados foram submetidos à análise de regressão e a análise de variância, que permitiram o cálculo do limiar de dano econômico após a obtenção do coeficiente de dano na relação entre produtividade e refletância. Os dados foram submetidos a análise de componente principal para associação de variáveis, teste “t” para definição da data mais adequada para início das aplicações de fungicida e Scott Knott para separação de médias. Foi possível verificar a associação inversa entre parâmetros de sanidade do dossel e quantidade de doença. A correlação entre refletância e duração da área foliar sadia foi forte, r^2 acima de 0,89. O limiar de dano econômico foi definido em 45 unidades de área abaixo da curva de refletância. Leituras de refletância foram capazes de diferenciar área foliar sadia de tratamentos com produtividades estatisticamente iguais, indicando seu potencial para quantificação de doença. Leituras de refletância quando realizadas em R 6 foram capazes de prever produtividade da soja, separando os tratamentos ainda no estágio de “grão verde”.

Palavras-chave: Fungicidas. Índices vegetativos. Sensoriamento remoto.

ARAUJO, F. A. **Reflectance and health leaf area for decision making in first application of chemical management of asian soybean rust.** 86 p. 2018. Dissertation (Master's degree in agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

The consensus lack in the adoption of a methodology that sets first fungicide application for asian soybean rust, has made disease difficult to control, favoring selection of resistant *Phakopsora pachyrhizi* individuals. The use of remote sensing allows data collection in an effective and practical way, that allows the decision making of first fungicide application for the chemical management of the disease. The objective of this work was to analyze the reflectance data of soybean canopy and correlate with asian soybean rust severity, leaf area index and grain yield to determine variations in health leaf area and define first fungicide application for asian soybean rust (ASR). The ASR severity gradient was obtained by scheduling applications of active ingredients from different modes of action combinations. Assessments of ASR severity occurred weekly after detecting the first symptoms, using diagrammatic scale. The reflectance readings were performed weekly with the GreenSeeker® Hand Held Model 505 spectro-radiometer, approximately one meter above the canopy at 660nm and 770nm wavelengths, which were used to calculate NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Leaf length and width measures used to calculate the leaf area index were obtained from plants marked in each plot and later calculation of the duration of the healthy leaf area. The harvest was performed after soybean reached phenological stage R8. The trail was proceeded, weighing and moisture gauging for correction to 13%. Data were submitted to regression analysis and analysis of variance, which allowed the calculation of economic damage threshold after obtaining the coefficient of damage in the relationship between productivity and reflectance. The data were submitted to principal component analysis for variables association, "t" test to define the most appropriate date for beginning of fungicide applications and Scott Knott for means separation. It was possible to verify inverse association between canopy sanity parameters and amount of disease. Correlation between reflectance and healthy leaf area duration was strong, r^2 above 0.89. The economic damage threshold was defined as 45 area below the reflectance curve units. Reflectance readings were able to differentiate healthy leaf area from treatments with statistically equal yields, indicating its potential for disease quantification. Reflectance readings when performed on R 6 were able to predict soybean yield, separating treatments still at the "green grain" stage.

Keywords: Fungicides. Vegetative índice. Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 –	Ciclo biológico da ferrugem asiática da soja causada por <i>Phakopsora pachyrhizi</i> (Reis e Carmona, 2005).....	18
Figura 2.2 –	Escala diagramática de severidade da ferrugem asiática da soja (<i>Glycine max</i>) (Godoy, Koga e Canteri, 2006).....	20
Figura 2.3 –	Interação entre a energia radiante e o material alvo. (HOLMAN, 1983; INCROPERA ; DEWITT, 2002)	25
Figura 2.4 –	Resposta espectral da soja para diferentes níveis de infestação de <i>Heterodera glycines</i> (SANTOS JUNIOR et al., 2002)	26
Figura 2.5 –	Índices vegetativos usados em espectroscopia para detecção de doenças, adaptado de Lu et al. (2017)	30
Figura 3.5.1 –	Temperatura média e precipitação média registrados para o município de Londrina, PR, na safra 2016/2017	42
Figura 3.5.2 –	Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva da refletância (AAR) e produtividade para os tratamentos da Época 1 para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR	45
Figura 3.5.3 –	Biplots mostrando a discriminação dos 12 tratamentos (T1 a T12) e a projeção das variáveis nos dois primeiros componentes principais, na Época 1. CP 1 (componente principal 1 explicando 72,61% da variância original), CP 2 (componente principal 2 explicando 20,14 da variância original), PROD (produtividade), AUCDP (área abaixo da curva de progresso da doença), DAFS (duração da área foliar sadia), AAR (área abaixo da curva de refletância), PMG (peso de mil grãos), para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR	46
Figura 3.5.4 –	Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva da refletância (AAR) e produtividade para os tratamentos da Época 2, para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR	48

- Figura 3.5.5** – Biplots mostrando a discriminação dos 12 tratamentos (T1 a T12) e a projeção das variáveis nos dois componentes principais, na Época 2. CP 1 (componente principal 1 explicando 78,31% da variância original), CP 2 (componente principal 2 explicando 18,78% da variância original), PROD (produtividade), AUCDP (área abaixo da curva de progresso da doença), DAFS (duração da área foliar sadia), AAR (área abaixo da curva de refletância), PMG (peso de mil grãos), para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR49
- Figura 3.5.6** – Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva da refletância (AAR) e produtividade para os tratamentos da Época 3, para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR51
- Figura 3.5.7** – Biplots mostrando a discriminação dos 12 tratamentos (T1 a T12) e a projeção das variáveis nos dois componentes principais, na Época 3. CP 1 (componente principal 1 explicando 77,12% da variância original), CP 2 (componente principal 2 explicando 19,84% da variância original), PROD (produtividade), AUCDP (área abaixo da curva de progresso da doença), DAFS (duração da área foliar sadia), AAR (área abaixo da curva de refletância), PMG (peso de mil grãos), para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR52
- Figura 3.5.8** – Relações entre AAR (área abaixo da curva da refletância) e AACPD (área abaixo da curva de progresso da doença) nos três ensaios: época 1 “a”, época 2 “b” e época 3 “c”54
- Figura 3.5.9** – Relações entre AAR (área abaixo da curva da refletância) e DAFS (duração da área foliar sadia) nos três ensaios: época 1 “a”, época 2 “b” e época 3 “c” 55
- Figura 3.5.10** – Relações entre PROD (produtividade) e AACPD (área abaixo da curva de progresso da doença) nos três ensaios: época 1 “a”, época 2 “b” e época 3 “c”56

Figura 3.5.11 – Relações entre PROD (produtividade) e DAFS (duração da área foliar sadia) nos três ensaios: época 1 “a”, época 2 “b” e época 3 “c”	57
Figura 3.5.12 – Relações entre PROD (produtividade) e AAR (área abaixo da curva de refletância) nos três ensaios: época 1 “a”, época 2 “b” e época 3 “c”	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Estimativa da perda de grãos e custos de controle da ferrugem asiática da soja no Brasil, a partir da safra de 2001/2002 até a safra 20013/2014	16
Tabela 2.1 – Bandas espectrais mais utilizadas no estudo de doenças de plantas	26
Tabela 3.4.1 – Fungicidas utilizados para gerar o gradiente de severidade de ferrugem asiática da soja	38
Tabela 3.4.2 – Tratamentos, estádios fenológicos da soja nas pulverizações, nº de pulverizações e início das pulverizações para obtenção de gradiente de severidade de ferrugem asiática da soja	39
Tabela 3.5.1 – Componentes principais para as características AACPD (área abaixo da curva de progresso da doença), AAR (área abaixo da curva de refletância), DAFS (duração da área foliar sadia), PROD (produtividade) e PMG (peso de mil grãos) para os experimentos (época 1, época 2 e época 3)	44
Tabela 3.5.2 – Diferença entre valores de AAR, área abaixo da curva de refletância, e aplicação do valor de limiar de dano econômico (LDE), entre parcela controle e demais tratamentos.....	60
Tabela 3.5.3 – p-valor e diferença para comparativo entre os tratamentos controle (T 4) e testemunha (T 1) para índices de refletância coletados em diversas datas para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017	63
Tabela 3.5.4 – Datas de início dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017	65
Tabela 3.5.5 – Análise de variância das avaliações com radiômetro em R6, dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017	67

Tabela 3.5.6 – Análise de variância para área abaixo da curva de progresso da doença, AACPD, dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017	68
Tabela 3.5.7 – Análise de variância para peso de mil grãos, PMG, dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017	69
Tabela 3.5.8 – Análise de variância da produtividade dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017	70
Tabela 3.5.9 – Porcentagem de controle com base na área abaixo da curva de progresso da doença, AACPD, dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA SOJA.....	14
2.2	FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA SOJA	15
2.3	RELEVÂNCIA ECONÔMICA DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.....	16
2.4	EPIDEMIOLOGIA.....	18
2.5	FITOPATOMETRIA	19
2.6	CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA.....	22
2.7	SENSORIAMENTO REMOTO	23
2.8	REFLETÂNCIA.....	26
2.9	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	30
2.10	DURAÇÃO DA ÁREA FOLIAR SADIA	32
2.11	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	33
3	ARTIGO: UTILIZAÇÃO DE ESPECTROSCOPIA PARA MONITORAMENTO E TOMADA DE DECISÃO NO CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM DA SOJA	35
3.1	RESUMO	35
3.2	ABSTRACT	36
3.3	INTRODUÇÃO	37
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS	75

1. INTRODUÇÃO

A soja é o principal cultivo do sistema agropecuário brasileiro, com cerca de 33,89 milhões de hectares destinados à cultura, um aumento de 1,9% frente aos 33,25 da safra passada. Levantamentos da safra 16/17 constam que o Brasil produziu 113 milhões de toneladas, um aumento de 19% em comparação à safra anterior, que produziu 95 milhões de toneladas.

Dentre os fatores que limitam e reduzem o potencial produtivo da soja, as doenças são um dos mais importantes, dentre elas a ferrugem asiática da soja (FAS) causada pelo patógeno *Phakopsora pachyrhizi* Syd e P. Syd, tem potencial para causar danos da ordem de 90% na produtividade. Os sintomas da doença são caracterizados por pequenas lesões marrons no tecido foliar. Os sinais da doença são as urédias que liberam os urediniósporos. Decorrente da colonização do tecido foliar a redução da capacidade fotossintética é o dano direto. Em altas severidades da doença ocorre senescência precoce da planta.

Dentre as principais ferramentas para o manejo da FAS têm-se o vazio sanitário, a utilização de cultivares resistentes e a principal ferramenta, o controle químico. Muitas moléculas de fungicidas vêm apresentando decréscimos em eficiência de controle, e por isso a principal recomendação para que se mantenham bons níveis de controle é realizar a primeira aplicação de forma preventiva, seguindo os padrões do manejo integrado de doenças, assim que for dado o alerta de ferrugem para perto da região de plantio em questão. Para a correta determinação do momento ideal da aplicação preventiva faz-se necessário o monitoramento constante das situações climáticas da área bem como do patógeno e hospedeiro. Recomenda-se o uso de diversas técnicas em conjunto, baseadas nos princípios gerais de controle de doenças, interferindo de formas diferentes durante o ciclo das relações patógeno-hospedeiro. O manejo integrado de doenças (MID) tem como conceito central a utilização de táticas de manejo para que as populações de um patógeno em determinada área de cultivo fiquem abaixo do limiar de dano econômico.

O sensoriamento remoto se encaixa como técnica eficaz, confiável e de bom custo benefício para o monitoramento em tempo real da cultura. Através de sensores multiespectrais é possível analisar o dossel da cultura e detectar situações onde o cultivo se encontra sob condições de estresse. Para esse fim são utilizadas

medidas de refletância, que são determinadas por características únicas de cada cultura em cada situação ambiental, sendo possível obtermos assinaturas espectrais de cada tipo de estresse para cada cultura.

O estudo tem por objetivo usar dados de refletância do dossel de soja para determinar variações na área foliar sadia e definir a primeira aplicação de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal fonte de proteína e óleo vegetal devido a seu custo versus benefício, destacando-se como o principal componente de rações animais, e vem tornando-se importante na alimentação humana (LOPES, 2004).

Por ser uma planta de dia curto, a soja floresce quando o comprimento do dia é menor do que o comprimento crítico (KONG et al., 2010). A sensibilidade ao fotoperíodo determinava as fronteiras de cultivo da soja, o controle sobre florescimento da cultura era um fator limitante para a expansão do cultivo para demais regiões produtoras (CARTER et al., 2004).

Em regiões tropicais de baixa latitude o período juvenil suprime os estímulos ao florescimento no estágio de plântula causados pelo comprimento de dia curto de fotoperíodo (SINCLAIR; HINSON, 1992). Os genes responsáveis pela característica de período juvenil permitiram que a soja tivesse maior crescimento vegetativo antes da floração mesmo em condições de dia curto resultando em maior produção de sementes e por consequência adaptação a diferentes regiões produtoras (CARPENTIERI-PIPOLO et al., 2002).

Das aproximadas 313 milhões de toneladas de soja produzidas no mundo, cerca de 95 milhões são produzidos pelo Brasil, que exporta mais de 59 milhões de toneladas, sendo assim o segundo maior produtor de soja do mundo, atrás dos EUA que produzem 103 milhões de toneladas e exportam 47 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

Com amplas áreas aptas ao cultivo e grande diversidade edafoclimática, o Brasil apresenta um grande potencial de aumento de sua produtividade de forma sustentável (DALL'AGNOL et al., 2007).

E como principais fatores que impedem a cultura de expressar seu máximo potencial produtivo estão as doenças causadas por fungos, bactérias, nematoides e vírus (SINCLAIR e HARTMAN, 2008).

2.2. FERRUGEM ASIÁTICA NA CULTURA DA SOJA

A doença foi relatada pela primeira vez no Japão como *Uredo sojae* em 1902 por Nakanishiki, que observou somente a formação de urédias, a doença foi detectada por toda Ásia tropical e subtropical e também na Oceania no começo do século XX (BROMFIELD, 1984). Em estudos na Índia Sidow e Butler (1906) nomearam o fungo como *Phakopsora pachyrhizi* após a observação dos teliósporos. Sathe (1972), comparou holótipos de *Uredo sojae* *Uromyces sojae* e *P. pachyrhizi* e concluiu que eram todos iguais e pertenciam a *P. pachyrhizi* (KHARE and BHALE, 2000) No Brasil o primeiro registro foi em 2002 (YORINORI, et al. 2002B; COSTAMILAN, et al. 2002; REIS et al., 2002). Em 2004 o patógeno foi reportado na porção continental dos Estados Unidos (SCHNEIDER et al., 2005) e atualmente está presente em todos os países produtores de soja.

Os sintomas podem surgir em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, tanto nos cotilédones como também nas folhas e hastes, sendo as lesões no tecido foliar as mais comuns (ALMEIDA et al., 2005). Os sintomas iniciais podem ser diagnosticados por cloroses poligonais devido à delimitação das nervuras, que geralmente ocorrem em folhas do terço inferior ao mesmo tempo em que a planta se encontra no estágio reprodutivo (REIS et al., 2006a). As lesões têm cores que variam de cinza-esverdeado a marrom-avermelhado, geralmente presentes na face inferior das folhas, podem apresentar mais de uma urédia de forma globosa (HARTMAN et al., 1999).

Com o progresso da doença as lesões adquirem coloração castanho-clara a castanho-escuro e se abrem em uma ou mais pústulas, a urédia, expelindo os urediniósporos que se acumulam ao redor da pústula ou são removidos pelo vento (ALMEIDA et al., 2005). O amarelecimento de todo o tecido foliar infectado e por consequência do dossel da cultura, indicam os estágios finais da doença, podendo resultar em completa desfolha (REIS et al., 2006a).

2.3 RELEVÂNCIA ECONÔMICA DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

A ferrugem se transformou em uma das principais doenças da soja, fazendo com que os países afetados pelas crescentes epidemias dispensassem mais esforços e investimentos para a pesquisa sobre a ferrugem. Os esforços nos Estados Unidos começaram em 2004, quando o departamento de agricultura publicou um documento intitulado: “plano de estratégia nacional para a coordenação e integração da pesquisa sobre ferrugem asiática da soja” com o objetivo de mitigar o impacto das epidemias da doença (USDA, 2004).

No Brasil os esforços para o manejo da doença iniciaram-se em 2004, em uma força tarefa liderada pela Embrapa foi criado o Consórcio Antiferrugem com auxílio do setor público e privado. Os objetivos iniciais eram padronizar as informações existentes e transferi-las para toda a cadeia da soja a fim de minimizar as perdas de produção.

Os custos atuais para o controle da ferrugem asiática da soja no Brasil atingem valores de 2,2 bilhões de dólares, valores que cresceram mais de dez vezes desde os primeiros esforços de controle, custos esses que representam em média 3 aplicações de fungicidas ao longo da safra (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015). Na Tabela 1 foi resumido o progresso dos custos com o controle da ferrugem, bem como as perdas ocasionadas pela ferrugem asiática da soja desde 2001 até 2014.

Tabela 2.1 – Estimativa da perda de grãos e custos de controle da ferrugem asiática da soja no Brasil, a partir da safra de 2001/2002 até a safra 2013/2014.

Safra	Perda em grãos (milhões ton)	Custo das perdas (milhões US\$)	Número e custo das aplicações (milhões US\$)	Observações
2001/02	0,56 milhões ton	US\$ 0,14 bilhões	Sem informação	Aplicações tardias e com produtos a base de benzimidazóis, ineficientes para ferrugem.
2002/03	3,4 milhões ton	US\$ 1,16 bilhões	Sem informação	Maior agressividade no oeste da Bahia, produtos registrados em caráter emergencial, descréditos dos produtores quanto aos prejuízos que a doença poderia causar.
2003/04	4,6 milhões ton	US\$ 2,08 bilhões	Sem informação	Maior agressividade no MT, GO, MG e SP, necessária 1,5 aplicação para o controle, aprovado ranqueamento dos produtos registrados por eficiência sob alta pressão de doença.
2004/05	Perdas não contabilizadas.	US\$ 1,21 bilhões	Custo do controle: US\$1,21 bi (US\$32,6/aplicação x 2 aplicações em 80% da área cultivada)	Seca na maioria das regiões, ferrugem não teve impacto relevante.
2005/06	2,9 milhões ton	US\$ 2,12 bilhões	Custo do controle: US\$1,42 bi (US\$40/aplicação x 2 aplicações em 80% da área cultivada)	Inóculo inicial mantido na entressafra, início precoce da epidemia, aumento do número de aplicações.
2006/07	2,67 milhões ton	US\$ 2,19 bilhões	Custo do controle: US\$1,58 bi (US\$33/ aplicação x 2,3 aplicações em 99% da área cultivada)	Implantação do vazio sanitário, início tardio da epidemia, El niño proporcionou clima favorável para a doença em todo o Brasil.
2007/08	418,5 mil ton	US\$ 2,38 bilhões	Custo do controle: US\$1,97 bi (US\$43/ aplicação x 2,2 aplicações)	Ampliação do vazio sanitário, ano mais seco, prevalência de doenças de final de ciclo, relato de redução de sensibilidade do fungo aos fungicidas DMI.
2008/09	571,8 mil ton	US\$ 1,74 bilhões	Custo do controle: US\$ 1,67 bi (US\$ 30/aplicação x 2,4 aplicações)	Maior severidade da doença na Bahia, cultivares tardias e clima mais favorável.
2009/10	Perdas não estimadas	US\$ 2,09 bilhões	Custo do controle: US\$ 2,09 bi (US\$ 33/aplicação x 2,7 aplicações)	Início mais cedo da epidemia devido ao inverno chuvoso, aplicações calendarizadas reduziram as perdas pela doença.
2010/11	Perdas não estimadas	US\$ 2,10 bilhões	Custo do controle: US\$ 2,10 bi (US\$ 35/aplicação x 2,5 aplicações)	Inverno seco desfavoreceu a sobrevivência do inóculo, recomendação de mistura de fungicidas DMI e QoI devido ao decréscimo de controle dos DMI.
2011/12	363,5 mil t	US\$ 1,73 bilhões	Custo do controle: US\$1,54 bi (US\$ 22/aplicação x 2,8 aplicações)	Maiores perdas pela doença ocorreram no Mato Grosso.
2012/13	Perdas não estimadas	Perdas não estimadas	Custo do controle: US\$1,94 bi (US\$ 25/aplicação x 2,8 aplicações)	Não houveram relatos de baixa eficiência de controle.
2013/14	Perdas não estimadas	Perdas não estimadas	Custo do controle: US\$2,2 bi (US\$ 25/aplicação x 3 aplicações)	Maior agressividade nas semeaduras mais tardias, redução da eficiência das misturas de DMI e QoI.

Fonte: Consórcio Antiferrugem (2015).

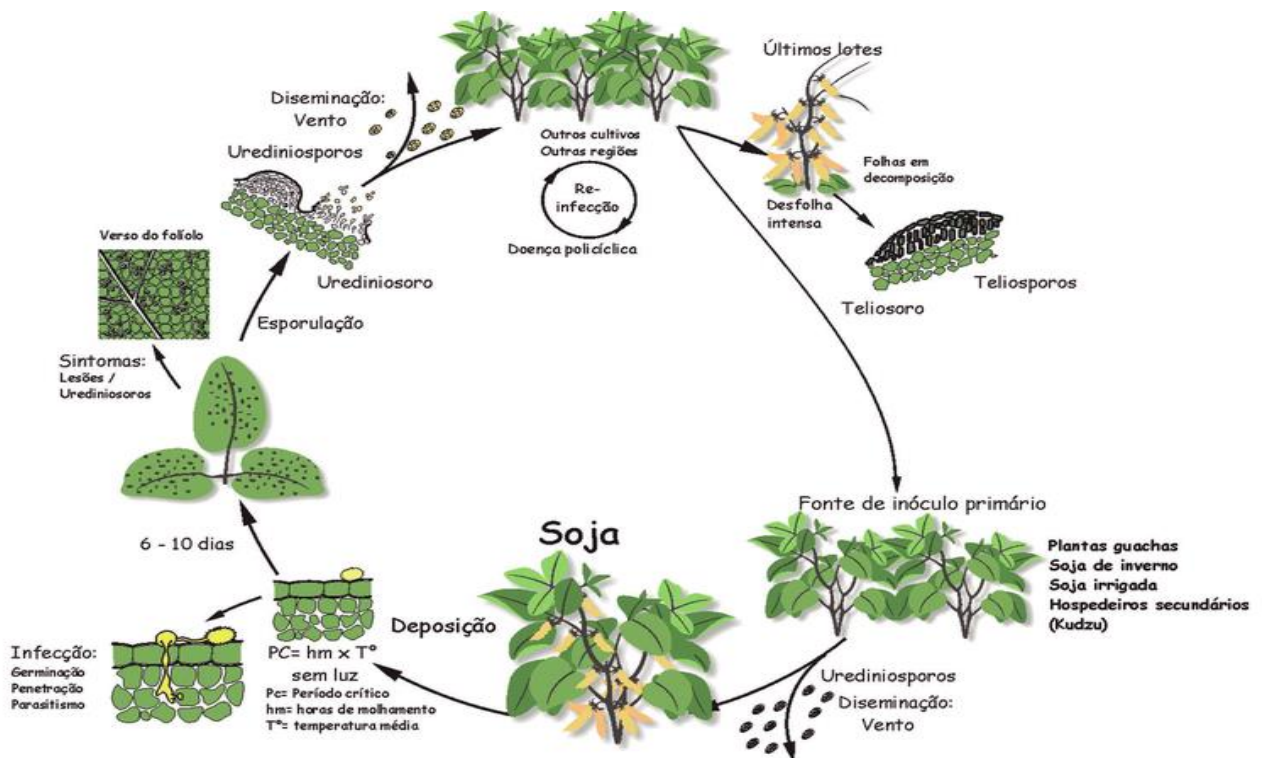
2.4 EPIDEMIOLOGIA

O patógeno é parasita obrigatório e produz tanto urediniósporos quanto teliósporos (HARTMAN et al., 2015). Entretanto, os urediniósporos são a principal fonte de inóculo para o início de uma nova epidemia. Novos ciclos da doença são mantidos em hospedeiros suscetíveis durante a entressafra caracterizando sua fase de sobrevivência, que pode acontecer em mais de 90 outras espécies de leguminosas, consideradas hospedeiras de *P. pachyrhizi* (RYTTER et al., 1984; SLAMINKO et al., 2008).

