



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS DE CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA

MARIANA POLL MORAES

SISTEMA AGROMETEOROLÓGICO DE PREVISÃO PARA FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA

CERRO LARGO

2018

MARIANA POLL MORAES

**SISTEMA AGROMETEOROLÓGICO DE PREVISÃO PARA FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA**

**Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção de grau
de bacharel em agronomia da Universidade
Federal da Fronteira Sul.**

Orientador: Prof. Dr. Sidinei Zwick Radons.

Co-orientadora: Prof. Dr. Juliane Ludwig

CERRO LARGO

2018

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Moraes, Mariana Poll
Sistema agrometeorológico de previsão para ferrugem
asiática da soja / Mariana Poll Moraes. -- 2018.
41 f.:il.

Orientador: Sidinei Zwick Radons.
Co-orientadora: Juliane Ludwig.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Agronomia, Cerro Largo, RS , 2018.

1. *Phakopsora pachyrhizi*. 2. Epidemiologia. 3.
Previsão de doença. 4. Temperatura. I. Radons, Sidinei
Zwick, orient. II. Ludwig, Juliane, co-orient. III.
Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

MARIANA POLL MORAES

SISTEMA AGROMETEOROLÓGICO DE PREVISÃO PARA FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA

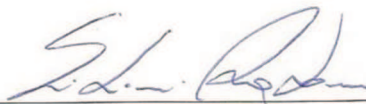
Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Sidinei ZwickRadons.

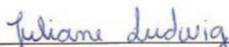
Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

26 / 11 / 2018

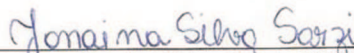
BANCA EXAMINADORA



Prof.º Dr. Sidinei ZwickRadons- UFFS



Prof.ª Dr. Juliane Ludwig- UFFS



Eng. Agron. Janaina Silva Sarzi- UFMS

Dedico esta monografia à todos aqueles que me deram coragem para prosseguir e foram-me sustento para que eu chegasse até aqui. Em especial ao meu avó Selvino Poll (*in memoriam*) que não pode vivenciar este momento, mas sempre se fez presente em todas as conquistas da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro agradeço a Deus, pela paz nos momentos de agitação, e pela certeza de vitória nos dias de angústia e ansiedade.

Aos meus pais, Erani e Sônia, que a cada noite antes de deitar pediram em oração que meu caminho fosse seguro, feliz e que eu tivesse forças suficientes para traçar minha jornada; agradeço de todo o meu coração, este amor e esforços sublimes. Também peço perdão pelas preocupações e momentos de ausência.

As minhas irmãs agradeço pelo apoio, e por serem minha primeira referência de amizade na vida. A mana Kellyn pela doçura e alento em meu instante de desânimo. A mana Gabriela pela companhia.

Sou grata também, aos demais familiares que sonharam comigo este momento. Pela compreensão quando não estive presente e por toda forma de amparo que me foi dada.

Agradeço ao meu professor orientador Sidinei Zwick Radons, pela disponibilidade, paciência e confiança que depositou em mim. Estive sob orientação dele a maior parte do curso, o que reflete intrinsecamente na profissional que me tornarei. Também não poderia deixar de agradecer pelas conversas e conselhos para além dos grupos de estudo, que vieram a moldar minha formação pessoal.

Agradeço a Universidade Federal da Fronteira Sul, que tornou possível a realização deste sonho e disponibilizou os recursos para tal. Também ao Sr. Bronildo José Wenzel pela disponibilidade da área para que este experimento fosse realizado, e resultasse no presente trabalho.

De cada mestre, ficam ensinamentos, conselhos e amizades. Agradeço-lhes por estes anos de curso e por saber que posso contar com os mesmos durante a vida profissional que se inicia.

Por fim, agradeço aos meus colegas, porém não em nominal, pois a roda do mate é longa. Estes, mais que companheiros de profissão, tornaram-se amigos e pessoas que vão me acompanhar por toda a vida. Com eles foi mais fácil vencer cada obstáculo, descontraír em situações custosas, e sem dúvidas, ter uma vasta quantia de peripécias para contar.

RESUMO

A ferrugem asiática da soja é sem dúvidas a mais severa epidemiologia que afeta a cultura, causando prejuízos em todas as safras. Diante da dificuldade de formas eficientes de maneja-la e também pela preocupação com o uso exacerbado de agroquímicos, surgem os modelos agrometeorológicos de previsão de doenças. Esses modelos são descritos como meios de explicar e analisar a progressão de uma determinada doença, considerando os fatores meteorológicos, com o fim de evitar casos severos, conseqüentemente, diminuindo o número de aplicações de agroquímicos, custos e riscos ao ambiente. Diante desta situação, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo matemático para previsão da ocorrência de ferrugem asiática na soja, com base em variáveis meteorológicas e a predição de ocorrência ou não da doença. O experimento foi realizado em uma lavoura próxima a Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus Cerro Largo*. A área estudada não recebeu nenhum tipo de aplicação de fungicidas, e a partir de R1, 10 trifólios de soja foram coletados a cada 7 dias e submetidos a análise da escala diagramática da severidade observada, até a desfolha total das plantas. Esses dados serviram para compor a curva da severidade da ferrugem asiática na área, que aliados aos dados meteorológicos extraídos da estação da Universidade, foram utilizados para estabelecer o modelo. O modelo que melhor descreveu a progressão da epidemia na área foi o linear, mostrando-se interpretável e coerente a literatura existente. A interpretação do modelo, considerou a temperatura como a variável mais importante.

Palavras-chave: *Phakopsora pachyrhizi*. Epidemiologia. Previsão de doença. Temperatura.

ABSTRACT

Asian soybean rust is undoubtedly the most severe epidemiology that affects the culture, causing losses in all crops. Given the difficulty of efficient ways of dividing it and also by concerns about the overuse of agrochemicals, there are the agro-meteorological forecasting models of disease. These models are described as a means to explain and analyze the progression of a given disease, whereas meteorological factors, in order to avoid severe cases, thus decreasing the number of agrochemical applications, costs and risks to the environment. In this situation, the aim of this study was to develop a mathematical model to predict the occurrence of soybean rust in soybeans, based on meteorological variables and the occurrence of predicting whether or not the disease. The experiment was carried out in a field near the Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Cerro Largo. The studied area did not receive any type of fungicide application, and from R1, 10 soybean triphols were collected every 7 days and submitted to analysis of the diagrammatic scale of the observed severity until the total defoliation of the plants. These data served to compose the curve severity of soybean rust in the area, which combined with the extracted data from the meteorological station of the University, they were used to establish the model. The model that best described the progression of the epidemic was linear in the area, being interpretable and consistent with existing literature. The interpretation of the model, the temperature considered as the most important variable.

Keywords: *Phakopsora pachyrhizi*. Epidemiology. Prediction disease. Temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Distância da área de realização do experimento à estação meteorológica da UFFS.	27
Figura 2- Dimensões da área de observação da ferrugem asiática.	28
Figura 3- Curvas de favorabilidade de progressão da ferrugem asiática da soja em função do tempo de molhamento foliar (umidade relativa do ar > 85%) e temperatura do ar, com base nos parâmetros descritos por Kochman (1979) e Yorinori, Nunes Junior e Lazzarotto	29
Figura 4- Somatório de valores de severidade calculada (VSC) pelo modelo proposto, comparado à severidade observada na área.....	31
Figura 5- Progressão diária da Severidade Observada da ferrugem asiática da soja (SEV), e variáveis meteorológicas de Temperatura do ar (T), Precipitação e Umidade Relativa do ar (UR).....	32
Figura 6- Progressão da severidade observada de ferrugem asiática da soja em campo em função dos valores de severidade calculada (VSC) acumulados ao longo do período de observação.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais plantas hospedeiras de <i>Phakopsora pachyrhizi</i>	19
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 A SOJA	13
2.2 DOENÇAS DA SOJA	15
2.3 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA	16
2.3.1 HISTÓRICO	16
2.3.2 BIOLOGIA DO PATÓGENO E CICLO DA DOENÇA.....	17
2.3.3 SINTOMATOLOGIA	18
2.3.4 HOSPEDEIROS.....	18
2.3.5 MANEJO DA FERRUGEM.....	20
2.3.6 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA.....	21
2.4 INTERAÇÃO PATÓGENO, AMBIENTE E HOSPEDEIRO	22
2.5 MODELOS DE PROGRESÃO DE DOENÇAS	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) torna-se uma cultura de destaque ao entrar como importante estratégia de produção de oleaginosas, para suprimento da demanda mundial de óleos vegetais e também, na capacidade de ofertar proteínas para a produção de carnes a preços competitivos. Dentre as principais oleaginosas produzidas, a soja participa com 51% do total cultivado no mundo (EMBRAPA, 2000).

Sendo o cultivo mais importante do Brasil (HENNING, 2009), a soja, a partir da década dos anos de 1980, foi apontada como capaz de influir sobre a crise social e nutricional enfrentada pelo país. Isso devido a fatores como a boa adaptabilidade à todas as regiões do Brasil; ao seu alto teor de proteína, alto poder calórico e outras qualidades nutricionais; por ser fonte de proteína de baixo custo quando comparada a outras matérias-primas; e por possuir elevada plasticidade culinária, podendo entrar na composição de praticamente todas as receitas tradicionais da cozinha brasileira, sem alteração do sabor e da aparência dos produtos finais (CÂMARA, 2015).

Conforme perspectivas da EMBRAPA (2003), com o crescente aumento da população humana, o consumo e demanda pela oleaginosa no mundo todo tende a crescer cada vez mais. Além disso, o poder aquisitivo das populações tende a aumentar, essencialmente na Ásia, onde encontra-se o maior potencial de consumo da soja.

