

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS - CCR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Maíne Alessandra Lerner

ALGORITMO PARA PREDIÇÃO DE RISCO DE EPIDEMIA DE
***Phakopsora pachyrhizi* EM SOJA**

Santa Maria, RS
2016

Maíne Alessandra Lerner

ALGORITMO PARA PREDIÇÃO DE RISCO DE EPIDEMIA DE *Phakopsora pachyrhizi* EM SOJA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Bioecologia e Manejo de Organismos em Sistemas Agrícolas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: PhD. Ricardo Silveiro Balardin

Santa Maria, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lerner, Maíne Alessandra
Algoritmo para predição de risco de epidemia de
Phakopsora pachyrhizi em soja / Maíne Alessandra Lerner.-
2016.
79 p. ; 30cm

Orientador: Ricardo Silveiro Balardin
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, RS, 2016

1. Ferrugem asiática 2. Sistemas de previsão 3.
algoritmo I. Silveiro Balardin, Ricardo II. Título.

Maíne Alessandra Lerner

ALGORITMO PARA PREDIÇÃO DE RISCO DE EPIDEMIA DE *Phakopsora pachyrhizi* EM SOJA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Bioecologia e Manejo de Organismos em Sistemas Agrícolas, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Aprovado em 23 de fevereiro de 2016:

Ricardo Silveiro Balardin, PhD., Prof. Titular (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Ivan Francisco Dressler da Costa, Dr. (UFSM)

Monica Paula Debortoli, Dra. (Instituto Phytus)

Santa Maria, RS
2016

AGRADECIMENTOS

No início desta jornada, eu sabia que seria necessário o apoio e auxílio de muitas pessoas para que este trabalho fosse realizado, sem estas pessoas eu jamais conseguiria e cada uma foi essencial e indispensável para o êxito e conclusão do mestrado, então eu agradeço:

A Universidade Federal de Santa Maria e o curso de pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de ingresso e concessão de bolsa.

Ao meu orientador Ricardo Balardin, agradeço desde o dia em que aceitou ser meu orientador de estágio, pois a partir daquele dia o rumo da minha vida acadêmica mudou. E não só pelos ensinamentos técnicos, mas principalmente pelos conselhos de vida e pelas conversas sinceras que tivemos...que foram muitas! São estes ensinamentos que jamais esquecerei e que lembrarei com carinho.

Aos meus pais Albano e Cleci que, mesmo muitas vezes não compreendendo o significado de artigos e revistas científicas, tratamentos, parcelas, sempre me apoiaram na decisão de continuar estudando e sempre incentivaram para que eu seguisse nesse caminho. Aos meus irmãos, e sobrinhos, obrigado também pelo apoio sempre. Saibam que o esforço hoje é para que tenham orgulho do que sou e da pessoa que estou me tornando.

Ao Carlos, pelos bons anos convividos, por acreditar em mim sempre, mesmo quando eu mesma não acreditei, por me compreender e auxiliar, seja em formatação de arquivos, estudos ou auxílio no campo.

A Diretora do Instituto Phytus, Clarice Balardin, por permitir que eu realizasse meu trabalho nas dependências da empresa, com toda estrutura e apoio necessário.

A pesquisadora Monica Debortoli, minha amiga, pela incansável disponibilidade de ajudar, seja com dicas e ensinamentos técnicos ou com conselhos de vida.

Aos colegas de trabalho pelo auxílio na condução dos ensaios, Angélica Marian, Pedro Cadore, Jacson Zuhl, Diogo Patias, Juliano Kurz, Paulo Lopes, Eduardo Lopes, Antão dos Santos e Vani Nascimento. Aos amigos, Eduardo Canova e Diego Dalla Favera. Ao Felipe Dalla Lana pelas importantes contribuições e dicas iniciais.

A todos os professores e funcionários da UFSM que de alguma forma contribuíram para a minha formação e execução deste trabalho.

RESUMO

ALGORITMO PARA PREDIÇÃO DE RISCO DE EPIDEMIA DE *Phakopsora pachyrhizi* EM SOJA

AUTORA: Máine Alessandra Lerner
ORIENTADOR: Ricardo Silveiro Balardin

O controle da ferrugem asiática da soja é dependente da aplicação de fungicidas no momento correto. O uso de sistemas de previsão é uma ferramenta importante no processo de tomada de decisão. O objetivo deste trabalho foi aferir um algoritmo de previsão que gera níveis de risco de infecção de *Phakopsora pachyrhizi* baseado em precipitação, temperatura mínima, época de semeadura, estágio fenológico da cultura e local, visando a aplicação de produtos fungicidas na época correta. Foram conduzidos quatro experimentos na área experimental do Instituto Phytus, município de Itaara, região central do Rio Grande do Sul, na safra 2014/2015. Cada experimento correspondeu a uma época de semeadura diferente e foi constituído dos tratamentos: testemunha (T1) sem aplicação de fungicida; aplicação de acordo com o recomendado no algoritmo a ser aferido (T2), aplicação do programa calendarizado em dias após a emergência (DAE)(T3), programa baseado nos estádios da soja (T4), aplicação com sete dias de atraso do recomendado pelo algoritmo (T5), aplicação calendarizada com sete dias de atraso (T6) e aplicação baseada em estágio fenológico com sete dias de atraso (T7). Para avaliar o efeito dos tratamentos, foram determinados a AACPD, taxa de progresso, produtividade, massa de mil grãos, e correlações entre as variáveis dependentes e independentes relacionadas a primeira pústula e a severidade da doença. O posicionamento definido pelo uso do algoritmo não propiciou superioridade sobre as variáveis AACPD, taxa de progresso, produtividade e peso de mil grãos, em relação aos demais tratamentos em nenhum dos experimentos. A ferrugem asiática ocorreu em diferentes estádios fenológicos da soja e o uso de épocas de semeadura pode medir indiretamente a pressão do inóculo deste patógeno. O período de sete dias não é consistente para cálculo das variáveis meteorológicas que precedem a doença. Temperatura não foi relevante para explicar a epidemia e seu uso no algoritmo não se justificou. A precipitação apresentou influência decisiva na epidemia e quanto mais períodos de chuva ocorreram, maiores foram os níveis de severidade.

Palavras-chave: Ferrugem asiática. Sistemas de previsão. Algoritmo.

ABSTRACT

ALGORITHM FOR PREDICTION OF EPIDEMIC *Phakopsora pachyrhizi* RISK IN SOYBEAN

AUTHOR: Maíne Alessandra Lerner

ADVISOR: Ricardo Silveiro Balardin

The control of asian soybean rust depends on the application of fungicides at the right time. The use of forecasting systems is an important tool in the decision-making process. This work aims to estimate a prediction algorithm that generates risk levels of *Phakopsora pachyrhizi* infection based on rainfall, minimum temperature, sowing date, growth stage of the crop and local, aimed at applying fungicides products at the correct time. Four experiments were conducted in the experimental area of Phytus Institute, Itaara city, central region of Rio Grande do Sul, in the crop 2014/2015. Each experiment corresponded to a different sowing date and consisted of treatments: control (T1) without fungicide application; application as recommended in the algorithm to be assessed (T2), application of the scheduled program in days after emergence (DAE) (T3), based on growth stage of the crop (T4), application as recommended in the algorithm with seven days delay (T5), application of the scheduled program in days after emergence with seven days delay (T6) and application based on growth stage of the crop with seven days delay (T7). To evaluate the effect of treatments were determined to AUCPD, rate of progress, productivity, weight of a thousand grains, and correlations between the dependent and independent variables related to the first pustule and disease severity. The positioning defined by the use of the algorithm did not provide superiority over AUCPD variable rate of progress, productivity and weight of a thousand grains, compared to other treatments in none of the experiments. Asian rust occurred at different growth stages of soybean and the use of sowing dates may indirectly measure the pressure of inoculum of this pathogen. The seven-day period is not consistent for the calculation of the meteorological variables that precede the disease. Temperature was not relevant to explain the epidemic and its use in the algorithm not justified. Rainfall had decisive influence on the epidemic and the more periods of rain occurred, the higher were the severity levels.

Keywords: Asian Rust. Forecasting systems. Algorithm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Escala Diagramática para avaliação de ferrugem asiática da soja (Phakopsora pachyrhizi).....	32
Figura 2 - Dados de precipitação e temperatura média do ar dos meses de novembro e dezembro. Itaara, 2014.....	35
Figura 3 - Dados de precipitação e temperatura dos meses de janeiro e fevereiro. Itaara, 2015	36
Figura 4 - Dados de precipitação e temperatura do mês de março, Itaara, 2015.....	36
Figura 5 - Representação gráfica da taxa de progresso (r) para cada tratamento e épocas de semeadura	41
Figura 6 - Relações entre a área abaixo da curva de progresso da doença e a produtividade na primeira época de semeadura. Círculos pretos representam os valores médios observados em cada tratamento	44
Figura 7 - Relações entre a área abaixo da curva de progresso da doença e a produtividade na segunda época de semeadura. Círculos pretos representam os valores médios observados em cada tratamento	45
Figura 8 - Relações entre a área abaixo da curva de progresso da doença e a produtividade na terceira época de semeadura. Círculos pretos representam os valores médios observados em cada tratamento	45
Figura 9 - Relações entre a área abaixo da curva de progresso da doença e a produtividade na quarta época de semeadura. Círculos pretos representam os valores médios observados em cada tratamento	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Datas de semeadura e emergência para cada época (experimento).....	25
Tabela 2 - Descrição dos tratamentos.....	25
Tabela 3 - Esquema de aplicação para o tratamento com programa de controle calendarizado	26
Tabela 4 - Esquema de aplicação para tratamento baseado nos estádios fenológicos da soja.....	26
Tabela 5 - Descrição das variáveis utilizadas no algoritmo.....	28
Tabela 6 - Descrição dos atributos relacionados as variáveis meteorológicas.....	29
Tabela 7 - Dados da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) para cada época de semeadura.	39
Tabela 8 - Informações referentes ao aparecimento da primeira pústula em cada época de semeadura.....	39
Tabela 9 - Taxa de progresso (r) da ferrugem asiática da soja para cada época de semeadura.	40
Tabela 10 - Produtividade da soja (Kg/ha) para cada época de semeadura.....	43
Tabela 11 - Massa de mil grãos (PMG) para cada época de semeadura.	43
Tabela 12 - Dados de primeira aplicação, primeira pústula e intervalo de dias, referentes a primeira época de semeadura (Experimento 1)	48
Tabela 13 - Análise de correlação de Pearson entre os atributos das variáveis meteorológicas e o aparecimento da primeira pústula (em DAE) na primeira época de semeadura (Experimento 1)	49
Tabela 14 - Intervalo, em dias, entre as aplicações para cada tratamento, na primeira época de semeadura (Experimento 1)	51
Tabela 15 - Dados de primeira aplicação, primeira pústula e intervalo de dias, referentes a segunda época de semeadura (Experimento 2)	53
Tabela 16 - Análise de correlação de Pearson entre os atributos das variáveis meteorológicas e o aparecimento da primeira pústula (em DAE) na segunda época de semeadura (Experimento 2).....	54
Tabela 17 - Intervalo, em dias, entre as aplicações para cada tratamento, na segunda época de semeadura (Experimento 2).....	55

Tabela 18 - Dados de primeira aplicação, primeira pústula e intervalo de dias, referentes a terceira época de semeadura (Experimento 3)	56
Tabela 19 - Análise de correlação de Pearson entre os atributos das variáveis meteorológicas e o aparecimento da primeira pústula (em DAE) na terceira época de semeadura (Experimento 3)	57
Tabela 20 - Intervalo, em dias, entre as aplicações para cada tratamento, na terceira época de semeadura (Experimento 3)	58
Tabela 21 - Dados de primeira aplicação, primeira pústula e intervalo de dias, referentes a quarta época de semeadura (Experimento 4)	59
Tabela 22 - Análise de correlação de Pearson entre os atributos das variáveis meteorológicas e o aparecimento da primeira pústula (em DAE) na quarta época de semeadura (Experimento 4)	60
Tabela 23 - Intervalo, em dias, entre as aplicações para cada tratamento, na quarta época de semeadura (Experimento 4)	61
Tabela 24 - Análise de correlação de Pearson entre os atributos das variáveis meteorológicas e a severidade da doença, para todas as épocas de semeadura	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA (<i>Phakopsora pachyrhizi</i>)	14
2.1.1	Origem e distribuição geográfica	14
2.1.2	Importância Econômica	14
2.1.3	Etiologia e Sintomatologia	15
2.1.4	Ciclo da doença	16
2.1.5	Epidemiologia	17
2.2	CONTROLE QUÍMICO	18
2.3	SISTEMAS DE PREVISÃO	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	LOCAL	24
3.2	IMPLANTAÇÃO E MANEJO DA CULTURA	24
3.3	TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	25
3.4	APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS	26
3.5	OBSERVAÇÕES METEOROLÓGICAS	27
3.6	DESCRIÇÃO DO ALGORITMO	27
3.6.1	Especificações das variáveis dependentes	28
3.6.2	Especificações das variáveis independentes	28
3.7	PARÂMETROS AVALIADOS	32
3.7.1	Primeira ocorrência visual da doença	32
3.7.2	Severidade da ferrugem asiática	32
3.7.3	Taxa de Progresso (r) e Área Abaixo da Curva de Progresso da doença (AACPD)	33
3.7.4	Produtividade da soja	34
3.7.5	Massa de mil grãos	34
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	AACPD, TAXA DE PROGRESSO, PRODUTIVIDADE E MASSA DE MIL GRÃOS	37
4.2	DESEMPENHO DO ALGORITMO	46
4.2.1	Experimento 1 - Primeira época de semeadura	46
4.2.2	Experimento 2 - Segunda época de semeadura	52
4.2.3	Experimento 3 - Terceira época de semeadura	55
4.2.4	Experimento 4 - Quarta época de semeadura	58

4.2.5	Análise conjunta da severidade medida em todos experimentos.....	61
5	CONCLUSÕES	65
	APÊNDICE	71
	APÊNDICE A - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO 1.....	72
	APÊNDICE B - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO 2.....	73
	APÊNDICE C - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO 3.....	74
	APÊNDICE D - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO 4.....	76
	ANEXO A. ESCALA FENOLÓGICA DA SOJA ADAPTADA POR YORINORI (1996) DE RITCHIE ET AL. 1982.....	79

1 INTRODUÇÃO

A principal doença que ataca a cultura da soja é a ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sidow. As lesões produzidas por este fungo reduzem a área fotossintética e causam a desfolha precoce, impedindo, assim, a completa formação dos grãos e, conseqüentemente, provoca a redução da produtividade de grãos. Favorecida por determinados fatores climáticos, esta doença pode causar diferentes níveis de infecção em cada região e/ou safra agrícola.

Devido à falta de alternativas para o manejo, o controle da doença é altamente dependente do uso de fungicidas. Este método de controle tem gerado bons resultados, embora aumente, consideravelmente, o custo de produção.

A ocorrência do fungo na lavoura pode iniciar em qualquer estágio fenológico da cultura. Aplicações calendarizadas, com datas pré-definidas, como ocorre na maioria dos casos, podem não proporcionar um controle efetivo da ferrugem asiática. Iniciar o programa de controle quando a doença já está presente, mesmo que em baixos níveis, pode acarretar redução na eficácia do controle e perdas significativas na produtividade.

O programa de controle iniciado muito cedo, também pode acarretar problemas, pois pode gerar uma necessidade de demasiado número de aplicações, aumentando o custo de produção.

Uma alternativa para possibilitar uma tomada de decisão correta, seria o uso de um modelo de previsão que fosse capaz de definir o nível de risco de ocorrência da doença. Sistemas com esta finalidade tem como objetivos principais a racionalização do número de aplicações de fungicidas, aplicação no momento correto, e a redução dos custos de produção (HARDWICK, 2006).

Diversos modelos e sistemas de alerta de ferrugem asiática foram desenvolvidos, em sua maioria baseados em dados obtidos em ambiente controlado ou em condições de campo ou com informações muito específicas que dificultam seu amplo uso, por isso são necessários mais estudos e com técnicas ainda não exploradas de dados provenientes de situação de campo (DEL PONTE; ESKER, 2008).

O trabalho realizado tem como objetivo geral desenvolver e avaliar a acurácia de um algoritmo com base em precipitação acumulada, temperatura, épocas de

semeadura, estágio fenológico da cultura e local, em determinar níveis de risco para ocorrência de ferrugem asiática da soja e auxiliar na tomada de decisão para o controle químico. Os objetivos específicos são: Identificar o parâmetro meteorológico determinante para a infecção por *Phakopsora pachyrhizi*, aferir a significância dos parâmetros utilizados no algoritmo de acordo com a influência das diferentes variáveis meteorológicas e comparar a efetividade do controle químico com aplicações indicadas pelo algoritmo, em relação as aplicações baseadas em calendarização, por estágio fenológico da soja e dias após a emergência.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA (*Phakopsora pachyrhizi*)

2.1.1 Origem e distribuição geográfica

A ferrugem asiática, foi descrita pela primeira vez no Japão em 1902. Em 1914, surgiu em vários países no sudoeste asiático. Em janeiro de 1998 foi constatado em Uganda, Kenia e Ruanda, e em março de 2001 foi detectado na África do Sul, tendo atingido caráter epidêmico em 2002 (REIS; BRESOLIN, 2004). No Continente Americano foi constatada no Paraguai em 2001. Neste mesmo ano também foram verificados focos no Brasil, no estado do Paraná, contudo as maiores perdas foram verificadas nas safras seguintes. Em 2002 a doença foi verificada na Argentina, na Bolívia em 2003, e Uruguai, Colômbia e Estados Unidos em 2004 (REIS et al., 2006).

2.1.2 Importância Econômica

Embora a ferrugem já estivesse presente na América Central e do Sul desde os anos de 1970, causada por *Phakopsora meibomia*, foi somente a partir da introdução de *Phakopsora pachyrhizi*, agente causal da ferrugem asiática, que a doença tornou-se um grande problema e uma das ameaças econômicas mais importantes para os produtores de soja (YORINORI et al., 2005).

A ferrugem espalhou-se rapidamente, após sua primeira detecção, por todo o Brasil, Paraguai, Bolívia e Argentina e na safra 2001/2002 a doença já atingia cerca de 60% da área brasileira de soja e perdas de 30% a 75% foram registradas nos estados de MS e GO, tamanha perda, nas primeiras safras de instalação da doença, se deve ao fato dos produtores estarem despreparados e realizarem tardiamente as aplicações de fungicidas (YORINORI; LAZZAROTTO, 2004).

