

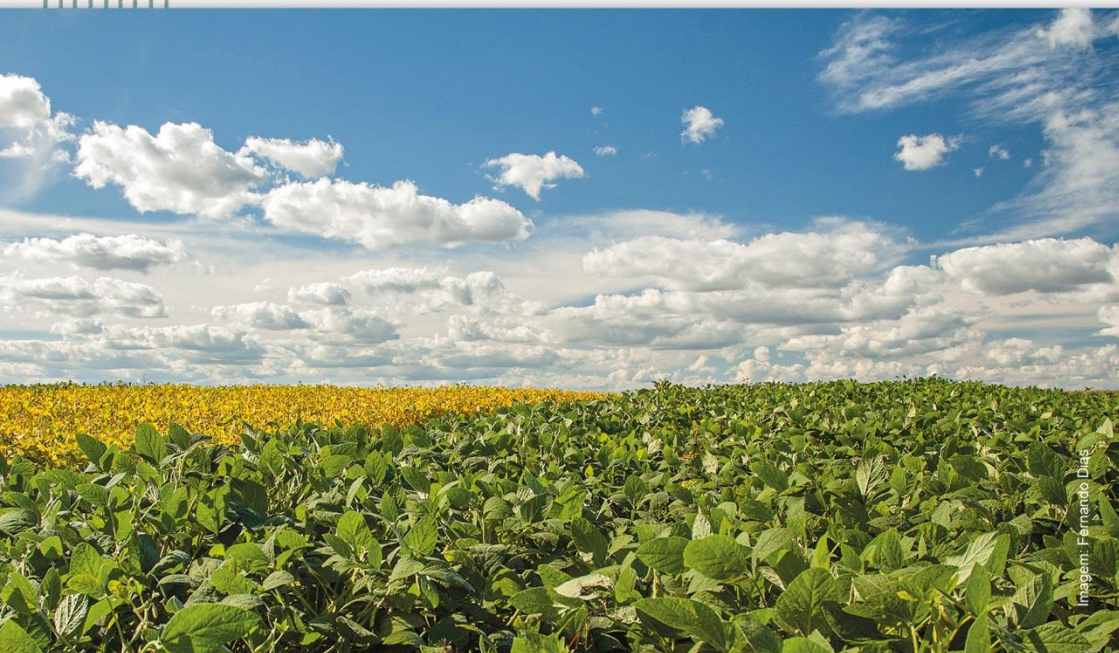


Imagem: Fernando Dias

Monitoramento da ferrugem asiática da soja no Rio Grande do Sul

Andréia Mara Rotta de Oliveira

Amanda Heemann Junges

Flávio Varone

Ricardo Augusto Felicetti

Elder Dal Prá

Hellen Aparecida Arantes dos Santos

Carlos Gabriel Nunes dos Santos



Departamento de Diagnóstico
e Pesquisa Agropecuária



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E
DESENVOLVIMENTO RURAL

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E
DESENVOLVIMENTO RURAL
DEPARTAMENTO DE DIAGNÓSTICO E PESQUISA
AGROPECUÁRIA**

CIRCULAR:
divulgação técnica

**MONITORAMENTO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA
NO RIO GRANDE DO SUL**

Andréia Mara Rotta de Oliveira
Amanda Heemann Junges
Flávio Varone
Ricardo Augusto Felicetti
Elder Dal Prá
Hellen Aparecida Arantes dos Santos
Carlos Gabriel Nunes dos Santos

Porto Alegre, RS

2022

Governador do Estado do Rio Grande do Sul: Eduardo Figueiredo Cavalheiro Leite.

Secretário da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural: Silvana Maria Franciscatto Covatti.

Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária

Rua Gonçalves Dias, 570 – Bairro Menino Deus

Porto Alegre | RS – CEP: 90130-060

Telefone: (51) 3288.8000

<https://www.agricultura.rs.gov.br/ddpa>

Diretor: Caio Fábio Stoffel Efrom

Comissão Editorial:

Lia Rosane Rodrigues; Loana Silveira Cardoso; Bruno Brito Lisboa; Larissa Bueno Ambrosini; Marioni Dornelles da Silva.

Arte: Rodrigo Nolte Martins

Catálogo e normalização: Marioni Dornelles da Silva CRB-10/1978

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M744 Monitoramento da ferrugem asiática da soja no Rio Grande do Sul /
Andréia Mara Rotta de Oliveira ...[et al]. – Porto Alegre : SEAPDR /
DDPA, 2022.

47 p. ; il. – (Circular: divulgação técnica, ISSN 2675-1348; 12).

Continuação de Circular Técnica, 1995-2016.