Geralmente cultivada como monocultivo, a soja acaba sendo alvo de um desbalanceamento das características químicas, físicas e biológicas do solo, o que leva a ocorrência de doenças, pragas e plantas daninhas (GALERANI, 2005). A monocultura e a adoção de práticas de manejo inadequadas têm favorecido o surgimento de novas doenças e agravado as de menor importância (EMBRAPA, 2000). Justamente as doenças, são indicadas como fator limitante de maior relevância para a produtividade do grão (PINHEIRO, 2007).

De acordo com Godoy et al. (2017), a doença mais severa que incide na cultura da soja, é a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*. Sua primeira ocorrência no Brasil e Paraguai datam da safra de 2001, onde se espalhou rapidamente pelas regiões sojicultoras destes países.

Patógenos recém surgidos acabam por causar graves perdas de rendimento nas culturas que atacam, e se tornam uma ameaça econômica para a agricultura (AKAMATSU, 2012). Prevendo à remediação de prejuízos, o controle da ferrugem desde

seu aparecimento foi realizado a base de agroquímicos (YORINORI; PAIVA, 2002). Atualmente seu controle ainda limita-se majoritariamente a aplicação de fungicidas, principalmente triazóis e estrobilurinas (PINHEIRO, 2007).

No entanto o uso de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja, já tem apresentado algumas fragilidades, onde a doença tem sido ameaça fitossanitária permanente, tanto em consequência ao fenômeno da resistência do fungo, quanto da diminuição da eficiência dos grupos químicos dos triazóis e estrobilurinas, utilizados desde o surgimento da ferrugem (MAPA, 2017). Outro fator que faz com que a ferrugem seja uma epidemia em todas as safras, são as próprias características reprodutivas do fungo *Phakopsora pachyrhizi*, com uma elevada taxa de liberação de esporos nas urédias das lesões.

Em meio a este cenário, surgem os sistemas de previsão de doenças, com o objetivo de reduzir o número de aplicações de agroquímicos, auxiliando assim na diminuição do risco de ocorrência de epidemias severas, reduzindo também custos de produção e a poluição ambiental (TRENTIN, 2006).

Além do mais, nas últimas décadas, as inovações tecnológicas que ocorreram, introduziram possibilidades para o estudo preciso do efeito dos elementos meteorológicos no desenvolvimento de fitopatologias. Onde por sua vez, os sistemas de previsão de doenças são capazes de determinar o momento necessário da aplicação de fungicidas (TRENTIN, 2006).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo estabelecer um modelo para previsão da ocorrência de ferrugem asiática na soja, com base em variáveis meteorológicas e a predição de ocorrência ou não da doença.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A SOJA

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a leguminosa produtora de grãos de maior importância em termos de produção mundial e comércio internacional. Muito disso se deve ao fato de ser única quanto à acumulação de elevados níveis de óleo e proteína. Em sua composição, cerca de 20% do peso corresponde a óleo e 40% à proteína. Esta última percentagem, torna-se completa para a nutrição humana e animal, contendo os oito aminoácidos essenciais à dieta destes. Tais qualidades foram eminentes para que a soja se torna-se um alimento chave para os povos de cultura asiática e mais tarde, a principal fonte de proteína e óleo de origem vegetal do planeta (EMBRAPA, 2008; FEHR, 1987 apud EMBRAPA, 2008).

Atualmente, conforme dados da USDA (2018), o Brasil ocupa o segundo lugar em produção mundial de soja, com 33,2 % da produção total, sendo o maior exportador do grão. Na safra 2016/17, foram produzidos 114,100 milhões de toneladas de soja. A frente do Brasil, encontra-se os Estados Unidos, maior produtor mundial, com 35,1 % da produção total, que respondeu no mesmo período com produção de 116,920 milhões de toneladas de soja (CONAB, 2018).

O seu centro de origem indica que a planta surgiu no Norte da China, e que por volta do século XI a. C. já havia sido domesticada (HYMOVITZ, 1970 apud EMBRAPA 2008), não tratando-se de consenso entre autores o local exato (BONATO; BONATO, 1987). Entre 200 a.C e o século III d.C. espalhou-se pela Ásia, e até o século XVII a comercialização da leguminosa se manteve restrita ao mercado asiático. Com as grandes navegações, as sementes de soja então se espalharam pelo mundo, chegando ao Ocidente (CÂMARA, 2015).

Nas Américas, a difusão ocorreu inicialmente nos Estados Unidos, onde foi explorada primeiramente como forrageira (EMBRAPA, 2003). No Brasil, a soja foi introduzida pelo estado da Bahia, no ano de 1882, por Gustavo D'utra (BONATO; BONATO, 1987), sem sucesso (CÂMARA, 2015). No estado do Rio Grande do Sul o primeiro relato na literatura data de 1901, na cidade de Dom Pedrito (BONATO; BONATO, 1987). Em 1914, na região das Missões, em Santa Rosa, data o primeiro registro de cultivo da leguminosa. No entanto, apenas na década de 40 a soja recebeu

importância econômica e adquiriu registro no Anuário Agrícola do Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 2003).

Como visto anteriormente, a soja provém de local com clima temperado, mas obteve adaptações agrônomicas para condições climáticas subtropicais e tropicais do nosso país. Isso devido, a pesquisas científicas de desenvolvimento da cultura, por meio de melhoramento genético e essencialmente cultivares que fossem adaptadas as diferentes condições edafoclimáticas (TRZECIAK, 2012).

O seu desenvolvimento ótimo encontra-se sob temperaturas de 30 °C, enquanto temperaturas médias elevadas (40 °C) ocasionam o abortamento de flores e uma baixa retenção de vagens. Já temperaturas muito amenas (10 °C) influem negativamente no crescimento vegetativo da planta. As sementes são prejudicadas com temperaturas de solo abaixo de 20 °C na germinação e emergência de plântulas, sendo a faixa de temperatura de solo para realizar a sementeira entre 20 a 30 °C, com um ótimo na casa de 25 °C. As flores somente serão formadas se ocorrerem temperaturas acima de 13 °C. Um produtor que semeie uma mesma cultivar de soja em período parecido, notará que em diferentes safras as datas de floração serão distintas, isso devido influência da temperatura. Assim, uma floração precoce é gerada principalmente por temperaturas elevadas, podendo acarretar diminuição no tamanho da planta. A floração também é influenciada por estresses hídricos e fotoperiodicidade das cultivares. A soja é descrita como espécie de dia curto (EMBRAPA, 2004; ZITO et al., 2007).

Dentre os minerais mais exigidos pela cultura, o primeiro a se destacar é o Nitrogênio, onde para produção de uma tonelada de grãos, é necessário absorver cerca de 80 kg do mineral. É por meio da fixação simbiótica de Nitrogênio atmosférico feita pelas bactérias *Bradyrhizobium*, que a soja adquire grande parte deste N exigido. O segundo nutriente mais exigido é o Potássio, onde a soja utiliza cerca de 55 kg de K para cada tonelada de grão colhido. Os demais nutrientes são respectivamente: Cálcio, Magnésio, Fósforo e Enxofre (EMBRAPA, 2004; ZITO et al., 2007).

Assim sendo, a demanda cada vez maior pela soja, seja de forma direta ou para produção de produtos ou subprodutos, tem feito com que a cultura seja amplamente trabalhada e que tenha-se buscado o desenvolvimento de tecnologias para atingir o seu máximo nível produtivo. Dentre os principais problemas a serem resolvidos para que o Brasil possa atingir a marca de maior produtor mundial, estão os altos custo de produção, as estruturas ineficientes de recebimento e armazenamento de grãos e a deficiência das vias de escoamento de safra (CÂMARA, 2015). Nosso país tem enorme potencial para

liderar o agronegócio mundial, e a soja pode ser o caminho mais rápido e sólido para isso acontecer.

2.2 DOENÇAS DA SOJA

Patologia em plantas pode ser descrita como um fenômeno biológico, capaz de interferir nos processos fisiológicos vegetais, levando a um desequilíbrio no balanço energético. Esta interferência obviamente é prejudicial e faz com que a planta tenha atrasos quando comparada a uma planta sadia, onde o balanço energético não está quebrado, tratando-se de um processo contínuo e não momentâneo (KRUGNER, 1995).

Consoante a EMBRAPA (2000), existem aproximadamente 40 doenças ocorrentes na soja identificadas no Brasil. De acordo com Henning (2009) no mundo todo são cerca de 100 doenças diferentes constatadas na cultura. Dentre os agentes causais estão fungos, bactérias, vírus e nematoides.

Dentre todas as doenças, as de maior importância para sojicultores tem sido: Oídio (*Erysiphe diffusa*); Podridão de carvão (*Macrophomina phaseolina*); Podridão de *Phytophthora* (*Phytophthora megasperma f. sp. sojae*); Antracnose (*Colletotrichum dematium var. truncata*); Doenças de Final de Ciclo- Mancha parda (*Septoria glycines*) e Crestamento foliar de *Cercospora* e mancha púrpura da semente (*Cercospora kikuchii*); Mancha alvo (*Corynespora cassiicola*); Podridão branca da haste (*Sclerotinia sclerotiorum*) e Ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) (EMBRAPA, 2016).

Esta última, a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), é considerada na atualidade a doença foliar com maior potencial destrutivo na cultura da soja, com capacidade de gerar perdas de produtividade de até 90%. Fitopatologia esta, disseminada em praticamente todas as regiões produtoras de soja do Brasil. Seus sintomas aparecem em qualquer estágio da cultura, mas são mais comuns a partir do estágio reprodutivo (ANDRADE; MESQUINE; FIGUEREDO, ca. 2016).

Embora o número de doenças já seja alarmante, a tendência é que só aumente as ocorrências das já relatadas e que haja o surgimento de novas. Estes fatos podem ser atribuídos ao monocultivo da soja, a expansão para novas áreas de cultivo e também como consequência da adoção de práticas de manejo inadequadas (HENNING, 2009; EMBRAPA, 2000).