De forma geral as condições ótimas para o desenvolvimento da cultura também são favoráveis ao ótimo desenvolvimento da doença. O patógeno infecta plantas em uma faixa de temperatura que vai de 10 a 27°C e o período mínimo de molhamento foliar é de 6 horas (MELCHING et al., 1989). Del Ponte et al. (2006) constataram que o molhamento foliar contínuo por orvalho ou pela chuva são fatores decisivos para o progresso da epidemia no campo.

As condições ideais para a germinação dos urediniósporos são: molhamento foliar de ao menos seis horas e temperatura ótima na faixa de 21 a 27°C. O período latente pode durar 14 dias no regime de temperatura de 7 a 17°C, 11 dias no regime de 22 a 32°C e 9 dias no regime de 17 a 27°C (KOCHMAN, 1979). O patógeno pode produzir urédias por até 28 dias após a inoculação. Cada urédia pode produzir urediniósporos por 21 dias e aos 27 dias a urédia paralisa a produção (REIS et al., 2006). Zambenedetti et al. (2007) constataram que o período de incubação para os sete genótipos por eles avaliados foi de seis dias, ocorrendo variação de seis a doze dias no período latente. É possível observar com maiores detalhes o ciclo da doença na Figura 1.1.

Figura 2.1 – Ciclo biológico da ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* (Reis e Carmona, 2005).



2.5 FITOPATOMETRIA

Sem a quantificação de doença, nenhum estudo em epidemiologia, nenhuma avaliação de perda de produtividade da cultura e nenhuma pesquisa sobre doenças de planta e suas aplicações seriam possíveis (KRANZ, 1988).

Podemos quantificar doença por duas medidas: incidência (frequência de plantas doentes ou partes de plantas doentes em uma amostra da população) ou severidade (porcentagem da área ou volume de tecido coberto pelo sintoma), sendo a variável severidade a mais apropriada para quantificar doenças foliares como ferrugens (AMORIM; REZENDE; BERGAMIN FILHO, 2011).

Para avaliações de incidência realiza-se a categorização a unidade da planta (planta inteira, raiz, folha, etc.) como doente ou não, a categorização é feita baseada nos sintomas visíveis ou outra técnica, como avaliações bioquímicas ou moleculares (FOX, 1998). Podem ocorrer erros na avaliação de doença, geralmente ocorre quando se categoriza uma planta doente como não doente, e uma planta não doente como doente.

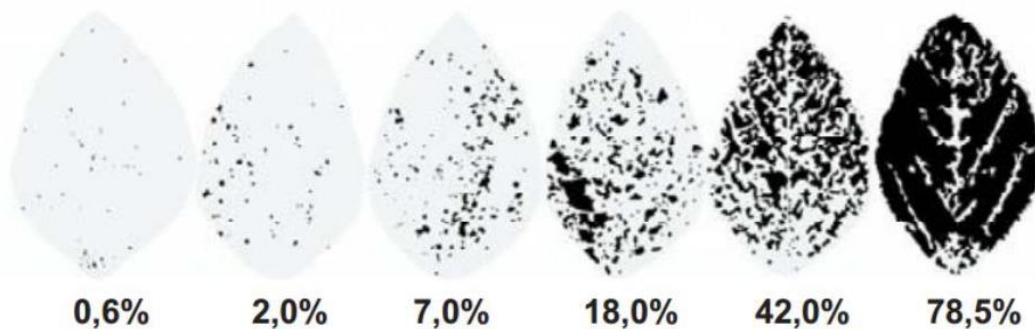
As avaliações de contagem de doença são baseadas em densidade de lesões, ou seja, número de lesões por planta ou por folha etc. Esse tipo de avaliação está sujeita a algumas dificuldades, enxergar todas as lesões é uma delas, diferenciar lesões que coalesceram ou sobrepueram-se, as lesões podem exibir sintomas ou sinais que levam ao engano do avaliador, como relatado por Campebell e Neher (1994) indicando que o processo de contagem de lesões nas raízes é um processo muito difícil.

Avaliações para quantificação de severidade são realizadas visualmente, baseadas no sintoma, ou eletronicamente, baseadas em radiação eletromagnética refletida. Quando realizadas visualmente podem ser classificadas em: estimativa direta, quando o avaliador atribui um valor de 0 a 100% baseado na área doente, e não conta com nenhum tipo de auxílio. Estimativa direta com uso de escalas diagramáticas, como descrito anteriormente, porém o avaliador tem o auxílio de uma escala. Estimativa com o uso de escalas de doença, quando se divide os valores contínuos de severidade 0 a 100% em determinado número de classes, tornando mais rápido o processo de avaliação e diminuindo erros entre os avaliadores quanto a classificação de notas de severidade próximas como 9 e 12 %. Estimativa usando escala de classificação ordinal, usada para viroses e doenças de raiz, quando associa-se o sintoma observado com uma classe pré-estabelecida de sintomas, onde as classes maiores indicam aumento da severidade da doença, essa escala não transmite informação quantitativa, porém é de fácil uso e acelera a classificação de espécies doentes, e sua principal desvantagem é que as classes são pré-definidas e a definição da avaliação é arbitrária (MADDEN et al., 2007).

As avaliações de severidade geralmente ficam restritas a um pequeno número de plantas devido ao intenso esforço demandado para sua realização (MADDEN et al., 2007). Além de serem trabalhosas ainda são passíveis de ter influência da subjetividade de cada avaliador (CANTERI et al., 1996, 1999). Para minimizar as variações entre os avaliadores, ferramentas como escalas diagramáticas são utilizadas, aumentando acurácia e precisão das avaliações realizadas (MARTINS et al., 2004). Escalas diagramáticas são representações ilustradas de uma série de plantas, folhas ou órgãos infectados com diferentes graus de severidade do sintoma de determinada doença (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996).

Uma escala diagramática após ser validada tem como características: facilidade no uso, resultados reproduzíveis e ampla aplicabilidade com resultados que representam todos os estágios de desenvolvimento da doença permitindo avaliação imediata (BERGER, 1980). Assim como a escala desenvolvida para avaliação da ferrugem asiática da soja demonstrada na Figura 1.2.

Figura 2.2 – Escala diagramática de severidade da ferrugem asiática da soja (*Glycine max*) (Godoy, Koga e Canteri, 2006).



Modelos têm sido desenvolvidos para demonstrar a progressão de uma epidemia no tempo e espaço. Yang et al. (1991, 1992) relacionaram a área abaixo da curva de progresso da doença com a produtividade e posteriormente relacionaram a duração da área foliar sadia com produtividade obtendo melhores resultados. Em 2005, Kim et al. utilizaram parâmetros biológicos e meteorológicos para prever a quantidade de doença em determinado ponto do ciclo da cultura, antes mesmo que o patógeno iniciasse o processo infeccioso.

Sistemas de previsão da FAS baseados em favorabilidade climática, molhamento foliar contínuo e temperatura resultaram em equações capazes de estimar a severidade de FAS, como demonstrado no trabalho de Reis et al. (2004). Del Ponte et al. (2006) demonstraram a importância da quantidade de pluviosidade no avanço de uma epidemia de FAS, e utilizaram esses dados para prever o de risco de epidemia em determinada região que não tem a temperatura como fator limitante. Modelos que estudam a dispersão do patógeno também já foram gerados como o modelo de Pan et al. (2006), que relaciona o transporte dos esporos de FAS e o clima da região, estimando a trajetória e concentração desses esporos.

2.6 CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

As condições ambientais do Brasil, do Paraguai e também da Bolívia são propícias para a sobrevivência do patógeno durante todo o ano, ao contrário de Estados Unidos e Argentina, onde a dispersão dos esporos acontece de áreas distantes visto que o clima não permite a sobrevivência do patógeno na entressafra (PIVONIA; YANG, 2004; LI et al., 2010).

Plantas voluntárias, que emergem de sementes desperdiçadas na colheita, são a ponte verde que o patógeno necessita para sobreviver na entressafra, uma vez que parasitas obrigatórios necessitam de hospedeiro vivo para completar seu ciclo biológico. Dessa forma, a principal ferramenta do manejo integrado é o vazio sanitário (REIS et al., 2006a).

Atualmente 12 estados adotam o vazio sanitário, três estados com o período de 60 dias e nove estados com o período de 90 dias (GODOY et al., 2016). O período de 90 dias, recomendado pelo Consórcio Antiferrugem e adotado pelo estado do Mato Grosso no ano de 2006, tem uma margem de segurança sobre o maior tempo de sobrevivência do esporo que é de aproximadamente 55 dias em folíolos infectados e armazenados no escuro (PATIL et al., 1998).

Cultivares de ciclo precoce diminuem o tempo de exposição da planta ao patógeno, e nessa mesma linha de raciocínio, semeaduras em épocas antecipadas influenciam diretamente na quantidade de inóculo inicial que incidirá sobre a cultura, que tende a aumentar em função da multiplicação do patógeno nas épocas anteriores. Dessa forma deve-se evitar semeaduras mais tardias (YORINORI, 2004; REIS et al., 2006).

A utilização de resistência é uma das ferramentas que permite diminuir a quantidade de doença ao longo do ciclo de cultivo, tornando-se parte importante do manejo integrado de doenças (SHUXIAN, 2010). No Brasil sete cultivares estão disponíveis aos agricultores com a tecnologia INOX®, que tem resistência à FAS, as cultivares TMG 7060, TMG 7062, TMG 7063, TMG 7067, TMG 7161, TMG 7262 e TMG 7363 (TMG, 2017).

Apesar da necessidade do manejo integrado contemplar todas as ferramentas possíveis para a manutenção de baixos níveis populacionais de FAS, o controle químico ainda permanece como a principal estratégia de controle. Deuner et

al. (2009) citam os seguintes critérios para utilização de fungicidas: primeiros sintomas, 5% de incidência nas folhas, preventivo, estágio de desenvolvimento, pré-fechamento de linha, parcela armadilha, previsão climática e interação clima e infecção.

O manejo químico tem algumas debilidades, obter uniformidade e boa quantidade de depósito nas porções inferiores do dossel, onde geralmente se inicia a epidemia durante o ciclo de cultivo (CUNHA et al., 2006).

2.7. SENSORIAMENTO REMOTO

Entende-se por sensoriamento remoto a técnica de obter dados de um objeto alvo utilizando sensores sem contato direto, de forma não destrutiva e não invasiva, possibilitando repetibilidade e confiabilidade na obtenção dos dados (JACKSON, 1986; NILSSON, 1995). A metodologia baseia-se nas relações de refletância multiespectral e temperatura do dossel da cultura com dois processos fisiológicos: fotossíntese e evapotranspiração. O estágio de desenvolvimento da cultura e o índice de área foliar, relação entre a área de superfície das folhas e a área do solo, são os parâmetros fundamentais do dossel da cultura a serem relacionados com os processos fisiológicos citados acima (BAUER, 1985).

Como os quatro principais requisitos para utilização do sensoriamento remoto no manejo agrícola Jackson (1984) sugeriu: cobertura frequente, rápida transmissão dos dados, resolução espacial e integração com dados meteorológicos e agronômicos em sistemas especializados.

As principais oportunidades do sensoriamento remoto relatadas por Moran et al. (1997) são: monitoramento da produção de grãos, fertilidade do solo, monitoramento da umidade do solo, desenvolvimento fenológico da cultura, crescimento da cultura, taxa de evapotranspiração da cultura, deficiências nutricionais da cultura, doenças na cultura, infestação de plantas invasoras e infestação de insetos praga.

O sensoriamento remoto apresenta algumas limitações que impedem sua adoção de forma mais ampla na prática da agricultura de precisão, que seriam: calibração do instrumento, correções de interferências atmosféricas, normalização dos efeitos da angulação do sensor em relação ao objeto de estudo,

influência de nuvens e o processamento das imagens que inclui fatores como correção do vinhetamento, correção do line-shift, registro banda a banda e mosaicagem (MORAN et al., 1997).

A detecção, identificação e quantificação de doenças estão muito relacionadas com a utilização de tecnologias como sensores hiper e multiespectrais, bem como o uso de termografia e fluorescência de clorofila, seja para a obtenção de dados no curto alcance ou a longa distância, onde um programa de tomada de decisão pode ser baseado na obtenção de dados por um conjunto de sensores em tempo real (STAFFORD, 2000).

As metodologias de sensoriamento remoto podem ser divididas de acordo com a distância do sensor ao objeto alvo, planta ou dossel. Nas distâncias mais curtas os sensores trabalham a aproximadamente 2 metros do alvo. Em um nível intermediário os sensores trabalham em distâncias que vão de 75 a 1500 metros sobre o dossel, geralmente em aviões, balões de ar e drones. E em maiores distâncias, os satélites são os veículos que carregam os sensores (MADDEN et al., 2007)

A tecnologia de sensores embarcada em satélites dá suporte suficiente para adoção de um sistema de monitoramento do desempenho da lavoura, porém sensores de curto alcance ou sensores aerotransportados possuem vantagens pela imediata disponibilidade em avaliações em tempo real e a flexibilidade para alterar filtros de comprimentos de onda e larguras de bandas (YANG, 2012).

A espectroscopia de alta resolução nos permite identificar mudanças sutis na biofísica do dossel da cultura, tais alterações podem ser únicas para cada agente responsável por essas mudanças, sejam estresses bióticos, como doenças ou estresses abióticos, como falta de água. Essa característica é denominada assinatura espectral. A determinação da assinatura espectral é dada pela radiação refletida dividida pela radiação incidente de determinado comprimento de onda multiplicado por 100 (NILSSON, 1995).

Na tentativa de diminuir as redundâncias e melhorar a acurácia nas leituras de assinatura espectral, muitos cientistas identificaram bandas espectrais específicas e combinações entre elas que têm melhores respostas a determinada característica do dossel (BAJWA et al., 2004; SANKARAN et al., 2010; MAHLEIN et

al., 2010; HILLNHUTTER et al., 2011; MAHLEIN et al., 2013; CALDERÓN et al., 2013; MARTINELLI et al., 2015).

Utilizando sensores termais e multiespectrais, Calderón et al. (2013) conseguiram identificar de forma preventiva a murcha-de-Verticillium, em oliveiras utilizando fluorescência, temperatura e bandas de alta frequência do espectro, obtendo coeficientes de determinação de 0,83 ($P < 0,001$) para estágios iniciais da doença.

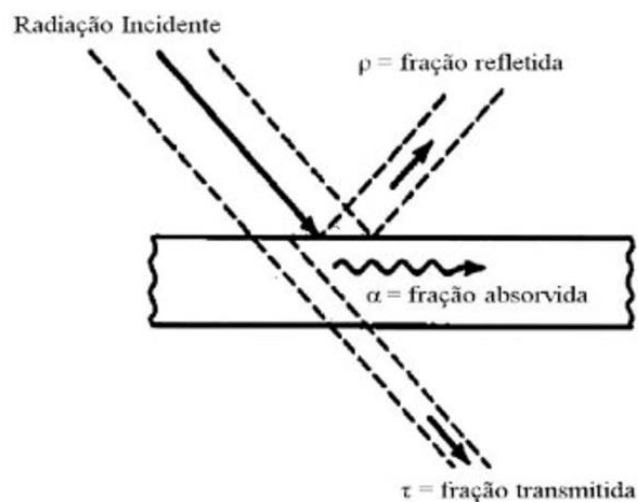
Utilizando o sensoriamento remoto e índices de vegetação para detectar o Huanglongbing ("*Candidatus liberibacter asiaticus*") em citrus, Garcia-Ruiz et al. (2013), compararam imagens obtidas de aeronave remotamente pilotada a baixas altitudes e aviões, e obtiveram resultados promissores para a detecção do nível de incidência, onde a precisão das imagens foi superior e os falsos negativos foram inferiores nas imagens obtidas pela aeronave remotamente pilotada.

Nos trabalhos de Sugiura et al. (2016) utilizou-se sensor RGB para a estimativa de severidade de requeima da batata, obtendo coeficiente de correlação de 0,77, através do desenvolvimento de algoritmo para o processamento das leituras.

2.8. REFLETÂNCIA

A radiação eletromagnética que emerge de uma planta ou do seu dossel é determinada por interações (reflexão, transmissão e absorção) entre a radiação total incidente e os tecidos da planta (NILSSON, 1995; WEST et al., 2003). O conceito de refletância é dado pela razão entre a radiação refletida em uma determinada direção e a radiação incidente em um determinado comprimento de onda (KOFFLER, 1995). A figura 1.3 demonstra as interações entre energia radiante e o dossel da cultura por exemplo.

Figura 2.3 – Interação entre a energia radiante e o material alvo. (HOLMAN, 1983; INCROPERA; DEWITT, 2002).



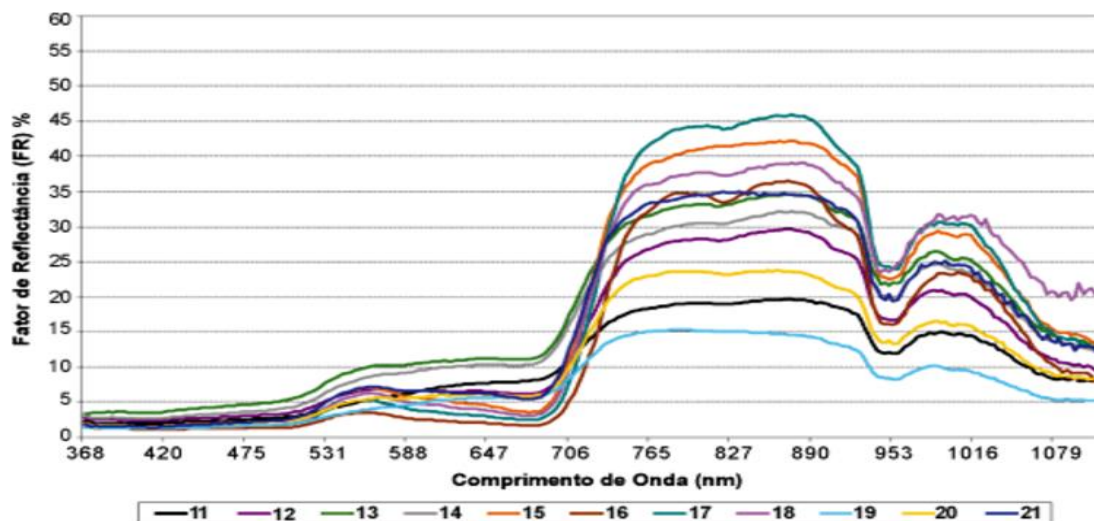
As relações de refletância, transmitância e absorbância de determinado alvo, no caso o dossel da cultura, tem “comportamentos” distintos de acordo com o comprimento de onda da radiação. Pode-se dividir o espectro eletromagnético em regiões amplas, as bandas espectrais, sendo as mais importantes destacadas na tabela 2 (MADDEN et al., 2007).

Tabela 2.2 – Bandas espectrais mais utilizadas no estudo de doenças de plantas.

Bandas espectrais	Abreviatura	Amplitude do comprimento de onda (nm)	
Visível	VIS	~400	700
Infravermelho próximo	NIR	~700	1200
Infravermelho de ondas curtas	SWIR	~1200	2400
Termal	TIR		~10

O dossel da cultura é considerado o principal elemento responsável pelas propriedades espectrais de uma vegetação (FORMAGGIO, 1989). Cada espécie vegetal em suas expressões fisiológicas tem seu dossel respondendo de forma diferente quanto à refletância, ou seja, uma mesma cultura tem valores diferentes quando totalmente sadia ou quando sob condições de estresse (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996). Na figura 1.4 é possível analisar as respostas de refletância da cultura da soja ao estresse biótico causado por *Heterodera glycines*.

Figura 2.4 – Resposta espectral da soja para diferentes níveis de infestação de *Heterodera glycines*, cada linha representa uma parcela com nível de infestação diferente. (SANTOS JUNIOR et al., 2002).



O dossel de uma cultura é composto de quatro fatores que influenciam suas características óticas: 1) vegetação exposta à radiação direta, 2) solo exposto à radiação direta, 3) vegetação não exposta à radiação direta e 4) solo não exposto à radiação direta (KOLLENKARK et al., 1982). A influência desses fatores nas características óticas do dossel pode ser afetada por: cobertura vegetal,

orientação e espaçamento das fileiras, morfologia do dossel, teor de água na planta e no solo, condições fitossanitárias, angulação zenital e azimutal do sol, e a resolução do equipamento utilizado para as medidas de refletância (MOREIRA, 1997).

A refletância foliar pode ser estudada basicamente em dois espectros: região do visível e região do infravermelho, sendo que na região do visível temos valores de refletância da ordem de 15% (faixa do verde no espectro), pois o resto da radiação é absorvida ou transmitida (BAUER, 1975). Em contrapartida na região do infravermelho próximo, tem-se menor valor de absorção e maior valor de refletância (em torno de 50%) (TUCKER; GARRATT, 1977).

Quando a planta é submetida a algum tipo de estresse ela tem valores diminuídos de refletância no espectro infravermelho próximo, e valores incrementados nas faixas do vermelho, azul e amarelo do espectro visível, ou seja, uma planta saudável tem maiores valores de refletância na faixa do verde do espectro visível e na região do infravermelho próximo (NILSSON, 1995).