1. Doenças de plantas. 2. Previsão de risco. 3. Coletor de esporos.
4. Climatologia. 5. Epidemiologia. 6. *Phakopsora pachyrhizi*. I. Oliveira,
Andréia Mara Rotta. II. Série.

CDU 633.34 (816.5)

REFERÊNCIA

OLIVEIRA, Andréia Mara Rotta de *et al*. **Monitoramento da ferrugem asiática da soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2022. 47 p. (Circular: divulgação técnica, 12).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 BIOLOGIA DE <i>Phakopsora pachyrhizi</i>	11
3 SINTOMATOLOGIA E DIAGNOSE	12
4 EPIDEMIOLOGIA	14
5 MANEJO DA DOENÇA	18
5.1 Vazio sanitário.....	19
5.2 Variedades precoces	19
5.3 Cultivares resistentes.....	20
5.4 Controle químico	20
5.5 Acompanhamento de fatores de risco de ocorrência da ferrugem asiática	21
5.5.1 Monitoramento de uredósporos de <i>P. pachyrhizi</i>	22
5.5.2 Monitoramento das condições meteorológicas favoráveis à ocorrência de epidemias da ferrugem asiática	22
6 PROGRAMA MONITORA FERRUGEM RS	23
6. 1 Coleta de uredósporos	24
6.2 Análise das condições meteorológicas para estimativa de risco da ocorrência de ferrugem asiática	26
6.3 Monitoramento do <i>P. pachyrhizi</i> na safra 2020/21.....	27
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	34

8 AGRADECIMENTOS.....35

REFERÊNCIAS37

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa da produtividade da soja no Rio Grande do Sul, por município. Quanto mais intensa a tonalidade da cor maior é a produtividade.....10
- Figura 2.** Tipos de esporos produzidos por *P. pachyrhizi*: uredósporos (A) e teliosporos (B e C).11
- Figura 3.** Sintomas da ferrugem asiática da soja. Pústulas causadas por *P. pachyrhizi* na parte inferior (A) e superior (B) da folha. Lesões do tipo castanho clara - TAN (C) e castanho-avermelhada - RB (D).14
- Figura 4.** Ciclo da ferrugem asiática da soja.....15
- Figura 5.** Modelo de coletor de esporos (A) com lâminas adesivadas acopladas (B) utilizado no monitoramento de uredósporos de *P. pachyrhizi*.25
- Figura 6.** Municípios de localização das lavouras (URTs/MID) acompanhadas pela Emater/Ascar-RS, com coletores de esporos na safra 2020/21.28
- Figura 7.** Ocorrência e quantidade de uredósporos de *P. pachyrhizi*, detectados nos coletores instalados nas lavouras (URTs/MID) acompanhadas pela Emater/Ascar-RS, no período de 28/12/2020 a 4/4/2021.30

CIRCULAR:

divulgação técnica

MONITORAMENTO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL

Andréia Mara Rotta de Oliveira¹, Amanda Heemann Junges²,
Flávio Varone³, Ricardo Augusto Felicetti⁴, Elder Dal Prá⁵,
Hellen Aparecida Arantes dos Santos⁶,
Carlos Gabriel Nunes dos Santos⁷

¹Pesquisadora, Doutora em Fitopatologia, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa Agronômica (CEAGRO), Rua Gonçalves Dias, nº 570, Bairro Menino Deus, CEP 90130-060, Porto Alegre/RS. E-mail: andreia-oliveira@agricultura.rs.gov.br

²Pesquisadora, Doutora em Agrometeorologia, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural, 4,5, Boca do Monte; VIII - Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa em Fruticultura (CEFRUTI), Veranópolis, RS. E-mail: amanda-junges@agricultura.rs.gov.br

³ Pesquisador, Mestre em Meteorologia, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA), Secretaria de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural, Bagé, RS. E-mail: flaviovarone@seapdr.rs.gov.br

⁴Fiscal Estadual Agropecuário, Mestre Fitopatologia, Secretaria da Agricultura Pecuária e Desenvolvimento Rural, Departamento de Defesa Vegetal (DDV), Av. Getúlio Vargas, 1384, Bairro Menino Deus, CEP 90150-004, Porto Alegre/RS. E-mail: ricardo-felicetti@agricultura.rs.gov.br

⁵Eng. Agr. Doutor em Engenharia Agrícola, Coordenador da Área de Culturas e de Defesa Sanitária Vegetal - Núcleo de Desenvolvimento Agropecuário - Emater-RS/Ascar, Porto Alegre/RS. E-mail: edalpra@emater.tche.br