2. 3 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

2. 3. 1 HISTÓRICO

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sofre com a ocorrência de dois tipos de ferrugem- a ferrugem americana (*Phakopsora meibomiae*) e a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow) (REIS et al., 2012).

A ferrugem americana registrou uma única epidemia no Brasil na safra de 1987/88, em Minas Gerais. Esta forma de ferrugem, apresenta pouca preocupação e dificilmente acarreta danos as lavouras de soja, necessitando de temperaturas amenas (média abaixo de 25° C) e alta umidade relativa do ar para se desenvolver (Yorinori, 1989).

O fungo *P. pachyrhizi*, causador da ferrugem asiática, foi relatado pela primeira vez em 1903 no Japão (HENNING, 1903 apud HARTMAN; MILES; FREDERICK, 2005). Em maio de 1994 foram diagnosticadas pela primeira vez, plantas de soja infectadas por ferrugem no Havaí, até então só havia sido relatado casos na Ásia, Índia e Austrália (KILLGORE; HEU; GARDNER, 1994; DEL PONTE, 2006). Dois anos depois, em 1996, no continente africano, mais precisamente em Uganda, foi confirmado casos severos causados pelo patógeno em lavouras de soja. Na África do Sul, o primeiro relato data de primeiro de março de 2001 (LEVY, 2005).

Ausente no continente americano até a safra de 1999/00 (YORINORI et al., 2003), certamente esporos do fungo *P. pachyrhizi* da África foram disseminados pelo vento para a América do Sul (DEL PONTE et al., 2006a). Em 5 de março de 2001, a ferrugem asiática da soja foi reportada em Pitapó, no Paraguai. Em maio do mesmo ano, ocorreu casos severos da doença no restante do Paraguai e oficializada a entrada da ferrugem no Brasil, com relatos de casos em Londrina no Paraná (YORINORI et al., 2005). Na safra de 2002 a doença atingiu os estados do Rio Grande do Sul ao Mato Grosso (60 % da área produtora), e na safra seguinte ocorreu de modo generalizado nos estados produtores do Brasil (NUNES, 2016).

Nos Estado Unidos da América, maior produtor atual do grão, os primeiros focos de ferrugem foram relatados pelo professor Raymond Schneider, em experimento na Universidade Estadual de Louisiana, em 6 de novembro de 2004 (YORINORI, 2006).

Inúmeros casos de ferrugem asiática da soja têm sido diagnosticados todos os anos, as perdas na produtividade são frequentes e evidentes. Conforme Guterres (2017),

caso não controlada com fungicidas, a ferrugem pode levar a perdas na produtividade de até 100%, uma vez que trata-se de uma doença foliar que atua reduzindo a área fotossintética ativa da planta, acartando danos diretos na produção.

2. 3. 2 BIOLOGIA DO PATÓGENO E CICLO DA DOENÇA

O fungo causador da ferrugem asiática da soja *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow, pertencendo a Classe dos Basidiomycetes, tendo como Ordem os Uredinales e Família os Phakopsoraceae (REIS et al., 2012).

A Ordem Uredinales a que pertence o *P. pachyrhizi*, abriga parasitas obrigatórios ou então biotróficos, isto é, que necessitam de organismo vivo para sobrevivência. Apesar da Ordem produzir vários tipos de esporos o fitopatógeno causador da ferrugem produz apenas dois: urediniósporos e teliosporos (AGRIOS, 2005; KRUGNER; BACCHI, 1995; RUPE; SCONYERS, 2008).

A distinção entre os fungos causadores dos dois tipos de ferrugem pode ser feita por meio de análise de DNA e também por diferenças morfológicas existentes. O *P. pachyrhizi* possui teliosporos de camadas com coloração amarelo- pardo- claros ou hialinos, com cerca de 2 a 7 esporos dispostos irregularmente. Já o *P. meibomiae* apresenta camadas de coloração canela-parda a pardo-clara, com até 5 esporos (RUPE; SCONYERS, 2008; REIS, et al., 2012).

Quanto a disseminação dos uredosporos (principal tipo de inóculo da ferrugem asiática), esta ocorre pelo vento, uma vez que estes esporos são estruturas pequenas e leves, podendo ser transportadas por longas distâncias ou então de uma lavoura a outra (YORINORI et al., 2003). Ao depositar-se na superfície da folha o patógeno *P. pachyrhizi* é capaz de penetrar no tecido epidérmico diretamente, sem a necessidade de ser por aberturas de estômatos como fazem outros tipos de ferrugens (NUNKUMAR, 2006). Após a germinação sob condições favoráveis, umidade e temperatura, o esporo emite seu tubo germinativo e posteriormente forma o apressório. No estágio de crescimento miceliano intercelular (colonização), surgem as estruturas denominadas haustórios, que caracterizam a infecção do patógeno nas células da soja. Quando chega na fase de esporulação, a cerca de 9 dias após a inoculação, são avistadas as urédias na subepiderme, possuindo coloração pardo- clara a pardo- avermelhada. Neste período, os primeiros esporos são liberados pelas urédias (REIS et al., 2012).

2. 3. 3 SINTOMATOLOGIA

Os sintomas causadas pela ferrugem asiática, são frequentemente confundidos no seu estágio inicial, com outras doenças ocorrentes na cultura da soja como a pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodes* pv. *glycines*), o crestamento bacteriano (*Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*) e mancha parda (*Septoria glycines*), no entanto a utilização de lupas de mão com no mínimo 20 X de aumento, auxilia na diagnose da ferrugem (REIS et al., 2012; FIALLOS, 2011).

De acordo com Reis et al. (2012), o nome da doença diz respeito às frutificações do fungo *P. pachyrhizi* não serem tão evidentes, e a olho nu as pústulas são distinguidas facilmente como pústulas ferruginosas. Ainda conforme este autor, o uso do termo “pústulas” para os sintomas gerados pela doença é errôneo, uma vez que o termo “lesões” é mais adequado. Isso porque, a necrose do tecido foliar e cada lesão pode possuir mais de uma pústula. Até 16 urédias salientes já foram contabilizadas em uma única lesão.

A doença pode ocorrer em qualquer estágio fenológico da soja e órgãos verdes da planta, sendo mais comum na área foliar. Inicialmente a ferrugem apresenta-se como áreas cloróticas poligonais, delimitadas pelas nervuras. Geralmente estes primeiros sintomas, são observados nas folhas próximas ao solo, e estando a planta em estágio fenológico próximo ou pouco após o florescimento. O amarelecimento das folhas basais denuncia a presença do fungo na lavoura (REIS et al., 2012; FIALLOS, 2011).

Com o tempo, as lesões ganham coloração que varia do cinza-esverdeado ao marrom-avermelhado, podendo escurecer ainda mais a medida que envelhecem. As urédias geralmente estão na parte abaxial da folha, porém podem esporadicamente aparecer na parte superior da mesma. A lesão apresenta um poro central por onde são liberados os uredíniosporos, caracterizando a esporulação da doença. O estágio final da epidemia da ferrugem, caracteriza-se pelo amarelecimento prematuro inteiro da folha com abscisão desta, devido ao intenso aumento das lesões (REIS et al., 2012; FIALLOS, 2011).

2. 3. 4 HOSPEDEIROS

De acordo com Yorinori, Nunes Junior e Lazzarotto (2004), o número de plantas hospedeiras do fungo da ferrugem asiática da soja, varia consoante à diferentes autores na literatura, onde Yeh (1985) constatou a existência de 80 plantas hospedeiras de *P.*

pachyrhizi; Hennen (1996) cita a ocorrência da doença naturalmente em 31 espécies de 17 gêneros de leguminosas e por inoculação artificial em 60 espécies de 26 gêneros de leguminosas; Sinclair & Hartman (1999) menciona infecção do fungo da ferrugem de modo natural em 34 espécies de leguminosas e por inoculação artificial em 61 hospedeiros.

Conforme Kent Smith, da USDAARS, estas são as principais plantas hospedeiras de *Phakopsora pachyrhizi*:

Tabela 1. Principais plantas hospedeiras de *Phakopsora pachyrhizi*.

Nome científico	Nome comum	Nome científico	Nome comum
<i>Alysicarpus vaginalis</i>	Trevo	<i>Phaseolus coccineus</i>	Feijão-da-espanha
<i>Astragalus cicer</i> , <i>A. glycyphyllos</i>	Alcaçuz- selvagem	<i>Phaseolus</i> <i>lunatus</i> var. <i>lunatus</i>	Feijão-de-lima
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão-andu	<i>Phaseolus</i> <i>vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i>	Feijão-comum
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	<i>Pisum sativum</i>	Ervilha
<i>Canavalia gladiata</i>	Feijão-espada	<i>Psophocarpus</i> <i>tetragonolobus</i>	Feijão-alado
<i>Crotalaria anagyroides</i> , <i>C. spectabilis</i>	Crotalária	<i>Pueraria</i> <i>montana</i> var. <i>lobata</i>	Kudzu
<i>Desmodium tortuosum</i>	Pega-pega	<i>Securigera varia</i>	Crownvetch- nome comum desconhecido em português
<i>Glycine max</i>	Soja	<i>Sesbania exaltata</i>	Sesbania
<i>Lablab purpureus</i>	Labe-labe	<i>Trifolium aureum</i>	Trevo-dourado
<i>Lespedeza</i> spp., <i>Kummerowia</i> <i>a striata</i> , <i>K. stipulaceae</i>	Lespedeza	<i>Trifolium incarnatum</i>	Trevo-encarnado
<i>Lotus</i> spp.	Cornichão	<i>Trifolium lappaceum</i>	Trevo-lapa
<i>Lupinus</i> spp.	Tremoço	<i>Trifolium repens</i>	Trevo-branco
<i>Macroptilium</i> <i>atropurpureum</i>	Siratiro	<i>Trigonella foenum-</i> <i>graicum</i>	Feno-grego
<i>Medicago</i> spp.	Alfafa	<i>Vicia faba</i>	Fava
<i>Melilotus officinalis</i>	Trevo-cheiroso	<i>Vicia villosa</i> subsp. <i>Varia</i>	Ervilhaca-peluda
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja-perene	<i>Vigna mungo</i>	Feijão-mungo
<i>Pachyrhizus ahipa</i> , <i>P. erosus</i>	Jacatupé	<i>Vigna radiata</i>	Feijão-broto
<i>Phaseolus coccineus</i>	Feijão-da- espanha	<i>Vigna unguiculata</i>	Feijão-caupi

Fonte: Elaborada pela autora.