Mudanças na refletância causadas pelo decréscimo de clorofila podem ser também indícios de estresses em geral, como estresse hídrico, deficiências nutricionais e também injúrias por insetos, por granizo ou ventania, dificultando sua utilização na diagnose ou quantificação de doença. Geralmente as respostas de refletância de plantas submetidas aos estresses supracitados se dão nos espectros de onda de 700 nm e 550-575 nm. (MADDEN et al., 2007).

Como os primeiros efeitos das doenças no hospedeiro variam (clorofila, efeitos na temperatura e na quantidade de água), determinados comprimentos de onda podem ser adequados para a diagnose de diferentes doenças (NUTTER et al., 1993; NUTTER; LITTRELL, 1996; BRYSON et al., 1998; DUDKA et al., 1998). Mudanças nos valores de refletância nas bandas do azul e do infravermelho próximo (380-450 nm e 750-1200 nm) foram usadas por Sasaki et al. (1998) para detectar estádios pré-infecção de *Colletotrichum orbiculare* em pepino. Após o avanço do processo infeccioso com a aparição dos sintomas, os valores de refletância tiveram mudanças notadas nos comprimentos de 470 nm e 670 nm, no espectro do infravermelho próximo as mudanças na refletância foram menos significativas.

A espectroscopia, técnica que faz as leituras de refletância tem por características: acurácia que permite especificar plantas e doenças, a acurácia

aumenta conforme os sintomas aumentam, a acurácia pode ser aumentada utilizando-se faixas não visíveis do espectro eletromagnético. Apesar de ser uma técnica acurada, é considerada também uma técnica cara, principalmente quando se envolvem sensores hiperespectrais, porém quanto menor a resolução espectral ou o tamanho do espectro a ser detectado, menor é o custo do sensor. É uma técnica que requer hardwares potentes para o processamento e análise dos dados obtidos. A técnica tem sido cada vez mais estudada e desenvolvida devido a sua velocidade de detecção das mudanças de refletância. Uma das possíveis limitações da técnica seria a falta de robustez dos sensores que serão submetidos a condições de campo, porém essa característica está mais ligada ao veículo que transportará o sensor. A técnica pode ser também automatizada ou operada remotamente. Essa técnica pode ser usada de forma preliminar na detecção de doenças, e então a aplicação de outras técnicas como métodos moleculares para a confirmação (SANKARAN et al., 2010).

Muitos autores obtiveram bons resultados com o uso de dados de refletância na quantificação de doenças nas culturas do feijoeiro, amendoim, soja, batata inglesa, trigo e gramados (CANTERI et al., 1996; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999; JULIATTI et al., 2004; NUTTER, 1989; NUTTER; LITTREL, 1996).

Nos trabalhos de quantificação de doenças em cereais, trigo e cevada de Nilsson (1991) e em soja de Reis et al. (2004), altas correlações entre leituras de refletância e massa verde, crescimento e duração do índice de área foliar verde, crescimento das plantas e produtividade foram observadas. Utilizando medidas de refletância, Raikes e Burpee (1998) quantificaram com sucesso Rhizoctoniose e estresses em soja.

2.9. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Um índice de vegetação é o resultado de transformações lineares do fator de refletância, obtido em duas ou mais bandas espectrais, resultado de: soma, subtração, razão ou qualquer outra combinação. Os índices de vegetação auxiliam a interpretação e utilização dos fatores de refletância obtidos pelos sensores (WIEGAND et al., 1991).

Por serem obtidos a partir da refletância do dossel, os índices de vegetação estão sujeitos a influências dos fatores que afetam as propriedades óticas do dossel, porém alguns índices são desenvolvidos para reduzir essas influências, como a influência do solo e da iluminação, até certo ponto, de forma a expressar melhor os parâmetros de crescimento da lavoura (MOREIRA, 1997; ZHENG et al., 2015). Outra característica é a possibilidade de reduzir a dimensão das informações multiespectrais a um número, que geralmente tem alta correlação com parâmetros agrônômicos (MOREIRA, 1997; WIEGAND et al., 1991)

Detecção de variações no índice de área foliar, estimar produtividade das lavouras, caracterizar variáveis biofísicas dos cultivos agrícolas e detecção e diferenciação de doenças de plantas são algumas das possibilidades de utilização dos índices vegetativos (BRANTLEY et al., 2011; PANDA et al., 2010; THENKABAIL et al., 2000; DEVADAS et al., 2009).

Segundo Mahlein et al. (20013) a identificação e diferenciação de doenças baseadas em um índice vegetativo comum ainda não é possível, pois tais índices não tem especificidade entre doenças, sendo necessária uma análise de dados específica para cada doença, bem como algoritmos específicos. Uma combinação de diferentes comprimentos de onda destinados para o desenvolvimento de índice espectral de doença pode ser útil para simplificar a detecção de doenças por sensores espectrais, pelo motivo que cada doença influencia a assinatura espectral da folha de uma forma diferente.

Grande parte dos índices de vegetação utilizam as faixas do vermelho e do infravermelho próximo (HUETE; JACKSON, 1988). Isso ocorre porque mais de 90% da informação espectral da vegetação está contida nas faixas do

vermelho e infravermelho próximo (BARET et al., 1989). Alguns dos índices vegetativos usados em fitopatologia são citados na figura 2.5.

Figura 2.5 – Índices vegetativos usados em espectroscopia para detecção de doenças, adaptado de Lu et al. (2017).

Simple ratio	SR ₁	R_{800}/R_{550}
Simple ratio	SR ₂	R_{750}/R_{550}
Simple ratio	SR ₃	R_{695}/R_{420}
Disease-water stress index	DSWI ₁	R_{800}/R_{1660}
Disease-water stress index	DSWI ₂	R_{1660}/R_{550}
Moisture stress index	MSI	R_{1600}/R_{820}
Blue indices	BI	R_{450}/R_{490}
Pigment specific simple ratio chlorophyll b	PSSRb	R_{800}/R_{635}
Pigment specific simple ratio carotenoids	PSSRc	R_{800}/R_{500}
Carotenoid indices	CI ₁	R_{515}/R_{570}
Carotenoid indices	CI ₂	R_{515}/R_{670}
Carotenoid indices	CI ₃	R_{520}/R_{500}
Water index	WI	R_{900}/R_{970}
Red edge	RE	R_{750}/R_{710}
Redness index	RI	R_{700}/R_{670}
Normalized difference vegetation index	NDVI	$(R_{800} - R_{670})/(R_{800} + R_{670})$
Normalized Difference	ND ₁	$(R_{800} - R_{680})/(R_{800} + R_{680})$;
Normalized Difference	ND ₂	$(R_{750} - R_{660})/(R_{750} + R_{660})$;
Modified SR	MSR	$(R_{750} - R_{445})/(R_{705} + R_{445})$
NDWI-Hyperion	NDWI-Hyp	$(R_{1070} - R_{1200})/(R_{1070} + R_{1200})$
ND water index	NDWI	$(R_{860} - R_{1240})/(R_{860} + R_{1240})$
ND water index	mSRI	$(R_{755} - R_{444})/(R_{705} + R_{444})$
Structure-intensive pigment index	SIPI	$(R_{800} - R_{445})/(R_{800} + R_{680})$
Photochemical reflectance index	PRI ₁	$(R_{515} - R_{531})/(R_{515} + R_{531})$
Reflectance index	PRI ₂	$(R_{534} - R_{565})/(R_{534} + R_{565})$
Reflectance index	PRI ₃	$(R_{530} - R_{570})/(R_{530} + R_{570})$
Modified chlorophyll absorption in reflectance index	MCARI	$[(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550})]/(R_{700}/R_{670})$
Transformed chlorophyll absorption in reflectance index	TCARI	$3 * [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550})]/(R_{700}/R_{670})$
Renormalized difference vegetation index	RDVI	$\frac{(R_{800} - R_{670})}{\sqrt{(R_{800} + R_{670})}}$
Triangular veg. index	TVI	$0.5 * 120 * (R_{750} - R_{550}) - 200 * R_{670} - R_{550}$
Ave (750–850)	AVE	Average between R ₇₅₀ and R ₈₅₀
Modified chlorophyll-absorption-integral	mCAI	$\frac{(R_{752} + R_{845})/R_{752} - R_{845}}{2} - \sum_{545 \text{ nm}}^{752 \text{ nm}} (R * 1.158)$
Red green ratio index	RGRI	$\frac{\sum_{485 \text{ nm}}^{695 \text{ nm}} R}{\sum_{485 \text{ nm}}^{695 \text{ nm}} R}$

2.10. DURAÇÃO DA ÁREA FOLIAR SADIA

As relações entre doença e rendimento nem sempre são lógicas, isso se deve ao comportamento da relação patógeno hospedeiro no tempo-espço, epidemias com mesma severidade podem interagir com o hospedeiro por tempo prolongado, afetando assim sua capacidade de causar dano, ou sua capacidade de interferir na absorção de luz pelo hospedeiro. A produção depende da área sadia da folha, área verde, fotossinteticamente ativa e não da área doente (BERGAMIN FILHO et al., 1995).

Para os estudos de quantificação de dano, é de suma importância a avaliação da área foliar, pois a avaliação apenas da severidade não leva em conta o crescimento da planta e como isso afetará a produtividade no final do ciclo da cultura (LIM; GAUNT, 1981). Sendo assim, a subtração da área foliar doente da área foliar total foi proposta por Waggoner e Berger (1987) para estudos que relacionem melhor com rendimento, e adaptando conceitos de Watson (1947) e Monteith (1977) definiram duração da área foliar sadia (DAFS) pela integração:

$$DAFS = \sum_{i=1}^{n-1} \left\{ \frac{[LAI_i(1 - X_i) + LAI_{i+1}(1 - X_{i+1})]}{2} \right\} (t_{i+1} - t_i)$$

Sendo $LAI_i = LAI(t_i)$ o índice de área foliar e X a severidade média da doença (porcentagem).

Diversos são os trabalhos relacionando duração da área foliar sadia com rendimento nas mais diversas culturas como os de Nunes e Bergamin Filho (1996) com patossistema feijão e *Colletotrichum lindemuthianum*; área com feijão e *Phaseoisariopsis griseola*; Leite (2002) com girassol e *Alternaria helianthi*; Martins (2003) com soja e *Septoria glycines/Cercospora Kikuchii*; e Yang et al. (1992) com soja e *Phakopsora pachyrizi* além de vários outros.

O índice absorção da área foliar sadia (HAA), leva em consideração para o seu cálculo fatores que o DAFS não leva, como por exemplo, a radiação solar incidente, o coeficiente de extinção e a sombra causada por folhas doentes. É um índice mais completo e pode ser usado em patossistemas múltiplos uma vez que

leva em conta também o impacto causado pela desfolha, seja ela causada por doença ou por insetos e injúrias. É uma abordagem nova e trabalhosa, porém é o índice que melhor se correlaciona com produtividade, sendo assim uma importante ferramenta para a fitopatometria (LOPES; BERGER; BERGAMIN FILHO, 1994).

2.11 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Utilizada para sugerir relações existentes entre variáveis analisados em um experimento e possíveis combinações ou agrupamentos dos tratamentos baseados nas combinações encontradas, a análise de componentes principais PCA, permite uma análise total dos dados e evidencia quais atributos (variáveis mensuradas) melhor caracterizam as amostras. Esta análise exploratória reduz a dimensionalidade dos dados e detecta padrões de associação entre eles facilitando sua avaliação (LIMA et al., 1999; SINESIO; MONETA, 1997).

Uma PCA entre duas variáveis não é muito diferente de uma correlação simples entre elas. A PCA começa a ser útil quando lidamos com diversas variáveis. A PCA é composta por uma representação gráfica onde a variabilidade das amostras é representada pelos componentes, eixos ortogonais, onde o primeiro componente é responsável por explicar grande parte da variabilidade encontrada entre as amostras (ALMEIDA et al., 1999)

Tal facilidade é atribuída à diminuição da dimensionalidade dos dados, onde os eixos representativos das variáveis originais sofrem uma rotação dando origem a um novo sistema de coordenadas, sendo comum obter em apenas 2 ou 3 das componentes principais mais do que 90% da informação estatística. O primeiro componente principal (PC1) é uma combinação linear das variáveis originais, juntamente à máxima variância. As variâncias máximas residuais são descritas pelos demais componentes que são ortogonais ao PC1 (GLEN et al., 1989; MUIRHEAD, 1982).

A análise PCA pode ser usada também para um julgamento sobre a importância das variáveis originais utilizadas, sendo as mais importantes estatisticamente aquelas que tiverem maior peso sobre o componente principal 1.

A possibilidade do agrupamento entre as variáveis originais serem feitas por diferentes algoritmos implica na obtenção de resultados diferentes entre si. A interpretação dos agrupamentos e pesos de determinadas variáveis deve ser feito de forma holística pelo pesquisador, pois mesmo que as componentes principais 1 e 2 retenham as informações estatísticas mais relevantes, a componente principal 3 ou as demais, podem conter informação estatística suficiente para o entendimento da pesquisa (MOITA NETO; MOITA, 1998).

Pode ser empregada em diversas áreas do conhecimento. Nas ciências do solo Gomes et al. (2003) usou PCA para analisar o comportamento de solos de diferentes superfícies geomórficas do cerrado, também nas ciências do solo podemos citar os trabalhos de Lips e Duivenvoorden (1996), Splechtna e Klinka (2001), Manlay et al. (2000) e de Motta et al. (2002). No melhoramento genético a PCA tem sido usada para classificar germoplasmas, ordenar variabilidades contidas em acessos e analisar relações genéticas entre materiais vegetais melhorados (IQBAL et al., 2008), a obtenção de híbridos pode ocorrer de linhagens selecionadas por PCA segundo Oliveira (1989), uma vez que é facilitada a análise da divergência genética. Em pesquisa para caracterização de genótipos de soja-hortaliça Tobar-Tosse et al. (2015) utilizou PCA e foi capaz de selecionar genótipos com características desejáveis para programas futuros de melhoramento.

3 ARTIGO: UTILIZAÇÃO DE ESPECTROSCOPIA PARA MONITORAMENTO E TOMADA DE DECISÃO NO CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM DA SOJA

3.1 RESUMO

Para o eficiente controle químico da ferrugem asiática da soja, a primeira aplicação é o fator chave. A definição da primeira aplicação pode ser embasada com ferramentas como o sensoriamento remoto, que usa leituras de refletância do dossel para expressar diminuições na área foliar sadia. O trabalho teve por objetivo associar dados de refletância do dossel de soja para determinar variações na área foliar sadia e definir a primeira aplicação de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja. O ensaio foi conduzido em triplicata, com três épocas de semeadura distintas, na fazenda escola da Universidade Estadual de Londrina. O gradiente de severidade objetivado em cada época de semeadura foi obtido utilizando fungicidas com diferentes modos de ação, e com as aplicações se iniciando uma após a outra em intervalo de sete dias. As avaliações de severidade foram realizadas semanalmente após a detecção dos primeiros sintomas. As medições de largura e comprimento de cada folha ocorreram em plantas marcadas em cada parcela e então procedeu-se o cálculo do índice de área foliar. As leituras de refletância foram feitas semanalmente com radiômetro manual multiespectral. Os dados de NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) foram correlacionados com: área abaixo da curva de progresso da doença, índice de área foliar, produtividade e duração da área foliar sadia. Após análise de regressão foi realizado o cálculo do limiar de dano econômico. Foi realizada análise de componente principal para associação de variáveis, teste “t” para definição da data mais adequada para início das aplicações de fungicida e Scott Knott para separação de médias. Verificou-se a associação inversa entre duração da área foliar sadia e quantidade de doença, da mesma forma que quantidade de doença e produtividade. A correlação entre refletância e duração da área foliar sadia foi forte, r^2 acima de 0,89. O limiar de dano econômico foi definido em 45 unidades de área abaixo da curva de refletância. Leituras de refletância foram capazes de diferenciar área foliar sadia de tratamentos com produtividades estatisticamente iguais, indicando seu potencial para quantificação de doença. Leituras de refletância quando realizadas em R 6 foram capazes de prever produtividade da soja, separando os tratamentos ainda no estágio de “grão verde”.

Palavras-chave: NDVI, *Phakopsora pachyrhizi*, refletância, sensoriamento remoto.

3.2 ABSTRACT

For efficient chemical control of asian soybean rust, the first application is key factor. The definition of first application can be based on tools such as remote sensing, which uses canopy reflectance assessments to express healthy leaf area decreases. The study objective was to associate reflectance data of soybean canopy to determine variations in healthy leaf area and define first fungicides application to control soybean Asian rust.. The trial was conducted in triplicate, with three distinct sowing seasons, at school farm of the State University of Londrina. The aimed severity gradient at each sowing season was obtained using fungicides with different action modes, and with the applications starting one after another in a seven day interval. Severity assessments were performed weekly after detection of first symptoms. Measurements of width and length of each leaf occurred in plants marked in each plot and then calculation of leaf area index. Reflectance readings were performed weekly with a multispectral manual radiometer. The NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) data were correlated with: area under the disease progress curve, leaf area index, grain yield and health leaf area duration. After regression analysis, the economic damage threshold was calculated. Principal component analysis was performed for association of variables, "t" test to define the most appropriate date for starting fungicide applications and Scott Knott for means separation. There was an inverse association between healthy leaf area duration and disease quantity, as well as amount of disease and productivity. The correlation between reflectance and duration of healthy leaf area was strong, r^2 above 0.89. The economic damage threshold was defined as 45 units of area below the reflectance curve. Reflectance readings were able to differentiate healthy leaf area from treatments with statistically equal yields, indicating their potential for disease quantification. Reflectance readings when performed on R 6 were able to predict soybean yield, separating treatments still at the "green grain" stage.

Keywords: NDVI, *Phakopsora pachyrhizi*, reflectance, remote sensing.

3.3 INTRODUÇÃO

Uma das dez culturas de maior importância econômica a nível mundial, a soja destaca-se por ser fonte de concentrados proteicos e óleo vegetal (DÍAZ et al., 1992). No Brasil, a área destinada ao cultivo da oleaginosa quase triplicou nos últimos 20 anos de 11,6 milhões de hectares para 32,1 milhões de hectares (CONAB, 2015).

Dos fatores que prejudicam a produtividade da cultura, as doenças têm grande relevância. A ferrugem asiática da soja reportada pela primeira vez no Brasil em 2002 por Yorinori et al. (2002) já se disseminava por toda América em 2004. A doença causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* representa um marco na história da soja no Brasil, pois a ferrugem tem potencial para causar danos de 100% na cultura em condições favoráveis como comprovado no relato de Andrade e Andrade (2002) em cultivo de soja safrinha em Chapadão do Sul, MS.

Dentre as medidas de controle, o emprego de cultivares precoces e a semeadura nas épocas mais adiantadas visam escapar da grande quantidade de inóculo inicial ao qual as semeaduras tardias ficam expostas, técnicas que são importantes para o manejo integrado da doença (YORINORI et al., 2004).

O vazio sanitário da soja promove um atraso nos primeiros casos da doença, com o período regulamentar se encerrando em setembro tem-se observado inícios de epidemia em novembro. Porém diferenças entre regiões e períodos de vazio sanitário adotados por cada uma, 60 dias em alguns casos e 90 dias em outros, tem gerado uma ponte verde e prejudicando as semeaduras tardias com grande quantidade de inóculo (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2015).

Após estabelecida a cultura, a ferramenta para o manejo integrado é o controle químico. Desde o início das epidemias de ferrugem no Brasil o número de fungicidas registrados saltou de 5 para 117 e os principais grupos químicos utilizados são fungicidas DMI (inibidores da demetilação), QoI (inibidores da quinona externa) e os SDHI (inibidores da dehydrogenase succinato) e suas misturas, duplas ou triplas (BRASIL, 2015).

Quantificar a doença para embasar a melhor tomada de decisão pode ser um processo trabalhoso e impreciso. Erros pela falta de acurácia do olho humano são suscetíveis de acontecerem, bem como pela subjetividade entre as interpretações entre diferentes avaliadores (CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999).

Portanto, medidas mais exatas, precisas e menos sujeitas à subjetividade precisam ser utilizadas para quantificar doenças.

Técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo empregadas com sucesso nos estudos de quantificação de doença por viabilizarem medidas de área foliar sadia, uma forma indireta de estimar quantidade de doença (NILSSON, 1995; CANTERI et al., 1999; GUAN; NUTTER, 2001; NICOLAS 2004; REIS et al., 2006).

As medidas de refletância do dossel da cultura são uma das ferramentas para a detecção das sutis variações biofísicas e bioquímicas do dossel em resposta a diferentes estresses, sejam bióticos ou abióticos (SILVA et al., 2000).

O estudo tem por objetivo analisar dados de refletância do dossel de soja para determinar variações na área foliar sadia e correlacionar com dados de severidade de ferrugem asiática, índice de área foliar e produtividade e definir a primeira aplicação de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido em triplicata na Fazenda experimental da Universidade Estadual de Londrina, posicionada a 23°18' de latitude Sul e 51°10' de longitude Oeste e 560m de altitude. As sementeiras foram realizadas nos dias 31/10/2016, 25/11/2016 e 06/01/2017 para a primeira, segunda e terceira época respectivamente. A cultivar utilizada foi BMX Potência RR (grupo de maturação 6.7), semeada em espaçamento de 0,45m entre linhas com 13 plantas por metro linear, resultando em população final de 280 mil plantas ha⁻¹, aproximadamente.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições por tratamento. Cada parcela foi composta por seis linhas de sementeira e sete metros lineares de comprimento. A área útil para avaliações foi constituída pelas duas linhas centrais com cinco metros lineares de comprimento.

Para gerar o gradiente de severidade foram realizadas aplicações de uma combinação de diferentes fungicidas comerciais, conforme Tabela 3.4.1 fixando-se a mistura (Azoxistrobina + Benzovindiflupyr) + Mancozeb + (Difenoconazol + Ciproconazol) como padrão, para estagnar o avanço da epidemia de ferrugem.

Tabela 3.4.1. Fungicidas utilizados para gerar o gradiente de severidade de ferrugem asiática da soja.

Produto Comercial	Ingrediente Ativo	Grupo Químico	Concentração I.A.	Dose	Modo de Ação/Sítio
Elatus®	Azoxistrobina + Benzovindiflupyr	Estrobilurina	30 %	200 g. p.f. ha ⁻¹	QoI SDHI
		Carboxamida	15 %		
Unizeb Gold®	Mancozeb	Ditiocarbamato	75 %	3000 g. p.f. ha ⁻¹	Multissítio
Cypress®	Difenoconazol + Ciproconazol	Triazol	25 %	300 ml.p.f. ha ⁻¹	DMI DMI
		Triazol	15 %		

As aplicações iniciaram-se aos 45 dias após a semeadura, correspondendo ao estágio fenológico da soja V8. Cada tratamento teve sua primeira aplicação em uma data diferente onde os primeiros tratamentos acumularam maior número de aplicações e estas se iniciando mais cedo, e os últimos tratamentos acumularam menor número de aplicações e estas tendo início mais tardio, como detalhado na Tabela 3.4.2.