Já na safra 2002/2003 as aplicações de fungicidas foram atrasadas pela falta de produto ou pelo excesso de chuvas que impossibilitaram a aplicação, o que ocasionou uma perda de 3,4 milhões de toneladas de soja, sendo que nesta safra a doença já estava presente em 80% da área brasileira. (YORINORI; LAZZAROTTO, 2004).

Assim, safra a safra, esta doença ocasionou danos aos agricultores e o somatório do impacto da ferrugem asiática da soja no Brasil, das safras 2001/02 a 2006/07, chegou a perdas de 12,1 milhões de toneladas de grãos gerando um prejuízo estimado de 6,9 bilhões de dólares (VIERO, 2008).

O avanço das pesquisas e surgimento de novos produtos no mercado, permitiu uma redução nas perdas em grãos. Atualmente, mais de 100 produtos possuem registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle dessa doença (GODOY et al., 2014).

2.1.3 Etiologia e Sintomatologia

O agente causal da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi* apresenta teliósporos organizados em 2 a 7 camadas, paredes dos esporos são finas e de coloração amarelo pálida, pertence à classe dos Basidiomycetes, ordem Uredinales, família Phakopsoraceae e ao gênero Phakopsora (REIS et al., 2006).

As primeiras lesões geralmente aparecem na base do folíolo perto do pecíolo e das nervuras da folha, isto acontece porque esta região provavelmente retém a umidade por um tempo mais longo, proporcionando condições mais favoráveis à infecção. As lesões permanecem pequenas (2-5 mm de diâmetro), porém crescem em número com o progresso da doença. Pústulas ou urédias, são formadas nas lesões principalmente na face inferior das folhas e podem produzir uma grande massa de uredósporos. Pústulas maduras podem ser vistas a olho nu, especialmente durante a esporulação (RUPE; SCONYERS, 2008).

Os primeiros sintomas da ferrugem são caracterizados por pequenos pontos mais escuros do que o tecido sadio da folha, com coloração esverdeada a cinza esverdeada. No local observa-se uma protuberância, sendo essa o início da formação da estrutura de frutificação do fungo, a urédia. Progressivamente, a protuberância adquire coloração castanho-claro a castanho-escuro, e nela abre-se em um poro, de onde saem os uredosporos (YORINORI et al., 2003).

Os uredósporos, inicialmente, são de coloração hialina e com o tempo tornam-se beges, sendo expelidos para fora das urédias, acumulando-se ao redor dos poros ou sendo carregados pelo vento. O número de urédias ou pústulas, por lesão, pode variar de uma a seis. À medida que prossegue a esporulação, o tecido da folha ao

redor das primeiras urédias adquire coloração castanho-claro a castanho-avermelhada, formando as lesões que são facilmente visíveis em ambas as faces da folha (YORINORI et al., 2003).

À medida que mais lesões são formadas, as áreas infectadas começam a amarelar e os folíolos caem das plantas. Apesar da ferrugem da soja iniciar no terço inferior do dossel, a doença rapidamente progride para os terços acima até que todas as folhas apresentem os sintomas da doença (RUPE; SCONYERS, 2008).

Como o patógeno ocasiona a queda prematura das folhas, quanto mais cedo ocorrer esta queda, menor será o tamanho dos grãos e maior a perda de produtividade e de qualidade. Quando a doença atinge a soja na fase de formação das vagens ou início do enchimento de grãos, pode causar o aborto e a queda das vagens (YORINORI et al., 2003).

2.1.4 Ciclo da doença

Phakopsora pachyrhizi é um parasita obrigatório e que pode sobreviver fora de um hospedeiro, como uredósporos, por apenas alguns dias sob condições naturais (GOELLNER et al., 2010; RUPE et al., 2008; REIS et al., 2006).

Os esporos produzidos são dispersos pelo vento e pela chuva a longas distâncias, e quando depositados sobre o dossel da cultura iniciam o processo de infecção. Segundo Isard et al. (2006), quando um esporo é depositado sobre uma folha de soja, leva, em média, 9 dias para completar um ciclo que inclui germinação, formação do apressório, penetração na epiderme da folha, colonização, desenvolvimento uredinial e esporulação.

Segundo Melching et al. (1979), em trabalho avaliando a infecção, colonização e produção de uredósporos de *Phakopsora pachyrhizi* em plantas de soja, uma única urédia produziu esporos por cerca de 3 semanas e o número de pústulas ativas, por lesão, na face inferior da folha, pode permanecer constante por cerca de 4 semanas depois da inoculação. Os mesmos autores afirmam que, durante um único ciclo de vida do patógeno, o número de lesões produzidas por unidade de tecido da folha por unidade de inoculo, o tempo necessário até que a penetração de lesões apareça, e a área das lesões em determinados momentos após a penetração, são critérios importantes para a avaliação da agressividade do patógeno.

Para que haja germinação e penetração dos esporos na planta, é necessário que se tenha algumas condições como, presença de água livre e temperatura na faixa favorável (DEL PONTE; ESKER, 2008). Na fase de colonização, o que torna possível a visualização dos primeiros sintomas, que são os pontos necróticos, é o rompimento das células epidérmicas (GOELLNER et al., 2010).

2.1.5 Epidemiologia

Epidemias de ferrugem iniciam com a chegada de inóculo pelo ar sendo a fonte de inóculo plantas de soja voluntárias ou algum hospedeiro alternativo. Quando ocorre a deposição dos esporos na superfície do hospedeiro, a infecção e o desenvolvimento da epidemia são dependentes das condições ambientais (RUPE; SCONYERS, 2008).

Melching et al. (1989), em trabalho avaliando o efeito da temperatura e do período de molhamento foliar em relação a germinação dos uredósporos, mostraram que o fungo foi capaz de germinar entre as temperaturas de 10° e 28°C, com faixa ótima de 16° a 26,5°C. Infecções ocorreram com temperaturas entre 16° e 26,5°C e mínimo de 6 horas de molhamento foliar, sendo que taxas de infecções máximas ocorreram entre 10 a 12 horas de molhamento.

Bonde et al. (2007) encontrou o intervalo de temperatura ótimo para os processos de germinação e crescimento do tubo germinativo de 17 a 28°C, em estudo com isolados de *P. Pachyrhizi* de diferentes regiões, como Taiwan, Zimbábue, Havaí e Brasil. Nos Estados Unidos, as altas temperaturas diurnas, no período de safra, têm sido apontadas como limitantes ao progresso das epidemias (BONDE et al., 2013).

As análises de correlação realizadas por Del Ponte et al. (2006b), indicaram que a precipitação foi mais fortemente correlacionada com a doença do que as variáveis de temperatura. A severidade de ferrugem asiática medida em 21 locais, distribuídos por nove estados brasileiros nas safras 2002/03 e 2004/05, mostrou evidente correlação com a precipitação. Onde a severidade foi maior que 70%, as chuvas durante o período de 1 mês após a detecção da doença variaram entre 250 e 450 mm, distribuída em 14 a 24 dias de chuva. Já onde a severidade foi menor que 30%, a precipitação variou entre 20 e 125 mm, distribuídos em 5 a 10 dias de chuva durante o período de 1 mês.

Diversos estudos indicam que o período entre a infecção e o aparecimento de sintomas pode levar de 5 a 9 dias (MARCHETTI et al., 1976; GOELLNER et al., 2010). Resultados obtidos por Balardin et al. (2005), em cultivares suscetíveis, mantidas em temperaturas variando entre 22 e 30°C e inoculadas após o florescimento, apresentaram início da formação das lesões entre 7 e 9 dias. Bromfield et al. (1980), estudando a virulência e agressividade de *P. pachyrhizi* com diferentes isolados, observaram a formação de lesões a partir de 6 a 7 dias após inoculação.

Zambenedetti et al. (2007), em trabalho avaliando parâmetros monocíclicos em diferentes genótipos de soja, concluiu que, para todos os genótipos, o período de incubação dos esporos de ferrugem foi de 6 dias e o período latente variou de 6 a 12 dias. Para Rupe e Sconyers (2008), a produção de esporos ocorre de 7 a 10 dias após a infecção.

Assim, a diferença entre o período de infecção e o aparecimento dos sintomas encontrados por diferentes autores pode estar relacionando ao hospedeiro, pela diferença de suscetibilidade de cultivares ou pelo estágio e estado nutricional em que se encontram, ou ainda pode depender das diferentes combinações de temperatura e molhamento foliar (ALVES et al., 2006).

2.2 CONTROLE QUÍMICO

Nos últimos anos o controle da ferrugem asiática da soja tem sido realizado basicamente pelo uso de fungicidas (DEL PONTE; ESKER, 2008). O número de aplicações necessárias para o controle desta doença depende de quando a epidemia se iniciou na lavoura e das condições meteorológicas favoráveis ao fungo. Muitas vezes a epidemia pode iniciar antes mesmo do florescimento da planta, isto ocorre em alguns lugares do Brasil, quando há níveis altos de inóculo no início da safra. Nestes casos podem ser necessárias até 5 aplicações de fungicidas para o controle desta doença.

A época de aplicação de produtos fungicidas é uma ferramenta importante no controle desta doença. Aplicações muito cedo, muito tarde ou muito frequentes, podem ser ineficazes ou necessárias para maximizar os rendimentos (MUELLER et al., 2009). Fungicidas possuem melhor desempenho quando aplicados de forma preventiva, antes que a doença se inicie no campo, ou quando esta se encontra em

baixíssimos níveis, mas não é fácil fazer este monitoramento, principalmente se tratando de grandes áreas de cultivo (RUPE; SCONYERS, 2008).

Rupe e Sconyers (2008), relataram que quando a incidência da doença alcançou 10% antes da primeira aplicação, os fungicidas não controlaram de forma eficiente a ferrugem asiática da soja, levando a perdas de produtividade. Scherm et al. (2009), em um trabalho de meta-análise a partir de dados obtidos de 71 ensaios com aplicação de fungicidas realizados no Brasil a partir da safra 2003/04 até a safra 2006/07, determinaram que em 65% dos ensaios as aplicações foram iniciadas quando a ferrugem já estava presente, e que mesmo com níveis baixos no início das aplicações, estes já provocaram redução na produtividade de grãos. Os autores concluíram que apenas 0,05% de severidade da doença poderia ser tolerada antes da primeira aplicação sem comprometer a eficácia do controle da ferrugem.

Em estudo avaliando o controle químico da ferrugem asiática da soja, Reis et al. (2007), e Godoy e Henning (2008), concluíram que o controle com base no estágio fenológico da cultura pode não ser eficiente, devido ao patógeno estabelecer-se em qualquer estágio da planta durante o ciclo vegetativo. A ocorrência de infecção nos estádios iniciais da soja sob condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento do patógeno, poderão determinar a necessidade de controle antecipado ou não, e pode variar em cada ano de cultivo.

Corroborando com estes resultados, Godoy e Henning (2008), em estudos avaliando a aplicação foliar de fungicidas na soja com diferentes épocas de semeadura, observaram incidência inicial de ferrugem asiática em diferentes estádios fenológicos da cultura e considerando esta variação, juntamente com a influência das condições ambientais, concluíram que não é justificável a adoção de um modelo único para manejo desta doença, baseado em calendários de aplicação.

Andrade e Andrade (2002), observaram que um atraso de quatorze dias na aplicação do fungicida, após a detecção da doença, foi suficiente para aumentar significativamente a desfolha em relação às parcelas submetidas ao tratamento fungicida efetuado no aparecimento da doença.

2.3 SISTEMAS DE PREVISÃO

Uma forma de se ter um melhor aproveitamento do controle químico dá-se pelo uso de sistemas de previsão de risco de ocorrência de uma certa doença. Sistemas de alerta são elementos chaves no manejo integrado de doenças por reunir esforços para reduzir o uso excessivo de agrotóxicos (GLEASON et al., 2008).

Quando as pulverizações, baseadas em calendário ou intervalos fixos regulares, são substituídas por aplicações baseadas em sistemas de previsão, menos aplicações são necessárias, o que pode gerar ganhos para o produtor que poupa tempo e dinheiro, além dos ganhos para o ambiente considerando que apenas o número certo de pulverizações é realizado (GILLESPIE et al., 2008).

Os modelos de previsão estão fundamentados na interação patógeno, hospedeiro e ambiente, mas poucos modelos se baseiam no monitoramento do aparecimento do inóculo por serem de difícil mensuração. A maioria dos sistemas se baseiam nas condições meteorológicas necessárias para infecção e multiplicação do inóculo (REIS et al., 2004).

Mesquini et al. (2011), em estudo avaliando as relações entre condições ambientais, número de uredinósporos e severidade, observaram que a variável mais fortemente correlacionada com a severidade da doença foi o número de dias entre a primeira semeadura e a primeira aplicação, o que demonstra a importância do posicionamento correto do início da aplicação de fungicidas. No mesmo estudo, a variável que menos influenciou a severidade, sendo praticamente nula, foi o número de uredinósporos, porque mesmo que sua presença seja imprescindível para ocorrência da doença, sem condições ambientais favoráveis a infecção não ocorre.

Del Ponte e Esker (2008), em estudo abordando fatores meteorológicos e as epidemias de ferrugem asiática, relataram que no Brasil os sistemas de previsão de ocorrência desta doença são limitados a alertas locais específicos, relacionando temperatura e molhamento foliar, e a um sistema nacional que monitora a primeira ocorrência em alguns municípios, chamado de Consórcio Antiferrugem, onde Instituições ou órgãos de pesquisa fornecem dados.

Especialmente no Brasil, onde esta doença causa enormes perdas de produtividade, e onde o uso de fungicidas é a melhor forma de controle, os modelos de previsão são uma importante ferramenta, indicando o melhor momento para

aplicação e evitando pulverizações desnecessárias. Além disso, os modelos podem auxiliar na capacidade dos produtores estarem preparados para ocorrência de uma epidemia severa da doença (DEL PONTE; ESKER, 2008).

A modelagem com finalidade de previsão de risco de ocorrência de doenças pode ter dois tipos de abordagem: a mecanicista e a empírica. Uma abordagem mecanicista utiliza submodelos para caracterizar os diversos sub estágios do ciclo da doença, e, na maioria das vezes, são com base nos resultados de experiências destinadas a investigar a biologia do patógeno sob condições controladas. Neste caso, quando algumas informações são incompletas, incorporam-se suposições entre as relações patógeno, hospedeiro, ambiente. Uma abordagem empírica, utiliza métodos estatísticos para descrever as relações entre as diferentes variáveis ambientais e o surgimento da doença ou aumento da sua intensidade. Este tipo de modelo é geralmente baseado em resultados de experimentos a campo que simulam condições de produção e pode utilizar dados de experimentos em condições controladas para orientar a construção do modelo (DE WOLF; ISARD, 2007).

Os modelos de previsão de ferrugem asiática na cultura da soja podem ser modelos empíricos, construídos a partir de relações estatísticas entre variáveis explicativas e dados experimentais, e podem ser divididos em dois grupos: modelos epidemiológicos e modelos aerobiológicos. Modelos epidemiológicos são utilizados para estudos de previsão de risco, desenvolvimento de epidemias e perdas. Já os modelos aerobiológicos, são mais complexos, e são utilizados para prever o transporte e disseminação do inóculo por longas distancias. Dois modelos empíricos que preveem a adequação ou períodos críticos de infecção de ferrugem asiática foram desenvolvidos e aplicados no Brasil (DEL PONTE et al., 2006a).

Segundo Del Ponte et al. (2006a), em revisão de literatura sobre modelos existentes e aplicações de avaliação dos riscos e predição de epidemias da ferrugem asiática da soja, até o ano de 2006 existiam doze modelos para esta doença no mundo. O primeiro modelo de simulação, denominado Soyrustr, foi desenvolvido no início dos anos 80, no sul do Taiwan, com base em dados de literatura de plantios sequenciais de experimentos no campo. Soyrustr é um modelo de computador que simula o aumento diário da gravidade da doença em duas variedades de soja, influenciado pela duração do molhamento foliar e temperatura, período latente e senescência das urédias como função da temperatura.

Dos doze modelos existentes, até 2006, seis são modelos empíricos e foram separados, por Del Ponte et al. (2006a), em três tipos: os que estimam componentes ou períodos críticos da infecção, os que estimam progresso da doença, ou os que estimam os níveis de severidade máxima da doença. Dentre os que estimam os componentes ou períodos críticos para infecção, temos dois modelos desenvolvidos e aplicados no Brasil.

Reis et al. (2004), propuseram um modelo climático para prever um valor diário para a probabilidade de infecção por *P. pachyrhizi* com base nos dados da literatura a respeito da interação de duração da temperatura e do período de molhamento foliar. Os autores desenvolveram uma tabela de períodos críticos que são uma função do número de lesões previsto para se desenvolver em um único dia e ressaltaram que ensaios a campo são necessários para validar o sistema.

Seguindo uma metodologia semelhante, outro modelo brasileiro, foi desenvolvido por Canteri et al. (2004). Os autores utilizaram dados da literatura para gerar a intensidade de infecção de acordo com dados de temperatura e umidade relativa do ar maior que 90%, para mapear o risco de ocorrência de epidemia para o estado do Paraná, durante as safras de 2004/05 e 2005/06.

Outro modelo desenvolvido no Brasil por Del Ponte et al. (2006b), está entre os modelos que estimam a máxima severidade da doença e utilizou regressão linear para examinar a relação entre severidades finais, ou máximas, de epidemias de campo e variáveis meteorológicas diárias registradas durante o desenvolvimento da epidemia após a detecção da doença.

Heather et al. (2015) utilizaram um modelo de decisão para aplicação de fungicida visando o controle de ferrugem asiática da soja em diferentes anos de cultivo, onde compararam aplicações baseadas no estágio fenológico da cultura (R1 e R3), molhamento foliar ou eventos de chuva. Para que a aplicação baseada em molhamento foliar fosse realizada eram necessários três dias consecutivos com 10 horas ou mais de molhamento, temperatura noturna entre 20°C e 25°C, e ferrugem presente na região.

Para as aplicações baseadas em eventos de chuva eram necessários pelo menos 13 mm de chuva acumulada em 5 dias dentro do período dos últimos 30 dias. Apesar dos tratamentos não apresentarem grandes diferenças significativas em relação a produtividade, os autores concluíram que o modelo baseado em

precipitação mostrou tendência de reduzir o número de aplicações em anos com baixa pressão da doença e mantendo produtividade semelhante aos demais.