A presença da soja guaxa no período de entressafra representa uma ameaça contínua, e critério importante no manejo nas lavouras (YORINORI; NUNES JUNIOR; LAZZAROTTO, 2004). Recorrente a isso, Brasil e Paraguai adotaram o calendário de vazio sanitário para soja, caracterizado como o período de 60 a 90 dias em que não se pode semear ou manter plantas vivas de soja no campo. No Brasil, 11 estados e o Distrito

Federal adotam essa medida, estabelecida por meio de normativas estaduais. O objetivo é reduzir a sobrevivência do fungo *P. pachyrhizi* durante a entressafra, e atrasar a ocorrência da ferrugem asiática durante a safra (EMBRAPA, 2017).

2. 3. 5 MANEJO DA FERRUGEM

Para Fiallos (2011), a ferrugem trata-se de uma doença destrutiva, onde em todos os países que foi diagnosticada, tem levado a exaustivo processo de controle. Na literatura, como destaca o autor, o principal método de controle adotado tem sido o químico, embora existam outros tipos de controle como cultural, genético e alternativo.

No controle cultural, as indicações são de rotação cultural com gramíneas; eliminação das plantas hospedeiras essencialmente no período de entressafra, já que tratasse de um patógeno biotrófico; manejo da irrigação por aspersão, a fim de reduzir o molhamento foliar que favorece a germinação dos esporos e a penetração do fungo na planta; manejo populacional do estande de plantas de soja na lavoura, onde uma semeadura adensada acaba dificultando a penetração de calda na área de dossel, causando cobertura deficiente, além de que um maior espaçamento entre linhas de cultivo resulta em menor severidade da ferrugem e permite melhor distribuição de fungicidas durante a aplicação (FIALLOS, 2011).

Quanto ao controle genético, os principais benefícios dizem respeito a diminuição do uso de agroquímicos e também a redução da pressão de seleção à resistência ao uso de fungicidas. Seis principais loci de resistência dominante (Rpp1- Rpp6) foram identificados e mapeados no genoma da soja. Cultivares com resistência genética a ferrugem asiática estão no mercado desde 2009 no Brasil, como a tecnologia INOX e BRS, quando a aplicação de fungicidas ainda é recomendada para diminuir o patógeno nas áreas e evitar uma possível pressão de seleção (GODOY et al., 2016).

No quesito controle alternativo, a maior parte dos trabalhos ainda é realizada *in vitro*, no entanto apresentaram satisfatórios resultados, tendo como exemplo estudos feitos com a utilização de óleos essenciais de plantas de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*), citronela (*Cymbopogon nardus*), nim (*Azadirachta indica*) e tomilho (*Thymus vulgaris* L). Todos os óleos foram capazes de reduziram drasticamente a germinação de uredosporos de *P. pachyrhizi* (FIALLOS, 2011).

O controle químico é feito por três grupos de fungicidas os Inibidores de desmetilação (IDM, "triazóis"), os Inibidores da Quinona externa (IQe, "estrobilurinas")

e os Inibidores da Succinato Desidrogenase (ISDH, "carboxamidas") (EMPRAPA, 2017). No MAPA são registrados cerca de 47 produtos para utilização na cultura da soja.

Grigolli (2015), destaca que o controle para ferrugem asiática exige a combinação de um conjunto de técnicas, que sejam capazes de evitar a perda de rendimento. Algumas das estratégias citadas pelo autor, trazem a semeadura preferencialmente de cultivares precoces e no início da época recomendada para a região; evitar o prolongamento do período de semeadura, já que a soja semeada mais tardiamente, ou de ciclo longo, acaba sofrendo mais danos devido a multiplicação do fungo durante as primeiras semeaduras; para as regiões onde a ferrugem já foi diagnosticada, deve-se realizar a vistoria da lavoura desde o início da safra e, principalmente no período próximo a floração das plantas; ao primeiro sinal da presença da doença e havendo chuvas ou orvalho abundante, pode ser necessário a aplicação de fungicidas.

2. 3. 6 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Em 1973 a USDA APHIS, declarou a ferrugem asiática como uma das cem pragas e doenças exóticas mais perigosas do mundo e a número um para a soja. O que faz a ferrugem ser uma ameaça em potencial é sua atuação direta no rendimento, reduzindo através da desfolha prematura, o número de vagens cheias e o peso dos grãos por planta. Além disso, a doença acaba afetando a qualidade dos grãos produzidos (NUNKUMAR, 2006).

Consoante a EMPRAPA (2017), o custo médio gerado pela doença por safra gira entorno dos US\$ 2 bilhões. Desde que foi registrada sua ocorrência no Brasil, na safra 2001-2002, já acumulou prejuízos de mais de 10 bilhões USD. Caso não seja bem manejada, pode proporcionar até 90% de redução da produtividade da cultura (MAPA, 2017).

Conforme o Consórcio Antiferrugem (2009), embora com o passar dos anos, desde que ocorreu o primeiro caso de ferrugem no Brasil, tenham diminuído as perdas na produção, os gastos com controle para manejar a doença só tem aumentado. Tornando assim, o custo total (perdas e controle) cada vez maior de safra para safra.

A importância econômica da ferrugem asiática pode ser compreendida pela sua rápida expansão, virulência e pelo montante de perdas gerados, onde frequentemente atinge altos níveis que inviabilizam a colheita da oleaginosa. No Brasil, já foram registrados níveis de perdas de 100% com inviabilidade de colheita (YORINORI, 2006).

2. 4 INTERAÇÃO PATÓGENO, AMBIENTE E HOSPEDEIRO

O triângulo que caracteriza o desenvolvimento de uma doença, conta com a interação destes três vértices principais: planta suscetível, agente patógeno e condições ambientais favoráveis. Estudos realizados desde antes de Cristo, observam que os fatores ambientais são capazes de influir no ataque de patógenos aos cultivos. Os fatores do ambiente podem tornar a planta um hospedeiro mais suscetível as ações do agente causador da doença. Essa interferência pode ir desde o estabelecimento até o desenvolvimento da patogenicidade na cultura. Esses fatores externos, também podem agir direta ou indiretamente sobre o agente causal, refletindo em seu favorecimento, ou não, e até mesmo sobrevivência na lavoura (BEDENDO, 1995).

Agrios (2005), descreve esse triângulo como sendo um “triângulo da doença”, onde o comprimento de cada lado será proporcional a soma de todas as características de cada componente (planta, patógeno e ambiente) que favorece a doença. Ainda segundo esse autor, o mesmo destaca que o mais comum é o surgimento das doenças em noites ou dias quentes e úmidas, e em plantas com boa fertilidade de nitrogênio. Fatos como estes, indicam que condições ambientais de ar e solo, após o contato do patógeno com seu hospedeiro, poderão influir significativamente no desenvolvimento da doença. Isso porque, condições do ambiente frequentemente determinam se uma doença irá ocorrer.

Temperatura e umidade na superfície da planta são os fatores que afetam o início de doenças infecciosas em vegetais com maior severidade. Posteriormente, luz e Ph do solo, onde estes fatores afetam o desenvolvimento da enfermidade através da influência sobre o crescimento e suscetibilidade do hospedeiro, na multiplicação e atividade do agente patógeno, ou então, sobre a interação hospedeiro-patógeno no que se refere ao grau de desenvolvimento do sintoma (AGRIOS, 2005).

Outro fator abiótico importante é o vento, possuindo relevância quanto a disseminação de agentes patogênicos. O vento pode transportar diversas estruturas fúngicas, ou de outros patógenos, a longas ou curtas distâncias, sendo seu efeito potencializado quando em contato com gotículas de precipitação. O vento auxilia na deposição, transporte e liberação do inóculo, sendo capaz de infectar novas plantas na proximidade da planta doente, ou dependendo da intensidade das corrente de ar, até mesmo disseminação intercontinental. Correntes de ar, são consideradas as possíveis

responsáveis pela introdução da ferrugem do cafeeiro no Brasil, oriunda do continente africano (BEDENDO, 1995).

A ferrugem asiática da soja é favorecida por longos períodos de molhamento ou precipitações bem distribuídas, quando a temperatura ótima para o desenvolvimento da doença varia de 18° a 28° C (EMBRAPA, 2005). Períodos muito quentes, acima de 30° C, e com pouca umidade são desfavoráveis para o desenvolvimento da ferrugem (YORINORI et al., 2003).

Kochman (1979), estudando a sobrevivência de uredósporos e o desenvolvimento da ferrugem da soja sob faixas de temperatura, relatou que o desenvolvimento dos esporos do fungo *P. pachyrhizi* foi significativamente reduzida quando expostos a temperaturas de 28,6° a 42,5° C. Os melhores resultados de desenvolvimento foram constatados sob o regime de temperatura de 17° a 27° C. O trabalho utilizou um molhamento foliar de 16 horas, e para o autor, tais resultados podem explicar fatos comportamentais observados na ferrugem asiática no campo.

Os uredósporos germinam em uma hora à temperatura ambiente de 25° a 27° C, porém a penetração no tecido foliar pode ocorrer à temperatura variando de 8° a 28° C. Sob condição favorável, as primeiras lesões podem ser visíveis de 4 a 5 dias após a inoculação e as primeiras frutificações (urédias) e esporulações aparecem aos 6 a 7 dias após a inoculação (YORINORI; NUNES JUNIOR; LAZZAROTTO, 2004).