Tabela 3.4.2. Tratamentos, estádios fenológicos da soja nas pulverizações, n^o de pulverizações e início das pulverizações para obtenção de gradiente de severidade de ferrugem asiática da soja.

Tratamentos	Estádios fenológicos da soja nas aplicações	Número de aplicações	Início das aplicações (dias após a semeadura)
T1 Testemunha	-	-	-
T2 Unizeb Gold®	R1;R3;R5;R5,2;R5,4;R7	6	48
T3 Cypress®	R1;R3;R5;R5,2;R5,4;R7	6	48
T4 Elatus + Cypress + Unizeb gold	V8;R3;R5;R5,2;R5,4;R6	6	45
T5 Elatus + Cypress + Unizeb gold	R1;R3;R5;R5,2;R5,4;R7	6	48
T6 Elatus + Cypress + Unizeb gold	R2;R4;R5,1;R5,3;R5,5	5	52
T7 Elatus + Cypress + Unizeb gold	R3;R5;R5,2;R5,4;R6	5	59
T8 Elatus + Cypress + Unizeb gold	R4;R5,1;R5,3;R5,5	4	66
T9 Elatus + Cypress + Unizeb gold	R5;R5,2;R5,4;R6	4	73
T10 Elatus + Cypress + Unizeb gold	R5,1;R5,3;R5,5	3	80
T11 Elatus + Cypress + Unizeb gold	R5,2;R5,4;R6	3	87
T12 Elatus + Cypress + Unizeb gold	R5,3;R5,5	2	94

A estimativa visual de severidade de doença foi realizada com auxílio da escala diagramática proposta por Godoy et al. (2006) avaliando-se quatro pontos dentro de cada parcela, em cada ponto uma amostra do terço inferior, mediano e superior do dossel foram avaliadas, totalizando doze leituras por parcela. O início das avaliações ocorreu a partir da identificação dos primeiros sintomas na parcela sem aplicação de fungicidas e ocorreu até a senescência total das folhas, resultando em: seis avaliações no ensaio época 1 com início no dia 10/01/2017 e encerrando no dia 21/02/2017, sete avaliações no ensaio época 2 que tiveram início no dia 09/02/2017 e encerraram no dia 30/03/2017 e nove avaliações no ensaio época 3 que tiveram início no dia 01/03/2017 e encerramento no dia 09/05/2017.

A avaliação de produtividade ocorreu através da colheita manual no estágio fenológico R8, com 95% das vagens do tratamento apresentando coloração de madura. O estágio de colheita foi atingido aos 140 dias após o plantio. Colheu-se uma área útil de 4,5m², determinou-se a umidade e então feita a padronização para 13% de umidade.

As leituras de refletância foram realizadas semanalmente com um dia de diferença, um dia antes ou um dia depois, das avaliações de severidade. Foi utilizado espectro-radiômetro GreenSeeker Hand Held Model® 505, posicionado a aproximadamente um metro sobre o dossel (como recomendado pelo fabricante),

nos comprimentos de onda de 660nm e 770nm, usadas para o cálculo do NDVI (Normalized Difference Vegetations Index) com a seguinte fórmula:

$$NDVI = \frac{\rho NIR - \rho VIS}{\rho NIR + \rho VIS}$$

Onde ρNIR = valor de refletância no comprimento de onda de 770nm, e ρVIS = valor de refletância no comprimento de onda de 660nm.

As medidas foliares usadas para o cálculo do IAF, índice de área foliar, foram realizadas semanalmente e iniciando e encerrando juntamente às avaliações de severidade. Foram obtidas de três plantas marcadas em cada uma das parcelas medindo-se a área do folíolo central de cada folha da planta e multiplicando-se pela densidade de plantas.m⁻² através da fórmula:

$$IAF = L * C * 0,7 * D$$

Onde L é a largura máxima do folíolo, C é o comprimento máximo, a constante 0,7 refere-se ao formato lanceolado da folha, e D é a densidade de plantas.m⁻² obtida pela contagem de plantas em 1 metro linear e dividindo-se o espaçamento entre linhas de 0,45 metro.

O valor da área sob a curva de progresso da doença (AACPD) para cada parcela foi calculado por integração trapezoidal (Shaner e Finney, 1977):

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1})/2](t_{i+1} - t_i)$$

Onde X é a severidade média da doença por parcela (porcentagem), $X_i = X(t_i)$, n é o número de avaliações e $(t_{i+1} - t_i)$ é o intervalo entre duas avaliações consecutivas. A duração da área foliar sadia (DAFS) para cada parcela foi calculada pela fórmula:

$$HAD = \sum_{i=1}^{n-1} \left\{ \frac{[LAI_i(1 - X_i) + LAI_{i+1}(1 - X_{i+1})]}{2} \right\} (t_{i+1} - t_i)$$

Onde $LAI = LAI(t)$. O valor do índice da área foliar sadio (HLAI) para cada data de avaliação foi calculado como $HLAI = LAI(1 - X)$.

Para o cálculo da AAR, área abaixo da curva das medidas de refletância, a integração trapezoidal foi utilizada:

$$AAR = \sum_{i=1}^{n-1} [(R_i + R_{i+1})/2](t_{i+1} - t_i)$$

Sendo R as leituras de NDVI em cada avaliação (i), e t o intervalo entre as avaliações o número de avaliações, frequência e as datas de início e encerramento das leituras se deu como descrito no detalhamento da utilização do espectro-radiômetro.

A função de dano obtida a partir da regressão entre área abaixo da curva de refletância e produtividade será usada para definir o coeficiente de dano (CD), que é dado pela constante “b” dentro da equação “ $y=a+bx$ ”, onde “y” é a produtividade, e “x” a medida de AAR. Também chamado de coeficiente de regressão “b” indica a variação que a média de produtividade sofre com o aumento de 1 unidade de AAR.

O limiar de dano econômico, LDE, indica o melhor momento para a realização econômica do manejo químico da ferrugem asiática da soja. O LDE foi calculado levando-se em consideração um custo médio de controle (CC) convertendo-se o valor monetário para quilos de soja, de acordo com o preço da saca no momento. Sendo a equação para o cálculo de $LDE=CC/CD$.

Os dados foram submetidos à análise de componente principal para comparativo com os resultados da regressão linear, realizado no programa “R” pela rotina “rcmdr fator miner”, os coeficientes de regressão foram submetidos à análise de variância para verificar sua significância, as leituras dos tratamentos 1 (testemunha) e 4 (parcela controle) foram submetidas ao teste “t”, as datas definidas como “momento de aplicação” tiveram os atributos dos seus respectivos tratamentos comparados por análise de variância e teste de separação de médias skott knott a 5% de probabilidade.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados meteorológicos durante o período dos experimentos E1, E2 e E3 são resumidos na figura 3.5.1. Durante os meses de outubro e maio a menor temperatura média foi de 19 °C e a maior foi de 25 °C, enquadrando-se dentro das temperaturas consideradas ótimas ao desenvolvimento da cultura, Embrapa Soja (2006), de 20 – 30 °C. A precipitação acumulada foi de 1236 mm com boa distribuição no tempo, e a recomendação de precipitação acumulada é de ao menos 450 mm durante o ciclo da cultura. Nesse caso o clima não foi um fator limitante.

Os primeiros sintomas de ferrugem foram detectados aos 71 dias no experimento época 1, aos 66 dias no experimento época 2 e aos 45 dias no experimento época 3. Isso deve-se ao que Godoy et al. (2016) abordam como ponte verde, as áreas de cultivo antecipado servem de fonte de inóculo para as áreas de cultivo mais tardias, como no caso relatado no município de Sorriso, MT, na safra 2003/2004 em área com soja aos 25 dias após a emergência já era possível constatar a presença da doença.

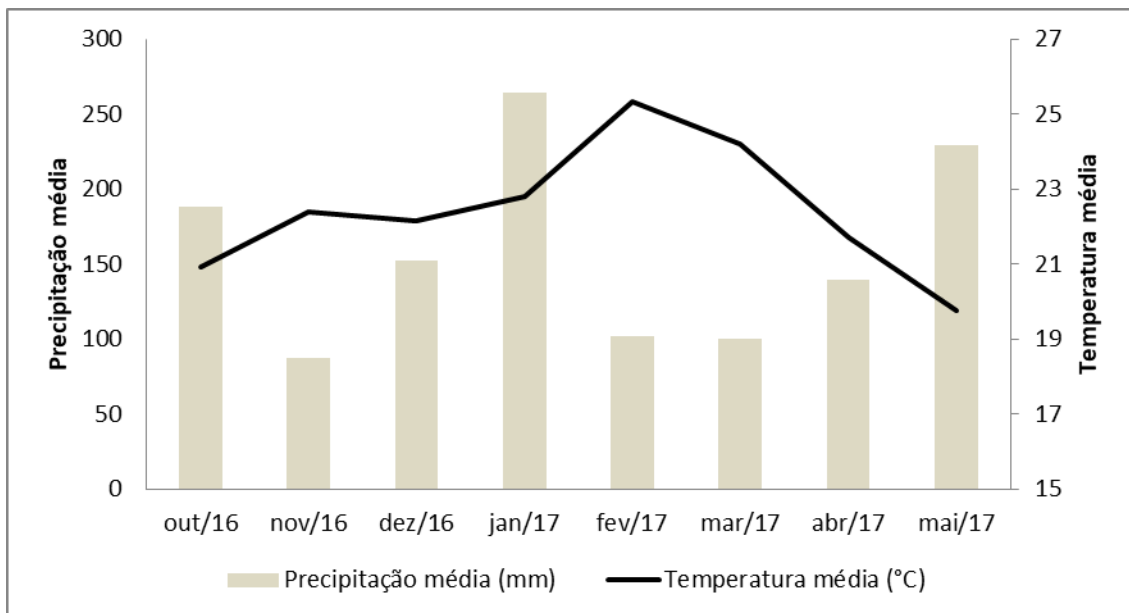


Figura 3.5.1. Temperatura média e precipitação média registrados para o município de Londrina, PR, na safra 2016/2017

Análise de componente principal

As análises de componentes principais (Tabela 3.5.1) mostram que a soma dos componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) explicam 92,75% das variâncias contidas nas variáveis originais para a Época 1. Isto significa que em uma situação onde os dados encontram-se distribuídos em uma coordenada x-y, a componente principal 1 seria uma linha traçada entre esses dados de forma a representar a melhor distribuição entre os dados e a linha. A componente principal 2 deve ser obrigatoriamente ortogonal, formar um ângulo de 90° com a componente principal 1, a fim de abranger a coordenada original x-y. A componente principal 1 (CP1) representaria 72,61% da distribuição total desses dados na nova coordenada “x” formada pela análise. A componente principal 2 (CP2) representaria 20,14% da distribuição total desses dados na nova coordenada “y” formada pela análise.

Para a Época 2 e Época 3 as contribuições das somas dos CP1 e CP2 foram de: 97,09% e 96,95% respectivamente. As variáveis de maior peso discriminatório na CP 1 foram AACPD, AAR, DAFS e PMG (nas épocas 1 e 2). A variável AACPD se associa de forma inversa às demais variáveis em CP1.

As variáveis com sinais iguais comportam-se de forma semelhante, ou seja, quando uma variável tende a aumentar a outra variável de sinal semelhante tende ao mesmo comportamento, o inverso é real. Sendo assim a área abaixo da curva de progresso da doença quando aumenta pode exercer influência nas outras variáveis fazendo com que elas diminuam. Dessa forma, a CP 1 divide os tratamentos em índice relativo à doença e índices relativos a sanidade da cultura. Essa separação ocorreu nas três épocas.

Tabela 3.5.1 Contribuição dos Componentes principais na representação das variâncias dos dados. Peso das variáveis fitométricas nos Componentes principais, sendo AACPD (área abaixo da curva de progresso da doença), AAR (área abaixo da curva de refletância), DAFS (duração da área foliar sadia), PROD (produtividade) e PMG (peso de mil grãos) para os experimentos (época 1, época 2 e época 3).

Componentes principais (CP)	Época 01		Época 02		Época 03	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Contribuição dos CP (%)	72,61	20,14	78,31	18,78	77,12	19,84
Contribuição acumulativa (%)	72,61	92,75	78,31	97,09	77,12	96,95
AACPD	-0,52	0,04	-0,50	0,01	-0,50	0,01
AAR	0,50	0,070	0,49	-0,17	0,49	0,01
DAFS	0,52	-0,03	0,50	-0,07	0,51	-0,03
PROD	-0,03	-0,99	0,16	0,98	0,50	-0,14
PMG	0,47	-0,06	0,48	-0,07	0,08	0,99

De forma diferente, a variável produtividade na Época 1 e 2, não se associa tão fortemente com nenhuma das outras variáveis, pois essa variável tem maior poder discriminatório sobre a componente principal 2 enquanto as outras tem maior poder discriminatório na componente principal 1. A CP 2 separou os tratamentos pela produtividade, na Época 1 e Época 2, na Época 3 a CP 2 dividiu os tratamentos pelo peso de mil grãos.

De acordo com os resultados da análise da Época 1 e 2, não existiria relação entre a utilização de leituras de NDVI e a produtividade da soja, porém os resultados da Época 3 indicam ser possível a utilização dessas medidas para o monitoramento da ferrugem asiática da soja, para o acompanhamento do desenvolvimento vegetativo da cultura, bem como a previsão da produtividade da lavoura.

Época 1

Com o exposto na figura 3.5.2, a variável produtividade não teve associação com as demais, enquanto a AACPD tem comportamento conforme esperado, seguindo um gradiente sobre os tratamentos, a produtividade não apresentou esse comportamento. Isso pode ser explicado pelo processo de acamamento sofrido pela cultura que foi bastante heterogêneo na área do ensaio ao longo do mês de janeiro, que apresentou quantidades elevadas de precipitação, e

ocorreu com a cultura no estádio R.3. O comportamento da área abaixo da curva de refletância em função da AACPD é o alvo do trabalho.

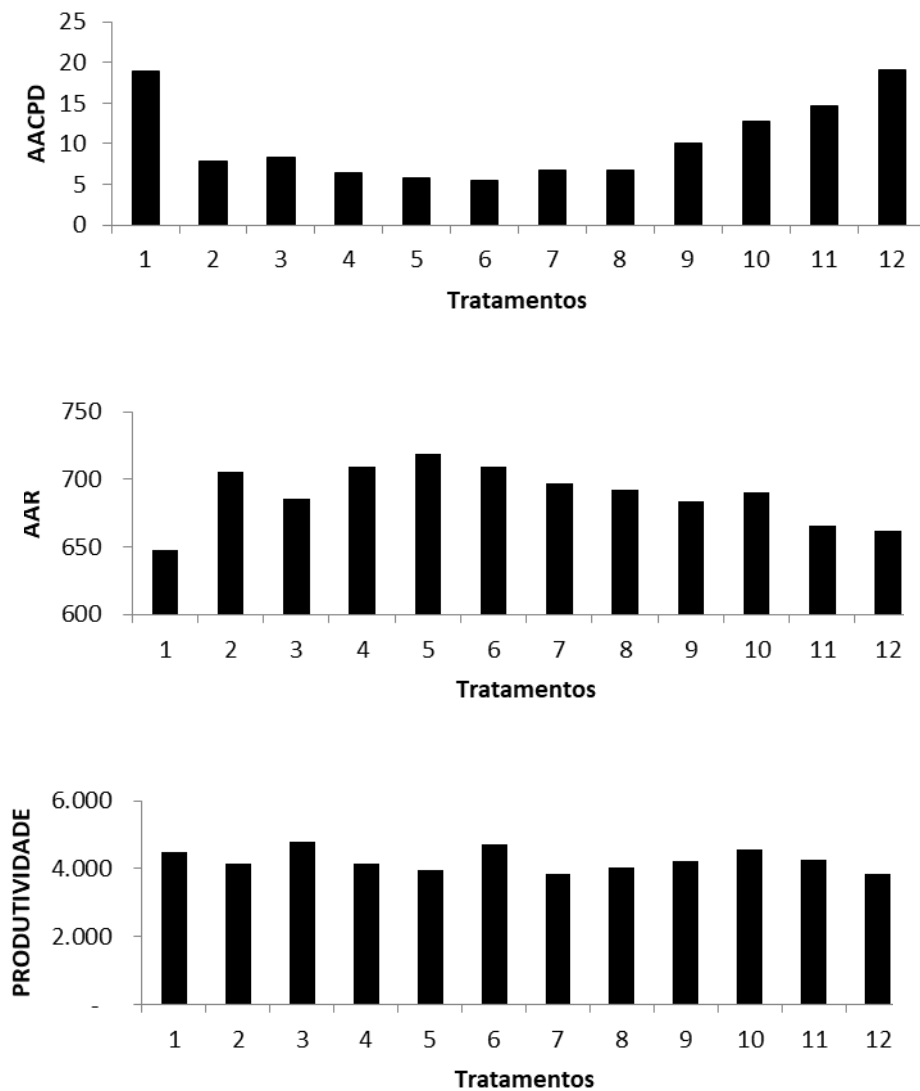


Figura 3.5.2. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva da refletância (AAR) e produtividade para os tratamentos da Época 1, para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR.

Segundo Spader, (2014) a cultivar de soja BMX Potência RR foi agrupada como cultivar com maior tendência ao acamamento, por ter maior estatura, unindo-se a isso uma condição de alta pluviosidade, tem-se estiolamento e por consequência final o acamamento gerando perdas quantitativas e qualitativas.

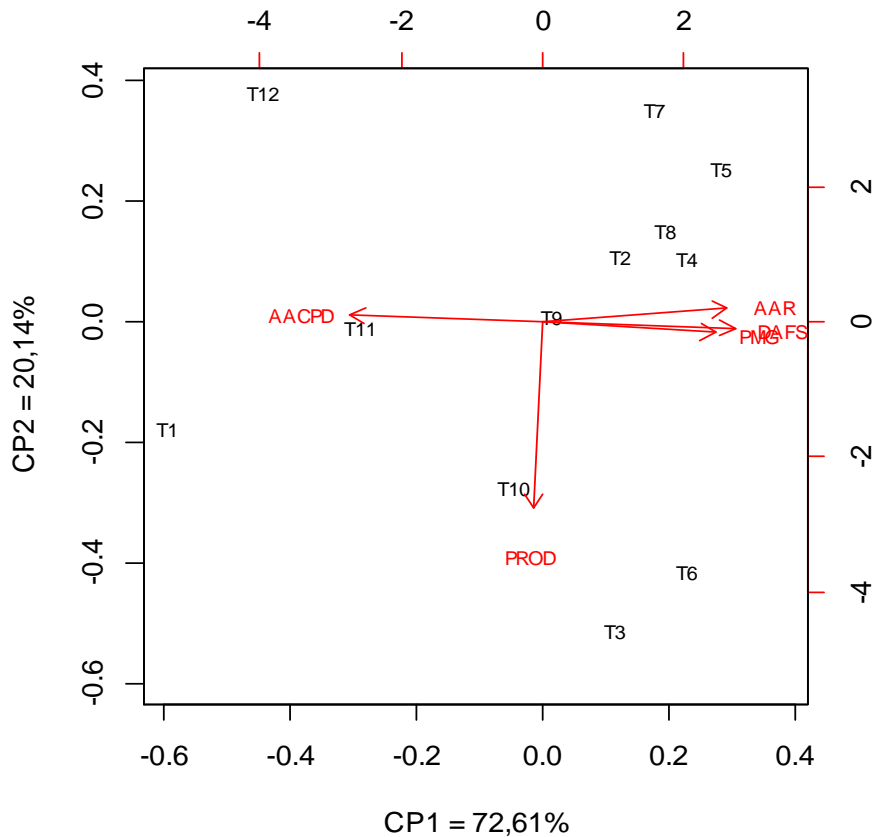


Figura 3.5.3. Biplots mostrando a discriminação dos 12 tratamentos (T1 a T12) e a projeção das variáveis nos dois primeiros componentes principais, na Época 1. CP 1 (componente principal 1 explicando 72,61% da variância original), CP 2 (componente principal 2 explicando 20,14 da variância original), PROD (produtividade), AACPD (área abaixo da curva de progresso da doença), DAFS (duração da área foliar sadia), AAR (área abaixo da curva de refletância), PMG (peso de mil grãos), para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR.

Relacionando a distribuição dos tratamentos e das variáveis na figura 3.5.3, observou-se que os tratamentos T1, T12 e T11 foram agrupados por ter maior associação com quantidade de doença, pois foram os tratamentos que não receberam aplicações de fungicidas, e se receberam, foram aplicações tardias. Os tratamentos T3 e T6 foram agrupados pela associação com a tendência de maiores produtividades, e os tratamentos T4 e T5 foram agrupados por associação com os índices de sanidade da cultura, DAFS, AAR e PMG, esses foram os tratamentos que receberam maior quantidade de aplicação de fungicidas e tiveram aplicações que iniciaram-se mais cedo.

A Análise de componentes principais tem sido utilizada para identificar características importantes a serem avaliadas em estudos prévios na sua

contribuição para a variabilidade (PEREIRA, 1989). A análise expôs a falta de associação entre a variável produtividade e as demais variáveis. Por ser uma análise exploratória, após a PCA é necessária uma análise mais aprofundada. Através de regressões lineares buscou-se mensurar as relações entre produtividade, as leituras de espectrometria e os índices de doença, vegetativos e de sanidade.

Época 2

Conforme previsto o índice de área abaixo da curva de progresso da doença comportou-se expressando o gradiente planejado, da mesma forma a área abaixo da curva de refletância seguiu padrões de gradiente. Porém a variável produtividade não se comportou conforme o esperado, pode-se atribuir o comportamento a uma infestação tardia de percevejos marrons *Euschistos heros*, associada ao fenômeno de haste verde, podem ter interferido de forma não sistemática na produtividade.

Silva et al. (2013) elenca que possíveis causas do distúrbio denominado haste verde podem ser: ataque de percevejos e aplicação de fungicidas. Enumerando a importância dos percevejos como fator de causa do distúrbio em questão, *Piezodorus guildinii* é o principal responsável, seguido de *Nezara viridula* e por último *Euschistus heros*. Quanto à importância dos fungicidas o autor atenta ao número de pulverizações, às condições climáticas na hora da aplicação e também ao produto em si, os efeitos podem variar de produto para produto.