Em nível de campo existe um conjunto vasto e complexo de fatores que influenciam o início de uma epidemia de ferrugem asiática e se for feita, para fins de previsão de risco, em uma abordagem mais mecanicista, todos estes fatores, a ocorrência de erros pode ser aumentada. Usando algumas variáveis, que captam a maior parte da variabilidade da severidade da doença, diminuimos consideravelmente a chance de ter erros, melhorando a informação quantitativa de risco com a simples entrada de modelos empíricos (DEL PONTE et al., 2006b).

Relata-se ainda que, utilizar modelos baseados na precipitação, pode ser vantajoso pelo fato dos dados estarem disponíveis mais facilmente, em comparação com dados de duração de molhamento foliar, causados por orvalho por exemplo, que é mais difícil de se obter de forma precisa no campo. Os modelos empíricos de precipitação têm um papel importante na previsão de risco (DEL PONTE et al., 2006b).

Um dos problemas em relação aos modelos empíricos que levam em conta apenas as condições ambientais favoráveis à epidemia é que o nível de risco poderá ser considerado elevado, e o inóculo estar ausente. No entanto, uma validação adicional de tais modelos irá demonstrar a utilidade dos sistemas de previsão ao nível do campo para as regiões onde o inoculo não é limitante (DEL PONTE et al., 2006a).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCAL

O experimento foi conduzido na safra agrícola 2014/2015, nas dependências da estação experimental do Instituto Phytus, em Itaara-RS, latitude 29°59'29" S, longitude 53°82'29" O e altitude de 440 metros. A área de cultivo está inserida na região fisiográfica do Planalto Médio, mais precisamente na serra de São Martinho, onde solo é classificado como Neossolo Litólico Eutrófico típico e a classificação climática é do tipo Cfa (Köppen), caracterizada pela ocorrência de precipitações entre 1.700 e 1.800 milímetros anuais bem distribuídos em todos os meses e por possuir a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio entre 18 e 3°C (STRECK et al., 2002; MORENO, 1961).

3.2 IMPLANTAÇÃO E MANEJO DA CULTURA

A cultivar utilizada no ensaio foi a DM 6563 RSF IPRO (Intacta), que possui alto potencial produtivo, precocidade, hábito de crescimento indeterminado, ciclo de maturação 6.3, porte médio e resistência ao acamamento. A semeadora utilizada foi Semeato SHM 11/13 com espaçamento entre linhas de 0,5 m, em sistema de semeadura direta, utilizando 200 kg/ha de fertilizante NPK 05-20-20. A densidade de semeadura utilizada foi de 16 sementes/m linear, resultando em uma população final de 270.000 plantas/ha em média.

As sementes foram previamente tratadas com Imidacloprido (150 g/L) + Tiodicarbe (450 g/L) em 500 ml/100 Kg de sementes, e Carbendazin (500 g/L) na dose de 200 ml/100 Kg de sementes e homogeneizadas utilizando um tambor rotativo com eixo excêntrico. Além disso, instantes antes da semeadura, foi realizado a inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (150 mL/50Kgde semente).

O manejo de pragas e plantas daninhas, e todas práticas necessárias para proteção da cultura, foram realizadas conforme as recomendações técnicas da Comissão de Pesquisa da Soja da Região Sul, com exceção da aplicação de fungicidas. Para acompanhamento do desenvolvimento da soja durante todo o ciclo, foi utilizada a escala fenológica proposta por Yorinori et al. (1996), adaptada de Ritchie et al. (1982) (ANEXO A).

3.3 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram realizadas quatro épocas de semeadura (Tabela 1), sendo que cada época foi analisada como um experimento, ambos em delineamento experimental em blocos ao acaso, cada um com sete tratamentos e quatro repetições (blocos). Os tratamentos estão descritos na tabela 2 e na tabela 3 e 4 há a descrição do esquema de aplicação dos tratamentos T3 e T4 respectivamente.

Cada unidade experimental foi constituída por cinco fileiras, com 5,0 m de comprimento e 2,5 m de largura, equivalente a uma área de 12,5 m². Com o intuito de minimizar a influência entre parcelas, a área útil, considerada nas avaliações, foi de 6m² composta pelas três linhas principais de soja, excluindo-se 50 cm de cada extremidade.

Tabela 1 - Datas de semeadura e emergência para cada época (experimento)

	Data de semeadura	Data da emergência
1º ÉPOCA (Experimento 1)	10/11/2014	20/11/2014
2º ÉPOCA (Experimento 2)	21/11/2014	29/11/2014
3º ÉPOCA (Experimento 3)	04/12/2014	12/12/2014
4º ÉPOCA (Experimento 4)	16/12/2014	22/12/2014

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos

TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
T1	Testemunha sem aplicação
T2	Aplicação com base no algoritmo
T3	Aplicação baseada em DAE
T4	Aplicação baseada em estágio fenológico
T5	Aplicação com base no algoritmo com sete dias de atraso
T6	Aplicação baseada em DAE com sete dias de atraso
T7	Aplicação baseada em estágio fenológico com sete dias de atraso

Tabela 3 - Esquema de aplicação para o tratamento com programa de controle calendarizado

Experimento	1º aplic.	2º aplic.	Aplicações subsequentes
DAE*			
1º ÉPOCA	25	45	A cada 15 dias
2º ÉPOCA	23	43	A cada 15 dias
3º ÉPOCA	21	41	A cada 15 dias
4º ÉPOCA	19	34	A cada 15 dias

*Dias após a emergência

Tabela 4 - Esquema de aplicação para tratamento baseado nos estádios fenológicos da soja

Experimento	1º aplic.	2º aplic.	Aplicações subsequentes
1º ÉPOCA	V6	R1	A cada 15 dias
2º ÉPOCA	V6	R1	A cada 15 dias
3º ÉPOCA	V5	R1	A cada 15 dias
4º ÉPOCA	V5	R1	A cada 15 dias

3.4 APLICAÇÃO DE FUNGICIDAS

Para aplicação dos fungicidas foi utilizado um pulverizador pressurizado por CO₂, com quatro pontas de pulverização do tipo leque duplo (TJ60 110 02), espaçamento de 0,50 m utilizando pressão de trabalho de 30 psi e aplicando um volume de calda de 150 L.ha⁻¹. Os fungicidas aplicados de forma intercalada, foram trifloxistrobina (60 g i.a ha⁻¹) + protioconazol (70 g i.a ha⁻¹) e trifloxistrobina (60 g i.a ha⁻¹) + ciproconazol (70 g i.a ha⁻¹), ambos aplicados com adjuvante a base de óleo metilado de soja a 0,25% v/v.

3.5 OBSERVAÇÕES METEOROLÓGICAS

Os dados meteorológicos foram coletados por uma estação meteorológica de observação de superfície automática, composta de uma unidade de memória central chamada de data logger, ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos, que geram informações sobre pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, entre outros, sendo os dados observados diariamente.

3.6 DESCRIÇÃO DO ALGORITMO

O algoritmo elaborado foi baseado em modelos empíricos onde utilizam-se as relações de diferentes variáveis ambientais e o surgimento da doença, baseado em dados experimentais obtidos a campo. O modelo utiliza a combinação de dados de precipitação acumulada, temperatura, épocas de semeadura, estágio fenológico da cultura e local. As classes e variáveis independentes utilizadas estão descritas na tabela 5.

A utilização de épocas de semeadura foi incluída para representar o risco da presença do inóculo, que aumenta com o atraso da época de semeadura, considerando a dificuldade em determinar a presença do inóculo em modelos de previsão. Para representar as diferentes épocas utilizamos a data de emergência da cultura, que compreende o período de 15/09 a 15/03, tendo em vista a utilização do algoritmo em estados do país que realizam semeadura de soja tardiamente.

Para cada uma das combinações de clima, e demais variáveis, foram atribuídos coeficientes. Cada um destes coeficientes foi estimado através de análises exploratórias e atribuições puramente empíricas, porém baseadas em dados experimentais ou observações de campo.

Aos resultados da combinação destes coeficientes, foram atribuídas classes de risco, descritas como baixo, baixo/médio, médio, médio/alto e alto. As aplicações de fungicidas ocorreram a partir da indicação de risco médio/alto de ocorrência de ferrugem asiática, por parte do algoritmo, observando-se o intervalo mínimo de 12 dias entre aplicações. A indicação de aplicação no nível médio/alto foi determinada devido este nível, em condições de semeadura no cedo, com dossel da cultura mais fechado,

ocorrer quando temos temperaturas amenas, entre 15° e 20°C e precipitação acumulada de mais de 10mm, o que determinamos ser propício para o início da epidemia de ferrugem. Com o atraso na época de semeadura este nível ocorre em estádios mais jovens quando temos precipitação acumulada mais elevada.

Para obtenção dos valores de precipitação e temperatura, foram utilizados dados dos valores acumulados em intervalos de sete dias anteriores a observação. Diariamente, foram realizadas observações e cálculo das variáveis dos sete dias anteriores, determinando em qual a classe de risco aquele dia se encontrava e a necessidade da aplicação do fungicida. Foi escolhido o período de sete dias, por se tratar de um período médio de latência do fungo. Dados da literatura relatam períodos de latência de 5 a 12 dias (MARCHETTI et al., 1976; BROMFIELD et al., 1980; BALARDIN et al., 2005; ZAMBENEDETTI et al., 2007; RUPE E SCONYERS, 2008; GOELLNER et al., 2010).

Tabela 5 - Descrição das variáveis utilizadas no algoritmo

Variáveis	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Precipitação Acumulada	0-10mm	11-20mm	21-30mm	>de 30mm
Temperatura Mínima	15°C a 20°C	21°C a 25° C		
Data de emergência	15/09 a 15/03			
Estádio Fenológico	V1 a R6			

3.6.1 Especificações das variáveis dependentes

As variáveis dependentes neste estudo são a aparecimento da doença, chamada aqui de data da primeira pústula, e a severidade final da doença.

3.6.2 Especificações das variáveis independentes

As variáveis independentes são aquelas utilizadas para explicar a variável dependente, como o objetivo geral deste trabalho foi aferir um algoritmo de previsão de risco de doença, se fez necessário avaliar o quanto as variáveis do clima utilizadas no algoritmo influenciam a ocorrência da doença e quanto se correlacionam com a

mesma, portanto foi necessário analisar as características que precederam a infecção na planta.

Práticas comuns na agricultura são combinar, acumular ou fazer a média de medidas meteorológicas em períodos específicos que precedem o evento que se está estudando, a fim de relacioná-los com o evento (MEGETO, 2012).

Além disso as variáveis meteorológicas avaliadas devem compreender períodos pré-determinados anteriores a data da infecção. A partir disto foram escolhidos os seguintes períodos: 5, 7, 10 e 14 dias como período antes do aparecimento da primeira pústula. E para análise de correlação com a severidade final foi compreendido o período de 30 dias após a observação visual do primeiro sintoma da doença.

Assim, foram desenvolvidos atributos relacionados à temperatura e precipitação em períodos anteriores à ocorrência da doença. O total de onze atributos meteorológicos foram definidos para cada conjunto de dias antes do aparecimento da primeira pústula, totalizando um conjunto de quarenta e quatro atributos conforme descrito na tabela 6.

Tabela 6 - Descrição dos atributos relacionados as variáveis meteorológicas

(continua)

Atributos	Descrição
[P.ac;5d]	Precipitação acumulada em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula (mm)
[P. ac;10d]	Precipitação acumulada em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula (mm)
[P.ac;7d]	Precipitação acumulada em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula (mm)
[P.ac;14d]	Precipitação acumulada em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula (mm)
[Nd.sem.prec;5d]	Número de dias sem precipitação em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[Nd.sem.prec;7d]	Número de dias sem precipitação em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[Nd.sem.prec;10d]	Número de dias sem precipitação em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula

Tabela 6 - Descrição dos atributos relacionados as variáveis meteorológicas

(continuação)

[Nd.sem.prec;14d]	Número de dias sem precipitação em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;1-10;5d]	Número de dias com precipitação entre 1 e 10 mm em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;1-10;7d]	Número de dias com precipitação entre 1 e 10 mm em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;1-10;10d]	Número de dias com precipitação entre 1 e 10 mm em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;1-10;14d]	Número de dias com precipitação entre 1 e 10 mm em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;0-10;5d]	Número de dias com precipitação entre 0 e 10 mm em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;0-10;7d]	Número de dias com precipitação entre 0 e 10 mm em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;0-10;10d]	Número de dias com precipitação entre 0 e 10 mm em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;0-10;14d]	Número de dias com precipitação entre 0 e 10 mm em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;11-20;5d]	Número de dias com precipitação entre 11 e 20 mm em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;11-20;7d]	Número de dias com precipitação entre 11 e 20 mm em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;11-20;10d]	Número de dias com precipitação entre 11 e 20 mm em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;11-20;14d]	Número de dias com precipitação entre 11 e 20 mm em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;21-30;5d]	Número de dias com precipitação entre 21 e 30 mm em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;21-30;7d]	Número de dias com precipitação entre 21 e 30 mm em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;21-30;10d]	Número de dias com precipitação entre 21 e 30 mm em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;21-30;14d]	Número de dias com precipitação entre 21 e 30 mm em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;>30;5d]	Número de dias com precipitação maior que 30 mm em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula

Tabela 6 - Descrição dos atributos relacionados as variáveis meteorológicas

(conclusão)

[NdPrec;>30;7d]	Número de dias com precipitação maior que 30 mm em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;>30;10d]	Número de dias com precipitação maior que 30 mm em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdPrec;>30;14d]	Número de dias com precipitação maior que 30 mm em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[Tmed;5d]	Temperatura média em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula (°C)
[Tmed;10d]	Temperatura média em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula (°C)
[Tmed;7d]	Temperatura média em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula (°C)
[Tmed;14d]	Temperatura média em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula (°C)
[NdTmin;15-20;5d]	Número de dias com temperatura mínima entre 15°C e 20°C em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdTmin;15-20;7d]	Número de dias com temperatura mínima entre 15°C e 20°C em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdTmin;15-20;10d]	Número de dias com temperatura mínima entre 15°C e 20°C em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdTmin;15-20;14d]	Número de dias com temperatura mínima entre 15°C e 20°C em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdTmin;21-25;5d]	Número de dias com temperatura mínima entre 21°C e 25°C em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdTmin;21-25;7d]	Número de dias com temperatura mínima entre 21°C e 25°C em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdTmin;21-25;10d]	Número de dias com temperatura mínima entre 21°C e 25°C em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[NdTmin;21-25;14d]	Número de dias com temperatura mínima entre 21°C e 25°C em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[URmed;5d]	Umidade relativa média em 5 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[URmed;7d]	Umidade relativa média em 7 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[URmed;10d]	Umidade relativa média em 10 dias antes do aparecimento da primeira pústula
[URmed;14d]	Umidade relativa média em 14 dias antes do aparecimento da primeira pústula

3.7 PARÂMETROS AVALIADOS

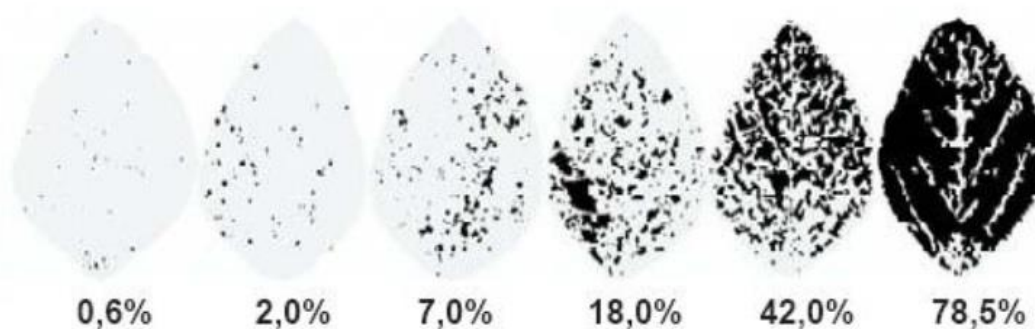
3.7.1 Primeira ocorrência visual da doença

A cada dois dias foram feitas avaliações para identificar a ocorrência do primeiro sintoma visível da doença. Esta avaliação foi realizada na área útil da parcela experimental, onde foram observadas todas as plantas, com um auxílio de uma lupa de 48x de aumento. Quando o primeiro sintoma foi encontrado, a planta foi identificada com uma estaca de cor vermelha, para que a mesma fosse visualizada nas avaliações de severidade subsequentes.

3.7.2 Severidade da ferrugem asiática

A ocorrência de *Phakopsora pachyrhizi* ocorreu de forma natural em toda a área do experimento e, para as leituras de severidade foi utilizada a escala proposta por Godoy et al. (2006) (Figura 1).

Figura 1 - Escala Diagramática para avaliação de ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)



Fonte: (Godoy et al., 2006)

Esta leitura foi realizada na planta previamente marcada na avaliação de aparecimento de primeira pústula, semanalmente, até o encerramento do ciclo da cultura. A planta foi dividida em três estratos, chamados de terço inferior, médio e

superior, para que se tivesse uma média de severidade mais precisa, sendo que cada terço era composto por cinco trifólios contados de um a quinze de baixo para cima na planta. No terço inferior foram consideradas os trifólios de um a cinco, terço médio de seis a dez e terço superior de onze a quinze. Ao final de cada avaliação semanal foi feita uma média das notas dadas em cada folha para que se tivesse a severidade da parcela.

3.7.3 Taxa de Progresso (r) e Área Abaixo da Curva de Progresso da doença (AACPD)

A taxa de progresso da doença (r) foi calculada com base no modelo logístico descrito por CAMPBELL e MADDEN, 1990:

$$r = (1/t) \ln (X/X_0)$$

Sendo:

r = taxa de progresso;

t = tempo decorrente entre a primeira e a última avaliação (dias);

ln = logaritmo natural;

X = severidade da doença na última avaliação (%);

X₀ = severidade da doença na primeira avaliação (%).

O cálculo da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), Segundo Campbell e Madden (1990), permite uma avaliação mais estável da doença sendo menos afetado por variações ambientais e pelo tempo de análise. O cálculo se dá pela seguinte fórmula:

$$AACPD = \sum_{i=1}^n [(Y_{i+1} + Y_i) \times 0,5] \times (T_{i+1} - T_i)$$

Sendo:

Y_i: severidade da doença na época de avaliação i (i= 1..., n);

Y_{i+1}: severidade da doença na época de avaliação i + 1;

T_i: momento da avaliação inicial (i);

T_{i+1}: momento da próxima avaliação (i + 1);

n = nº de avaliações;

3.7.4 Produtividade da soja

Após o período de maturação, as plantas da área útil da unidade experimental foram colhidas com auxílio de uma colhedora de parcelas. Após a colheita, as amostras foram pesadas em balança de precisão e a umidade foi determinada através de um medidor de umidade de grãos, de bancada, marca Gehaka, modelo G-939STD. Para o cálculo da produtividade final em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a umidade foi corrigida para um teor de 13%.