2. 5 MODELOS DE PROGRESÃO DE DOENÇAS

Conforme Reis et al. (2009), os sistemas de previsão de doenças são regidos pela presença, tempo e espaço dos três fatores determinantes da ocorrência de doenças: hospedeiro, ambiente favorável e patógeno. O autor salienta que os sistemas de previsão, baseiam-se em sua maioria, em requerimentos climáticos para a multiplicação do inocúlo e infecção, uma vez que o monitoramento do inoculo torna-se muito laborioso.

Frequentemente referidos como modelos de previsão de doenças, ou então modelos de riscos de doenças, os mesmos são desenvolvidos com base no conhecimento epidemiológico obtido através de estudos ambientais controlados ou de campo (DEL PONTE et al., 2006a). O objetivo central desses sistemas é chegar ao momento ideal e necessário de aplicação de fungicidas, feito através de uma simulação do progresso das doenças nas plantas. Assim, qualquer sistema que preveja o início ou o desenvolvimento de uma fitopatologia utilizando informações das condições meteorológicas ou ambientais

dos três vértices do triângulo doença (hospedeiro, patógeno e ambiente), pode ser considerado um sistema de previsão. O conceito é amplo o suficiente para abrigar desde sofisticados software de computadores, até simples regras que relacionem, por exemplo, infecção com horas de molhamento foliar (TRENTIN, 2006).

Assim, modelos matemáticos de progressão de doenças, são capazes de trazer em forma de expressões matemáticas relativamente simples, a relação que há entre doença e tempo. Estes modelos facilitam a análise dos dados de progresso da doença (BERGAMIN FILHO, 1995).

Sistemas epidemiológicos, fenológicos e de dinâmica de população tem sido desenvolvidos para diversas doenças de importância econômica (TRENTIN, 2006), demonstrando resultados satisfatórios em vários trabalhos disponíveis na literatura, como Trentin (2006) prevendo a requeima da batata; Radons (2010) para mancha de septória no girassol irrigado e Giacometti (2015) com previsão do míldio para cultura da videira.

Consoante a Bergamin Filho (1995), um modelo de progressão de doença pode ser construído para qualquer patossistema; seja com cultura anual ou perene, adaptada a qualquer clima, com qualquer agente causador e podendo ser uma epidemia curta ou longa e a níveis experimentais ou continentais. Esses modelos utilizam as curvas de progressão, que de acordo com o autor, são a melhor forma de representar uma epidemia, levando-se em consideração proporção da doença *versus* tempo.

Quanto as variáveis empregadas nos sistemas de previsões, muitos modelos podem se basear exclusivamente em dados meteorológicos. Dentre os fatores ambientais utilizados destacam-se: temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e duração do molhamento foliar, unidos a severidade acumulada (OLIVEIRA, 2005).

De acordo com Del Ponte et al. (2006a), os modelos de previsão da ferrugem asiática da soja, podem ser classificados em dois grandes grupos: os de simulação e os empíricos. Os modelos de simulação, baseiam-se em processos dirigidos, com conceitos derivados de patossistema, visando ajudar a melhorar a compreensão da estrutura e comportamento do sistema biológico patogênico. Os modelos empíricos por sua vez, são tipicamente construídos por meio de relações estatísticas com variáveis explanatórias dos dados experimentais. Esses dados podem ser tanto do campo sobre indivíduos (por exemplo, sobrevivência, dispersão, infecção, esporulação), como por componentes epidêmicos combinados (por exemplo, progresso da doença, gravidade final).

Ainda conforme Del Ponte et al. (2006a), na atualidade, os métodos e aplicações para se estimar a progressão de doenças irá depender dos diferentes grupos de pesquisa.

Onde as diferenças podem abranger o tipo de modelo, dados climáticos, meteorológicos, fenológicos e geográficos, além de como estes dados serão armazenados, processados e entregues ao público-alvo.

Autores como Bergamin Filho e Amorim (2011), descrevem os modelos de forma mais simplificada para compreensão. Para eles, também há dois tipos de modelos: o empírico, que sempre inicia com a coleta de dados, passando por uma fase de relacioná-los, e findando com a previsão da doença. E o segundo tipo, é o explanatório, onde antes da coleta de dados, ocorre a elaboração de um conceito derivado acerca do funcionamento do sistema a ser modelado. Somente após isto ocorre a coleta de dados, a relação dos mesmos e a compreensão, que eventualmente leva a uma previsão, e também inferências.

O uso de agroquímicos é a principal forma utilizada para controle do fungo *P. pachyrhizi*, a fim de evitar perdas na produtividade, danos na produção e prejuízos ao produtor (FIALLOS, 2011). Porém, considerando os fungicidas como um fator que permite a expressão potencializada de produção da lavoura, o seu uso deve ser economicamente sustentável (REIS et al., 2009), como é feito por meio da utilização dos modelos de previsão de doenças, determinando o momento mais apropriado para as aplicações de fungicidas (RADONS, 2010).

Quando uma doença é facilmente controlada e com custo econômico baixo, os modelos de previsão não seriam recomendados (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011). No caso da ferrugem asiática da soja, os métodos de controle exigem o auxílio de modelos de previsão, já que a doença se faz presente em todas as safras, encarecendo a produção e sem soluções efetivas.

Conforme Del Ponte et al. (2006a), vários modelos matemáticos e computacionais foram desenvolvidos nas últimas décadas para prever epidemias de ferrugem asiática da soja. Em seu trabalho revisando a literatura a respeito de modelos, Del Ponte et al. (2006a) cita 12 trabalhos desenvolvidos entre 1991 e 2006 acerca do patossistema soja-ferrugem.

Antes mesmo da ferrugem asiática ser descrita no Brasil, por se tratar de uma doença severa, modelos de simulação da doença foram elaborados, e diagnosticaram o Brasil como uma zona de alto risco. As condições de temperatura e umidade eram ideais para sobrevivência do fungo, o que foi comprovado a partir de 2001 (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 2011).

Assim sendo, as principais vantagens que os sistemas de previsão apresentam são: diminuição do risco de epidemias, maior lucro ao produtor pela redução do número de

pulverizações e menores danos à saúde do homem e ao ambiente (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área de cultivo agrícola a cerca de 430 metros da estação meteorológica da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Campus Cerro Largo- RS (Figura 1). As coordenadas do local são latitude: 27°08' S; longitude: 54°45' O e altitude 258 metros. O clima regional é do tipo Cfa de acordo com a classificação de Köppen. Esse tipo de clima é caracterizado como subtropical úmido, ocorrendo verões quentes e não possuindo estação seca definida (ALVARES et al., 2013). O solo na área é classificado como latossolo vermelho (EMBRAPA, 2006).

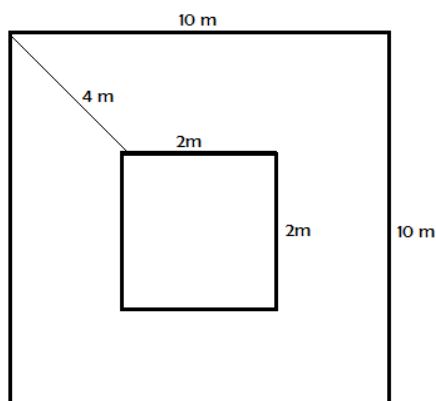
Figura 1- Distância da área de realização do experimento à estação meteorológica da UFFS.



Fonte: Elaborada pela autora.

A cultivar de soja utilizada foi a TEC 7849 IPRO (Grupo de Maturação 7.8), semeada em plantio direto no dia 20 de janeiro de 2018. A lavoura possui aproximadamente 9 ha, e destes uma área de 100 metros quadrados foi demarcada para observação da doença. Nela, 4 metros foram deixados de bordadura a cada margem, para que os fatores restantes da lavoura não interferissem no experimento, restando uma área útil de 4 metros quadrados, onde foram realizadas as observações de progresso da ferrugem asiática, como é visto na Figura 2.

Figura 2- Dimensões da área de observação da ferrugem asiática.



Fonte: Elaborada pela autora.

Esta área não recebeu nenhum tipo de tratamento para ferrugem, ou seja, nenhuma aplicação de fungicida foi feita sobre as plantas. Quando as plantas estavam no estágio fenológico R1, foram iniciadas as avaliações de severidade observada, de acordo com a escala diagramática de Godoy, Koga e Canteri (2006).

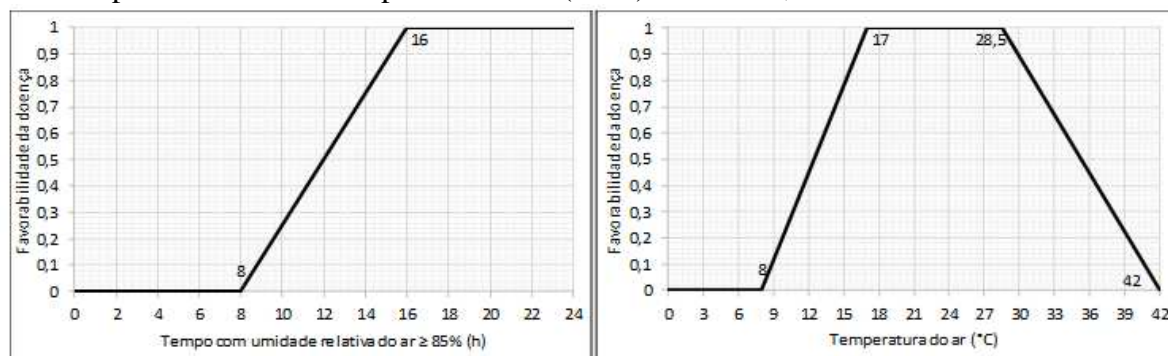
Para tal, foram coletados 10 trifólios ao acaso, em cada avaliação, dentro da área útil de 4 metros quadrados. As plantas de soja foram divididas no momento da coleta em três níveis: superior, médio e inferior, e as folhas coletadas do terço inferior do dossel. Cada avaliação foi feita num intervalo de sete dias, com a primeira em R1 e a última antes do desprendimento total dos pecíolos, aos 59, 66, 73, 80, 87, 94 DAS (Dias Após a Semeadura).