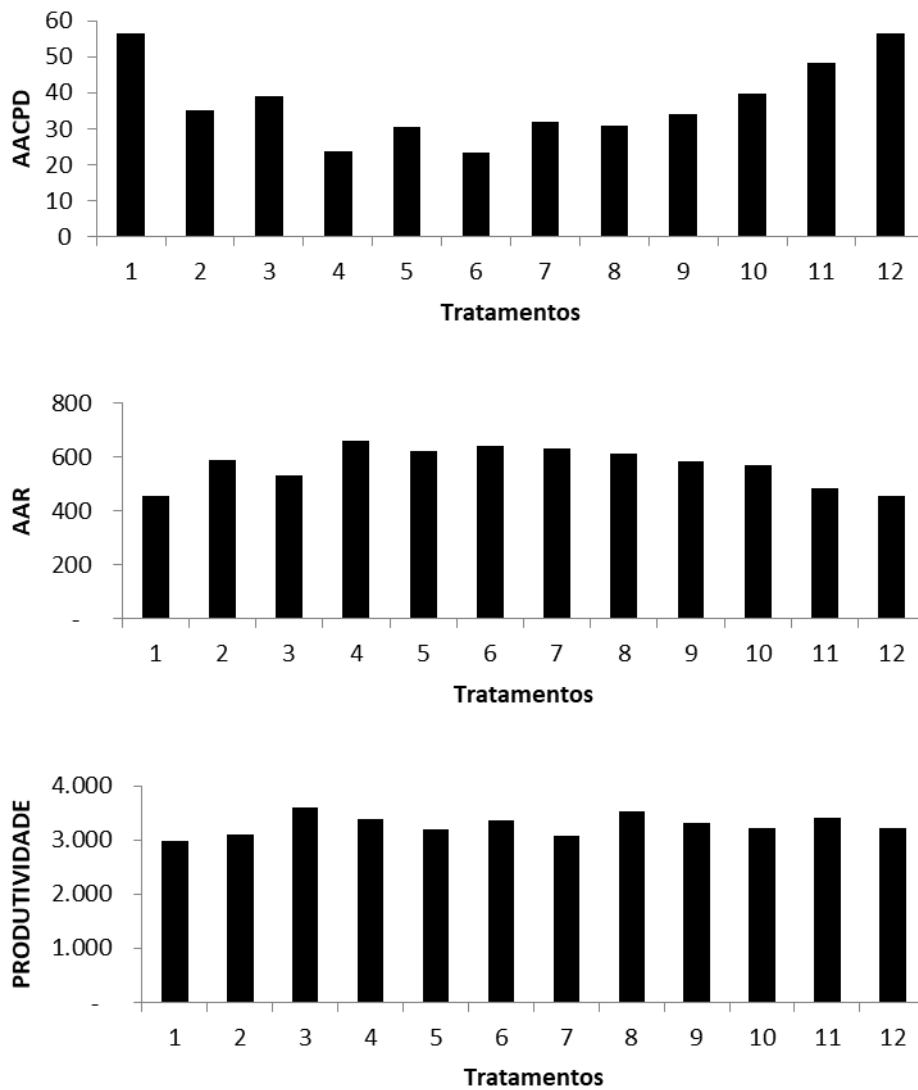


Figura 3.5.4. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva da refletância (AAR) e produtividade para os tratamentos da Época 2, para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR.

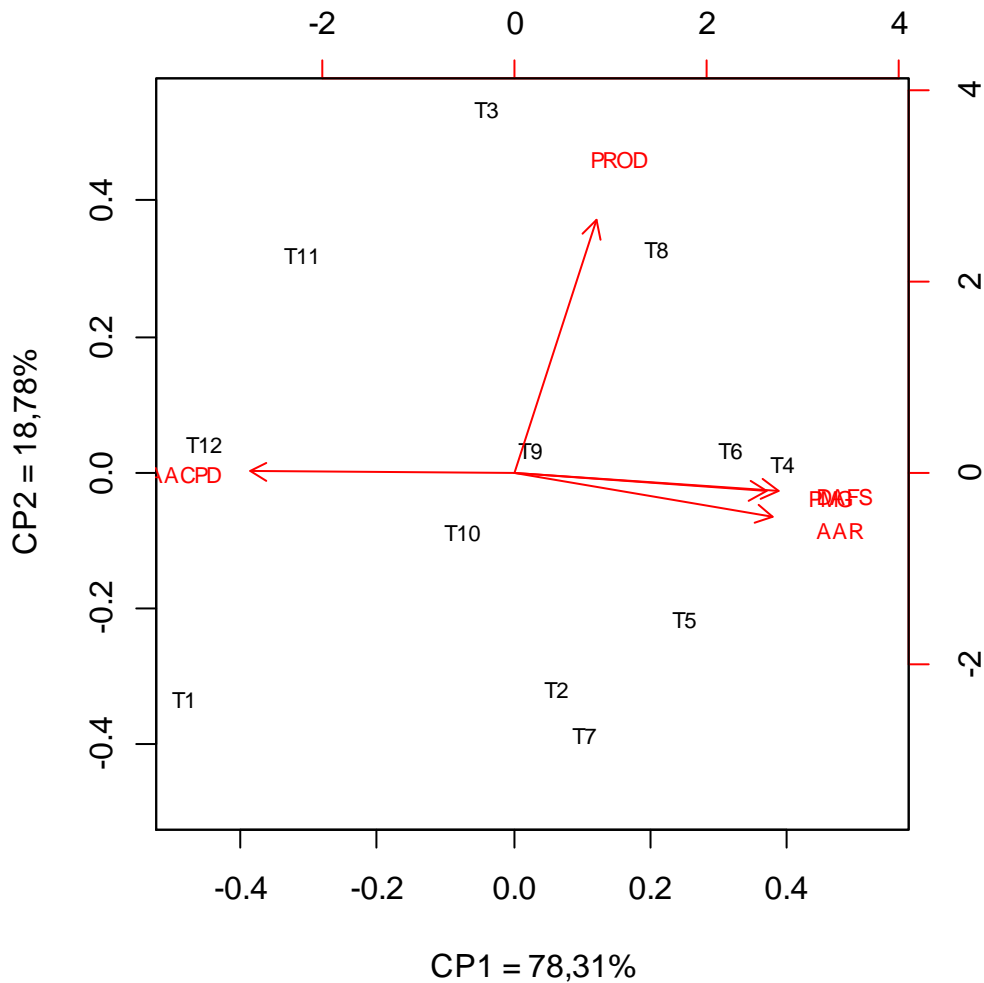


Figura 3.5.5. Biplots mostrando a discriminação dos 12 tratamentos (T1 a T12) e a projeção das variáveis nos dois componentes principais, na Época 2. CP 1 (componente principal 1 explicando 78,31% da variância original), CP 2 (componente principal 2 explicando 18,78% da variância original), PROD (produtividade), AUCDP (área abaixo da curva de progresso da doença), DAFS (duração da área foliar sadia), AAR (área abaixo da curva de refletância), PMG (peso de mil grãos), para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR.

Em um detalhamento melhor da PCA sobre a Época 2 é possível observar um comportamento semelhante ao biplot da Época 1 para a maioria dos tratamentos na figura 3.5.5. Os tratamentos que foram agrupados em associação a variável produtividade foram T3, T8 e T10. Os tratamentos T4, T5, T6 e T7 foram agrupados por associação com os índices de sanidade da cultura DAFS e AAR. Os tratamentos T1, T12, T11 e T10 foram agrupados por associação com o índice de

doença AACPD. Exceto pelo agrupamento dos tratamentos por associação a produtividade, o agrupamento dos tratamentos na Época 2 foi semelhante ao agrupamento na Época 1.

Época 3

Na Época 3 o comportamento dos índices e fatores avaliados seguiram conforme o esperado e expressaram o gradiente planejado. Comparando-se com o comportamento das Épocas 1 e 2, nota-se que não fossem as interferências ocorridas no decorrer dos ensaios em questão possivelmente obteríamos padrões de comportamento em gradiente também do fator produtividade.

O biplot da Época 3 na figura 3.5.7 manteve o agrupamento dos tratamentos semelhante aos agrupamentos obtidos para Época 1 e 2, sendo os tratamentos T4, T5, T6, T3 e T7 os mais associados com as variáveis de sanidade da cultura DAFS, AAR e PROD. Os tratamentos T1, T12, T11, T10 e T9 associaram-se com as variáveis de doença (AACPD). Nessa análise tivemos uma inversão ente os componentes principais, sendo o CP 2 o componente que mais explica variâncias sobre PMG e não sobre produtividade.

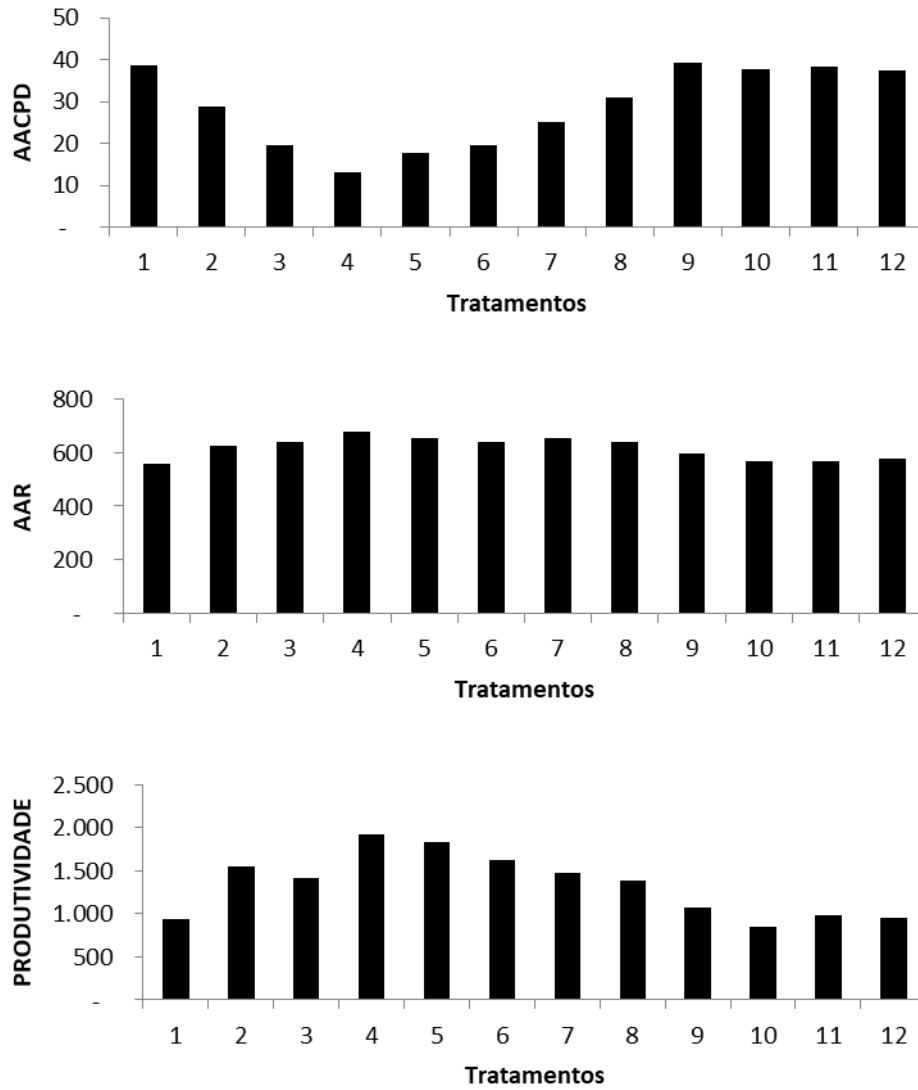


Figura 3.5.6. Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva da refletância (AAR) e produtividade para os tratamentos da Época 3, para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR

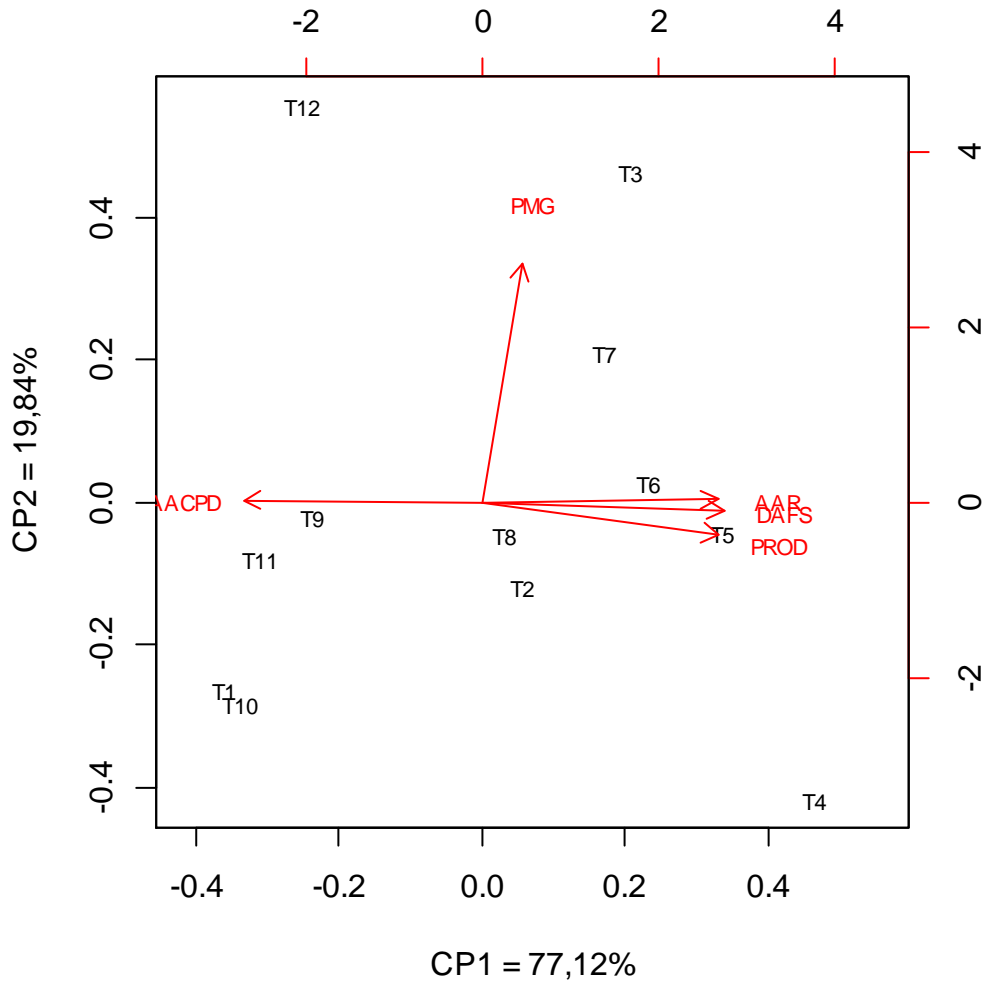


Figura 3.5.7. Biplots mostrando a discriminação dos 12 tratamentos (T1 a T12) e a projeção das variáveis nos dois componentes principais, na Época 3. CP 1 (componente principal 1 explicando 77,12% da variância original), CP 2 (componente principal 2 explicando 19,84% da variância original), PROD (produtividade), AUCDP (área abaixo da curva de progresso da doença), DAFS (duração da área foliar sadia), AAR (área abaixo da curva de refletância), PMG (peso de mil grãos), para ensaio com ferrugem asiática da soja em Londrina, PR.

As análises de componente principal permitiram caracterizar as associações entre os parâmetros avaliados, sendo AACPD associado de forma inversa aos demais parâmetros fitométricos como DAFS, AAR, PMG e PROD. Foi possível agrupar os tratamentos de acordo com seus atributos mais marcantes o que corroborou o bom planejamento e execução do trabalho.

Correlação e regressão

Em um primeiro momento a intenção de um pesquisador é associar diretamente quantidade de doença com os valores obtidos de NDVI como na Figura 3.5.8, mas a teoria é de que os valores de NDVI se correlacionam melhor com a área sadia da folha, sendo então o NDVI uma forma indireta de se medir a quantidade de doença presente em um tecido foliar como já constataram (CANTERI et al., 1999; GUAN; NUTTER, 2001; NICOLAS, 2004; NILSSON, 1995; REIS et al., 2006). Mas se os danos têm sido estimados com mais precisão por medidas de área foliar sadia, por que o padrão da pesquisa ainda acaba sendo a avaliação de área doente do tecido? Segundo Canteri, (1998) as medições de área foliar sadia são muito mais trabalhosas que avaliações de severidade, e isso têm inviabilizado sua aplicação prática.

Após as análises de regressão nota-se que nos três experimentos realizados em épocas de semeaduras diferentes obtivemos coeficientes de determinação diferentes para as regressões entre as integrais AAR, área abaixo da curva de refletância, e AACPD, área abaixo da curva de progresso da doença, todos significativos ($P \leq 0,01$) com valores de 0,84 para época 1, para a época 2 o valor foi de 0,96 e para a época 3 o R^2 foi de 0,82.

Os coeficientes de determinação encontrados nas regressões entre área abaixo da curva de refletância (AAR) e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), e também os coeficientes de determinação das relações entre AAR e duração da área foliar sadia (DAFS), abordados na figura 3.5.9 corroboram resultados obtidos por Koga et al. (2007) que estudando o patossistema ferrugem na soja, utilizou diferentes comprimentos de onda bem como a diferença normalizada entre esses comprimentos de onda, do espectro que se estende do vermelho até o infravermelho, e obteve regressões significativas desses comprimentos de onda com o índice duração da área foliar sadia (DAFS) a 1%, o que indica que com 99% de probabilidade existe alta correlação entre os dados estudados, AAR e DAFS (BONZATTO; KRONKA, 1995).

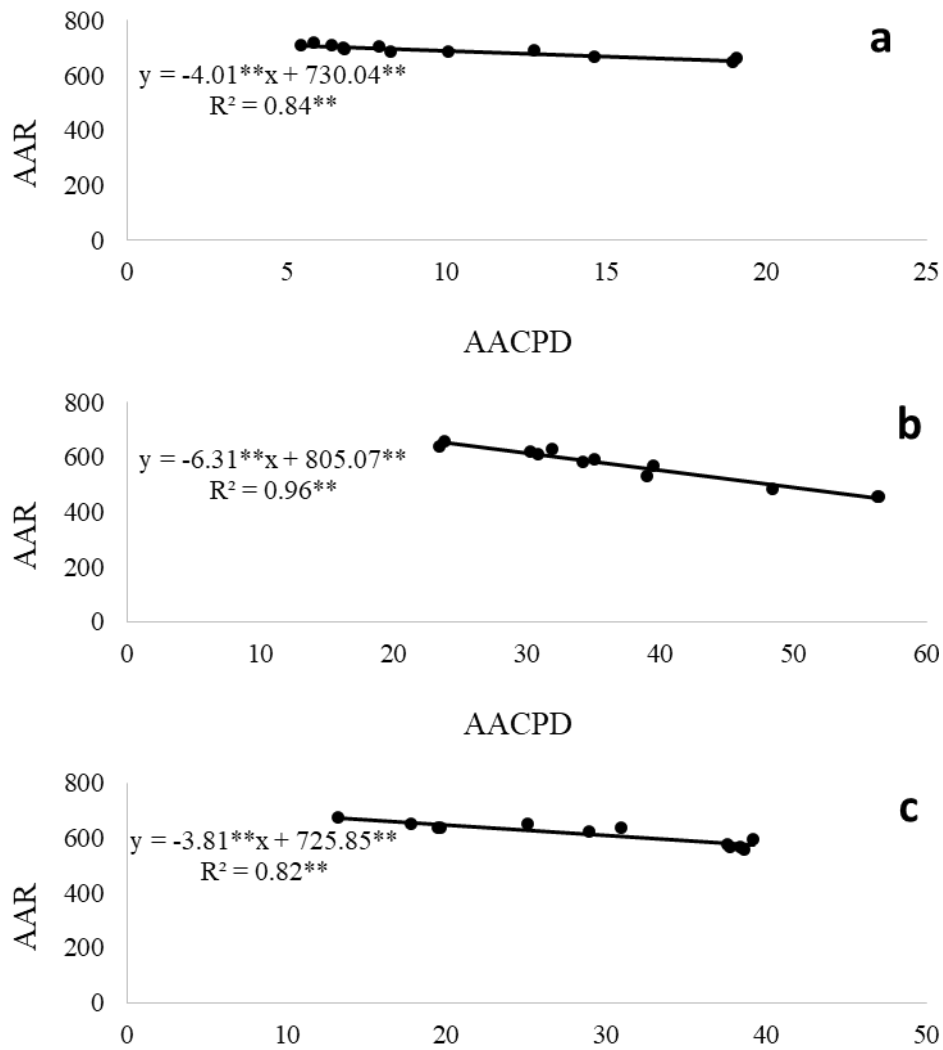


Figura 3.5.8 Relações entre AAR (área abaixo da curva da refletância) e AACPD (área abaixo da curva de progresso da doença) nos três ensaios: época 1 “a”, época 2 “b” e época 3 “c”.

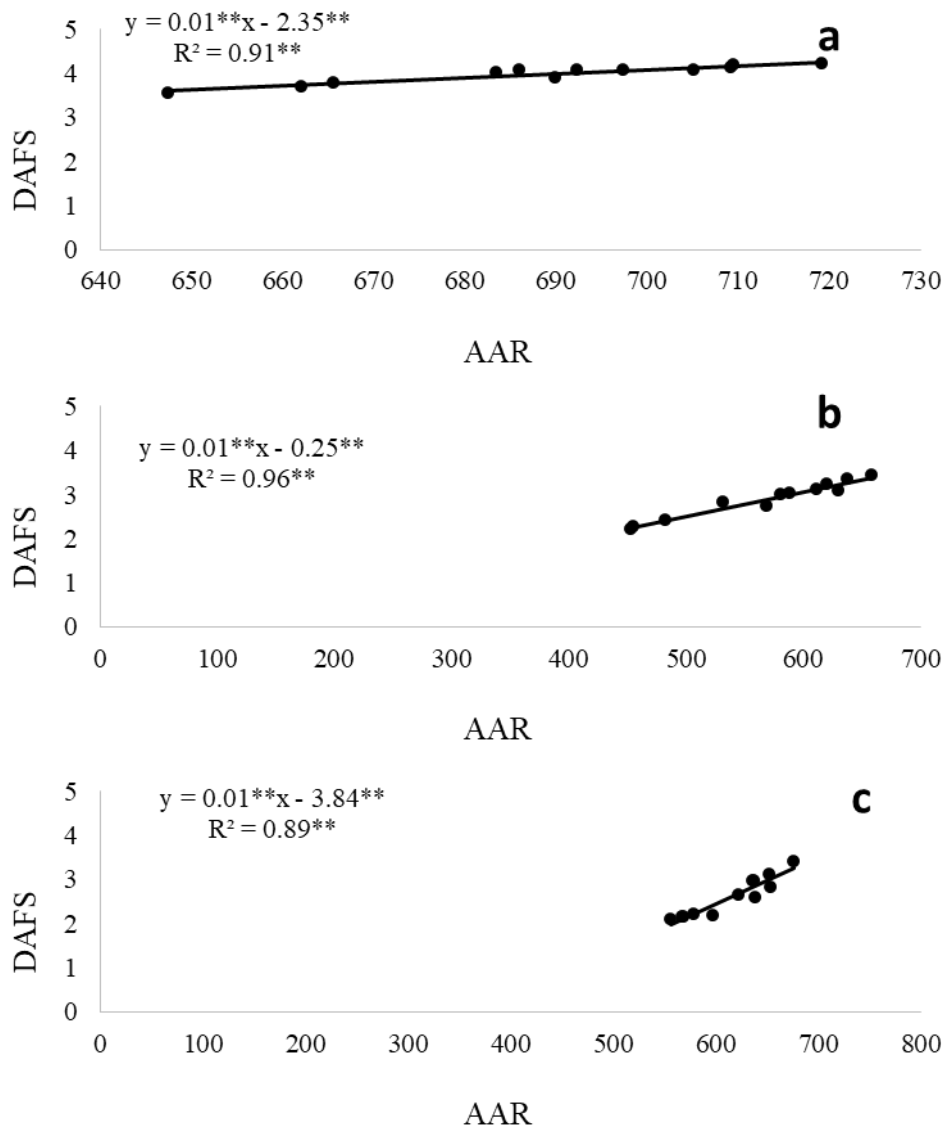


Figura 3.5.9 Relações entre AAR (área abaixo da curva da refletância) e DAFS (duração da área foliar sadia) nos três ensaios: época 1 “a”, época 2 “b” e época 3 “c”.