3.7.5 Massa de mil grãos

A determinação da massa de mil grãos foi realizada através de um contador eletrônico digital, onde foram contadas 3 sub-amostras de cem grãos, de cada parcela, e posteriormente realizou-se a pesagem em uma balança com precisão de centésimos de grama. Após, a massa de cem grãos foi extrapolada para obtenção da massa de mil grãos, com a correção da umidade para 13%.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

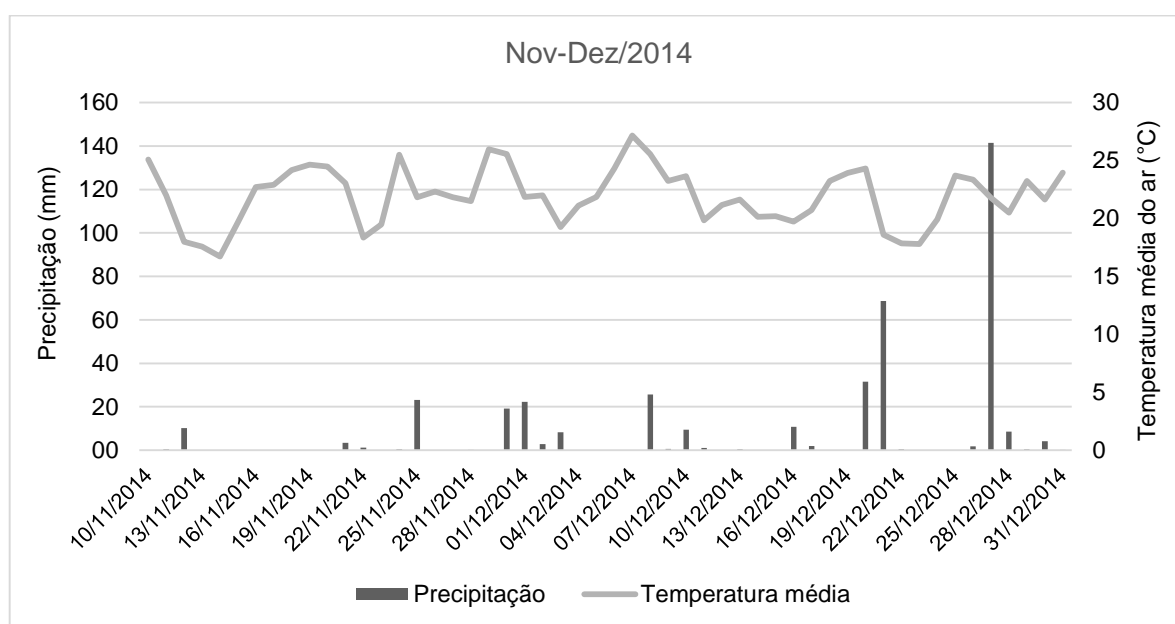
Os resultados obtidos, de AACPD e produtividade, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey para a comparação múltipla de médias com 1 e 5% de probabilidade. Foi utilizada a análise de correlação de Pearson para identificar as variáveis associadas ao aparecimento da primeira pústula e a severidade final da ferrugem asiática. As análises foram realizadas através do software Assistat, versão 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O início da safra 2014/15 foi caracterizada por chuvas acima da média no RS pela influência do fenômeno *El niño*. No mês de dezembro de 2014 (Figura 2) as precipitações ficaram acima da normal climatológica em todo estado, principalmente no último decêndio do mês, quando foi medido em Itaara um acumulado de 257,2 mm de precipitação e uma média da temperatura do ar de 21,8°C. No mês de janeiro de 2015 (Figura 3) as precipitações variaram entre normal a acima da média climatológica em praticamente todo o estado, em Itaara tivemos um acumulado de 172,2 mm na primeira quinzena do mês e a média de temperatura do mês de 22,6°C.

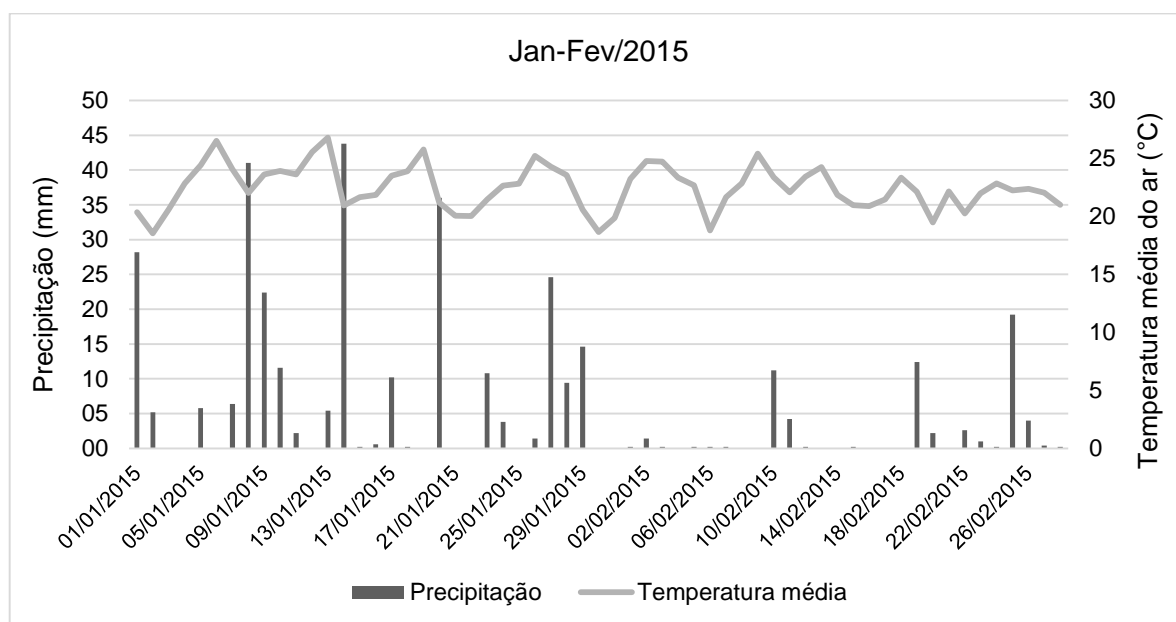
A soma das precipitações de vinte de dezembro a quinze de janeiro totalizou 429,4 mm, o que foi determinante para o surgimento do primeiro foco de ferrugem asiática no experimento, sendo o mesmo encontrado no dia dez de janeiro de 2015. Durante o mês de fevereiro as precipitações ficaram abaixo da média climatológica em praticamente todo o Rio Grande do Sul, totalizando 60,4 mm no município de Itaara e temperatura média de 22,3°C. O mesmo ocorreu no mês de março com um total de 144,8 mm e temperatura média de 21,5°C (Figura 4).

Figura 2 - Dados de precipitação e temperatura média do ar dos meses de novembro e dezembro. Itaara, 2014



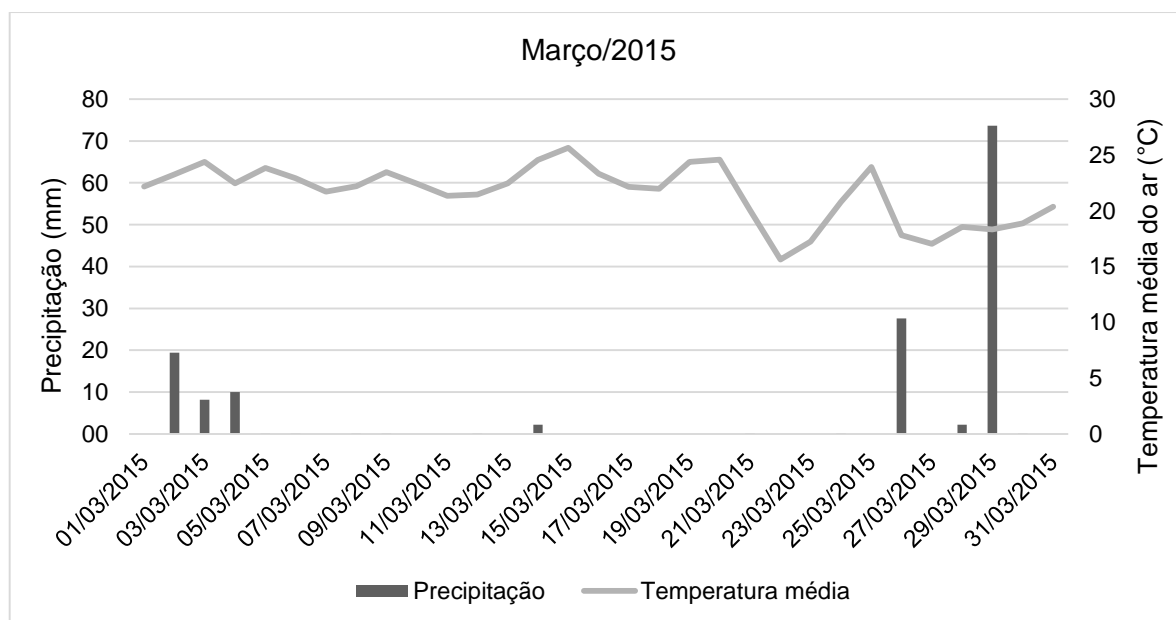
Fonte: (LERNER, 2016)

Figura 3 - Dados de precipitação e temperatura dos meses de janeiro e fevereiro. Itaara, 2015



Fonte: (LERNER, 2016)

Figura 4 - Dados de precipitação e temperatura do mês de março, Itaara, 2015



Fonte: (LERNER, 2016)

4.1 AACPD, TAXA DE PROGRESSO, PRODUTIVIDADE E MASSA DE MIL GRÃOS

Conforme descrito anteriormente, cada época de semeadura foi submetida a análise estatística como um experimento isolado e na tabela 7, temos os resultados obtidos de AACPD e suas análises de variância para cada época. Observando os valores de AACPD das parcelas testemunhas em ambas as épocas, podemos perceber que houve ocorrência de *Phakopsora pachyrhizi*, em níveis elevados, e houve controle do patógeno por parte de todos os tratamentos, estes com níveis bem mais baixos de AACPD.

O surgimento do primeiro sintoma da doença na primeira época de semeadura ocorreu no estágio R1, quando as plantas estavam com 51 dias após a emergência. Esta tendência foi inversamente proporcional ao avanço das épocas de semeadura, tendo seu aparecimento antecipado em épocas tardias, sendo que na quarta época a doença se manifestou no estágio vegetativo V6 com apenas 35 dias após a emergência (Tabela 8).

O mesmo foi observado por Cruz et al. (2012), em ensaio avaliando a ocorrência de ferrugem asiática da soja com diferentes cultivares, em diferentes épocas e em duas safras, no Oeste da Bahia. Os autores observaram que os estádios fenológicos em que a epidemia teve início variaram entre as safras, entre as épocas de semeadura e entre as cultivares. Onde na primeira época de semeadura, das safras 2007/08 o aparecimento da doença ocorreu em torno dos 90 DAE, correspondendo ao estágio R5.2 e R5.5 das cultivares e na terceira época a epidemia teve início aos 65 DAE correspondendo entre os estádios R4 e R5.1 das cultivares. Já na safra 2008/09 ocorreram maiores incidências de chuvas e os estádios de ocorrência dos sintomas foram antecipados, em média, para 65 DAE nas primeiras épocas e para 35 DAE em época tardia.

Quanto a AACPD da doença, na primeira época de semeadura houve diferença significativa apenas para a testemunha. Entretanto, mesmo sem diferença estatística, o tratamento baseado em estágio fenológico (T4) foi o que apresentou maior AACPD, e os tratamentos realizados com atraso se mostraram melhores do que os realizados na época correta.

Na segunda época, houve diferença estatística, sendo a testemunha o pior tratamento, seguido do tratamento baseado em estágio fenológico com atraso (T7). Nesta época o conjunto de tratamentos realizados na época correta obteve melhores

resultados. Na terceira época também houve diferença significativa apenas para a testemunha, embora o tratamento baseado em dias após a emergência (T3) obteve maior AACPD. Neste caso os tratamentos com atraso também se mostraram melhores.

Já na quarta época houve diferença significativa, sendo a testemunha o pior tratamento, seguido do tratamento baseado em DAE (T3), que não diferiu dos tratamentos (T4) baseado em estádio, (T5) aplicação com sete dias de atraso do recomendado pelo algoritmo e (T7) aplicação baseada em estádio fenológico com sete dias de atraso. Os melhores tratamentos foram o (T2) aplicação de acordo com o recomendado no algoritmo e o (T5) DAE com atraso, sendo que os mesmos não diferiram do tratamento baseado em estádio, do algoritmo com atraso e do estádio com atraso.

Foi verificado aumento na severidade e conseqüente aumento do índice que expressa a área abaixo da curva de progresso da doença, nas testemunhas, conforme o atraso das épocas de semeadura, de 875,01 de AACPD na 1^o época para 1282,87 de AACPD na 3^o época. Na 4^o época houve uma pequena redução da AACPD em comparação a 3^o época. Este aumento de severidade, com o atraso da semeadura, foi semelhante ao observado nos trabalhos de Cruz et al, (2012), nas duas safras agrícolas do estudo e de Hikishima et al. (2010), que observaram severidade mais alta na época mais tardia de semeadura.

A taxa de progresso (r) mostrou diferenças significativas em todas épocas de semeadura (Tabela 9). Na primeira época os melhores tratamentos foram o (T2) indicado pelo algoritmo, (T6) dias após a emergência com atraso e (T7) estádio fenológico com atraso, com taxas de 0,37, 0,45 e 0,44 respectivamente. A maior taxa de progresso, depois da testemunha, foi encontrada no tratamento (T3) em dias após a emergência com 0,78.

Na segunda época de semeadura, o tratamento (T3) em dias após a emergência, embora não tenha diferenciado dos demais tratamentos, apresentou a maior taxa de progresso, também não diferenciando da testemunha. Nas terceira e quarta épocas o (T3) também apresentou as maiores taxas, sendo de 0,63 e 0,43 respectivamente.

Em relação a terceira época o melhor tratamento é o (T7) baseado em estádio com atraso e o pior o (T3) em dias após a emergência, sendo que os demais não

diferiram entre si. Na quarta época de semeadura os melhores tratamentos são os realizados com atraso, não diferindo entre si, mas com destaque para a menor taxa do tratamento (T5) baseado no algoritmo com atraso.

Tabela 7 - Dados da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) para cada época de semeadura.

TRAT**	1º ÉPOCA		2º ÉPOCA		3º ÉPOCA		4º ÉPOCA	
1	875,01	b*	1142,4	c*	1282,87	b*	1152,40	c*
2	40,11	a	43,50	a	42,31	a	23,03	a
3	43,48	a	36,22	a	68,47	a	45,75	b
4	64,19	a	40,25	a	47,74	a	27,43	ab
5	29,41	a	47,00	a	51,77	a	27,54	ab
6	30,21	a	41,44	a	33,48	a	24,43	a
7	36,71	a	93,21	b	49,92	a	29,46	ab
CV (%)	47,68		52,06		33,44		30,83	

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

** (T1) Testemunha; (T2) Indicação do algoritmo; (T3) Dias após a emergência; (T4) Estádio fenológico; (T5) Algoritmo com sete dias de atraso; (T6) Dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) Estádio fenológico com atraso.

Tabela 8 - Informações referentes ao aparecimento da primeira pústula em cada época de semeadura.

	1º ÉPOCA	2º ÉPOCA	3º ÉPOCA	4º ÉPOCA
Emergência	20/11/2014	29/11/2014	12/12/2014	22/12/2014
1º Pústula	10/01/2015	17/01/2015	21/01/2015	26/01/2015
Estádio	R1	Vn	V7	V6
DAE*	51	49	40	35

*Dias após a emergência

Tabela 9 - Taxa de progresso (r) da ferrugem asiática da soja para cada época de semeadura.

TRAT**	1º ÉPOCA		2º ÉPOCA		3º ÉPOCA		4º ÉPOCA	
1	0,83	c*	0,69	b*	0,51	ab*	0,51	c*
2	0,37	a	0,30	a	0,33	ab	0,39	bc
3	0,78	bc	0,49	ab	0,63	b	0,43	bc
4	0,55	ab	0,43	a	0,42	ab	0,39	bc
5	0,59	abc	0,41	a	0,47	ab	0,15	a
6	0,45	a	0,44	a	0,44	ab	0,21	ab
7	0,44	a	0,39	a	0,31	a	0,37	abc
CV (%)	18,94		22,6		28,63		26,73	

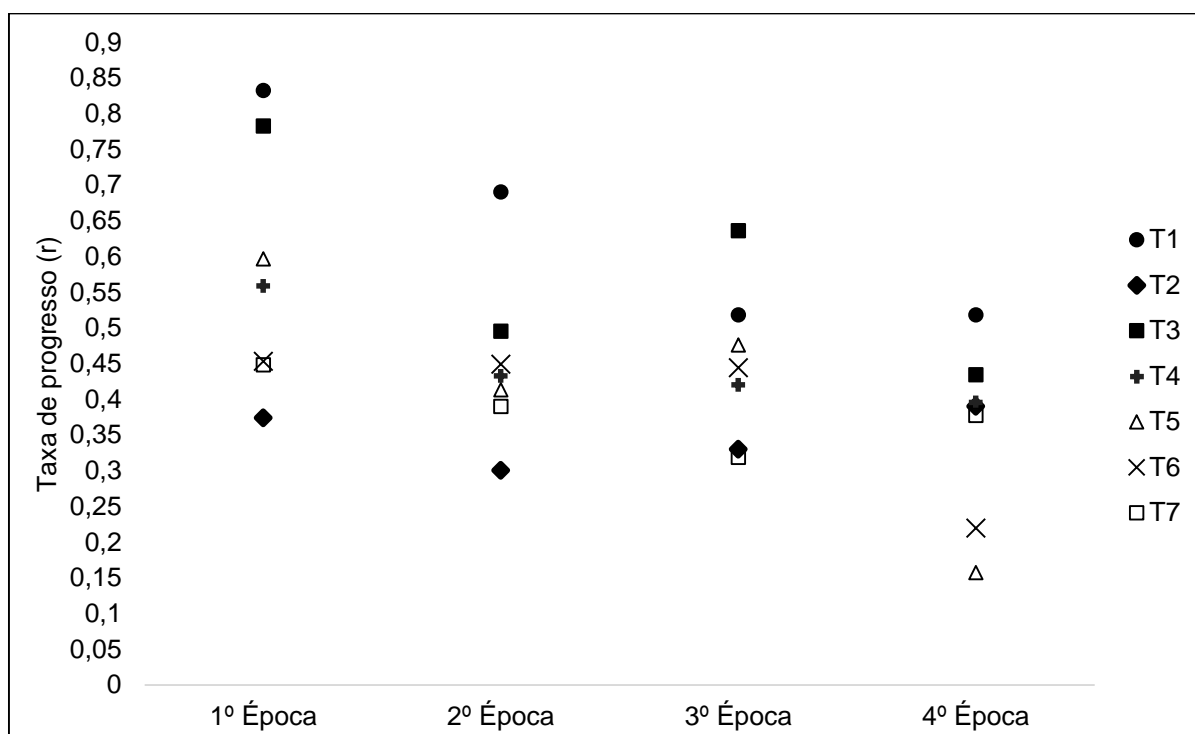
* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

** (T1) Testemunha; (T2) Indicação do algoritmo; (T3) Dias após a emergência; (T4) Estádio fenológico; (T5) Algoritmo com sete dias de atraso; (T6) Dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) Estádio fenológico com atraso.