Os dados provenientes das avaliações da severidade observada da ferrugem, serviram para compor uma curva de severidade, que aliados a fatores meteorológicos, como a precipitação, a umidade relativa do ar e a temperatura do ar (todos extraídos da estação meteorológica da universidade), foram utilizados para criar o modelo para compreender a progressão da doença.

Para a detecção da condição de molhamento foliar, com base na umidade relativa do ar, foi adotado valor de 85%. Sendo assim, quando os dados da estação apresentavam valores iguais ou a cima deste, determinou-se molhamento foliar (RADONS, 2012).

Os dados da ecologia da ferrugem asiática foram utilizados dos trabalhos de Kochman (1979) e Yorinori, Nunes Junior e Lazzarotto (2004), referentes a temperatura e molhamento (Figura 3).

Figura 3- Curvas de favorabilidade de progressão da ferrugem asiática da soja em função do tempo de molhamento foliar (umidade relativa do ar > 85%) e temperatura do ar, com base nos parâmetros descritos por Kochman (1979) e Yorinori, Nunes Junior e Lazzarotto



Fonte: Elaborada pela autora.

Utilizando-se os dados dos trabalhos da literatura e da estação meteorológica, foram criadas situações de favorabilidade de ocorrência da doença na área, onde uma atribuição de notas foi disposta entre zero e um (0 e 1). Um significou a condição ótima para ocorrência da ferrugem asiática da soja, e zero condições menos favoráveis, onde a doença não progrediria.

Quando as condições foram favoráveis o modelo pontuou valores de severidade calculada (VSC), compondo uma curva com o somatório de pontos para progressão da doença. O cálculo diário de VSC foi realizado de acordo com a seguinte equação:

$$VSC = f(UR > 85\%) \cdot f(T)$$

Onde:

- VSC é o valor de severidade calculado para o dia.
- $f(UR > 85\%)$ é a favorabilidade da doença em função do tempo que a umidade relativa do ar superior à 85%.
- $f(T)$ é a favorabilidade da doença em função temperatura média do ar no período em que a umidade relativa do ar é igual ou superior à 85%.

A curva de progressão da doença foi comparada à curva de acumulação de VSC ao longo do período de observação dos sintomas por meio da análise de regressão, visando avaliar o quanto a severidade observada na foi compreendida pela acumulação de VSC pelo modelo proposto. Para fins dessa comparação, foram comparados os dados de severidade observada sete dias após o cálculo dos VSC, uma vez que o sistema proposto

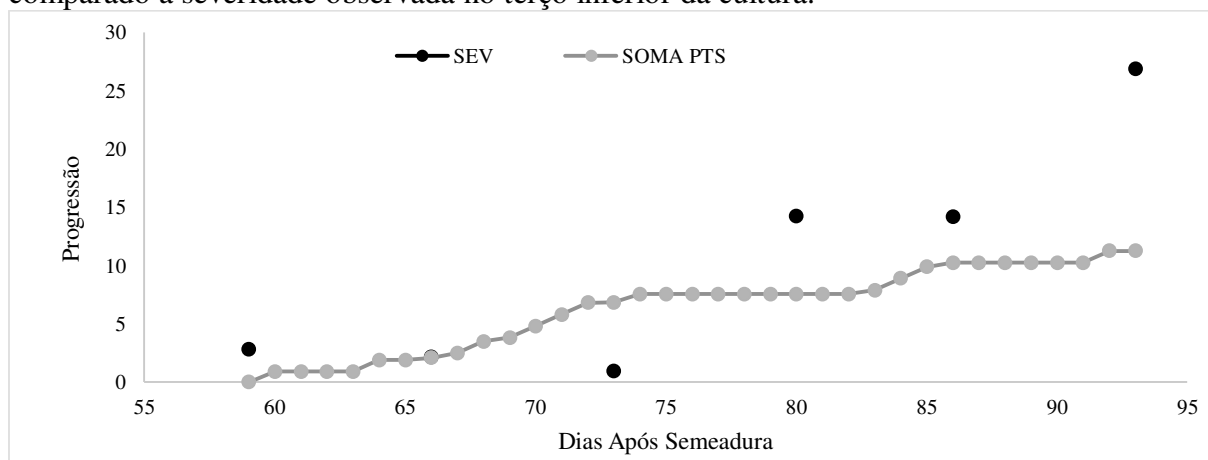
visa detectar o momento da infecção e a severidade observada detecta o sintoma visível ao olho humano, que ocorre cerca de cerca de 7 dias depois (REIS et al., 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consoante a Bergamin Filho (2011), a curva de progresso da doença, expressa pela proporção de doença *versus* tempo, é a melhor representação de uma epidemia, e pode ser elaborada para qualquer patossistema.

A curva que expressa o somatório de pontos do modelo agrometeorológico com as condições favoráveis para ocorrência da doença é representada na Figura 4. Como pode ser visto na figura, apesar da soma de valores de severidade calculada (VSC) ser ao longo da evolução da doença expressa por uma curva progressiva, quando comparada a curva que caracteriza a severidade observada, esta trouxe uma queda inicial acerca dos 73 DAS (Dias Após Semeadura). Este fato pode ser explicado pelas condições meteorológicas de molhamento (neste trabalho umidade relativa do ar igual ou superior a 85%), que precisariam ser caracterizadas por períodos relativamente maiores, quando as temperaturas não são favoráveis para o patógeno.

Figura 4- Somatório de valores de severidade calculada (VSC) pelo modelo proposto, comparado à severidade observada no terço inferior da cultura.



Fonte: Elaborada pela autora.

Constatações como esta, também foram apuradas por Tsukahara, Hikishima e Canteri (2008). Em seu ensaio realizado em regiões produtoras de soja do Paraná, quando a faixa ótima de temperatura para germinação do fungo não foi alcançada, os períodos de molhamento para a ocorrência de infecção tornaram-se cada vez mais longos.

Na condição inicial do experimento, até os 73 DAS, onde se caracterizou a queda da curva de severidade, a temperatura máxima obtida foi de 26,8 °C, e a umidade relativa, na maioria das ocasiões, não caracterizou molhamento foliar, não favorecendo assim, o patógeno *Phakopsora pachyrhizi* e, mais uma vez, confirmando os dados.

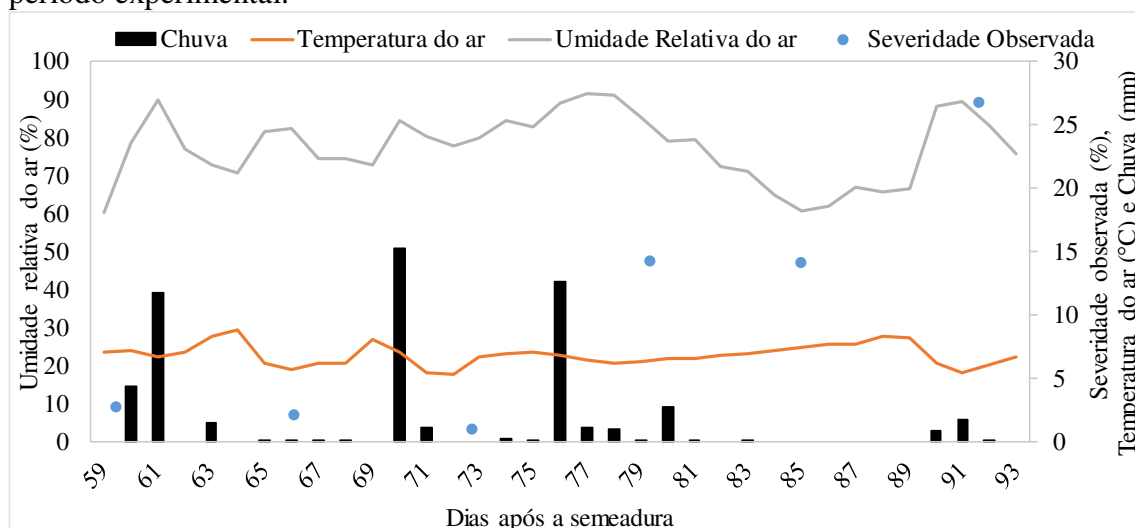
Outro fato que pode evidenciar esse ocorrido, é descrito no trabalho de Dufault et al. (2010), quando os autores constataram que volumes intensos de chuva (45 ou 85 mm h-1) ou dias seguidos de precipitação, acabam interferido negativamente na taxa de uredosporos disponíveis para infecção no dossel da lavoura.

No experimento, este episódio foi evidenciado, e o maior volume de chuvas acumulado no período foi registrado justamente quando ocorreu este declínio na progressão da ferrugem.

Ainda a respeito do trabalho de Tsukahara, Hikishima e Canteri (2008), em seus ensaios, a epidemia começou a ser mais significativa a partir dos 78 e 82 DAS. Dados estes, que se aproximam muito do experimento realizado, que obteve uma progressão acentuada a partir dos 80 DAS. Para os autores, o fato pode ser explicado pelas horas de molhamento foliar que passaram a ser maiores, este fato também foi obtido no presente experimento.

Para melhor interpretação das condições ocorridas no período de observação e das variáveis levadas em consideração para formular o modelo vejamos a Figura 5.