Os resultados obtidos por Hikishima et al, (2010), estudando também o patossistema ferrugem na soja e utilizando um radiômetro de múltiplo espectro para quantificar a porcentagem de luz solar refletida pelo dossel em oito comprimentos de onda foi diferente dos resultados obtidos no presente trabalho. Com r^2 não menores do que 0,88% as regressões de PROD e AACPD, se apresentaram bem distintas dos resultados encontrados neste trabalho referentes às Épocas 1 e 2, que não foram significativos. Entretanto, os resultados encontrados na Época 3 do ensaio apresentando r^2 de 0,87%, figura 3.5.10, corroboram os resultados encontrados pela autora.

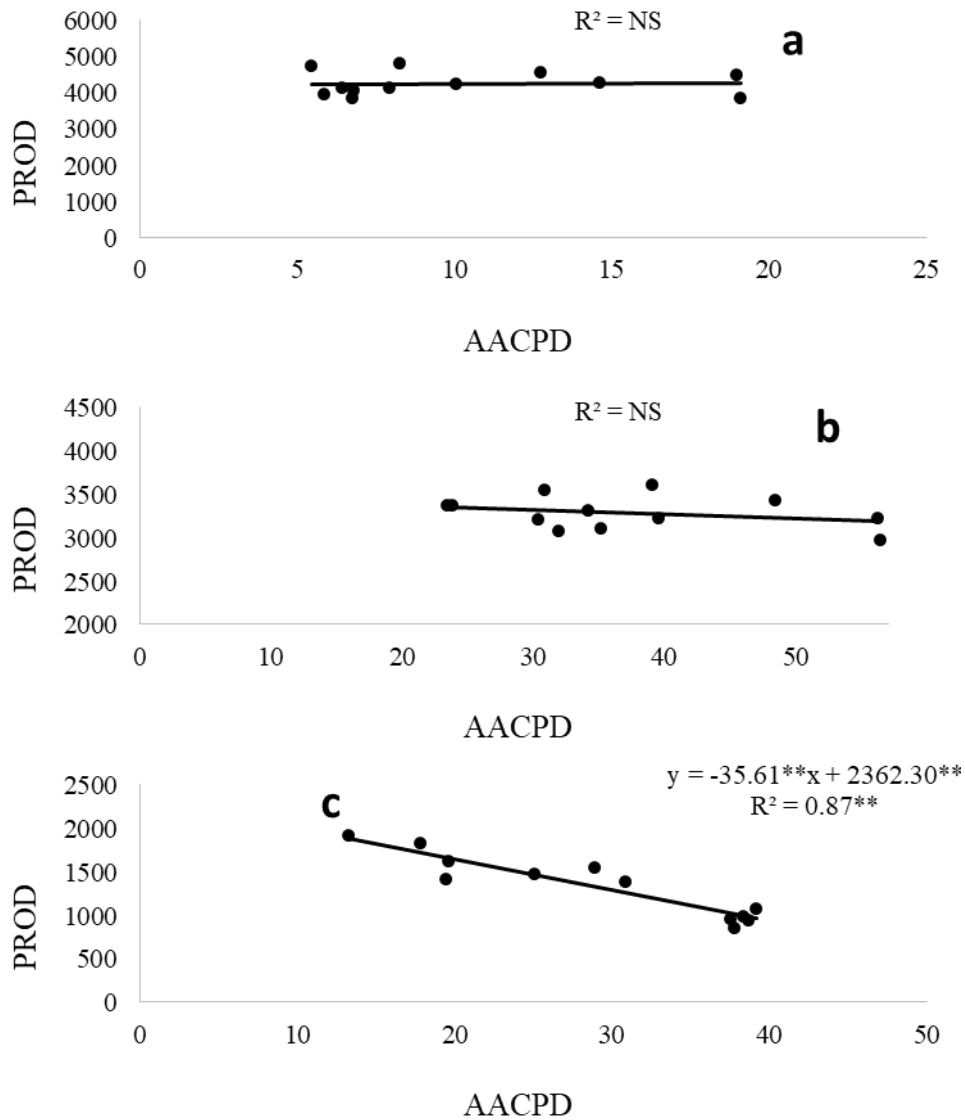


Figura 3.5.10 Relações entre PROD (produtividade) e AACPD (área abaixo da curva de progresso da doença) nos três ensaios: época 1 “a”, época 2 “b” e época 3 “c”.

A mesma autora obteve resultados diferentes dos obtidos nessa pesquisa como exposto na figura 3.5.11. Para a regressão entre produção e duração da área foliar sadia (DAFS) a autora obteve significância a 1% de probabilidade e coeficiente de determinação de 37,7% considerados baixos ainda se comparados a trabalhos desenvolvidos por Godoy (1995); Bergamin-Filho et al. (1997) e Canteri (1998) que tiveram como foco a cultura do feijoeiro e tinham como objetivo associar espectroscopia e quantificação de doença. O presente trabalho resultou em regressões que não foram significativas entre as variáveis PROD versus DAFS e PROD versus AAR. Porém para a Época 3 as regressões foram significativas, ressaltando como as intercorrências supracitadas atrapalharam o correto desenvolvimento do trabalho.

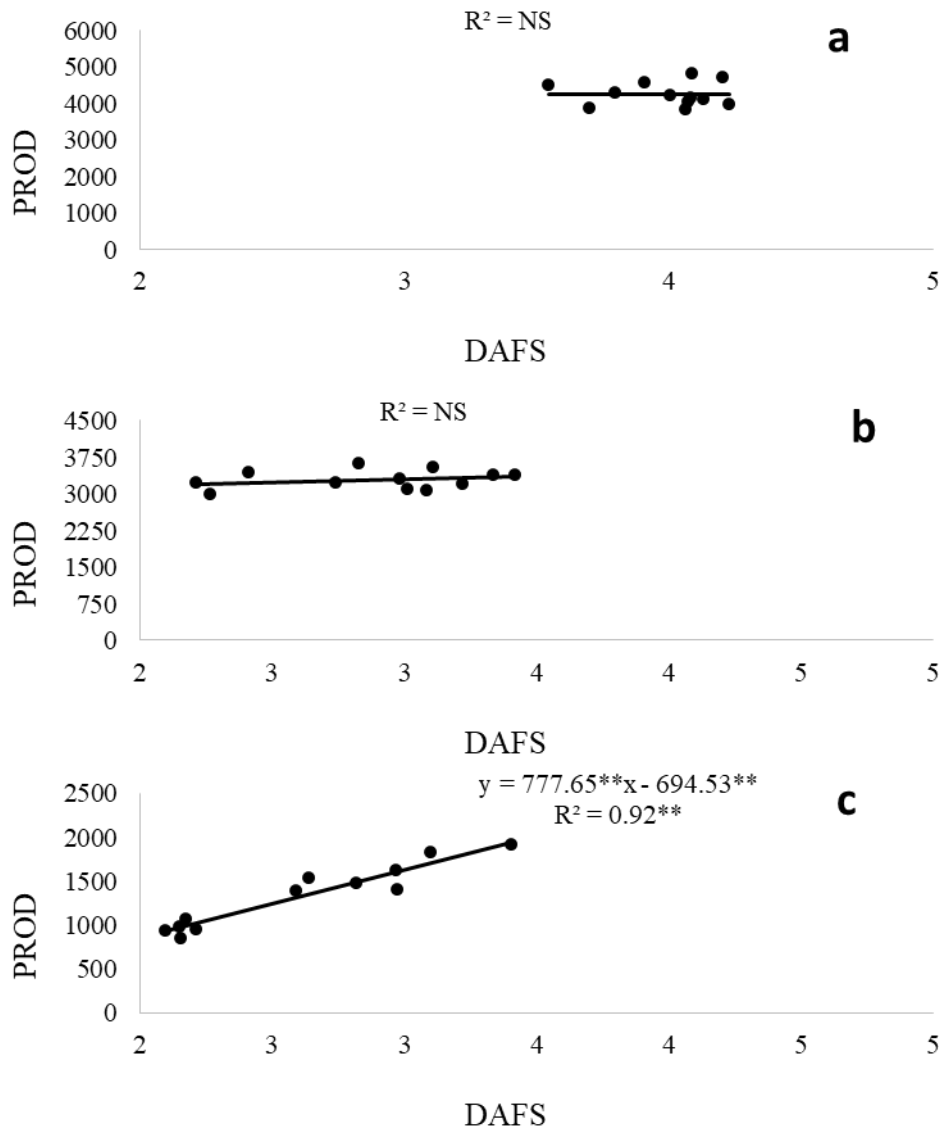


Figura 3.5.11 Relações entre PROD (produtividade) e DAFS (duração da área foliar sadia) nos três ensaios: época 1 "a", época 2 "b" e época 3 "c".

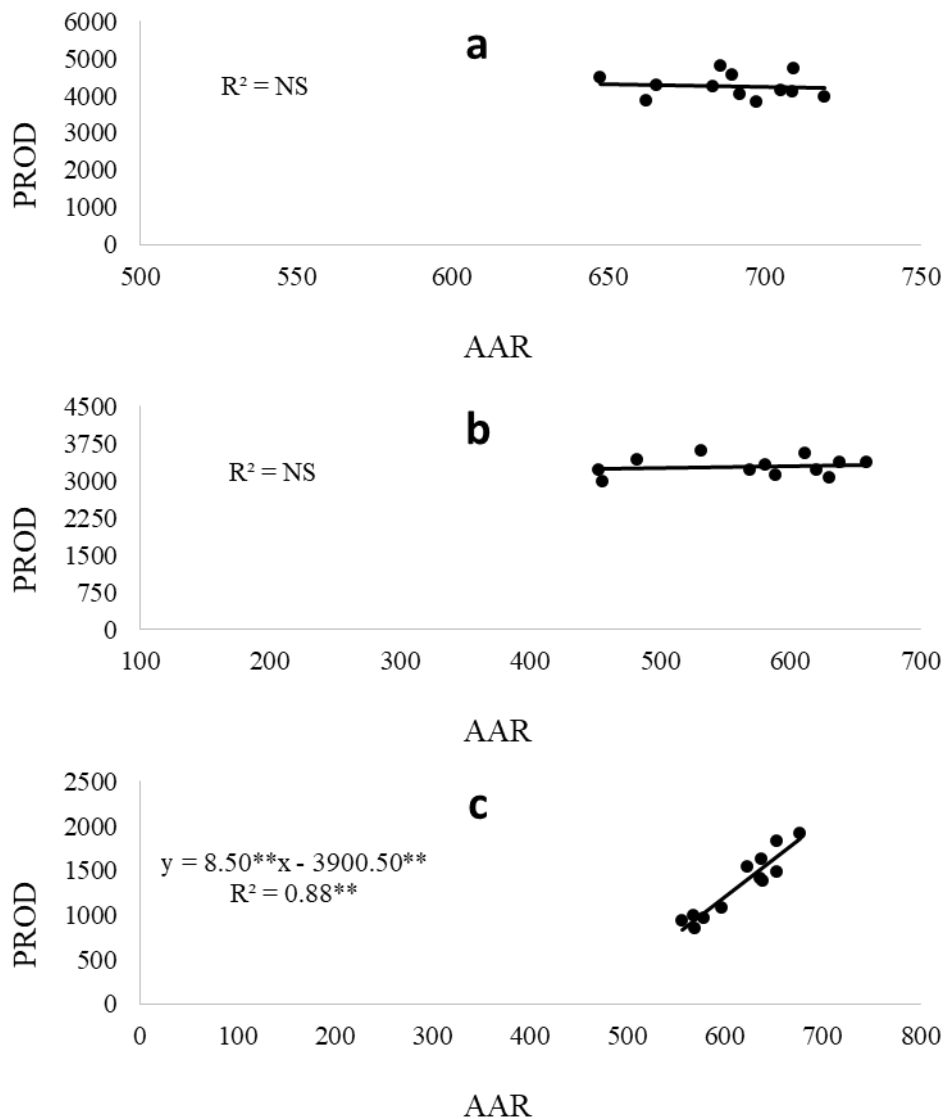


Figura 3.5.12 Relações entre PROD (produtividade) e AAR (área abaixo da curva de refletância) nos três ensaios: época 1 “a”, época 2 “b” e época 3 “c”.

Para as relações entre PROD e AAR, exemplificadas na figura 3.5.12, temos situação de desacordo com os resultados obtidos por Koga et al. (2007) que apresentou resultados de coeficiente de determinação de 54,8%, enquanto as regressões do presente trabalho não foram significantes, exceto pela Época 3 que teve coeficiente de determinação de 0,88%. O resultado encontrado na Época 3 corrobora com os trabalhos desenvolvidos por Canteri, (1999) estudando *Cercosporidium personatum-Sphaceloa arachidis* na cultura do amendoim que apresentou r^2 de 84,5% para a regressão entre produtividade e área abaixo da curva de refletância_{810nanômetros} e corrobora também os resultados de Nicolas, (2004) que

teve r^2 de 92,7% na regressão de produtividade com área abaixo da curva da refletância_{NDVI} estudando *Septoria tritici* no trigo.

O uso de medidas de refletância pelos autores supracitados para quantificar os danos causados pela ferrugem asiática da soja, mostrou-se uma boa ferramenta para medir a doença indiretamente, por meio da quantificação da área sadia do tecido da planta que é um índice de maior correlação com produtividade do que o índice AACPD, permitindo maior assertividade na quantificação e aumentando a margem de acerto para a tomada de decisão sobre aplicação de fungicidas.

Limiar de dano econômico

O limiar de dano econômico, LDE, foi calculado levando-se em consideração um custo médio de controle da doença de $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, uma conversão do custo monetário para um “custo em kilos de soja”, o valor foi obtido pelo custo de aplicação de R\$ 414,00 sendo R\$ 374,00 referentes ao custo médio do fungicida (Cepea; CNA 2017. Média de duas regiões do Paraná), R\$ 20,00 referentes a um custo médio de combustível e R\$ 20,00 um custo operacional médio da aplicação (BOLLER, 2010). Levou-se em consideração também o custo da saca de 60 kg da soja, R\$ 65,00. Dessa forma para convertermos R\$414,00 de custo monetário por hectare em seu equivalente em quilograma de soja teríamos: (custo monetário da aplicação / custo da saca) * peso da saca. Sendo a equação para o cálculo de $\text{LDE}=382 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}/\text{CD}$.

A equação da função de dano da Época 3 ($y = 8,50x - 3900,5$) mostra que para cada unidade de AAR são acrescentados $8,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de produtividade, esse foi o coeficiente de dano considerado para o cálculo do limiar de dano econômico. Sendo assim, o LDE baseado na integral AAR é de 45 unidades de AAR, ou seja, o momento para que o produtor realize as aplicações de defensivos contra a ferrugem antes de ter dano de produtividade maior do que o custo de aplicação é quando a lavoura apresente diferença de 45 unidades do índice AAR em relação à parcela controle.

Tabela 3.5.2 Diferença entre valores de AAR (área abaixo da curva de refletância) e aplicação do valor de limiar de dano econômico (LDE), entre parcela controle e demais tratamentos.

Épocas	1	2	3
Tratamentos	AAR		
1	62	203	121
2	04	70	54
3	23	127	41
4*	-	-	-
5	-10	39	24
6	-01	21	39
7	12	29	23
8	17	48	38
9	26	78	80
10	19	90	108
11	44	177	109
12	47	206	98

(*) Tratamento projetado para atuar como “parcela controle”, ou seja, com a menor quantidade dentre os tratamentos.

Com base na tabela 3.5.2 compara-se os tratamentos subtraindo-se as unidades de AAR definidas pelo cálculo do LDE dos valores da parcela controle. Dessa forma chega-se a conclusão de que para Época 1 o tratamento 11 seria considerado o ideal para o início do manejo químico da ferrugem asiática da soja, pois tem diferença de 44 unidades de AAR entre os tratamentos em questão, sendo essa diferença dentre as apresentadas a que mais se aproxima da valor calculado pelo limiar de dano. O tratamento iniciou-se aos 87 dias após a semeadura, com a soja em R 5.2, no dia 26/01/2018 e teve 3 aplicações de fungicidas ao longo do ciclo.

A Época 2 também utilizou o mesmo coeficiente de dano, $CD = 8,5 \text{ kg.ha}^{-1}$, obtido na regressão entre produtividade e AAR da Época 3. Por consequência manteve-se o LDE de 45 unidades de AAR. No caso da Época 2 do ensaio, o valor que mais se aproximou do limiar de dano calculado foi o valor resultante da subtração entre a parcela controle, tratamento 4, e o tratamento 8, sendo considerado o adequado para simular o início do manejo químico da ferrugem asiática da soja. O tratamento 8 teve início aos 66 dias após a semeadura, com a soja em R4 no dia 16/01/2017 e totalizou 4 aplicações de fungicida ao longo do ciclo.

A Época 3 que obteve o valor de coeficiente de dano CD, já utilizado nas duas épocas acima, de $8,5 \text{ kg.ha}^{-1}$, manteve também os valores de LDE já citados anteriormente, de 45 unidades de AAR. Dessa forma, a subtração entre

tratamento referência de controle e o valor de LDE demonstrou que o tratamento 6 é o que melhor simulou a primeira aplicação do programa de manejo químico da ferrugem asiática da soja. O tratamento 6 teve início aos 52 dias após a semeadura, com a soja em R2 na data de 27/02/2017 e teve no total 5 aplicações de fungicidas ao longo do ciclo da cultura.

Porém o cálculo do LDE baseado na integral AAR implica que o produtor só conseguirá obter os resultados após o término da safra, pois esse índice leva em consideração as leituras de refletância ao longo do tempo. A utilização dessa tecnologia como ferramenta para o monitoramento e tomada de decisão traz a necessidade de uma abordagem em tempo real, onde a informação sobre o progresso da doença, mesmo que de forma indireta, possa ser adquirida dia após dia.

A abordagem proposta leva em consideração leituras semanais com espectro radiômetro e através de teste comparativo constata-se, ou não, a diferença estatística entre as leituras de uma “parcela controle”, que seria o parâmetro de sanidade dentro de uma lavoura (para essa condição uma aplicação mais intensiva de defensivos se faz necessária), e a “testemunha”, que traduz a condição normal de desenvolvimento da lavoura. Apresentando diferença estatística têm-se então um indício de que as condições de sanidade da lavoura já não são as mesmas da “parcela controle”, momento de tomar a decisão.

Espectro radiômetro como ferramenta para tomada de decisão

A necessidade de tomada de decisão durante a safra de forma rápida e eficaz torna o método de limiar de dano econômico difícil de ser utilizado já que a função de dano, condição fundamental para o cálculo, só é obtida no final do ciclo da cultura após se obter os dados de produtividade. As leituras com espectro radiômetro juntamente com análise estatística dos valores de refletância pode ser uma metodologia para que a tomada de decisão seja embasada em tempo real, já que os dados são obtidos leitura após leitura, dia após dia.

Para definir o momento em que os índices de refletância amostrados semanalmente começam a diferir estatisticamente entre si foi elaborada a tabela 3.5.3, onde temos o p-valor do teste “t” entre o tratamento 4 (parcela controle) e tratamento 1 (testemunha). Na Época 1 a avaliação realizada no dia 06/02/2017

apresenta p-valor significativo, enquanto que a avaliação anterior do dia 27/02/2017 não apresenta p-valor significativo, logo o momento que espectro radiômetro começou a detectar diferenças na sanidade do dossel dos tratamentos em questão está entre essas duas datas.

Traçando-se um comparativo entre o momento em que o sensor começou a detectar diferenças e o momento de início da aplicação dos demais tratamentos que compõem o ensaio, tabela 3.5.4, pode-se assumir que: nessas condições de condução do ensaio, mesmo que a decisão tomada fosse por iniciar a aplicação de defensivos no 02/02/2017 como no tratamento 12, não haveria diferença estatística entre a lavoura e a parcela controle para o quesito índice de refletância.

Comparando-se também a diferença de valores de refletância entre o tratamento 1 e 4 para a Época 1 na primeira avaliação que demonstrou diferença estatística tem-se 25,7 unidades de refletância de acordo com tabela 3.5.3. Esse valor é menor do que o valor que foi calculado no presente trabalho usando-se o cálculo de limiar de dano econômico que foi estipulado em 45 unidades de refletância. Ressalta-se a diferença nas condições necessárias para a obtenção dos valores em questão: para ao cálculo de limiar de dano é necessário que se tenha uma função de dano, que geralmente só é obtida no final da safra, dessa forma tornando inviável sua utilização prática. De forma contrária o teste “t” comparando leituras diárias de refletância juntamente à utilização de parcela controle, permite sua utilização em “tempo real”.

Com relação ao momento de aplicação que cada método apontou como sendo mais adequado, a metodologia de limiar de dano apontou que o tratamento 11 teve condições representativas do momento ideal da primeira aplicação, conforme tabela 3.5.2 o tratamento em questão teve suas aplicações iniciadas em 26/01/2017 em estádio R 5,2 da cultura. O método de comparações em tempo real apontou que o tratamento que melhor representa o ideal momento do início dos tratamentos para ferrugem asiática da soja foi o tratamento 12 que teve início no dia 02/02/2017 no estádio R 5.3 da cultura.

Tendo em vista somente esses dois tratamentos designados como momentos adequados para o início das aplicações, tratamento 11 e 12, uma comparação sobre as variáveis estudadas indica que os tratamentos são estatisticamente diferentes para quantidade de doença, medida pelo índice área

abaixo da curva de progresso da doença, na tabela 3.5.6 o tratamento 11 apresentou média de 14,64 unidades de AACPD, enquanto o tratamento 12 apresentou 19,08 unidades de AACPD. Com relação ao componente de produção peso de mil grãos temos o tratamento 11, com 138,8 gramas de média, diferente estatisticamente do tratamento 12, com 135,6 gramas de média conforme tabela 3.5.7.