Na figura 5 é observado que a taxa de progresso da doença foi maior na primeira época de semeadura para todos os tratamentos e isto pode ser explicado pela elevada quantidade de precipitação no mês de janeiro, quando a ferrugem já estava instalada nesta época de semeadura. Valores menores de taxa de progresso para as épocas subsequentes são atribuídos ao período de redução de chuvas na área experimental.

Tsukahara et al. (2008), em estudo avaliando a relação do clima com o progresso da ferrugem em duas micro-regiões do Paraná encontraram relação da maior precipitação com maiores taxas de progresso, observaram que na região de Arapoti a taxa aparente de infecção (r) da doença (0,18) foi superior à observada em Castro (0,12) devido aos maiores valores de precipitação registrados em Arapoti naquele período. Resultados semelhantes foram encontrados por Del Ponte et al. (2006b) onde encontraram alta correlação da precipitação (95%) com a severidade final da doença. Tchanz (1982), em estudo realizado em Taiwan sugeriu que a chuva possui efeito direto no desenvolvimento da doença por ter papel importante na dispersão do inóculo, fazendo com que a epidemia se desenvolva rapidamente.

Figura 5 - Representação gráfica da taxa de progresso (r) para cada tratamento e épocas de semeadura



Fonte: (LERNER, 2016)

*(T1) Testemunha; (T2) Indicação do algoritmo; (T3) Dias após a emergência; (T4) Estádio fenológico; (T5) Algoritmo com sete dias de atraso; (T6) Dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) Estádio fenológico com atraso.

De acordo com a tabela 10, quando compara-se as parcelas com e sem controle da doença, em todas as épocas, a ferrugem asiática reduziu cerca de 2000 Kg/ha na produtividade. Entre os tratamentos com controle da doença houve uma redução significativa na média de produtividade da 1ª época em relação a 4ª época, sendo de 3751,55 Kg/ha e 2625,55 kg/ha respectivamente, o que gera uma redução de 1126,11 Kg/ha entre as épocas.

Semelhante redução foi encontrada por Carneiro (2007), onde da 1ª para a 3ª época de semeadura, de final de outubro a meados de dezembro da safra 2005/06, houve redução de 1077,00 Kg/ha em parcelas tratadas, em ensaio com diversas cultivares com o objetivo de avaliar a resistência parcial e a tolerância à ferrugem asiática. Segundo o autor o atraso na semeadura faz com que a variação do fotoperíodo reduza o ciclo da cultura e, conseqüentemente, o potencial produtivo.

Cruz et al. (2012) também observaram redução na produtividade entre épocas de semeadura, sendo as maiores reduções observadas na época mais tardia. Os autores atribuem este resultado ao fato das cultivares nesta época ficarem expostas a maior pressão de inóculo da doença.

Na primeira época de semeadura, os melhores tratamentos foram os realizados com atraso, semelhante ao ocorrido nos dados de AACPD, embora não tenham diferido estatisticamente do tratamento (T2) algoritmo e (T3) dias após a emergência. O tratamento que menos produziu, depois da testemunha, foi o (T4) programa realizado de acordo com estágio fenológico da cultura.

Na segunda época os melhores tratamentos foram o (T2) manejo do algoritmo e (T6) DAE com atraso, e o tratamento que obteve uma menor produtividade foi o (T7) estágio fenológico realizado com atraso. Na terceira época o melhor tratamento foi o em (T6) DAE realizado com atraso e o pior o (T3) em dias após a emergência correto, sendo que os demais tratamentos não diferiram entre si. O mesmo ocorreu na quarta época de semeadura.

Podemos observar que na quarta época de semeadura ocorreram as menores produtividades em todos os tratamentos, comparados com as outras épocas, mas também ocorreram os menores níveis de AACPD. A média geral da massa de mil grãos (Tabela 11) de todos os tratamentos, incluindo a testemunha, também foi menor na época mais tardia, sendo de 169,08 g na 1^o época, 174,05 g na 2^o, 170,48 g na 3^o, e de 162,92 g na 4^o época.

Este fato pode ser explicado pela queda natural de folhas, ser mais precoce na época mais tardia. Segundo Ribeiro e Costa (2000), a desfolha antecipada na cultura da soja causa redução na produtividade, por interferir em processos fisiológicos, e pode resultar em menores produtividades, devido ao menor número de legumes normais, menor número de sementes por legume e menor massa do grão de soja.

Outro fator a ser atribuído, é o fato da chegada do inóculo em estágio mais jovem na quarta época de semeadura. Carneiro (2007), observou que severidades inferiores em uma época mais tardia levaram a maiores danos e perdas, em função da primeira ocorrência da doença ser em estágio antecipado na planta, levando-o a afirmar que o estágio fenológico de estabelecimento da doença tem importante papel na redução de produtividade.

A massa de mil grãos diferenciou apenas a testemunha dos tratamentos, não evidenciando diferença dos programas de controle.

Tabela 10 - Produtividade da soja (Kg/ha) para cada época de semeadura

TRAT**	1º ÉPOCA		2º ÉPOCA		3º ÉPOCA		4º ÉPOCA	
1	1454,88	c*	1407,63	c*	1355,60	c*	744,59	c*
2	3645,85	ab	3501,66	a	3809,69	ab	2460,42	ab
3	3755,63	ab	3217,54	ab	3271,69	b	2175,42	b
4	3264,87	b	3417,49	ab	3556,01	ab	2592,12	ab
5	3922,65	a	3260,71	ab	3531,18	ab	2707,56	ab
6	3990,33	a	3525,82	a	4194,05	a	3025,34	a
7	3930,66	a	2914,14	b	3682,73	ab	2792,44	ab
CV (%)	6,48		7,48		9,72		13,06	

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

** (T1) Testemunha; (T2) Indicação do algoritmo; (T3) Dias após a emergência; (T4) Estádio fenológico; (T5) Algoritmo com sete dias de atraso; (T6) Dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) Estádio fenológico com atraso.

Tabela 11 - Massa de mil grãos (PMG) para cada época de semeadura.

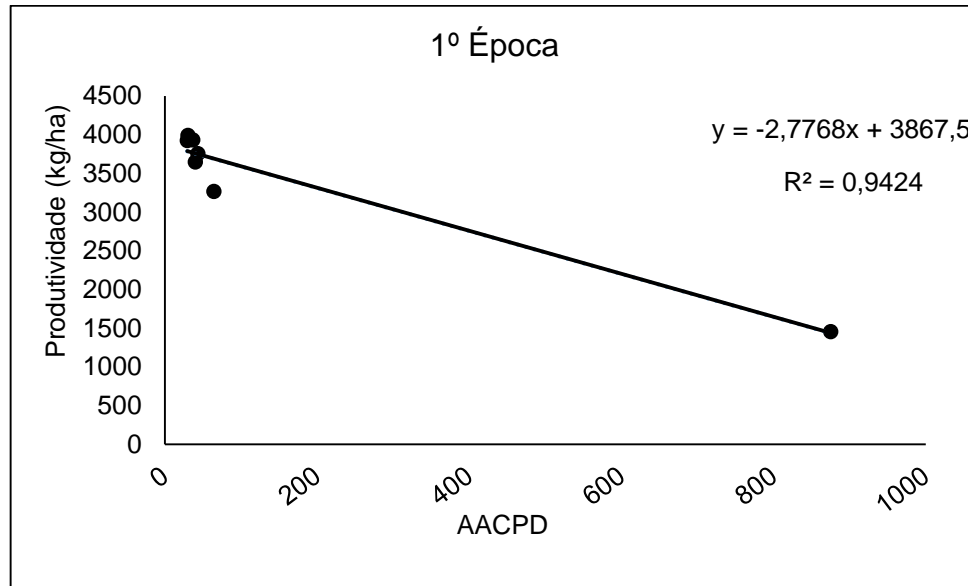
TRAT**	1º ÉPOCA		2º ÉPOCA		3º ÉPOCA		4º ÉPOCA	
1	130,03	b*	141,2	b*	140,38	b*	127,72	b*
2	170,46	a	184,68	a	183,62	a	174,19	a
3	162,58	ab	167,69	ab	171,37	a	162,34	a
4	179,55	a	181,28	a	177,92	a	174,56	a
5	176,73	a	183,8	a	173,89	a	164,99	a
6	175,96	a	178,62	a	17507	a	168,63	a
7	188,28	a	181,1	a	171,12	a	168,07	a
CV (%)	8,29		6,59		6,46		5,77	

* As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

** (T1) Testemunha; (T2) Indicação do algoritmo; (T3) Dias após a emergência; (T4) Estádio fenológico; (T5) Algoritmo com sete dias de atraso; (T6) Dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) Estádio fenológico com atraso.

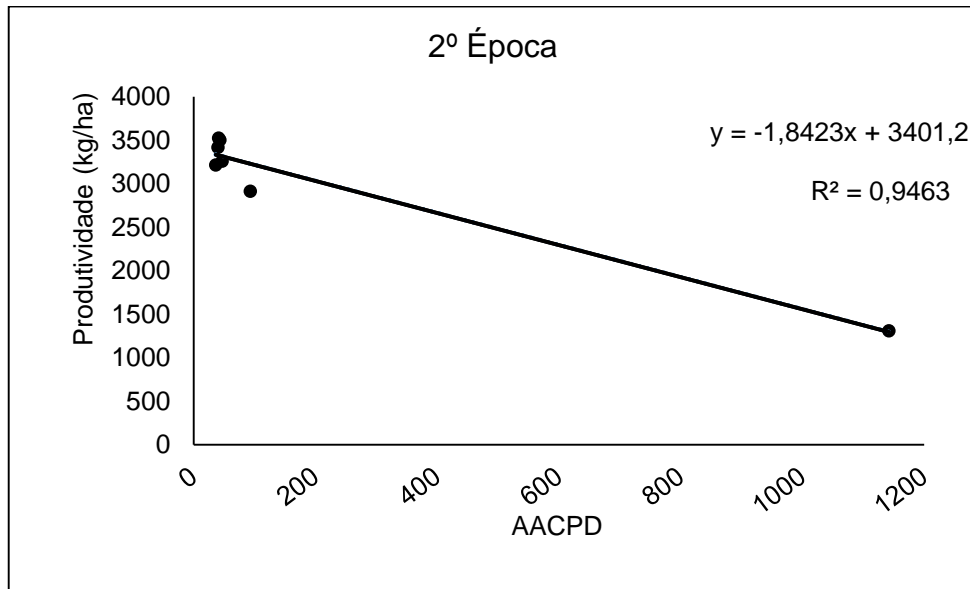
As relações entre a produtividade e a AACPD apresentaram comportamento linear inverso para todas as épocas de semeadura. Pelos elevados valores de R^2 as reduções das produtividades podem ser explicadas pelo aumento da severidade da doença e conseqüentemente da AACPD. Isto indica que a ferrugem asiática afetou fortemente e diretamente a produtividade da soja. Na primeira época de semeadura (Figura 6) para cada dez pontos de aumento da AACPD há uma redução de 27,77 Kg/ha na produtividade da soja, sendo esta, a perda mais elevada entre as quatro épocas de semeadura. Na segunda época (Figura 7) a redução para cada dez pontos de aumento da AACPD é de 18,42 Kg/ha, e nas terceira (Figura 8) e quarta épocas (Figura 9) há uma redução de 19,31 Kg/ha e 15,44 Kg/ha, respectivamente, para cada dez pontos de aumento da AACPD.

Figura 6 - Relações entre a área abaixo da curva de progresso da doença e a produtividade na primeira época de semeadura. Círculos pretos representam os valores médios observados em cada tratamento



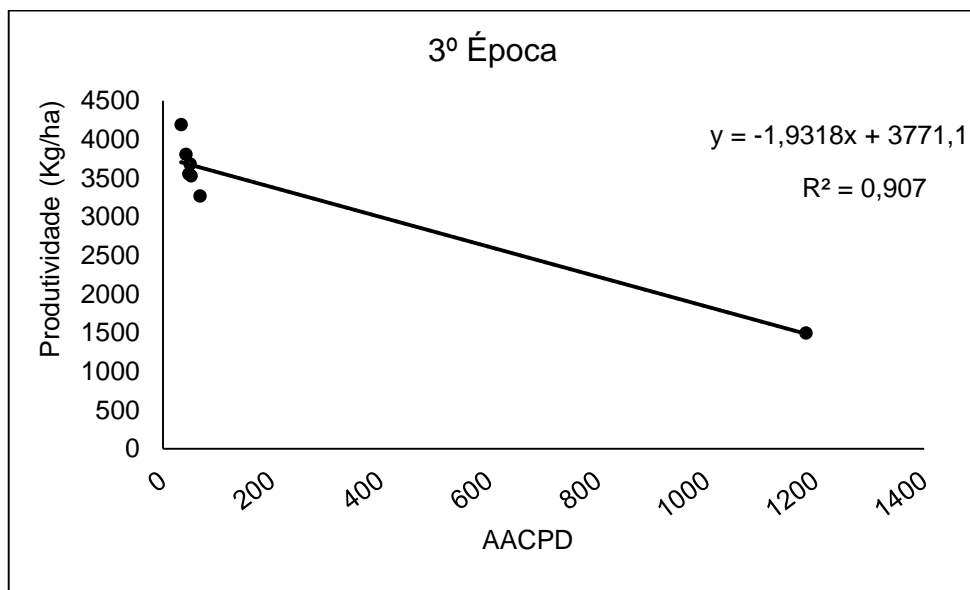
Fonte: (LERNER, 2016)

Figura 7 - Relações entre a área abaixo da curva de progresso da doença e a produtividade na segunda época de semeadura. Círculos pretos representam os valores médios observados em cada tratamento



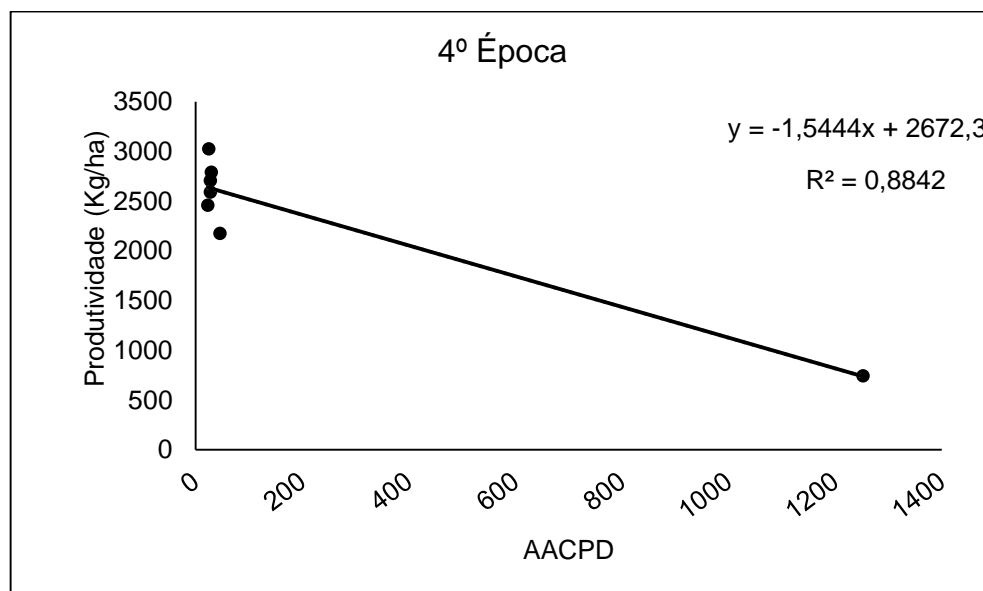
Fonte: (LERNER, 2016)

Figura 8 - Relações entre a área abaixo da curva de progresso da doença e a produtividade na terceira época de semeadura. Círculos pretos representam os valores médios observados em cada tratamento



Fonte: (LERNER, 2016)

Figura 9 - Relações entre a área abaixo da curva de progresso da doença e a produtividade na quarta época de semeadura. Círculos pretos representam os valores médios observados em cada tratamento



Fonte: (LERNER, 2016)

4.2 DESEMPENHO DO ALGORITMO

4.2.1 Experimento 1 - Primeira época de semeadura

Conforme tabela 12, os três tratamentos considerados da época correta, para a primeira época de semeadura realizada em 10/11/2014, já estavam na segunda aplicação de fungicida quando houve o aparecimento dos primeiros sintomas da doença em suas parcelas, o (T2) manejo do algoritmo, já estava a sete dias da segunda aplicação e o (T3) DAE e (T4) tratamento baseado em estágio estavam a quinze e três dias, respectivamente, da segunda aplicação. Isto indica que o residual da segunda aplicação atrasou o aparecimento da doença em 5 a 10 dias em relação a testemunha.

Embora tenha ocorrido este atraso de alguns dias no aparecimento dos primeiros sintomas, podemos considerar que a primeira aplicação perdeu praticamente todo seu residual sem a presença de doença no campo, ou sem as

condições ideais para que ela se manifestasse, o que gera uma aplicação em desperdício e nos atenta ao fato de que as aplicações foram realizadas muito cedo.

Os tratamentos (T3) DAE e (T4) estágio fenológico, foram aplicados 26 e 19 dias, respectivamente, antes do aparecimento da primeira pústula na área experimental, o que significa que as primeiras aplicações aos 25 DAE ou no estágio V6, que foram predefinições para as primeiras aplicações nestes tratamentos, em semeadura de meados de novembro foram posicionadas muito cedo.