Figura 5- Progressão diária da Severidade Observada da ferrugem asiática da soja, e variáveis meteorológicas de Temperatura do ar, Chuva e Umidade Relativa do ar no período experimental.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para esta associação de dados, vale salientar, que a severidade observada foi recuada em 7 dias, em razão ao tempo médio de incubação de *Phakopsora pachyrhiz*, consoante a etiologia do patógeno. Em fitopatologia chama-se este de período latente, e sendo descrito como o período de tempo decorrido entre a deposição do patógeno na

superfície do hospedeiro e o aparecimento das primeiras estruturas reprodutivas (BERGAMIM FILHO e AMORIM, 2011). Portanto, quando o sintoma de ferrugem asiática foi averiguado nas plantas, as condições favoráveis para sua formação já haviam ocorrido dias antes.

Na Figura 5 é possível analisar mais claramente que a partir dos 80 DAS, houve uma progressão acentuada da ferrugem asiática. Esse aumento ocorreu quando houveram maiores somatórios de VSC, com longos períodos de elevada umidade relativa do ar (iguais ou superiores a 85%), caracterizando molhamento foliar, precipitação em elevado volume e em dias subsequentes e também acréscimo na curva de temperatura.

Quanto a variável precipitação, Del Ponte et al. (2006b) descreveram que as chuvas apresentam importância evidente na severidade da ferrugem, contribuindo para a extensão da duração do período de molhamento foliar, redução da temperatura dentro do dossel até o ótimo, e conseqüente liberação dos esporos.

Godoy et al. (2009), reafirmaram a constatação em seus ensaios, onde o progresso da epidemia foi mais rápido, quando a distribuição de chuvas ocorreu em maiores volumes, obviamente não sendo exacerbados ao ponto de serem prejudiciais a esporulação. Comparativamente, quando ocorreram volumes menores, a doença progrediu mais lentamente

Analisando-se o ponto de severidade observada aos 87 DAS isoladamente, apesar deste se manter contínuo ao anterior, e apresentar um somatório de pontos favoráveis para ocorrência da ferrugem (Figura 4.), também linear, possui variáveis distintas ao ponto anterior (80 DAS). Como é representado no Figura 5., não houve precipitação no período e há uma queda na umidade relativa. Porém a faixa de temperatura evolui gradualmente, chegando até os 25,5 °C.

A temperatura, mostrou-se como a variável meteorológica do modelo mais limitante para evolução da ferrugem. De acordo com Alves, Furtado e Bergamim Filho (2006), a temperatura é a principal variável que interfere no período latente, quando registros de temperaturas não ótimas nesse período podem acarretar um atraso no desenvolvimento e no aparecimento dos sintomas da ferrugem. Para Kochman (1979), a disponibilidade de inóculo e umidade afetarão obviamente, no desenvolvimento da ferrugem na soja. No entanto, a temperatura é um fator chave na epidemiologia da doença.

Mesmo que não haja uma concordância na literatura com a faixa ótima de temperatura para germinação e infecção de *Phakopsora pachyrhizi*, é inegável que todos

os trabalhos acerca da ferrugem asiática da soja, descrevem um ótimo, reforçando assim a importância desta variável para os modelos de previsão.

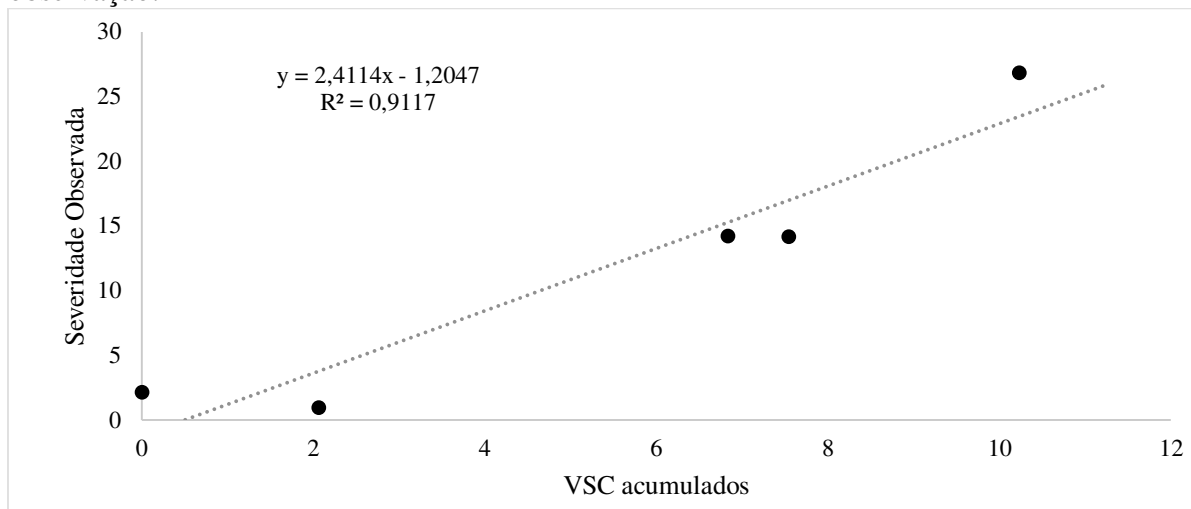
Marchetti, Melching e Bromfield (1976) constataram que 20 e 25 °C de temperatura com molhamento foliar de 10 a 12 horas encontram-se na faixa ótima para infecção do fungo. Já Melching et al. (1989) concluíram que temperaturas entre 18 e 26,5 °C com molhamento mínimo de 6 horas são necessárias para o desenvolvimento da doença; Bonde et al. (2007) verificaram, em seu trabalho com isolados do fungo de todas as regiões do planeta, que a temperatura ótima encontra-se em torno de 17 e 28 °C.

A cerca da severidade observada, a mesma chegou a 26,82%, sendo esta constatada ao final do período de avaliações, próximo à desfolha das plantas de soja. Furtado et al. (2009) ao estudarem a influência do estágio fenológico e da idade da folha de soja na infecção de *P. pachyrhizi*, relataram que o trifólio mais velho sempre apresentou maiores valores de doença. Justificaram o ocorrido, devido a população do patógeno ainda se encontrar em baixos níveis nos estádios iniciais da planta, os quais aumentam simultaneamente com o ciclo da cultura. Assim, na fase reprodutiva com maior concentração de esporos, há maiores taxas de infecção e, conseqüentemente, maior severidade da epidemia.

Godoy, Barros e Xavier (2012), ao avaliar cinco regimes de temperatura no desenvolvimento da ferrugem asiática, constataram que a maior média de severidade foi de 23,9% e observada para o regime de temperatura entre 20 e 28 °C.

Analisando por meio de regressão linear os valores de severidade da doença na área em função dos VSC do sistema proposto, chegou-se a seguinte equação linear: $y = 2,4114x - 1,2047$, com um R^2 de 0,91 (Figura 6). Tal equação exprime que 91% da variância da severidade observada em campo foi compreendida pela variância dos VSC acumulados ao longo do período de observação.

Figura 6- Progressão da severidade observada de ferrugem asiática da soja em campo em função dos valores de severidade calculada (VSC) acumulados ao longo do período de observação.



Fonte: Elaborada pela autora.

Como é visto na Figura 6, a reta do modelo descreve satisfatoriamente os resultados encontrados e discutidos nesse trabalho, corroborando a afirmativa de Brand (2017), de que o modelo escolhido para descrever a progressão da doença, deve ser baseado no desenvolvimento da doença ao longo do tempo, onde será possível ver a relação com os fatores que compõe o triângulo de disposição dos patossistemas.

Tratando-se dos modelos lineares, Del Ponte et al. (2006b), prevendo a severidade da ferrugem asiática por meio de modelos empíricos que usam a precipitação, identificaram quatro modelos lineares, diagnosticando que os mesmos eram capazes de explicar a uma taxa de 85- 93% a variação de gravidade da doença.

Neste mesmo trabalho, Del Ponte et al. (2006b), relataram que na região sul do Brasil, a severidade da ferrugem asiática foi menor que 30%, fato este reafirmado, como já visto, neste trabalho. Estes autores, como mencionado anteriormente, evidenciam a importância da precipitação no desenvolvimento da epidemia, em torno de 85%, e neste trabalho voltam a afirmar que a temperatura não se mostra limitante para o desenvolvimento da ferrugem no Brasil. No entanto, reconhecem que nas condições do sul do país, a temperatura limitou ligeiramente o desenvolvimento da doença. Tal afirmativa, traz à tona a fragilidade deste tipo de modelo que não contabiliza temperaturas baixas, e apenas leva em consideração a precipitação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se no presente trabalho, que os picos de temperatura, umidade e precipitação encontram-se muito próximos, e acompanham os picos da severidade observada da doença. Evidenciando o quão importante é o conhecimento e interpretação acerca das condições meteorológicas para compreensão da epidemiologia da ferrugem asiática da soja.

O modelo se mostrou satisfatório na predição da doença e coerente com a literatura que aborda o patossistema soja-ferrugem asiática.

A variável temperatura apresentou-se limitante para o desenvolvimento da doença na área estudada. Sendo assim, a interpretação do modelo, considerou esta variável como sendo a mais importante nas condições estudadas. Tal fato corrobora os resultados da literatura, que citam que as variáveis dos modelos de previsão da ferrugem não podem ser tratados como fixos, e são diferentes para cada região.