Tabela 3.5.3 p-valor e diferença para comparativo entre os tratamentos controle (T 4) e testemunha (T 1) para índices de refletância coletados em diversas datas para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017.

Épocas	1		2		3	
	DMIR ¹	p-valor ²	DMIR	p-valor	DMIR	p-valor
Datas das Leituras						
13/01	-0,7	0,82	-	-	-	-
21/01	18,7	8,7.10 ⁻²⁰	-	-	-	-
27/01	2,5	0,87	-	-	-	-
06/02	25,7	9,7.10 ⁻¹⁴	-0,5	0,95	-	-
14/02	114,0	9,1.10 ⁻⁷⁴	-1,0	0,19	-	-
21/02	194,0	5,7.10 ⁻⁸³	12,0	7,1.10 ⁻¹⁹	6,5	0,52
28/02	-	-	34,2	8,7.10 ⁻³⁴	46,2	8,0.10 ⁻⁰⁶
13/03	-	-	312,7	3,8.10 ⁻¹⁰⁷	27,5	2,0.10 ⁻⁰⁶
21/03	-	-	426,0	4,8.10 ⁻¹²⁴	38,7	2,7.10 ⁻⁰⁵
28/03	-	-	405,5	1,1.10 ⁻¹⁴⁶	65,2	2,7.10 ⁻²⁶
04/04	-	-	355,0	3,4.10 ⁻¹⁶²	166,5	4,9.10 ⁻⁶⁹
12/04	-	-	-	-	207,5	7,3.10 ⁻⁶⁹
18/04	-	-	-	-	296,0	9,0.10 ⁻⁹⁵

⁽¹⁾Diferença entre as médias dos índices de refletância, do tratamento 4, “parcela controle” e tratamento 1 “testemunha”.

⁽²⁾Teste “t” bilateral entre populações independentes e com variâncias desiguais.

Para a Época 2 o teste “t” diferencia os valores de refletância obtidos dos tratamentos 1 e 4 a partir do dia 21/02/2017, indicando que entre essa leitura e a leitura anterior, do dia 14/02/2017, que não demonstrou diferença estatística, encontra-se o tratamento que iniciou aplicações na mesma época e que representaria o momento mais adequado para o início da aplicação de fungicidas para ferrugem asiática da soja. Sendo assim o tratamento correspondente seria o T 11 que teve início de aplicação no estágio R 5 da cultura.

Analisando a diferença entre os tratamentos 1 e 4 para o momento mais adequado da primeira aplicação entre as duas metodologias para defini-las temos 12 unidades de refletância obtidas pela metodologia de comparação em tempo real. A metodologia de limiar de dano demonstrou que 48 unidades de

refletância foi a diferença que mais se aproximou do valor calculado de 45 unidades de refletância, logo, o tratamento que representa a época mais adequada da primeira aplicação foi o tratamento 8 que teve início no dia 30/01/2017 no estádio R 4 da cultura.

Baseado no método do limiar de dano econômico as aplicações mais adequadas para controle de ferrugem da soja na Época 2 tiveram início mais cedo do que no método de comparação em tempo real. Em relação à diferença desses dois tratamentos na quantidade de doença que esse atraso resultou tem-se 31,17 unidades de AACPD para o tratamento 8, que diferiu estatisticamente pelo teste de scott-knott a 5% do tratamento 11 que apresentou 48,41 unidades de AACPD, mostrando que o tratamento definido pelo método de comparação em tempo real terminou o ensaio com maior quantidade de doença. Para parâmetros de produtividade, a variável peso de mil grãos teve valores de 162,9 gramas de média para o tratamento 8 e diferiu estatisticamente do tratamento 11 com média de 150,5 gramas. Os resultados obtidos demonstram que a método de limiar de dano evitaria maior quantidade de doença no fim do ciclo da mesma forma que evitaria redução no peso de mil grãos se comparado com o método de comparação em tempo real.

A Época 3 teve valores estatisticamente diferentes de refletância a partir do dia 28/02/2017. Para essa data, momento em que a cultura estava em estádio R 2, temos o tratamento 6 iniciando suas aplicações, sendo definido pelo método como momento mais adequado para o início das aplicações.

Tabela 3.5.4 Datas de início dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017.

Tratamentos	Época 1	Época 2	Época 3
T1	-	-	-
T2	R1;R3;R5;R5,2;R5,4;R7	18/12/2016	12/01/2017
T3	R1;R3;R5;R5,2;R5,4;R7	18/12/2016	12/01/2017
T4	V8;R3;R5;R5,2;R5,4;R6	15/12/2016	09/01/2017
T5	R1;R3;R5;R5,2;R5,4;R7	18/12/2016	12/01/2017
T6	R2;R4;R5,1;R5,3;R5,5	22/12/2016	16/01/2017
T7	R3;R5;R5,2;R5,4;R6	29/12/2016	23/01/2017
T8	R4;R5,1;R5,3;R5,5	05/01/2017	30/01/2017
T9	R5;R5,2;R5,4;R6	12/01/2017	06/02/2017
T10	R5,1;R5,3;R5,5	19/01/2017	13/02/2017
T11	R5,2;R5,4;R6	26/01/2017	20/02/2017
T12	R5,3;R5,5	02/02/2017	27/02/2017

Foi observada uma diferença de 46,2 unidades de refletância entre o tratamento 1 e 4 no momento da primeira significância estatística na comparação em tempo real. O método de limiar de dano acusou 45 unidades de refletância, assim, o tratamento que mais se aproxima desse valor na época 3 é o 8 com 38 unidades de diferença para o tratamento 4. O método do limiar de dano definiu como momento mais adequado para iniciar as aplicações de defensivo o dia 13/03, que coincidiu com o estádio R4 da cultura.

Usando os dois tratamentos apontados pelas metodologias em questão, tratamento 6 e 8, para comparativos de quantidade de doença temos o tratamento 6 com 37,84 unidades de AACPD diferindo estatisticamente do tratamento 8 com 46,23 unidades de AACPD. Para comparações sobre produtividade conforme tabela 3.5.8 o tratamento 6 teve 1297 k.ha⁻¹ de média, estatisticamente semelhante ao tratamento 8 que obteve 1091 kg.ha⁻¹ de média. Nessas condições de condução do ensaio presentes na época 3 é possível afirmar que a metodologia de comparação em tempo real com espectro radiômetro não trouxe prejuízos de produtividade em relação ao método do limiar de dano econômico para a definição da primeira aplicação de fungicidas para o manejo da ferrugem asiática da soja.

Analisando a Época 3, a primeira avaliação que demonstrou diferença significativa entre os valores de refletância dos tratamentos 4 e 1 foi a do dia 28/02/2017, indicando que os tratamentos que tiveram o início do manejo próximos a esse dia representam a época mais adequada, nas condições de

condução do ensaio, para o início das aplicações de defensivos para a ferrugem asiática da soja. Sendo assim, o tratamento 6 que teve início aos 52 dias após a semeadura em estágio R 2 da cultura representa o momento para tomada de decisão para o manejo químico.

O diferente momento para tomada de decisão entre as épocas de semeadura realizadas neste experimento pode ser creditado à arquitetura da planta, juntamente às condições em que a epidemia segue seu curso. O dossel da soja é composto por várias camadas de folhas prostradas, sendo assim as folhas de cima do dossel podem interferir na capacidade do sensor em atingir as folhas de camadas mais inferiores. A epidemia de ferrugem asiática da soja tem seu início nos terços mais inferiores do dossel devido as condições de microclima, logo, condições em que a epidemia se alastrou por regiões mais baixas do dossel ao invés de atingir as regiões superiores podem interferir nos resultados que o espectro radiômetro obtêm.

No caso dos resultados obtidos tivemos momentos de tomada de decisão mais atrasados para as Épocas 1 e 2 que tiveram um “fechamento” de dossel comum, onde as folhas ficam bastante sobrepostas. E no caso da Época 3, por ter tido semeadura realizada de forma tardia, o fechamento não foi completo, logo, a radiação emitida pelo radiômetro foi capaz de penetrar o dossel, atingir camadas inferiores e acusar variações de tecido fotossinteticamente ativo de forma mais adiantada.

Uma sugestão para sanar essa dúvida seria um comparativo entre a data que o terço inferior do dossel começa a ter alterações significativas estatisticamente nas médias de severidade e a data que as leituras de refletância começam a acusar essa diferença estatística. Da mesma forma o comparativo pode ser feito entre a severidade do terço superior e as leituras de refletância, de modo a deixar ainda mais claro se são somente variações no terço superior os responsáveis pela mudança de leitura entre um dossel sadio e um dossel doente.

Espectro radiômetro como ferramenta para separação de tratamentos

Além de dados de produtividade, quantidade de doença e outros dados fitométricos, a utilização do sensoriamento remoto pode ser uma ferramenta de auxílio para pesquisadores no ato de diferenciar tratamentos. Buscou-se constatar o potencial que a ferramenta espectro radiômetro pode ter quando

utilizada para predição dos componentes de produtividade que estão sendo desenvolvidos no cultivo. Para tal, foi exposto a análise de variância dos tratamentos para as seguintes variáveis: AACPD, área abaixo da curva de progresso da doença, PMG, peso de mil grãos, produtividade. Estas variáveis foram comparadas com a análise de variância do parâmetro NDVI, índice de refletância utilizado no trabalho, em leitura realizada no estágio vegetativo R 6 da cultura, para uma associação entre o número de grupos formados pela divisão das médias no teste estatístico.

Tabela 3.5.5 Análise de variância das avaliações com radiômetro em R6, dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017.

Tratamentos	Época 1 NDVI ¹		Época 2 NDVI ²		Época 3 NDVI ³	
T1	567,3	b	370,8	c	424,5	c
T2	684,3	a	592,5	a	526,5	b
T3	672,3	a	503,8	b	562,3	b
T4	681,3	a	683,5	a	632,0	a
T5	705,8	a	607,8	a	599,0	a
T6	671,8	a	660,8	a	580,0	a
T7	666,0	a	621,3	a	587,0	a
T8	682,3	a	617,8	a	543,0	b
T9	652,8	a	560,5	b	475,8	c
T10	658,0	a	535,5	b	431,3	c
T11	591,0	b	394,3	c	460,3	c
T12	599,0	b	352,0	c	444,0	c
C.V.	5,16%		11,43%		7,89%	

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

¹ Leitura de refletância foi realizada no dia 14/02/2017

² Leitura de refletância foi realizada no dia 13/03/2017

³ Leitura de refletância foi realizada no dia 12/04/2017

A análise de variância para o parâmetro NDVI (refletância) conforme tabela 3.5.5 mostra que para a Época 1 temos a divisão dos tratamentos em dois grupos. Para a Época 2 temos a divisão dos tratamentos em três grupos. Para a Época 3 temos a divisão dos tratamentos em três grupos.

É possível observar, que para a Época 1 conforme tabela 3.5.6 os valores de AACPD foram divididos em três grupos, um grupo a mais do que que a

quantidade de grupos formados na análise estatística do parâmetro NDVI. Para a Época 2 temos a formação de quatro grupos, um grupo a mais do que a divisão estabelecida pela análise estatística. Para a Época 3 o número de grupos foi de cinco. Dessa forma, as leituras de refletância realizadas no dossel da cultura em R 6 não foram suficientes para separar os tratamentos no quesito quantidade de doença, representado pelo índice AACPD que é medido após o ciclo da cultura.

Tabela 3.5.6 Análise de variância para área abaixo da curva de progresso da doença, AACPD, dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017.

Tratamentos	Época 1 AACPD		Época 2 AACPD		Época 3 AACPD	
T1	18,96	a	56,60	a	60,09	a
T2	7,93	c	35,17	d	49,10	b
T3	8,27	c	38,97	c	36,33	d
T4	6,42	c	23,98	e	30,40	e
T5	5,87	c	30,34	d	33,53	e
T6	5,46	c	23,46	e	37,84	d
T7	6,78	c	31,99	d	39,46	d
T8	6,82	c	31,17	d	46,23	c
T9	10,06	c	34,21	d	57,65	a
T10	12,76	b	39,60	c	58,35	a
T11	14,64	b	48,41	b	58,24	a
T12	19,08	a	55,18	a	58,94	a
C.V.	20,63%		7,44%		7,75%	

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Para a variável peso de mil grãos conforme tabela 3.5.7 a Época 1 teve seus tratamentos separados em dois grupos, assim como a divisão dos tratamentos para a variável NDVI. A Época 2 teve seus tratamentos separados em três grupos, também como na divisão estabelecida para NDVI. Nesse quesito é possível a utilização do sensoriamento remoto por espectro radiômetro para a predição da separação dos tratamentos segundo o componente de produtividade peso de mil grãos PMG.

Tabela 3.5.7 Análise de variância para peso de mil grãos, PMG, dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017.

Tratamentos	Época 1 PMG		Época 2 PMG		Época 3 PMG	
T1	132,7	b	149,1	c	129,3	a
T2	143,4	a	160,4	a	133,4	a
T3	148,9	a	155,9	b	144,3	a
T4	147,3	a	168,0	a	128,8	a
T5	145,1	a	167,7	a	135,6	a
T6	144,4	a	164,1	a	136,5	a
T7	148,5	a	157,7	b	139,5	a
T8	151,4	a	162,9	a	134,4	a
T9	145,7	a	155,4	b	134,1	a
T10	145,8	a	155,3	b	128,7	a
T11	138,8	b	150,5	c	132,9	a
T12	135,6	b	150,3	c	144,8	a
C.V.	4,35%		3,15%		11,29%	

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Para a variável produtividade de acordo com a tabela 3.5.8, fora analisado somente a Época 3, a única época com diferença significativa entre os tratamentos. Nesse caso os tratamentos foram separados em dois grupos, um grupo a menos do que a separação dos tratamentos de NDVI definiu para esta época. A técnica de sensoriamento remoto por espectro radiômetro pode ser usada para predição de produtividade e separação dos tratamentos.

Tabela 3.5.8 Análise de variância da produtividade dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017.

Tratamentos	Época 1		Época 2		Época 3	
	Produtividade		Produtividade		Produtividade	
T1	3366,8	a	2631,3	a	744,5	b
T2	3327,8	a	2681,7	a	1197,3	a
T3	3661,3	a	3174,1	a	1144,8	a
T4	3500,0	a	2915,7	a	1502,8	a
T5	3361,3	a	2761,1	a	1461,0	a
T6	3752,8	a	2862,2	a	1297,0	a
T7	3150,0	a	2655,6	a	1172,3	a
T8	3511,0	a	3059,6	a	1091,8	a
T9	3222,0	a	2849,5	a	858,3	b
T10	3569,5	a	2849,1	a	714,0	b
T11	3149,8	a	2961,8	a	783,3	b
T12	2847,3	a	2827,4	a	772,3	b
C.V.	19,49%		11,33%		27,25%	

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Segundo Nilson (2004), a realização de leituras por sensoriamento remoto pode ser uma ferramenta para complementar as análises tradicionais baseadas em avaliações visuais, alguns benefícios que são enumerados pelo autor: maior velocidade na aquisição de dados, aumento na precisão, o que resulta em menor tempo de trabalho e menor quantidade de esforço.

Dessa forma a utilização de sensoriamento remoto para tomada de decisão sobre a primeira aplicação de fungicida e manejo da ferrugem asiática da soja pode ser viabilizada caso algumas variáveis sejam esclarecidas: a capacidade do sensor em detectar variações o mais cedo possível de forma que a doença não evolua o bastante de forma a causar dano econômico. Tal fator pode estar relacionado com a capacidade do sensor em detectar as reduções de área fotossinteticamente ativa dos terços inferiores do dossel, uma vez que em condições de dossel menos “fechado” como na Época 3 a resposta do sensor foi adequada e comparável estatisticamente ao método de limiar de dano econômico.

Utilização de fungicidas multissítio, sítio-específico e misturas para manejo da ferrugem asiática.

Juntamente ao gradiente planejado no início do trabalho foram adicionados mais dois tratamentos representando manejos químicos exclusivamente realizados com fungicidas multissítio, mancozebe, (T 2) e fungicidas sítio-específico (T 3). O tratamento químico padrão do trabalho envolveu a mistura entre fungicidas sítio-específico e multissítio, esse tratamento padrão será representado pelo T 5.

Conforme tabela 3.5.9, comparando-se área abaixo da curva de progresso da doença nota-se que os tratamentos 2, 3 e 5 diferiram estatisticamente da testemunha, que apresentou valores de AACPD sempre maiores aos dos tratamentos. Fica evidente que não há um padrão de comportamento quando se levam em consideração as três épocas de semeadura, ou seja, em uma época o fungicida multissítio é estatisticamente superior no controle da ferrugem asiática da soja, em outra época os fungicidas sítio-específico são superiores, e em outra época estes são estatisticamente iguais. De forma diferente, a mistura entre multissítio e sítio-específico se mostrou superior em todas as épocas de semeadura.

Tabela 3.5.9 Porcentagem de controle com base na área abaixo da curva de progresso da doença, AACPD, dos tratamentos para ensaio com ferrugem asiática da soja realizado em Londrina, PR na safra 2016-2017.

Tratamentos	Época 1		Época 2		Época 3				
	AACPD	Controle %	AACPD	Controle %	AACPD	Controle %			
T1	18,96	a	0	56,6	a	0	60,09	a	0
T2	7,93	b	58,2	35,17	c	37,9	49,1	b	18,3
T3	8,27	b	56,4	38,97	b	31,1	36,33	c	39,5
T5	5,87	b	69,0	30,34	c	46,4	33,53	d	44,2
C.V.	19,49%		11,33%		27,25%				

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Segundo GODOY et al. (2016) mistura entre sítio-específicos (SDHI e QoI) foi mais eficiente para o controle de ferrugem asiática da soja do que aplicações isoladas de multissítio (mancozeb). Os autores ainda ressaltam que associação entre sítio-específicos e multissítios é estatisticamente superior a aplicações somente de sítio-específicos. Tais resultados corroboram os obtidos na Época 3 do presente estudo, uma vez que para a Época 1 e Época 2 o T5

(associação de multissítio e sítios-específicos) foi estatisticamente igual ao T2 (multissítio). Deve-se ressaltar as diferentes condições das pesquisas: neste ensaio foram realizadas seis aplicações dos tratamentos em questão, T2, T3 e T5 em detrimento às três aplicações realizadas na pesquisa supracitada.

3. CONCLUSÃO

Através do Limiar de dano econômico foi possível definir o tratamento que simula o momento mais adequado para o início do programa de manejo químico da ferrugem da soja. Na Época 3, época onde houve significância estatística para obtenção de coeficiente de dano, o tratamento 6, com data da primeira aplicação de 27/02/2017, realizada em estádio R2 foi considerado o momento adequado para a primeira aplicação de fungicidas para o controle de ferrugem asiática da soja.

O método de comparação em tempo real de leituras de refletância usando espectro radiômetro foi equivalente ao método de limiar de dano econômico na redução das perdas de produtividade, pois permite correta tomada de decisão para a primeira aplicação de defensivos no controle da ferrugem asiática da soja, nas condições experimentais da Época 3.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. M. R., L. P. FERREIRA, J. T. YORINORI, J. F. V. SILVA, A. A. HENNING, C. V. GODOY, L. M. COSTAMILAN, E M. C. MEYER. Doenças de soja. In: KIMATI, H., L. AMORIM, J. A. M. REZENDE, A. BERGAMIN FILHO E L. E. A. CAMARGO (Eds.) **Manual de Fitopatologia: Doenças de plantas cultivadas**. 4 ed. Vol. 2. Piracicaba: Agronômica Ceres. 2005. p. 376-399.
- ALMEIDA, T. C. A.; FOLEGATTI, M. I. S.; FREIRE, M. T. A.; MADEIRA, M. S.; SILVA, F. T.; SILVA, M. Determinação do perfil sensorial e parâmetros de qualidade de figos em calda produzidos pela indústria brasileira. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 2, 1999.
- AMORIM, L., REZENDE, J. A. M., BERGAMIN FILHO, A. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 4.ed. rev. e atual. Sao Paulo: Agronômica Ceres, 2011. 704p.
- ANDRADE, P. J. M., E ANDRADE, D. F. A. **Ferrugem asiática: uma ameaça a sojicultura brasileira**. Dourados, EMBRAPA. (Circular técnica, 11), 2002.
- BAJWA, S. G., BAJCSY, P., GROVES, P., TIAN, L. F. Hyperspectral image data mining for band selection in agricultural applications. **Transactions of the ASAE**. ASAE, 47, 895–907, 2004.
- BARET, F., GUYOT, G., MAJOR, D. TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI of APAR estimation. In: **Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS '90**, Vancouver, Canada. Proceedings, 4 p, 1989.
- BAUER, M. E. **The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops**. West Lafayette, Laboratory for Applications of Remote Sensing, 1975.
- BAUER, M. E. Spectral inputs to crop identification and condition assessment. **Proceedings of the IEEE**, 73, 1071–1085, 1985.
- BERGAMIN FILHO, A.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.; GODOY, C. V.; AMORIM, L.; BERGER, R. D.; HAU, B. Angular leaf spot of phaseolus beans: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. **Phytopathology**, Saint Paul, v.87, p.506-515, 1997.
- BERGAMIN FILHO, A., AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Ceres, 299p, 1996.
- BERGAMIN FILHO, A., LOPES, D. B., AMORIM, L., GODOY, C.V. Avaliação de danos causados por doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v.3, p.133-177, 1995.
- BERGER, R. D. Measuring disease intensity. In: TENG, P.S., KRUPA, S.V. (Eds.), **Crop Loss Assessment which Constrain Production and Crop Improvement in Agriculture and Forestry**, Saint Paul MN. University of Minnesota, p. 1980. 28e31.

- BOLLER, W. Aspectos econômicos da aplicação de fungicidas em órgãos aéreos. In: Reis, E. M. Org. **Crítérios indicadores do momento para a primeira e intervalo de aplicações de fungicidas nas culturas de soja e trigo**. Passo Fundo, Aldeia Norte Editora. 2010.
- BONZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995.
- BRANTLEY, S. T., ZINNERT, J. C., YOUNG, D. R. Application of hyperspectral vegetation indices to detect variations in high leaf area index temperate shrub thicket canopies. **Remote Sensing. Environment**. 115, 514–523, 2011.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. AGROFIT. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 25 nov, 2015.
- BROMFIELD, K. R. **Soybean rust**. St. Paul: American Phytopathological Society, 1984. 65p. (Monography, 11).
- BRYSON, R. J, CLARK, W. S, MADEIRA, A. C., PAVELEY, N.D., SYLVESTER-BRADLEY, R. Explaining the variation in yield response to disease control through estimates of radiation interception by crop canopies—an opportunity for remote sensing. International Congress of Plant Pathology. (ICPP98), Edinburgh, 9–16
Abstract. 2.8.6S, 1998.
- CALDERÓN, R., NAVAS-CORTÉS, J. A., LUCENA, C., ZARCO-TEJADA, P. J. High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of *Verticillium* wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. **Remote Sensing. Environmet**. 139, 231–245, 2013.
- CAMPBELL, C. L., NEHER, D. A. Estimating disease severity and incidence. **Epidemiology and Management of Root Diseases** (C. L. CAMPBELL AND D. M. BENSON, editors). Springer, Berlin, 1994. pp. 117-147.
- CANTERI, M. G., DALLA PRIA, M., AMORIM, L., BERGAMIN FILHO, A. **Uso de radiômetro de múltiplo espectro na avaliação de fungicidas para controle de ferrugem do feijoeiro**. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia. 29, p.350. Campo Grande. Resumos. Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 1996.
- CANTERI, M. G. Uso de medidas da área foliar sadia e refletância no manejo da mancha angular do feijoeiro. 1998. 81 p. **Tese**. (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, SP.
- 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 do amendoim. **Summa Phytopathologica**, v.25, n.3. p.228-233, 1999.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V., ALMEIDA, L. A. AND R.A.S.KIIHL, R. A. S. Inheritance of a long juvenile period under short-day conditions in soybean. **Genetics and Molecular Biology**, v.25, p.463–469, 2002.