As condições meteorológicas que levaram o algoritmo (T2) a indicar a primeira aplicação no dia 29/12/2014, quando o estágio das plantas se encontrava em Vn e a data de emergência 20/11/2014 foram um acumulado de precipitação, em sete dias, de 68,4 mm, e a média de temperatura mínima de 16,4°C, o que gerou um risco alto de ocorrência de ferrugem. Já as condições que ocorreram, sete dias antes da aplicação do tratamento do (T5) algoritmo com atraso, foram 38,2 mm de precipitação acumulada e 17,5°C de média de temperatura mínima, o que geraria também um nível de risco de alto.

Embora o nível de risco seja o mesmo, o (T5) algoritmo realizado com atraso, ficou melhor posicionado em relação ao aparecimento da primeira pústula, sendo cinco dias antes da primeira pústula da área experimental e sete dias antes do aparecimento na parcela, somente com uma aplicação. A AACPD deste tratamento foi de 29,41 comparado a 40,11 do (T2) e a produtividade foi de 3922,65 Kg/ha contra 3645,85 Kg/ha do algoritmo sem atraso (T2), uma diferença de 4,61 sc/ha. Esta diferença entre os tratamentos, com o mesmo nível de risco, pode ser atribuída a presença do inóculo, que não é mensurada no algoritmo e poderia não estar presente, ou presente em baixa quantidade quando a primeira aplicação foi realizada.

Os três tratamentos realizados com atraso obtiveram os menores níveis de doença e as maiores produtividades com somente uma aplicação antes do aparecimento da primeira pústula. Produziram, em média, 6,54 sc/ha a mais do que os tratamentos sem atraso.

Na construção do algoritmo o efeito cultivar não é considerado e, conforme relatado por Alves et al. (2006), um dos fatores, além das variáveis meteorológicas, que pode variar o intervalo de dias entre a infecção e o aparecimento dos primeiros sintomas é a cultivar, portanto deveria ser utilizado diferentes cultivares em próximos ensaios a campo.

Tabela 12 - Dados de primeira aplicação, primeira pústula e intervalo de dias, referentes a primeira época de semeadura (Experimento 1)

TRAT	PROD. (Kg/ha)	AACPD	1º APLIC.	2º APLIC.	1º PUS	Núm. Dias (UAP;1ºP)*
1	1454,88	875,01			10/01	
2	3645,85	40,11	29/12	13/01	20/01	7**
3	3755,63	43,48	15/12	05/01	20/01	15**
4	3264,87	64,19	22/12	12/01	15/01	3**
5	3922,65	29,41	05/01	-	12/01	7
6	3990,33	30,21	22/12	-	15/01	24
7	3930,66	36,71	29/12	-	16/01	18

* Núm. Dias (UAP;1ºP) = Número de dias entre a data da última aplicação antes do aparecimento da primeira pústula e a data de aparecimento.

** Tratamento com duas aplicações.

***(T1) testemunha; (T2) indicação do algoritmo; (T3) dias após a emergência; (T4) estágio fenológico; (T5) algoritmo com sete dias de atraso; (T6) dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) estágio fenológico com atraso.

Analisando as correlações entre os atributos definidos com base nas classes utilizadas no algoritmo e a ocorrência da primeira pústula em dias após a emergência devemos observar as correlações negativas, para podermos inferir quais foram as condições que levaram a diminuição dos dias após a emergência que a primeira pústula ocorreu, ou seja, o que levaria ao aparecimento antecipado da doença. O único atributo a ser considerado com correlação positiva é o número de dias sem precipitação, para que seja observado se os dias sem chuva atrasaram o surgimento da doença.

Assim, no experimento 1 (tabela 13), podemos observar que a maior quantidade de correlações negativas significativas foi no período de dez dias antecedentes a primeira pústula e não aos sete dias, como utilizado no algoritmo. A classe inicial de precipitação do algoritmo é o número de dias de chuva entre 0 e 10 mm, e a mesma mostrou correlação significativa positiva, da mesma forma que o número de dias sem chuva, então podemos afirmar que o uso de uma classe de 0 a 10 mm não é adequado pois pode conter muitos dias sem chuva e os mesmos serem favoráveis ao atraso do início da doença, e poderiam indicar um risco que na verdade

não existe. Isto é confirmado pela correlação negativa significativa do número de dias de chuva de 1 a 10 mm, ressaltando que esta classe não foi utilizada ainda no algoritmo e foi criada para obter resultados de possíveis alterações no mesmo.

Tabela 13 - Análise de correlação de Pearson entre os atributos das variáveis meteorológicas e o aparecimento da primeira pústula (em DAE) na primeira época de semeadura (Experimento 1)

Atributos***	5 Dias	7 Dias	10 Dias	14 Dias
Prec. Acumulada	-0.9473**	-0.7152ns	-0.7752*	-0.8476*
Nd.sem.prec	0.7682*	0.7235*	0.9060**	0.9019**
NdPrec; 1-10	-0.2389ns	-0.5781ns	-0.7869*	-0.7749*
NdPrec; 0-10	0.9579**	0.6595ns	0.8952**	0.7164 ns
NdPre; 11-20	-0.8254*	-0.4837ns	-0.8845**	-0.4083ns
NdPrec; 21-30	-0.4918ns	-0.5539ns	-0.8865**	-0.2693ns
NdPrec; 30>	-0.9163**	-0.4599ns	0.0737ns	-0.5189ns
Tmed	-0.7298ns	-0.9270**	-0.8752**	-0.3482ns
NdTmin; 15-20	0.7448ns	0.9269**	0.8261*	0.7057ns
NdTmin; 21-25	-0.7006ns	-0.9269**	-0.8261*	-0.7057ns
Urmed	-0.8680*	-0.4339ns	-0.3104ns	0.3067ns

ns: não significativo ($p \geq .05$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

*** (Prec. Acumulada) precipitação acumulada no período; (Nd.sem.prec) número de dias sem precipitação; (NdPrec; 1-10) número de dias com precipitação entre 1 e 10 mm; (NdPrec; 0-10) número de dias com precipitação entre 0 e 10 mm; (NdPre; 11-20) número de dias com precipitação entre 11 e 20 mm; (NdPrec; 21-30) número de dias com precipitação entre 21 e 30 mm; (NdPrec; 30>) número de dias com precipitação maior que 30 mm; (Tmed) temperatura média no período; (NdTmin; 15-20) número de dias de temperatura mínima entre 15°C e 20°C; (NdTmin; 21-25) número de dias de temperatura mínima entre 21°C e 25°C; (Urmed) umidade relativa média no período.

Aos dez dias, com exceção da variável de chuva de mais de 30 mm, todas as demais mostraram correlação negativa significativa, indicando que sua ocorrência antecipa o surgimento da doença, mesmo em épocas mais cedo.

Contrariando resultados deste estudo, Young et al. (2011), em estudo avaliando a epidemiologia da ferrugem asiática da soja em parcelas sentinelas na Flórida (USA), não encontraram correlação entre o primeiro sintoma e chuvas com mais de 5 mm e

atribuíram este resultado ao fato de que, precipitações com durações de 30 minutos ou mais podem remover os esporos das folhas de soja. Os autores ainda relatam que as variáveis ambientais mais fortemente correlacionadas com a primeira detecção de ferrugem foram a precipitação maior do que 1 mm, a intensidade cumulativa da radiação solar e o molhamento foliar médio calculado no período de 4 semanas antes da detecção.

Em relação a temperatura, as correlações significativas foram a temperatura média e a classe de temperatura entre 21°C a 25°C. No algoritmo essa classe tem um coeficiente inferior que a classe de 15°C a 20°C, e em alguns casos, com apenas 1°C para mais ou para menos o risco varia de alto para médio, esta observação indica que seria necessária uma atribuição de risco para a classe 21°-25°C no mínimo igual a outra classe.

Nunkumar et al. (2009), em estudo avaliando o desenvolvimento de *Phakopsora pachyrhizi* na soja em ambiente controlado sob diferentes temperaturas, períodos de molhamento foliar e umidade relativa, concluíram que não houve infecção em temperaturas de 15°C e 30°C em umidades relativas de 85 a 100% e em umidades mais baixas, entre 75-80% não ocorreram infecções nas temperaturas de 15°, 19° e 30°C. Também não houve infecção em molhamento foliar inferior a 6 horas. Corroborando com os resultados obtidos, embora não seja em relação ao primeiro sintoma da doença, o maior número de pústulas por lesão ocorreu em temperaturas de 21° a 24°C em todos os períodos de molhamento e umidade relativa testados. E o valor máximo encontrado foi aos 24°C com umidade relativa de 85 a 90%.

Contrariando a este estudo e ao resultado de Nunkumar et al. (2006), Young et al. (2011), não encontraram correlação direta da temperatura e umidade relativa, mas atribuíram correlações indiretas destas variáveis sobre o molhamento foliar. Neste estudo, os autores concluíram que dias com chuvas de mais de 1 mm, aumento das horas de molhamento foliar e a diminuição da radiação solar, provocam o aparecimento mais cedo dos primeiros sintomas de ferrugem.

Para Marchetti et al. (1976), a infecção de *Phakopsora pachyrhizi* ocorreu em 20° a 25°C com um período mínimo de molhamento de cerca de 6 horas, com o aumento de molhamento para 10 a 12 horas, nesta faixa de temperatura, a infecção foi máxima e não aumentou mais com o aumento do molhamento para mais de 12 horas. Em temperaturas de 15° a 17,5°C os períodos mínimos de molhamento que

permitiram infecção foram 10 e 8 horas, respectivamente. Para estas temperaturas, o aumento da duração do período de molhamento para até 18 horas resultou num aumento da infecção. Os autores concluíram que entre a faixa de 15° a 25°C, os requisitos de temperaturas para a germinação e infecção parecem essencialmente similares.

Segundo Wang e Hartman (1992), nas temperaturas entre 15° e 25°C o período mínimo de molhamento foi de 6 horas para as temperaturas mais elevadas, 20° a 25°C e de 8 a 10 horas para as temperaturas menores, de 15° a 17,5°C. Temperaturas mínimas noturnas inferiores a 15°C reduziram fortemente o número de lesões ou impediram seu desenvolvimento completamente.

Em todos os intervalos de dias o atributo de número de dias sem precipitação obteve correlação significativa, indicando que este fator deve ser considerado de alguma forma no algoritmo, pois o aumento do número de dias sem chuva propicia o aparecimento mais tarde da doença.

O intervalo em que o algoritmo poderia indicar uma nova aplicação foi definido em no mínimo doze dias, analisando a tabela 14 com o número de dias de intervalo entre aplicações, podemos observar que no tratamento do algoritmo as 2º e 3º aplicações tiveram um intervalo maior, de 15 e 17 dias respectivamente.

Tabela 14 - Intervalo, em dias, entre as aplicações para cada tratamento, na primeira época de semeadura (Experimento 1)

TRAT*	Pulverizações						Média
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	
2	29/12 39 DAE	15	17	12	12		14,00
3	15/12 25 DAE	20	17	15	17		17,25
4	22/12 32 DAE	21	18	14	17		17,50
5	05/01 47 DAE	17	15	12	12		14,00
6	22/12 33 DAE	26	16	16	15		18,25
7	29/12 39 DAE	21	15	15	15		16,50

*(T2) indicação do algoritmo; (T3) dias após a emergência; (T4) estágio fenológico; (T5) algoritmo com sete dias de atraso; (T6) dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) estágio fenológico com atraso.

Analisando o porquê da aplicação não ser feita ou não ser indicada pelo algoritmo aos doze dias após a 1ª aplicação, mesmo com a doença já presente na área e com a soja no estágio R1, temos que em 37,5% dos casos em que não houve aplicação foi pelo fato de que a precipitação acumulada esteve entre 0 e 10 mm e isto indicou um risco médio, em 25% dos casos a temperatura mínima na faixa entre 21°C a 25°C também baixou o risco para médio e nos outros 37,5% dos casos a aplicação não foi feita por impedimento de dias chuvosos. Isto indica novamente que o coeficiente atribuído a classe de temperatura entre 21°C a 25°C deve ser alterado no algoritmo.

4.2.2 Experimento 2 - Segunda época de semeadura

Na segunda época de semeadura, realizada no dia 21 de novembro de 2014, podemos observar que apenas o tratamento em DAE (T3) estava na sua segunda aplicação quando houve o aparecimento da primeira pústula, o que indica que o posicionamento das primeiras aplicações foi mais adequado quando comparado a primeira época de semeadura (Tabela 15).

O tratamento com menor intervalo de dias entre a aplicação e a primeira pústula foi o algoritmo com atraso (T5), embora não tenha sido o tratamento com menos doença e com maior produtividade, este fato pode ser devido a erros na avaliação de primeira pústula, onde pode não terem sido identificados os primeiros sintomas corretamente e os mesmos podem ter ocorrido antes da data do dia quinze de janeiro naquelas parcelas, sendo a aplicação realizada após os primeiros sintomas.

Embora o algoritmo (T2) tenha indicado somente uma aplicação antes do aparecimento dos sintomas, pode ser considerada também uma leve superestimação da doença por parte do algoritmo, porque, com o intervalo de 16 dias entre a aplicação e os sintomas, o residual do produto pode ser considerado baixo e aplicação quase perdida.

Os três tratamentos corretos obtiveram uma média de produtividade maior e níveis de doença mais baixos que os realizados com atraso, sendo de 3378,89 Kg/ha contra 3233,55 Kg/ha, cerca de 2,42 sc/ha a mais.

As condições meteorológicas que levaram a indicação da primeira aplicação do algoritmo (T2) foram precipitação acumulada de 190 mm e temperatura mínima de

18°C e a soja encontrava-se no estágio fenológico V7. Esta condição, de elevada precipitação em sete dias, levaram a um risco alto de ocorrência de ferrugem.

Tabela 15 - Dados de primeira aplicação, primeira pústula e intervalo de dias, referentes a segunda época de semeadura (Experimento 2)

TRAT	PROD. (Kg/ha)	AACPD	1º APLIC.	2º APLIC.	1º PUS	Núm. dias (UAP;1ºP)*
1	1407,63	1142,4			17/01	
2	3501,66	43,50	03/01	-	19/01	16
3	3217,54	36,22	22/12	11/01	23/01	9**
4	3417,49	40,25	29/12	-	19/01	21
5	3260,71	47,00	10/01	-	15/01	5
6	3525,82	41,44	29/12	-	12/01	14
7	2914,14	93,21	05/01	-	19/01	14

* Núm. Dias (UAP;1ºP) = Número de dias entre a data da última aplicação antes do aparecimento da primeira pústula e a data de aparecimento.

** Tratamento com duas aplicações.

***(T1) testemunha; (T2) indicação do algoritmo; (T3) dias após a emergência; (T4) estágio fenológico; (T5) algoritmo com sete dias de atraso; (T6) dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) estágio fenológico com atraso.

Na análise de correlação do experimento 2 (tabela 16), os intervalos de cinco e dez dias mostraram maiores números de correlações negativas, mas podemos observar que as correlações aos dez dias foram mais elevadas, o que indicaria, novamente o uso mais adequado deste intervalo, ao invés dos sete dias. Nesta época apenas uma variável de precipitação tem correlação negativa (11-20 mm) e o atributo da umidade relativa passa a ter correlação significativa. Somente aos dez e quatorze dias que o atributo do número de dias sem precipitação apresenta correlação significativa.

Em relação a temperatura, ocorreu comportamento semelhante a primeira época, havendo correlação significativa positiva da temperatura média e do número de dias de temperatura entre 21° e 25°C, sendo as correlações mais elevadas que na primeira época. Segundo Del Ponte e Esker (2008), se a água não for um fator limitante, a germinação dos esporos de ferrugem asiática é influenciada pela temperatura, fator esse que corrobora com as correlações significativas das classes

de temperatura serem encontradas apenas nas duas primeiras épocas de semeadura neste estudo, quando se teve maiores quantidades de precipitação.

Podemos observar que, em todos os intervalos de dias, a classe de temperatura de 15°C a 20°C mostrou correlação positiva significativa, indicando que sua maior ocorrência atrasa o aparecimento da doença, e a classe de 21°C a 25°C mostrou correlação significativa contrária, também em todas os intervalos de dias, indicando ter maior influência no aparecimento da doença. Fato esse que contraria os coeficientes utilizados no algoritmo.

Tabela 16 - Análise de correlação de Pearson entre os atributos das variáveis meteorológicas e o aparecimento da primeira pústula (em DAE) na segunda época de semeadura (Experimento 2)

Atributos***	5 Dias	7 Dias	10 Dias	14 Dias
Prec. Acumulada	-0.7924*	-0.7250ns	-0.6973ns	-0.9130**
Nd.sem.prec	0.1439ns	0.4341ns	0.8358*	0.9458**
NdPrec; 1-10	0.3584ns	0.2103ns	-0.4758ns	-0.4758ns
NdPrec; 0-10	0.5527ns	0.6550ns	0.8205*	0.8778**
NdPre; 11-20	-0.3857ns	-0.6005ns	-0.9307**	-0.8607*
NdPrec; 21-30	0.4779ns	-0.0256ns	-0.5766ns	-0.2559ns
NdPrec; 30>	-0.8567*	-0.7918**	-0.3992ns	-0.5064ns
Tmed	-0.6162ns	0.9036**	-0.9632**	-0.7054ns
NdTmin; 15-20	0.8230*	0.9836**	0.9375**	0.8966**
NdTmin; 21-25	-0.9007**	-0.9836**	-0.9375**	-0.8966**
Urmed	-0.8743**	-0.9648**	-0.7325*	0.5474ns

ns: não significativo ($p \geq .05$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

*** (Prec. Acumulada) precipitação acumulada no período; (Nd.sem.prec) número de dias sem precipitação; (NdPrec; 1-10) número de dias com precipitação entre 1 e 10 mm; (NdPrec; 0-10) número de dias com precipitação entre 0 e 10 mm; (NdPre; 11-20) número de dias com precipitação entre 11 e 20 mm; (NdPrec; 21-30) número de dias com precipitação entre 21 e 30 mm; (NdPrec; 30>) número de dias com precipitação maior que 30 mm; (Tmed) temperatura média no período; (NdTmin; 15-20) número de dias de temperatura mínima entre 15°C e 20°C; (NdTmin; 21-25) número de dias de temperatura mínima entre 21°C e 25°C; (Urmed) umidade relativa média no período.

Analisando a tabela 17 podemos observar que o algoritmo não indicou a 2º e 3º aplicações no intervalo de 12 dias, sendo a 2º aplicação feita somente 19 dias após a primeira e a 3º aplicação 15 dias após a segunda. Neste caso ele não indicou a

aplicação porque em 60% dos casos a temperatura mínima esteve entre 21°C e 25°C e conseqüentemente baixou o risco de aparecimento da doença, fato semelhante ao ocorrido no experimento 1. No restante dos casos não houve aplicação por impedimento de dias chuvosos.