Além do mais, os elementos agrometeorológicos quando isolados, podem trazer indicativos de favorabilidade. Porém não devem ser considerados individualmente em modelos de previsão, uma vez que uma variável interfere na outra e na predição final.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5th ed. New York, US: Elsevier Academic Press, 2005.
- AKAMATSU, H.; YAMANAKA, N.; YAMAOKA, Y.; SOARES, R. M.; MOREL, W.; IVANCOVICH, A. J. G.; BOGADO, A. N.; KATO, M.; YORINORI, J. T.; SUENAGA, K. Pathogenic diversity of soybean rust in Argentina, Brazil, and Paraguay. **Journal of General Plant Pathology**, v. 79, p. 28- 40. 2012.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, nº 6, p. 711 – 728, 2013.
- ALVES, S.A.M.; FURTADO, G.Q.; BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: ZAMBOLIM, L. **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2006. p.37-59.
- ANDRADE, G. C. G.; MESQUINI, R. M.; FIGUEIREDO, A. **Manejo de doenças na cultura da soja**. Monsoy: Informativos Técnicos, ano 3. n. 1. [ca 2016].
- BEDENDO, I. P. Ambiente e doença. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**: volume 1: princípios e conceitos. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1995. cap. 18.
- BERGAMIN FILHO, A. Curvas de progresso da doença. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**: volume 1: princípios e conceitos. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1995. cap. 30.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de Plantas Tropicais**: Epidemiologia e Controle Econômico. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1996.
- BERGAMIM FILHO, A.; AMORIM, L. Epidemiologia de doenças de plantas. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**: volume 1: princípios e conceitos. 4. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 2011. cap. 5.
- BERGAMIM FILHO, A. Curvas de progresso da doença. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**: volume 1: princípios e conceitos. 4. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 2011. cap. 37.
- BONATO, E. R.; BONATO, A. L. V. **A soja no Brasil**: história e estatística. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1987. 61p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 21).
- BONDE, M. R.; BERNER, D. K.; NESTER, S. E., FREDERICK, R. D. Effects of temperature on urediniospore germination, germ tube growth, and initiation of infection in soybean by phakopsora isolates. **Phytopathology**, v. 97, n. 8, p. 997-1003, 2007.
- Brand, S. I. **Manchas foliares de alternária e septória em girassol: modelagem da severidade e redução da produtividade**. 2017. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao agronegócio soja**. Piracicaba: USP/ ESALQ, 2015. 30 p.

CONAB - Companhia Nacional do Abastecimento. **Monitoramento agrícola**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/monitoramento-agricola>> Acesso em: 20 mar. 2018.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. **Site na internet consorcioantiferrugem.net 2007 a 2009**. 2009. Disponível em: <<http://www.consorcioantiferrugem.net/#/main>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

DEL PONTE, E. M.; GODOY, C.V.; CANTERI, M.G.; REIS, E.M.; YANG, X.B. Models and applications for risk assessment and prediction of Asian soybean rust epidemics. **Fitopatologia Brasileira**, v. 3, p. 533-544, nov- dez. 2006a.

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

DUFAUT, N. S.; ISARD, S. A; MARIOS. J. J.; WRIGHT, D. L. The influence of rainfall intensity and soybean plant row spacing on the vertical distribution of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores. **Canadian Journal of Plant Pathology**, jun 2010. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07060661.2010.484205>> Acesso em: 22 ago. 2018.

EMPRESA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS CLIMA TEMPERADO. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2008. 909 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 2000-01**. Londrina, PR: EMBRAPA Soja, 2000. 245 p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 146).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Sistemas de produção 04: Tecnologias de produção de soja- região central do Brasil 2004**. Londrina, PR: EMBRAPA SOJA, 2003. 237 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Manejo de doenças na soja**. Londrina, PR: EMBRAPA Soja, 2016. 6 p. (EMBRAPA-CNPSO. Folder 03-12).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Ferrugem da soja: identificação e controle**. Londrina, PR: EMBRAPA Soja, 2003. 32 p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 204).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa da Soja. **Sistemas de produção 06: Tecnologias de produção de soja- região central do Brasil 2005**. Londrina, PR: EMBRAPA SOJA, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Notícias**. 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/24155475/vazio-sanitario-da-soja-comeca-amanha-em-cinco-estados>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.

FIALLOS, F. R. G. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow e Sydow. **Ciencia y Tecnología**. v. 2, p. 45-60. 2011.

FURTADO, G. Q.; ALVES, S. A. M.; CARNEIRO, L. C.; GODOY, C. V.; MASSOLA, N. S. Influência do estágio fenológico e da idade dos trifólios de soja na infecção de *Phakopsora pachyrhizi*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 118-122, 2009.

GALERANI, P. Perdas repetidas. **Cultivar**, p. 42- 46, ago. 2005.

GIACOMETTI, R. **Sistema de previsão do míldio (*Plasmophora viticola*) pata cultura da videira em curitibanos- SC**. 2015. 21 f. Monografia (Graduação em Ciências Rurais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos. 2015.

GODOY, C.V.; SEIXAS, C. D. S.; SOARES, R. M.; MEYER, M. C.; COSTAMILAN, L. M.; ADEGAS, F. S. **Boas práticas para o enfrentamento da ferrugem-asiática da soja**. Londrina, PR: EMBRAPA Soja, 2017. 6 p. (Comunicado Técnico / Embrapa Soja. ISSN 2176-2899; n. 92).

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

GODOY, C. V.; BARROS, D. C. M.; XAVIER, S. A. Avaliação de regimes de temperatura no desenvolvimento da ferrugem asiática da soja. In: CLIMAPEST EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2012, Jaguariúna. **Workshop sobre mudanças climáticas e problemas fitossanitários**. 2012.

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. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.5, p.407-421, maio 2016.

GRIGOLLI, J. F. J. Manejo de doenças na cultura da soja. In____. **Tecnologia e Produção: Soja 2014/2015**. [S. l.: s. n.], 2015. p. 134- 156.

GUTERRES, C. W. **Por que a ferrugem asiática é considerada a principal doença da soja?** 2017. Disponível em: < <http://maissoja.com.br/por-que-ferrugem-asiatica-e-considerada-principal-doenca-da-soja/>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

HARTMAN, G. L.; MILES, M. R.; FREDERICK, R. D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, [S. l.], v. 89, n. 6, p.664-666, 2005.

HENNING, A. A. Manejo de doenças da soja (*Glycine max* L. Merrill). **Informativo ABRATES**, Londrina, v.19, nº.3, p. 9- 12, 2009.

KILLGORE, R.; HEU, R.; GARDNER, D. E. **First Report of Soybean Rust in Hawaii**. 1994. Disponível em: <https://www.apsnet.org/publications/PlantDisease/BackIssues/Documents/1994Abstracts/PD_78_1216B.htm>. Acesso em: 20 mar. 2018.

KOCHMAN, J. K. The Effect of Temperature on Development of Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Plant Pathology Branch**, v. 30, p. 273- 277. 1979.

KRUGNER, T. L.; BACCHI, L. M. A. Fungos. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**: volume 1: princípios e conceitos. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1995. cap. 3.

LEVY, C. Epidemiology and chemical control of soybean rust in Southern Africa. **Plant Disease**, [S.l.], v. 89, n. 6, p. 669- 674, 2005.

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*. **Phytopatology**, v.66, p.461-463, 1976.

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

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Moção**. Londrina, PR: MAPA, 2017.

NUNKUMAR, A. **Studies on Phakopsora pachyrhizi, the causal organism of soybean rust**. 2006. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) - University of KwaZulu- Natal, Pietermaritzburg. 2006.

OLIVEIRA, F. A de. **Validação de modelos de previsão da ferrugem do cafeeiro e monitoramento de esporos de *Hemileia vastatrix* e *Cercospora coffeicola* em Lavras, MG**. 2005. 109 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2005.

PINHEIRO, J. B. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow) com nutrientes e fungicidas e a influência da nutrição mineral na distribuição espacial e reprodução do nematoide do cisto da soja (*Heterodera glycines Ichinohe*)**. 2007. 191 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2007.

RADONS, S. Z. **Severidade de ocorrência de mancha de septória e produtividade do girassol irrigado**. 2010. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

RADONS, S. Z. **Análise numérica de risco climático de ocorrência de requeima na cultura da batata na região central do Rio Grande do Sul**. 2012. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2012.

REIS, E. M. et al. Ferrugem asiática. In: **Doenças da soja**. Passo Fundo: Berthier, 2012. cap. 3, p. 69- 101.

REIS, E. M. et al. **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2009.

RUPE, J.; SCONYERS, L. **Soybean rust**. 2008. Disponível em: <<https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRust.aspx>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

SMITH, K. **USDA- ARS**. Disponível em: <<http://www.sbrusa.net/>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

TRENTIN, Gustavo. **Avaliação de sistemas de previsão de ocorrência de *Phytophthora infestans* em batata**. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2006.

TRZECIAK, M. B. **Formação de sementes de soja: físicos, fisiológicos e bioquímicos**. 2012. 130 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo- ESALQ, Piracicaba, 2012.

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.

USDA United States Department of Agriculture. **PSED Production, Supply and Distribution**. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/topCountriesByCommodity>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M. **Ferrugem da soja: *Phakopsora pachyrhizi* Sydow**. Londrina, PR: EMBRAPA Soja, 2002. 4 p.

YORINORI, J.T. **Epidemiologia e controle de *Phakopsora Pachyrhizi***, safra 1987/88. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Resultados de pesquisa de soja 1988/89. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1989. p.164-180.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F. **Ferrugem da soja: identificação e controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2003. 32 p. (Documentos / Embrapa Soja. ISSN 1516-781X; n. 204).

YORINORI, J. T.; PAIVA, W. M.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; HARTMAN, G. E.; GODOY, C. V.; NUNES, J. JR. Epidemics of Soybean Rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, [S. l.], v. 89, n. 6, p. 675-677, 2005.

YORINORI, J. T. Ferrugem “asiática” da soja: o desafio continua e como aprimorar seu controle. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4, 2006, [S.l.]. **Anais...** [S. l.: s. n.], 2006.

YORINORI, J. T.; NUNES JUNIOR, J.; LAZZAROTTO, J. J. **Ferrugem “asiática” da soja no Brasil**: evolução, importância econômica e controle. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 40 p. (Documentos/ Embrapa Soja. ISSN 1516-781X; n.247).

ZITO, R. K. et al. **101 Culturas**: manual de tecnologias agrícolas. 1 ed. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007.