CARTER, T. E. JR., NELSON, R., SNELLER, C.H., AND CUI, Z. Genetic diversity in soybean. In: BOERMA, H. R. AND SPECHT, J. E. (eds.) **Soybeans: Improvement, Production and Uses**, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 303–416, 2004.

CONAB, Companhia Nacional De Abastecimento. Séries históricas. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252>>. Acesso em: 3 nov. 2015

CONAB, Companhia Nacional De Abastecimento. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_06_08_09_02_48_boletim_graos_junho_2017.pdf Acesso: 20 de junho de 2017.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. **Ferrugem da soja**. Disponível em: <www.consorcioantiferrugem.net>. Acesso em: 21 nov. 2015.

COSTAMILAN, L. M., BERTAGNOLLI, P. F., YORINORI, J. T. **Perda de rendimento de grãos de soja causada por ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*)**. Fitopatologia Brasileira 27 (Suplemento): S100 (Resumo), 2002.

DALL'AGNOL, A., ROESSING, A. C., LAZZAROTTO, J. J., HIRAKURI, M. H., OLIVEIRA, A. B. **O complexo agroindustrial da soja brasileira**. Londrina: Embrapa Soja. 12 p, 2007.

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

DEUNER, C., F. NICOLINI, E R. C. CARLINI. 2009. Histórico de evolução dos critérios de aplicação de fungicidas usados na cultura da soja, no Brasil. Em: Reis, E. M. (Org.). Critérios Indicadores do Momento para Aplicação de Fungicidas visando ao Controle de Doenças em Soja e Trigo. Passo Fundo, Aldeia Norte. p. 27-30.

DEVADAS, R., LAMB, D., SIMPFENDORFER, S., BACKHOUSE, D., Evaluating tem spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves. **Precision Agric**, v.10, p.459–470, 2009.

DÍAZ, H., BUSTO, I., VELÁZQUES, O., FERNÁNDEZ, M., GONZÁLEZ, J., ORTEGA, J. **El cultivo de la soja para granos y forrajes**. Costa Rica, CIDA. (Boletín Técnico), 1992.

DUDKA, M., LANGTON, S. J., SCHULER, R. T., KURLE, J., GRAU, C.R. Use of digital imagery to evaluate disease incidence and yield loss caused by Sclerotinia stem rot of soybeans. In **Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture**, ROBERT, P. C., RUST, R. H., LARSON, W. E., Eds., American Society of Agronomy, Madison, 1549, 1998.

EMBRAPA SOJA, 2006. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tecnologias de produção de soja da região central do Brasil 2006**, Londrina, 2006.

FORMAGGIO, A. R. Características agronômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e de feijão. Piracicaba, 1989. 161 p. **Tese** (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

FOX, R. T. V. Plant disease diagnosis. **The Epidemiology of Plant Diseases** (D. G. JONES, editor). Kluwer Publication. Dordrecht, 1998, Pp. 14-41

GARCIA-RUIZ, F., SANKARAN, S., MAJA, J. M., LEE, W. S., RASMUSSEN, J., EHSANI, R. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.91, 2013.

GLEN, W. G.; DUNN III, W. J; SCOTT, D. R. Principal components analysis and partial least squares regression. **Tetrahedron Computer Methodology**, v. 2, n.6, p. 349-376,1989.

GODOY, C. V. Danos causados pela mancha angular em feijoeiro, no município de Piracicaba. 1995. **Dissertação**. (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GODOY, C. V., SEIXAS, C. D. S., SOARES, R. M., MARCELINO-GUIMARÃES, F. C., MEYER, M. C., & COSTAMILAN, L. M. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.5, p.407-421, 2016.

GODOY, C.V.; UTIAMADA, C.M.; MEYER, M.C.; CAMPOS, H.D.; FORCELINI, C.A.; PIMENTA, C.B.; CASSETARI NETO, D.; JACCOUD FILHO, D.S.; BORGES, E.P.; ANDRADE JUNIOR, E.R. de; SIQUERI, F.V.; JULIATTI, F.C.; FEKSA, H.R.; GRIGOLLI, J.F.J.; NUNES JUNIOR, J.; CARNEIRO, L.C.; SILVA, L.H.C.P. da; SATO, L.N.; CANTERI, M.G.; MADALOSSO, M.; GOUSSAIN, M.; MARTINS, M.C.; BALARDIN, R.S.; FURLAN, S.H.; MONTECELLI, T.D.N.; CARLIN, V.J.; VENANCIO, W.S. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2015/16: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Embrapa Soja: Londrina, 2016. 6p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 119).

GOMES, J. B. V.; CURTI, N.; MOTTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 137-153, 2004.

GUAN, J., NUTTER JUNIOR, F. W. Factors that affect the quality and quantity of sunlight reflected from alfalfa canopies. **Plant Disease** v.85, p.865-874, 2001

HARTMAN, G. L., SINCLAIR, J. B., RUPE, J. C. **Compendium of Soybean Diseases** (4ta Ed.). APS Press, Minnesota, 1999.

- HARTMAN, G. L., SIKORA, E. J., RUPE, J. C. Rust. In: HARTMAN, G. L., RUPE, J.C., SIKORA, E. J., DOMIER, L. L., DAVIS, J. A., STEFFEY, K. L. (Ed.). **Compendium of soybean diseases and pests**. 5th ed. St. Paul: American Phytopathological Society, 2015. p.56- 58.
- 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**, v.35 (2), p.69-103, 2010.
- HILLNHÜTTER, C., MAHLEIN, A. K., SIKORA, R. A., OERKE, E. C. Remote sensing to detect plant stress induced by *Heterodera schachtii* and *Rhizoctonia solani* in sugar beet fields. **Field Crops Research**, v.122, p.70–77, 2011.
- HOLMAN, J. P. Transferência de calor. **McGraw-Hill do Brasil**. S. Paulo, SP. 639p, 1983.
- HUETE, A. R., JACKSON, R. D. Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies. **Remote Sensing of Environment**, v.25, p.89-105. 1988
- INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P. Transferência de Calor e de Massa, 5ª Ed., **LTC**, Rio de Janeiro, 698p, 2002.
- IQBAL, Z; ARSHAD, M; ASHRAF, M; MAHMOOD, T; WAHEED, A. Evaluation of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] germplasm for some important morphological traits using multivariate analysis. **Pakistan Journal of Botany**, v.40, n.6, p.2323-2328, 2008.
- JACKSON, R. D. Remote Sensing of vegetation characteristics for farm management. **Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers**. 475, 81–96,1984.
- JACKSON, R. D. Remote sensing of biotic and abiotic plant stress. **Annual Review of Phytopathology**, v.24, p.265-287, 1986.
- KHARE, M. N. E BHALE, M. S. Soybean Rust: Present Scenario and Future Strategies. In: **Glimpses in Botany**. Ed. K G. MUKERJI, B. P. CHAMOLA. APH Publishing, 2000. p. 364-373.
- KIM, K. S., WANG, T. C., YANG, X. B. Simulation of apparent infection rate to predict severity of soybean rust using a fuzzy logic system. **Phytopathology**, v.95 p.1122-1131, 2005.
- KOCHMAN, J. K. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Australian Journal of Agricultural Research**, v.30 p.273-277, 1979.

KOFFLER, N. F. Identificação da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) através de fotografias aéreas infravermelhas coloridas e dados multiespectrais do satélite LANDSAT. Piracicaba, 1995. 234p. **Tese** (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

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**, v.28 (4), p.571-579, 2007

KOLLENKARK, J. C., VANDERBILT, V. C., BAUER, M. E., HOUSLEY, T. L. Effect of cultural practices on agronomic and reflectance characteristics of soybean canopy. **Agronomy Journal**, v.74, p.751-758. 1982

KONG, F., LIU, B., XIA, Z., SATO, S., KIM, B.M., WATANABE, S., YAMADA, T., TABATA, S., KANAZAWA, A., HARADA, K., ABE, J. Two coordinately regulated homolog of FLOWERING LOCUS T are involved in the control of photoperiodic flowering in soybean. **Plant Physiology**, v.154 p.1220–1231, 2010.

KRANZ, J. Measuring plant disease. **Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology** (J. KRANZ & J. ROTEM, editors). Springer, Berlin, 1988, pp. 35-50.

LI, X., ESKER, P. D., PAN, Z., DIAS, A. P., XUE, L., YANG, X. B. The uniqueness of the soybean rust pathosystem: an improved understanding of the risk in different regions of the world. **Plant Disease**, v.94, p.796- 806, 2010.

LIM, L. G., GAUNT, R. E. Leaf area as fator in disease assessment. **Journal of Agricultural Science**. Cambridge, v.97, p.481-483, 1981.

LIMA, J. R.; SILVA, M. A. A. P. da; GONÇALVES, L. A. G. Caracterização sensorial de amêndoas de castanha de caju fritas e salgadas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 1, p. 123-126, 1999.

LIPS, J.M. & DUIVENVOORDEN, J.F. Regional patterns of well drained upland soil differentiation in the middle Caquetá basin of Colombian Amazonia. **Geoderma**, v.72, p.219-257, 1996

LOPES, D. B., BERGER, R. D., BERGAMIN FILHO, A. A absorção da área foliar sadia (HAA) uma nova abordagem para a quantificação de dano e para o manejo integrado de doença. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v.20, n,3-4, p.143-151, 1994.

LOPES, I. V. Uma liderança ameaçada. **Revista Conjuntura Econômica**, Rio de Janeiro, v 12, n. 58 p. 40- 41.

LU, J., EHSANI, R., SHI, Y., ABDULRIDHA, J., CASTRO, A. I., XU, Y. Field detection of anthracnose crown rot in strawberry using spectroscopy technology. **Computers and Electronics in Agriculture**, V. 135, p. 289-299, 2017.

MADDEN L. V, HUGHES G., VAN DEN BOSCH F. The study of plant disease epidemics. **American Phytopathological Society**, St Paul, 2007.

MAHLEIN, A. -K., STEINER, U., DEHNE, H. -W., OERKE, E. -C. Spectral signatures of sugar beet leaves for the detection and differentiation of diseases. **Precision Agric**, v.11, p.413–431, 2010.

MAHLEIN, A. K., RUMPF, T., WELKE, P., DEHNE, H. W., PLÜMER, L., STEINER, U., OERKE, E. C. Development of spectral indices for detecting and identifying plant diseases. **Remote Sensing. Environment**, v.128, p.21–30, 2013.

MANLAY, R. J.; CADET, P.; THIOULOUSE, J. & CHOTTE, J. Relationships between abiotic and biotic soil properties during fallow periods in the sudanian zone of Senegal. **Applied Soil Ecology**, v.14, p.89-101, 2000.

MARTINELLI, F., SCALENGHE, R., DAVINO, S., PANNO, S., SCUDERI, G., RUISI, P., VILLA, P., STROPPIANA, D., BOSCHETTI, M., GOULART, L. R., DAVIS C. E., DANDEKAR, A. M. Advanced methods of plant disease detection. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, p.35, 1–25, 2015.

MARTINS, M. C., GUERZONI, R. A., CÂMARA, G. M. 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**, v.29, p.179-184, 2004.

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

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v.21, p.467-469, 1998.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. In: **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, London, v.281, n.3, p.277-294, 1977.

MORAN, M. S., INOUE, Y., BARNES, E. M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. **Remote Sensing of Environment**, v.61, p.319–346, 1997.

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

MOTTA, P. E. F.; CURI, N.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. & GOMES, J. B. V. Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1023-1031, 2002.

MUIRHEAD, R. J. **Aspects of Multivariate Statistical Theory**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1982.,673 p.

NICOLAS, H. Using remote sensing to determine the date of a fungicide application on winter wheat. **Crop Protection** v.23, p.853-863, 2004.

NILSSON, H. E. Hand-held radiometry ad IR thermography of plant diseases in field plot experiments. *Int. J. Remote Sensing*, v.12, p.545-547, 1991.

NILSSON, H. -E. Remonte sensing and image analysis in plant pathology. **Annual Review of Phytopathology**, v.33, p.489-527, 1995.

NUTTER, F. W. JR., Detection and measurement of plant disease gradients in peanut with a multispectral radiometer. **Phytopathology**. St. Paul, v.79, n.9, p.958-963, 1989.

NUTTER, F. W., GLEASON, M. L., JENCO, J. H., CHRISTIANS, N. C. Assessing the accuracy, intra-rater repeatability, and interrater reliability of disease assessment systems. **Phytopathology**, v.83, p.806–1, 1993.

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

OLIVEIRA, E.J. de. **Análise multivariada no estudo da divergência genética entre cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1989. 91p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PAN, Z., YANG, X. B., PIVONIA, S., XUE, L., PASKEN, R., ROADS, J. Long-term prediction of soybean rust entry into the continental United States. **Plant Disease**, v.90, p.840-846, 2006.

PANDA, S. S., AMES, D. P., PANIGRAHI, S. Application of vegetation indices for agricultural crop yield prediction using neural network techniques. **Remote Sensing**, v.2, p.673, 2010.

PATIL, V. S., WUIKE, R. V., CHIRAME, B. B., THAKARE, C. S. Viability and survival of uredospores of *Phakopsora pachyrhizi* Syd in plant debris under different storage conditions. **Journal of Soils and Crops**, v.8, p.16- 19, 1998.

PEREIRA, A. V. **Utilização de análise multivariada na caracterização de germoplasma de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 1989. 180f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP

PIVONIA, S., YANG, X. B. Assessment of the potential year - round establishment of soybean rust throughout the world. **Plant Disease**, v.88, p.523- 529, 2004.

- RAIKES, C., BURPEE, L. L. Use of multispectral radiometry for assessment of *Rhizoctonia* blight in creeping bentgrass. **Phytopathology**, v.88, p.446-449, 1998.
- REIS, E. M., R. T. CASA, E C. MICHEL. Ocorrência de epidemia da ferrugem da soja no Rio Grande do Sul na safra 2001/2002. **Fitopatologia Brasileira**. v.27 (Suplemento), p.S198 (Resumo). 2002.
- REIS, E. M., SARTORI, A. F., CAMARA, E. R. K. Modelo climático para a previsão da ferrugem da soja. **Summa Phytopathologica**, v.30, p.290-292. 2004
- REIS, E.M., BRESOLIN, A.C.R. Fatores climáticos e doenças de plantas. In: **Previsão de doenças de plantas**. Ed. ERLEI MELO REIS, Organizador. UPF editora. 2004. p. 23-45.
- REIS, E. M., LEITES. A., FORCELINI, C. A. Relações entre intensidade da ferrugem da folha, refletância e rendimento de grãos no patossistema ferrugem da folha do trigo Embrapa 16. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, p.447-454, 2006.
- REIS, E. M., BRESOLIN, A. C. R., CARMONA, E. M. **Doenças da soja I: Ferrugem asiática**. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2006.
- RYTTER, J. L., DOWLER, W. M., BROMFIELD, K. R. Additional alternative hosts of *Phakopsora pachyrhizi*, causal agent of soybean rust. **Plant Disease**, v.68, p.818- 819, 1984.
- SANKARAN, S., MISHRA, A., EHSANI, R., DAVIS, C. A review of advanced techniques for detecting plant diseases. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.72, p.1, 2010.
- SANTOS JUNIOR, R. F., SANTOS, J. M., RUDORFF, B. F. T., MARCHIORATO, I. A. Detecção de *Heterodera glycines* em plantio de soja mediante espectrorradiometria no visível e infravermelho próximo. **Fitopatologia brasileira**, v.27, n.4, p.355-360, 2002.
- SASAKI, Y., OKAMOTO, T., IMOU, K., TORII, T. Automatic diagnosis of plant disease—spectral reflectance of healthy and diseased leaves. Presented at **Agricultural Engineering Conference**. Oslo, Norway, 1998.
- SCHNEIDER, R. W., HOLIER, C. A., WHITAM, H. K; PALM, M. E., McKEMY, J. M., HERNÁNDEZ, J. R., LEVY, L., DEVRIES- PATERSON, R. First report of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* in the continental United States. **Plant Disease**, v.89, p.774, 2005.
- SHUXIAN, L. I. Identification of New Sources of Resistance to Soybean Rust. In: GISI, U., L. L. CHET, AND M. L. GULLINO. (Eds.) **Recent Developments in Management of Plant Diseases**. Springer, Netherlands, 2010, p. 357-373.
- SILVA, A. J. DA., CANTERI, M. G., SILVA, A. L. DA. Haste verde e retenção foliar na cultura da soja. **Summa Phytopathologica**, v.39, n.3, pp.151-156, 2013.

- SILVA, A. J. DA., CANTERI, M. G., SANTIAGO, D. C., HIKISHIMA, M., SILVA, A. L. DA. The reflectance in the estimate of the effect of fungicides in the control of asian soybean rust. **Summa Phytopathologica**, v.35, n.1, p.53-56, 2009.
- SILVA, E. A., SILVA, J. F. V., MONICO, J. F. G., HIROMOTO, D. M. Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematóide do cisto da soja. In: BORÉM, A. (Ed.) **Agricultura de precisão**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 2000, pp. 409-453.
- SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L. Soybean diseases. In: HARTMAN, G.L.; SINCLAIR, J.B.; RUPE, J.C. (Eds.) **Compendium of soybean diseases**. 4 ed., Minnesota: APS, p. 3-4, 2008.
- SINCLAIR, T. R., HINSON, K. Soybean flowering in response to the long-juvenile trait. **Crop Science**, v.32, p.1242–1248, 1992.
- SINESIO, F.; MONETA, E. Sensory evaluation of walnut fruit. **Food Quality and Preference**, v. 8, n. 1, p.35–43, 1997.
- SLAMINKO, T. L., MILES, M. R., FREDERICK, R. D., BONDE, M. R., HARTMAN, G. L. New legume hosts of *Phakopsora pachyrhizi* based on greenhouse evaluations. **Plant Disease**, v.92, p.767- 771, 2008.
- SPADER, V. Características de plantas de soja associadas com alta produtividade em condição de elevada altitude. 2014. 100p. **Tese**. (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, PR.
- SPLECHTNA, B.E. & KLINKA, K. Quantitative characterization of nutrient regimes of high-elevation forest soils in the southern coastal region of British Columbia, Canada. **Geoderma**, v.102, p.153-174, 2001.
- STAFFORD, J. V. Implementing precision agriculture in the 21st Century. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.76, p.267–275, 2000.
- SUGIURA, R., TSUDA, S., TAMIYA, S., ITOH, A., NISHIWAKI, K., MURAKAMI, N., SHIBUYA, Y., HIRAFUJI, M., NUSKE, S. Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle. **Biosystems Engineering**, v.148, p.1-10, 2106.
- THENKABAIL, P. S., SMITH, R. B., DE PAUW, E. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. **Remote Sensing of Environment**, v.71, p.158–182, 2000.
- TMG, TROPICAL MELHORAMENTO GENÉTICO. **Cultivares**. Disponível em: <http://www.tmg.agr.br/cultivares>. Acesso em: jul 2017.

TOBAR-TOSSEI, D. E; CASTOLDII, R; CANDIDO, W. S; FERRAUDO, A. S; CHARLO, A. C. O; BRAZ, L. T. Caracterização de genótipos de soja-hortaliça por análise de componentes principais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.7, p.1214-1219, 2015.

TUCKER, C. L., GARRATT, M. W. Leaf optical system modeled as stochastic process. **Applied Optical**, v.16, p.635-642, 1977.

USDA, UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 2004. National Strategic Plan for the Integration and Coordination of Soybean Rust Research. Disponível em:<https://www.plantmanagementnetwork.org/infocenter/topic/soybeanrust/symposium/presentations/bennett.pdf>.

WAGGONER, P., BERGER, R. D. Defoliation, disease and growth. **Phytopathology**. St Paul, v.77, p.393-398, 1987.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. In: Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, London, v.11, n.41, p.1420-1426, 1991.

WEST, J. S., BRAVO, C., OBERTI, R., LEIMARE, D., MOSHOU, D., MCCARTNEY, H. A. The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. **Annual Review of Phytopathology**, v.41, p.593-614, 2003.

WIEGAND, G. L., RICHARDSON, A. J., ESCOBAR, D. E. Vegetation indices in crop assessment. **Remote Sensing of Environment**, v.35, p.105-119, 1991.

YANG, X. B., DOWLER, W. M., TSCHANZ, A. T. A simulation model for assessing soybean rust epidemics. **Journal of Phytopathology**, v.133, p.187- 200, 1991.

YANG, X. B., DOWLER, W. M., TSCHANZ, A. T., WANG, T. C. Comparing the effects of rust on plot yield, plant yield, yield components, and vegetative parts of soybean. **Journal of Phytopathology**, v.136, p.46-56, 1992.

YANG, C. A high-resolution airborne four-camera imaging system for agricultural remote sensing. **Computers and electronics in agriculture**, v. 88, p.13-24, 2012.

YORINORI, J. T., PAIVA, W. M., FREDERICK, R. D., FERNANDEZ, P. F. T. **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, nas safras 2001/01 e 2001/02**. Anais Congresso Brasileiro de Soja 2002:94 (Resumo).

YORINORI, J. T. Ferrugem da soja: ocorrência no Brasil e estratégias de manejo. Em: REIS, E. M. (Ed.). **Doenças na Cultura da Soja**. Aldeia Norte, Passo Fundo, 2004, p.77-84.

ZAMBENEDETTI, E. B., ALVES, E., ARAÚJO, E. D. V. Eventos dos processos de pré-penetração, penetração e colonização de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. **Fitopatologia Brasileira**, v.32 p.156-160, 2007.

ZHENG, L., ZHU D. Z., LIANG, D., ZHANG, B. H., WANG, C., ZHAO, C. J. Winter wheat biomass estimation based on canopy spectra. **International Journal of Agricultural & Biological Engineering**, v.8(6), p. 30–36, 2015.