Tabela 17 - Intervalo, em dias, entre as aplicações para cada tratamento, na segunda época de semeadura (Experimento 2)

TRAT*	Pulverizações						Média
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	
2	03/01 35 DAE	19	15	12	12		14,50
3	22/12 23 DAE	20	15	16	15		16,50
4	29/12 30 DAE	24	16	17	16		18,25
5	10/01 43 DAE	20	14	12	12		14,50
6	29/12 30 DAE	26	16	15	15		18,00
7	05/01 38 DAE	25	14	17	16		18,00

*(T2) indicação do algoritmo; (T3) dias após a emergência; (T4) estágio fenológico; (T5) algoritmo com sete dias de atraso; (T6) dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) estágio fenológico com atraso.

4.2.3 Experimento 3 - Terceira época de semeadura

Conforme tabela 18, na terceira época de semeadura, realizada em 04 de dezembro de 2014, somente o tratamento DAE (T3) estava com duas aplicações antes dos primeiros sintomas.

O elevado intervalo de dias entre a primeira aplicação indicada pelo algoritmo (T2) e o aparecimento da doença nas parcelas (23 dias) e na testemunha (18 dias), também remete ao fato de uma superestimação da doença, sendo que o risco que levou a indicação da aplicação foi o classificado como médio/alto, depois de 190 mm de precipitação acumulada e temperatura mínima de 18°C, mas com a soja em estágio V4, com 22 dias após a emergência.

Tabela 18 - Dados de primeira aplicação, primeira pústula e intervalo de dias, referentes a terceira época de semeadura (Experimento 3)

TRAT	PROD. (Kg/ha)	AACPD	1º APLIC.	2º APLIC.	1º PUS	Núm. dias (UAP;1ºP)*
1	1355,60	1182,87			21/01	
2	3809,69	42,31	03/01	-	26/01	23
3	3271,69	68,47	02/01	22/01	26/01	4**
4	3556,01	47,74	12/01	-	23/01	11
5	3531,18	51,77	10/01	-	23/01	13
6	4194,05	33,48	09/01	-	23/01	14
7	3682,73	49,92	19/01	-	26/01	7

* Núm. Dias (UAP;1ºP) = Número de dias entre a data da última aplicação antes do aparecimento da primeira pústula e a data de aparecimento.

** Tratamento com duas aplicações.

***(T1) testemunha; (T2) indicação do algoritmo; (T3) dias após a emergência; (T4) estágio fenológico; (T5) algoritmo com sete dias de atraso; (T6) dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) estágio fenológico com atraso.

O que pode ter levado a não ocorrência da doença, mesmo com o risco médio/alto indicado pelo algoritmo é o fato de que, como a planta em estádios iniciais possui pouca área foliar, não há a formação de um microclima favorável a doença e todas as folhas ainda sofrem um alto nível de radiação e uma maior incidência de luz, inibindo assim a germinação dos esporos. Furtado et al. (2009), encontraram efeito negativo da luminosidade na infecção de *Phakopsora pachyrhizi* em soja em condição de laboratório, a porcentagem de germinação dos esporos no escuro foi 40,7%, estatisticamente diferente da germinação na luz, de 28,5%. Isard et al. (2006), também encontraram efeito negativo da radiação solar e luz ultravioleta na germinação do esporos.

Semelhante ao experimento 1, os tratamentos com atraso obtiveram menores níveis de doença, em média, e maiores produtividades, sendo de 3802,65 kg/ha, 4,27 sc/ha a mais que a média dos tratamentos corretos que foi de 3545,79 kg/ha.

Na tabela 19, observamos as correlações do experimento 3 e, neste caso, o intervalo de dias com maior número de correlações significativas foi o de quatorze dias. As correlações indicadas foram a precipitação acumulada, umidade relativa e os atributos de temperatura, como temperatura média e a classe de 21°C a 25°C.

A partir da data em que começaram a aparecer os primeiros sintomas na 3ª época, as precipitações na área experimental diminuíram. E isto pode explicar o fato dos quatorze dias apresentarem correlação em relação a precipitação acumulada, pois com o aumento do número de dias a quantidade de precipitação é maior. Aos cinco dias tivemos um acumulado médio próximo a 32 mm, aos sete dias foram 48 mm, e aos dez e quatorze dias, foram 75 e 123 mm, respectivamente.

Tabela 19 - Análise de correlação de Pearson entre os atributos das variáveis meteorológicas e o aparecimento da primeira pústula (em DAE) na terceira época de semeadura (Experimento 3)

Atributos***	5 Dias	7 Dias	10 Dias	14 Dias
Prec. Acumulada	0.1692ns	-0.6605ns	0.1085ns	-0.7760*
Nd.sem.prec	-0.1689ns	-0.6059ns	-0.6421ns	0.1267ns
NdPrec; 1-10	-0.1170ns	0.2359ns	0.6059ns	-0.2418ns
NdPrec; 0-10	-0.4686ns	-0.1947ns	-0.4686ns	-0.0290ns
NdPre; 11-20	0.6044ns	-0.6044ns	0.6044ns	-0.2657ns
NdPrec; 21-30	0.2765ns	0.7789*	0.7789*	-0.5530ns
NdPrec; 30>	-0.3017ns	-0.8406*	-0.7945*	-0.0972ns
Tmed	-0.0734ns	-0.0413ns	0.2965ns	-0.9124**
NdTmin; 15-20	0,0000ns	-0,0000ns	0,6400ns	0,8406*
NdTmin; 21-25	0,0000ns	-0,0000ns	-0,6400ns	-0,8406*
Urmed	0,1794ns	-0,1713ns	-0,4170ns	-0,8497*

ns: não significativo ($p \geq .05$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

*** (Prec. Acumulada) precipitação acumulada no período; (Nd.sem.prec) número de dias sem precipitação; (NdPrec; 1-10) número de dias com precipitação entre 1 e 10 mm; (NdPrec; 0-10) número de dias com precipitação entre 0 e 10 mm; (NdPre; 11-20) número de dias com precipitação entre 11 e 20 mm; (NdPrec; 21-30) número de dias com precipitação entre 21 e 30 mm; (NdPrec; 30>) número de dias com precipitação maior que 30 mm; (Tmed) temperatura média no período; (NdTmin; 15-20) número de dias de temperatura mínima entre 15°C e 20°C; (NdTmin; 21-25) número de dias de temperatura mínima entre 21°C e 25°C; (Urmed) umidade relativa média no período.

Conforme já relatado por Del Ponte e Esker (2008), se a água não for um fator limitante o que influencia é a temperatura, aliado a correlação com a maior precipitação, os atributos de temperatura também apresentaram correlação aos

quatorze dias. Destes quatorze dias, uma média de sete dias não apresentaram nenhuma precipitação.

Observando a tabela 20, relativa aos intervalos de aplicação, observa-se que o algoritmo indicou a 2º aplicação somente 27 dias após a primeira, sendo que novamente, em 60% dos casos, a aplicação não foi indicada pela ocorrência de temperaturas mínimas entre 21°C e 25°C, e em quase 27% dos casos a ocorrência de chuvas entre 0-10 mm também baixou o risco da doença, sendo o restante impossibilitado por condições inadequadas de aplicação, como dias chuvosos.

Tabela 20 - Intervalo, em dias, entre as aplicações para cada tratamento, na terceira época de semeadura (Experimento 3)

TRAT*	Pulverizações						Média
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	
2	03/01 22 DAE	27	12	11	10	18	12,75
3	02/01 21 DAE	20	15	17	15		16,75
4	12/01 30 DAE	21	16	15	16		17,00
5	10/01 28 DAE	27	16	12	11		16,5
6	09/01 27 DAE	21	14	17	16		17,00
7	19/01 37 DAE	21	15	14			16,70

*(T2) indicação do algoritmo; (T3) dias após a emergência; (T4) estágio fenológico; (T5) algoritmo com sete dias de atraso; (T6) dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) estágio fenológico com atraso.

4.2.4 Experimento 4 - Quarta época de semeadura

A quarta época de semeadura, realizada no dia 16 de dezembro de 2014, foi caracterizada por uma subestimação da doença por parte do algoritmo (T2), sendo a primeira aplicação realizada depois do aparecimento da doença (tabela 21), e quando a soja estava no estágio fenológico V7. A soma de 15,6 mm de chuva e temperatura mínima de 19,4°C indicaram um nível médio/alto de ocorrência da doença, sendo que a mesma já se encontrava presente nas parcelas.

Novamente o tratamento DAE (T3) estava com a 2º aplicação, embora tenha sido feita no mesmo dia do aparecimento da doença, sendo a primeira aplicação realizada em desperdício.

Tabela 21 - Dados de primeira aplicação, primeira pústula e intervalo de dias, referentes a quarta época de semeadura (Experimento 4)

TRAT	PROD. (Kg/ha)	AACPD	1º APLIC.	2º APLIC.	1º PUS	Núm. dias (UAP;1ºP)*
1	744,59	1252,40			26/01	
2	2460,42	23,03	30/01	-	26/01	4***
3	2175,42	45,75	10/01	26/01	26/01	0**
4	2592,12	27,43	22/01	-	26/01	4
5	2707,56	27,54	06/02	-	26/01	11***
6	3025,34	24,43	17/01	-	26/01	9
7	2792,44	29,46	30/01	-	23/01	7***

* Núm. Dias (UAP;1ºP) = Número de dias entre a data da última aplicação antes do aparecimento da primeira pústula e a data de aparecimento.

** Tratamento com duas aplicações.

***(T1) testemunha; (T2) indicação do algoritmo; (T3) dias após a emergência; (T4) estágio fenológico; (T5) algoritmo com sete dias de atraso; (T6) dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) estágio fenológico com atraso.

No experimento 4, obtivemos poucas correlações significativas e a análise ficou dificultada, este fato pode ser explicado por, nesta época, o aparecimento da doença ocorrer praticamente nos mesmos dias, fazendo com que as médias ficassem iguais ou muito parecidas e assim prejudicando a análise de correlação (tabela 22).

Aos dez dias o atributo que apresentou correlação negativa foi a classe de chuva de mais de 30 mm e aos quatorze dias, o atributo de chuva acumulada e umidade relativa média. Aos cinco e sete dias, os únicos atributos que obtiveram correlação negativa também foram atributos de precipitação.

Nesta época, a chuva e umidade podem ter tido mais influência pelo fato de se ter um período mais seco, sem uma elevada quantidade de precipitação como nas demais épocas. Então o molhamento mínimo para o surgimento da doença ficou prejudicado e quando ocorreu teve boa correlação. Segundo Tschanz et al. (1982), em estudos no campo em Taiwan nos anos 80, foi constatado que as primeiras chuvas e a quantidade de precipitação em épocas de seca se mostraram fatores importantes para o desenvolvimento da epidemia.

Tabela 22 - Análise de correlação de Pearson entre os atributos das variáveis meteorológicas e o aparecimento da primeira pústula (em DAE) na quarta época de semeadura (Experimento 4)

(continua)

Atributos***	5 Dias	7 Dias	10 Dias	14 Dias
Prec. Acumulada	-0.3422ns	-0.7493ns	-0.2848ns	-0.8102*
Nd.sem.prec	0.4526ns	0.2798ns	-0.2433ns	-0.4671ns
NdPrec; 1-10	-0.8159*	-0.2141ns	-0.2103ns	0.6477ns
NdPrec; 0-10	0.0158ns	-0.9579**	-0.4671ns	0.0968ns
NdPre; 11-20	0.2510ns	0.5965ns	0.9027**	0.8665*
NdPrec; 21-30	-0.1560ns	-0.398ns	0.6689ns	-0.5039ns
NdPrec; 30>	-0.1501ns	-0.6689ns	-0.9104**	-0.1592ns
Tmed	0.5075ns	0.4441ns	0.3024ns	-0.5982ns
NdTmin; 15-20	0.0000ns	0.0000ns	0.1501ns	0.6689ns
NdTmin; 21-25	0.0000ns	0.0000ns	-0.1501ns	-0.6689ns
Urmed	0.5501ns	0.6722ns	0.2509ns	-0.8072*

ns: não significativo ($p \geq .05$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

*** (Prec. Acumulada) precipitação acumulada no período; (Nd.sem.prec) número de dias sem precipitação; (NdPrec; 1-10) número de dias com precipitação entre 1 e 10 mm; (NdPrec; 0-10) número de dias com precipitação entre 0 e 10 mm; (NdPre; 11-20) número de dias com precipitação entre 11 e 20 mm; (NdPrec; 21-30) número de dias com precipitação entre 21 e 30 mm; (NdPrec; 30>) número de dias com precipitação maior que 30 mm; (Tmed) temperatura média no período; (NdTmin; 15-20) número de dias de temperatura mínima entre 15°C e 20°C; (NdTmin; 21-25) número de dias de temperatura mínima entre 21°C e 25°C; (Urmed) umidade relativa média no período.

Mesmo em condição com menores precipitações, os primeiros focos da doença ocorreram em estádios mais jovens nas plantas (V6) e a epidemia se desenvolveu propiciando elevados valores de AACPD na parcela testemunha e reduzindo a produtividade drasticamente no decorrer do experimento. Isto pode ser explicado pelo fato de que, mesmo não havendo precipitação, há a ocorrência de um molhamento foliar causado pela deposição do orvalho, que não é considerado neste estudo.

Conforme relatado anteriormente por Del ponte et al. (2006b), há uma certa dificuldade em incluir horas de molhamento foliar em sistemas de previsão de doenças pela difícil obtenção destes dados no campo, e pela falta de sensores que façam estas medidas na maioria das estações automáticas.

Uma forma de se ter as medidas do molhamento foliar causado exclusivamente pela deposição do orvalho, são os métodos empíricos de cálculo, como o método da depressão da temperatura do ponto de orvalho (DPO) relatado por Gillespie et al. (1993), e estudado por Durigon e Lier (2013), que utiliza o número de horas em que a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho, permaneceu entre 2 °C, como horas de molhamento foliar.

Observando a tabela 23, diferentemente dos demais experimentos, o algoritmo fez indicação de todas as aplicações no intervalo de 10 a 13 dias, indicando que as classes de risco estariam corretas para esta época, naquele período, embora sejam necessários mais experimentos para que isto se confirme.

Tabela 23 - Intervalo, em dias, entre as aplicações para cada tratamento, na quarta época de semeadura (Experimento 4)

TRAT*	Pulverizações						Média
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	
2	30/01 39 DAE	13	12	10	13	13	12,20
3	10/01 19 DAE	16	16	15	15	17	15,80
4	22/01 30 DAE	18	15	15	16		16,00
5	06/02 46 DAE	12	12	11	12		11,75
6	17/01 26 DAE	16	16	15	14		15,25
7	30/01 39 DAE	19	15	16			16,70

*(T2) indicação do algoritmo; (T3) dias após a emergência; (T4) estágio fenológico; (T5) algoritmo com sete dias de atraso; (T6) dias após a emergência com sete dias de atraso; (T7) estágio fenológico com atraso.

4.2.5 Análise conjunta da severidade medida em todos experimentos

Utilizando os mesmos atributos e variáveis climatológicas das demais correlações, temos na tabela 24 a análise de correlação com a severidade da ferrugem asiática no período 30 dias após a primeira detecção da doença. Para esta correlação

foram utilizados os dados das parcelas testemunhas para ambas as épocas de semeadura.

No caso da severidade, o número de dias sem chuva dentre os 30 dias, obteve correlação significativa negativa, indicando que, sem a ocorrência de chuvas, a severidade diminui. Corroborando com este estudo, Tsukahara et al. (2008) determinou que um fator crítico para o maior progresso da ferrugem asiática foi o índice do número de dias de chuva, calculado a partir do número de dias com chuva (precipitação igual ou superior a 2 mm) dividido pelo número total de dias avaliado. Os autores encontraram alta correlação do número de dias com chuva com a severidade final da doença, indicando que quanto maior a quantidade de dias com chuva maior a severidade final.

Este fato é confirmado pela alta correlação positiva em todas as classes de precipitação, com exceção da acumulada, indicando que quanto mais dias de chuva ocorrer, mais aumentará a severidade da doença.

Del Ponte et al. (2006b), demonstraram que a precipitação acumulada, 30 dias após a primeira detecção da doença, poderia ser utilizada como preditora de severidade final. Em análise de correlação de Pearson as variáveis de precipitação foram mais fortemente correlacionadas com a severidade final da doença do que variáveis de temperatura. Os coeficientes entre a severidade da doença e variáveis de chuva foram maiores para precipitação acumulada ($r = 0,95$) e número de dias com chuva > de 1 mm ($r = 0,93$) do que para dias com chuva > 0 mm ($r = 0,85$). Da mesma forma Young et al., (2011), encontraram em seu estudo correlação da severidade máxima com a precipitação média semanal em quatro semanas antes da severidade final.

Em relação a temperatura, apenas a temperatura média apresentou correlação significativa ($r = 0,72$), sendo que a mesma permaneceu ao redor dos 22°C durante o período de 30 dias. Del ponte et al. (2006b) encontraram correlação de 0,43 entre temperatura média e a severidade final, valor bem inferior ao encontrado neste estudo.

Os autores sugeriram que as temperaturas do Brasil não são limitantes para o desenvolvimento da ferrugem asiática pelo baixo valor de correlação encontrado em seu trabalho, mas observaram que as temperaturas na região sul podem ser limitantes à ferrugem.

Mesquini et al. (2011) observaram que a variável número de dias de temperatura favorável, entre 18° e 32°, em um período de sete dias precedentes a avaliação de severidade, tem correlação importante com a severidade, atuando indiretamente na variável número de dias com umidade relativa do ar favorável, mais de 60%, ou seja, a temperatura foi fundamental para manter condições propícias de umidade aos níveis de severidade.

Tabela 24 - Análise de correlação de Pearson entre os atributos das variáveis meteorológicas e a severidade da doença, para todas as épocas de semeadura

Atributos***	30 Dias após a primeira pústula
Prec. Acumulada	-0.4173 ns
Nd.sem.prec;	-0.9307**
NdPrec; 1-10	0.6548**
NdPrec; 0-10	-0.3576 ns
NdPre; 11-20	0.6045*
NdPrec; 21-30	0.6009*
NdPrec; 30>	0.5976*
Tmed	0.7203**
NdTmin; 15-20	-0.3814 ns
NdTmin; 21-25	0.3814 ns
Urmed	-0.4085 ns

ns: não significativo ($p \geq .05$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

*** (Prec. Acumulada) precipitação acumulada no período; (Nd.sem.prec) número de dias sem precipitação; (NdPrec; 1-10) número de dias com precipitação entre 1 e 10 mm; (NdPrec; 0-10) número de dias com precipitação entre 0 e 10 mm; (NdPre; 11-20) número de dias com precipitação entre 11 e 20 mm; (NdPrec; 21-30) número de dias com precipitação entre 21 e 30 mm; (NdPrec; 30>) número de dias com precipitação maior que 30 mm; (Tmed) temperatura média no período; (NdTmin; 15-20) número de dias de temperatura mínima entre 15°C e 20°C; (NdTmin; 21-25) número de dias de temperatura mínima entre 21°C e 25°C; (Urmed) umidade relativa média no período.

Fazendo uma reavaliação para os casos localizados no sul do Brasil, os autores sugeriram que há um possível efeito de temperaturas mais baixas que não são contabilizados nos modelos de precipitações, como o utilizado por eles no estudo. As temperaturas médias nos locais do sul do Brasil estavam dentro da faixa ideal para o desenvolvimento da ferrugem, entre 21°e 27°C, no entanto noites frias

frequentes com várias horas de temperatura abaixo de 15°C foram observadas e isto poderia afetar o desenvolvimento da ferrugem, incluindo infecção e período de latência.

5 CONCLUSÕES

- A ferrugem asiática pode ocorrer em qualquer estágio fenológico da soja e o uso de épocas de semeadura pode medir indiretamente a pressão do inóculo.
- O período de sete dias não é consistente para cálculo das variáveis meteorológicas que precedem a doença.
- Temperatura não é relevante para explicar a epidemia e seu uso no algoritmo não se justifica.
- Precipitação apresenta influência decisiva na epidemia e quanto mais períodos de chuva ocorrerem, maiores os níveis de severidade.

SUGESTÕES

- Em próximos experimentos deve-se testar o algoritmo em diferentes cultivares.
- Determinação de uma curva de inóculo durante a safra.
- Utilização de métodos indiretos de cálculo do molhamento foliar.

REFERÊNCIAS

- ALVES, S. A. M.; FURTADO, G. Q.; BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: ZAMBOLIM, L. (Org.) **Ferrugem asiática da soja**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora. [S.l.], p. 37-59, 2006.
- ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. F. A. Ferrugem Asiática: uma ameaça à sojicultura brasileira. **Embrapa Agropecuária Oeste**. Circular Técnica nº11, Dourados, p.11, 2002.
- BALARDIN, R. S.; NAVARINI, L.; DALLAGNOL, L. J. Epidemiologia da ferrugem da soja. In: Julliatti, F. C.; Polizel, A.C.; Hamawaki, O. T. (Eds.). **I Workshop Brasileiro sobre a ferrugem asiática**. Uberlândia, p. 39-50, 2005.
- BONDE, M. R. et al. Effects of temperature on urediniospore germination, germ tube growth and initiation of infection in soybean by *Phakopsora* isolates. **Phytopathology**. [Saint Paul], v. 97, n. 8, p. 997-1003, ago, 2007.
- BONDE, M. R.; NESTER, S. E.; BERNER, D. K. Effects of frequency of “extreme” temperature highs on development of soybean rust. **Phytopathology**. [Saint Paul], v. 103, n. 7, p. 708–16, 2013.
- BROMFIELD, K. R.; MELCHING, J. S.; KINGSOLVER, C. H. Virulence and Aggressiveness of *Phakopsora pachyrhizi* isolates causing soybean rust. **Phytopathology**. [Saint Paul], v.70, n.1, p.17-21, 1980.
- CAMPBELL, C.L. & MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York. J. Wiley & Sons. 1990.
- CANTERI, M.G. Mapas de Risco de Epidemias. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, V. 29 suplemento, S27-S28. 2004.
- Carneiro, L. C. **Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise de tolerância de genótipos de soja à ferrugem Asiática**. 2007. 76 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- CRUZ, T. V. et al. Perdas causadas pela ferrugem-asiática em cultivares de soja semeadas em diferentes épocas no Oeste da Bahia. **Tropical Plant Pathology**. Viçosa, v. 37, n. 4, p. 255-265, 2012.
- DE WOLF, E. D.; ISARD, S.A. Disease Cycle Approach to Plant Disease Prediction. **Annual Review Phytopathology**. [Palo Alto], v.45, p. 203-220, 2007.
- DEL PONTE, E. M. et al. Models and applications for risk assessment and prediction of Asian soybean rust epidemics. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, v. 31, p. 533-544, 2006a.

DEL PONTE, E. M. et al. Predicting severity of Asian soybean rust with empirical rainfall models. **Phytopathology**. [Saint Paul], v. 96, p. 797-803, 2006b.

DEL PONTE, E. M.; ESKER, P. D. Meteorological factors and Asian soybean rust epidemics: a systems approach and implications for risk assessment. **Scientia Agricola**. Piracicaba. v. 65, p. 88-97, dez, 2008.

DURIGON, A.; LIER, Q.J. Duração do período de molhamento foliar: Medição e estimativa em feijão sob diferentes tratamentos hídricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 17, n. 2, p. 200–207, 2013.

FURTADO, G. Q. et al. S. Influência da luminosidade e da camada de cera epicuticular de superfícies de folhas de soja na infecção de *Phakopsora pachyrhizi*. **Tropical Plant Pathology**. Viçosa, v.34, n. 5, set – out, 2009.

GILLESPIE, T. J.; SRIVASTAVA, B.; PITBLADO, R.E. Using operational weather data to schedule fungicide sprays on tomatoes in southern Ontario, Canada. **Journal of Applied Meteorology**. [S.I.], v.32, p. 567-573, 1993.

GILLESPIE, T.J.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorology and plant disease management: a happy marriage. **Scientia Agricola**. Piracicaba. v. 65. p. 71-75. 2008.

Godoy, C.V.; Koga, L.J.; Canteri, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**. v. 31,p. 63-68, 2006.

GODOY, C.V.; HENNING, A. A. Tratamento de semente e aplicação foliar de fungicidas para o controle da ferrugem-da-soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v.43, n.10, p.1297-1302, out, 2008.

GODOY, C. V. et al. Eficiência de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja *Phakopsora pachyrhizi* na safra 2013/14: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. **Embrapa Soja**. Londrina, Circular Técnica nº 103, 7 p , 2014.

GOELLNER, K. et al. *Phakopsora pachyrhizi* the causal agent of asian soybean rust. **Molecular Plant Pathology**. Saint Paul, v. 11, n. 2, p. 169-77, 2010.

GLEASON, M. L. et al. Review: obtaining weather data for input to crop disease-warning systems: leaf wetness duration as a case study. **Scientia Agricola**. Piracicaba. v. 65, p. 76-87, 2008.

HARDWICK, N. V. Disease Forecasting. In: COOKE, B. M.; JONES, D. G.; KAYE, B. (Ed.). **The epidemiology of plant diseases**. Netherlands, p. 239-264 Springer, 2006.

HEATHER, M. K.; WRIGHT, D. L.; DUFAULT, N.S.; MAROIS, J. J. Decision models for fungicide applications for soybean rust. **Plant Health Progress**. [S.I.], v. 16, n. 2, 2015.

HENNING, A. A. Manejo de doenças da soja (*Glycine max* L. Merrill). **Informativo Abrates**. [S.l.], vol.19, n. 3, 4 p, 2009.

HIKISHIMA, M. et al. Quantificação de danos e relações entre severidade, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja. **Tropical Plant Pathology**, Viçosa, v. 35, p. 96-103, 2010.

YOUNG, H. M. et al. Epidemiology of soybean rust in soybean sentinel plots in Florida. **Plant Disease**. [Saint Paul], v. 95, p. 744-750, 2011.

YORINORI, J. T. Cancro da haste da soja: epidemiologia e controle. **Embrapa Soja**. Londrina. Circular técnica nº 14, 75 p, 1996.

YORINORI, J.T. et al. Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*): Identificação e controle. **Informações Agronômicas**. [S.l.], nº 104, dez, 2003.

YORINORI, J.T.; LAZZAROTTO, J. J. Situação da Ferrugem Asiática da Soja no Brasil e na América do Sul. **Embrapa Soja**. Londrina, 30 p. 2004.

YORINORI, J.T. et al. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**. [Saint Paul], v. 89, p. 675–677, 2005.

ISARD, S. A. et al. The effect of solar irradiance on the mortality of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores. **Plant Disease**. [Saint Paul], v. 90, p. 941-945, 2006.

MADALOSSO, M.G. **Efeito varietal e do espaçamento entre linhas no patossistema soja - *Phakopsora pachyrhizi* Sidow**. 2010. 111 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MARCHETTI, M.A. MELCHING, J. S. BROMFIELD, K. R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**. [Saint Paul], v. 66, p. 461-463, 1976.

MEGETO, G. A. S. **Avaliação da influência da temperatura e da precipitação na ocorrência da ferrugem asiática da soja por meio da técnica de árvore de decisão**. 2012, 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R.; KINGSOLVER, C. H. Infection, colonization and uredospore production on Wayne soybean by four cultures of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**. [Saint Paul], v. 69, p. 1262-1265, 1979.

MELCHING, J. S. et al. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**. [Saint Paul], v. 73, n. 2, p. 117-122, 1989.

MESQUINI, R. M. et al. Relações de causa e efeito entre condições ambientais urediniósporos e severidade de ferrugem asiática da soja. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 27, n. 4, p. 552-557, 2011.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura. 1961. 42 p.

MUELLER, T. A. et al. L. Effect of fungicide and timing of application on soybean rust severity and yield. **Plant Disease**. [Saint Paul], v. 93, p. 243-248, 2009.

NUNKUMAR, A.; CALDWELL, P. M.; PRETORIUS, Z. A. Development of *Phakopsora pachyrhizi* on soybean at controlled temperature, relative humidity and moisture periods, **South African Journal of Plant and Soil**. [S.l.], v. 26, n. 4, p. 225-230, 2009.

OLIVEIRA, A. C. B.; GODOY, C. V.; MARTINS, M. C. Avaliação da Tolerância de Cultivares de Soja à Ferrugem Asiática no Oeste da Bahia. **Fitopatologia brasileira**. Brasília, v. 30, n. 6, p. 658-662, nov – dez, 2005.

RECOMENDAÇÕES. Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2007/2008. In: **35º Reunião de Pesquisa da Soja da Região Sul**. Santa Maria, RS, 2007. - 1. ed. - Santa Maria: Orium, 2007 168 p.

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R. Ferrugem da soja: revisão e aspectos técnicos. In: REIS, E. M. (Ed.). **Doenças na cultura da soja**. Passo Fundo: Aldeia Norte. p. 55-70, 2004.

REIS, E.M.; SARTORI, A.F.; CÂMARA, 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.; CARMONA, M. **Doenças da soja I: Ferrugem asiática**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo. 2006. 48 p.

REIS, E. M. et al. Controle químico da ferrugem asiática da soja na região sul do Paraná. **Scientia Agraria**. Curitiba. v. 8, n.3, p. 25, 2007.

RIBEIRO, A. L. P.; COSTA, E.C. Desfolhamento em estádios de desenvolvimento da soja, cultivar BR 16, no rendimento de grãos. **Ciência Rural**. Santa Maria. v.30, n.5, p.767-771, 2000.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J; THOMPSON, H. E. **How a soybean plant develops**. Ames. Yowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension. 1982. 20p.

RUPE, J.; SCONYERS, L. Ferrugem asiática da soja. Ferrugem da soja. Portuguese translation by CHERUBINI, A. R.; DEL PONTE, E. M. **The Plant Health Instructor**. [S.l.], 2008.

SCHERM, H. et al. C.V. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. **Crop Protection**. [S.l.], v. 28, p.774–782, 2009.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p. 71-78, 2002.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater RS/UFRGS. 2002. 107 p.

TSCHANZ, A. T. **Soybean rust epidemiology**: Final report. Asian Vegetable Research and Development Center. Shanhau. Taiwan. 1982. 157 p.

TSUKAHARA, R. Y.; HIKISHIMA, M.; CANTERI, M. G. Relações entre o clima e o progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina. v. 29, n. 1, p. 47-52, jan – mar, 2008.

VIERO, V.C. **Epidemiologia comparativa entre a ferrugem asiática da soja e a ferrugem da folha do trigo**. 2008. 118p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2008.

ZAMBENEDETTI, E. B. et al. Avaliação de parâmetros monocíclicos e da intensidade da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em diferentes genótipos de soja e posições de copa. **Summa Phytopathologica**. Botucatu. v. 33, n. 2, p. 178–181, 2007.

WANG, T. C.; HARTMAN, G. L., Epidemiology of soybean rust and breeding for host resistance. **Plant Protection**, Bull, v. 34, p. 109- 124, 1992.

APÊNDICE

APÊNDICE A - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO 1.

Quadro 1 – Análise de variância da AACPD para a primeira época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	3478.109	1159.37	3.0796	ns
Tratamentos	5	3253.847	650.7695	1.7286	ns
Resíduos	15	5646.939	376.4626		
Total	23	12378.89			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 2 – Análise de variância da taxa de progresso (r) para a primeira época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	0.05826	0.01942	0.4254	ns
Tratamentos	6	0.26446	0.04408	0.9654	ns
Resíduos	18	0.8218	0.04566		
Total	27	1.14452			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 3 – Análise de variância da produtividade para a primeira época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	58.58274	19.52758	1.1901	ns
Tratamentos	5	407.1341	81.42682	4.9624	**
Resíduos	15	246.13	16.40867		
Total	23	711.8469			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 4 – Análise de variância do peso de cem grãos para a primeira época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	699.7971	233.2657	1.1864	ns
Tratamentos	6	8611.55	1435.258	7.2996	**
Resíduos	18	2539.178	196.621		
Total	27	12850.53			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

APÊNDICE B - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO 2.

Quadro 5 – Análise de variância da AACPD para a segunda época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	4625.805	1421.935	2.0759	ns
Tratamentos	5	9105.938	1821.188	2.6587	ns
Resíduos	15	10274.78	684.9854		
Total	23	23646.52			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 6 – Análise de variância da taxa de progresso (r) para a segunda época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	0.07343	0.02448	1.1904	ns
Tratamentos	6	0.21119	0.0352	1.7118	ns
Resíduos	18	0.3701	0.02056		
Total	27	0.65472			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 7 – Análise de variância da produtividade para a segunda época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	7.38625	2.46208	0.1448	ns
Tratamentos	5	291.6286	58.32572	3.4309	*
Resíduos	15	255.0041	17.00027		
Total	23	554.019			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 8 – Análise de variância do peso de cem grãos para a segunda época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	187.0502	62.35007	0.4746	ns
Tratamentos	6	5801.156	966.8593	7.359	**
Resíduos	18	2364.919	131.3844		
Total	27	8353.125			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

APÊNDICE C - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO 3.

Quadro 9 – Análise de variância da AACPD para a terceira época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	560.6093	186.8698	0.6974	ns
Tratamentos	5	2700.095	540.0189	2.0153	ns
Resíduos	15	4019.353	267.9569		
Total	23	7280.057			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 10 – Análise de variância da taxa de progresso (r) para a terceira época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	0.09037	0.03012	0.7181	ns
Tratamentos	6	0.17769	0.02961	0.706	ns
Resíduos	18	0.75508	0.04195		
Total	27	1.02314			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 11 – Análise de variância da produtividade para a terceira época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	127.895	42.63166	1.2021	ns
Tratamentos	5	539.0098	107.802	3.0396	*
Resíduos	15	531.9844	35.46563		
Total	23	1198.889			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 12 – Análise de variância do peso de cem grãos para a terceira época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	768.6107	256.2036	2.1153	ns
Tratamentos	6	4672.528	778.7546	6.4298	**
Resíduos	18	2180.098	121.1165		
Total	27	7621.236			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

APÊNDICE D - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS DO EXPERIMENTO 4.

Quadro 13 – Análise de variância da AACPD para a quarta época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	60.11034	20.03678	0.2404	ns
Tratamentos	5	1358.918	271.7836	3.2611	*
Resíduos	15	1250.127	83.34177		
Total	23	2669.155			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 14 – Análise de variância da taxa de progresso (r) para a quarta época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	0.02653	0.00884	0.4711	ns
Tratamentos	6	0.27331	0.04555	2.4269	ns
Resíduos	18	0.33784	0.1877		
Total	27	0.63767			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 15 – Análise de variância da produtividade para a quarta época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	192.9792	64.3264	1.9698	ns
Tratamentos	5	472.689	94.53779	2.8949	ns
Resíduos	15	489.8528	32.65685		
Total	23	1155.521			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

Quadro 16 – Análise de variância do peso de cem grãos para a quarta época de semeadura

FV	GL	SQ	QM	F	
Blocos	3	725.762	241.921	2.7414	ns
Tratamentos	6	6261.25	1043.54	11.825	**
Resíduos	18	1588.44	88.2464		
Total	27	8575.45			

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ns não significativo ($p \geq 0,05$); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F.

ANEXO

**ANEXO A. ESCALA FENOLOGICA DA SOJA ADAPTADA POR YORINORI (1996)
DE RITCHIE ET AL. 1982.**

Vegetativo	Descrição
VE	Emergência; cotilédones acima da superfície do solo.
VC	Cotilédones expandidos, com as folhas unifolioladas abertas.
V1	Primeiro nó; folhas unifolioladas expandidas, com o primeiro trifólio aberto.
V2	Segundo nó; primeiro trifólio expandido e a segunda folha trifoliolada aberta.
V3	Terceiro nó; primeiro trifólio expandido e a terceira folha trifoliolada aberta.
Vn	Enézimo (último nó) antes da floração.
Reprodutivo	
R1	Início da floração: até 50% das plantas com uma flor.
R2	Floração plena: maioria dos racemos com flores abertas.
R3	Final da floração, vagem de 1 a 5 mm de comprimento.
R4	Vagens de 2 a 4 cm de comprimento no terço superior.
R5.1	Grãos com início de formação a 10% da granação.
R5.2	Vagens com mais de 10% e até 25% de granação.
R5.3	Vagens com mais de 25% e até 50% de granação.
R5.4	Vagens com mais de 50% e até 75% de granação.
R5.5	Vagens com mais de 75% de granação.
R6	Vagens com sementes verdes com 100% de granação e folhas verdes.
R7.1	Início a 50% do amarelecimento das folhas.
R7.2	De 50% a 75% do amarelecimento das folhas.
R7.3	Mais de 75% de folhas amarelas.
R8.1	95% das vagens maduras. Início a 50% de desfolha.
R8.2	Mais de 50% de desfolha.
R9	Ponto de maturação de colheita.