⁶Fiscal Estadual Agropecuário, Doutora em Recursos Genéticos Vegetais, Secretaria da Agricultura Pecuária e Desenvolvimento Rural, Departamento de Defesa Vegetal (DDV). E-mail: hellen-santos@agricultura.rs.gov.br

⁷ Eng. Agr. Núcleo de Desenvolvimento Agropecuário - Emater-RS/Ascar, Porto Alegre/RS. E-mail: cgsantos@emater.tche.br

1 INTRODUÇÃO

As ferrugens causadas pelas espécies *Phakopsora meibomiae* e *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd conhecidas, respectivamente, como ferrugem americana e ferrugem asiática, estão entre as doenças que mais causam danos à cultura da soja. *P. pachyrhizi*, descrita pela primeira vez no Japão em 1902, ocorre em todas as áreas onde a soja é cultivada. Na América do Sul, o primeiro relato de ocorrência dessa doença de forma epidêmica foi no Paraguai, em 2001 (MOREL PAIVA, 2001). No mesmo ano, o Brasil também registrou a primeira ocorrência de epidemias da doença no sul do estado de Goiás, no Mato Grosso, no norte do Mato Grosso do Sul e no Rio Grande do Sul (YORINORI *et al.*, 2002).

Embora, no Brasil, a espécie *P. pachyrhizi* tenha sido constatada pela primeira vez no ano de 1979, em Minas Gerais (JULIATTI; ZANBOLIM, 2021), até o ano 2000, *P. meibomiae* foi a principal espécie associada à ferrugem da soja no País (CARVALHO JR.; FIGUEIREDO, 2000). A partir da safra 2001/2002, *P. pachyrhizi* passou a ocorrer de forma predominante e, comparativamente, mais destrutiva do que a ferrugem americana.

A ferrugem asiática ocorre em todos os estágios de desenvolvimento da planta e é muito mais agressiva, quando comparada à ferrugem americana. Nas diversas regiões onde foi relatada, os danos podem variar entre 10 % a 90 % (DE LA PARTE *et al.*, 2015; REIS, 2019) e a severidade e a intensidade das epidemias estão estreitamente relacionadas à quantidade de inoculo inicial e à ocorrência das precipitações pluviais (chuvas) (DEL PONTE *et al.*, 2006; MEGETO *et al.*, 2014).

As estratégias de controle recomendadas para *P. pachyrhizi* incluem a adoção de “vazio sanitário” para reduzir a quantidade de esporos (uredósporos) do fungo na entressafra, o uso de cultivares com genes de resistência e a aplicação de fungicidas protetores, em mistura com triazóis, estrobilurinas e carboxamidas, feito de forma preventiva ou no aparecimento dos sintomas (BRASIL, 2021). No entanto, as perdas econômicas e o custo do controle da ferrugem são bastante elevados. O valor das perdas ocasionadas pela doença no Brasil, na safra 2018/2019, estimado a partir do custo médio dos produtos e da operação de aplicação, somados à perda em grãos e arrecadação, foi de US\$ 2,8 bilhões (CONSÓRCIO..., 2021).

Apesar da adoção de medidas de manejo integrado, o controle efetivo da ferrugem asiática ainda enfrenta desafios. Entre eles, está o aumento de populações do fungo resistentes aos fungicidas utilizados no controle do patógeno, mesmo que estes apresentem diferentes mecanismos de ação, e o excessivo número de aplicações. Uma forma de minimizar esses problemas é realizar o monitoramento de *P. pachyrhizi* através de coletores de esporos. O objetivo do uso dos coletores é detectar a presença do fungo precocemente, possibilitando a aplicação criteriosa de fungicidas, evitando-se aplicações antecipadas, calendarizadas ou sequenciais, tardias e/ou com o mesmo produto (SEIXAS *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Estratégias de monitoramento e controle da ferrugem asiática são relevantes à cultura, em função da importância econômica da soja para o País e para o Estado do Rio Grande do Sul.

O Brasil é o maior produtor de soja do mundo e em 2020, atingiu 37.068.346 milhões de hectares de área

plantada (IBGE, 2021). No cenário brasileiro, o Rio Grande do Sul ocupa o segundo lugar na produção do grão (RIO GRANDE DO SUL, 2021, p. 8).

Na safra 2020/2021, a área cultivada com soja no Estado, alcançou 6.075.024 ha com produção aproximada de 20.204.938 t (EMATER/RS-ASCAR, 2021). O valor bruto da produção chegou a R\$ 55,9 bilhões e a participação do complexo soja nas exportações do agronegócio gaúcho, estiveram na ordem de 38 %. Em 2020, a soja produzida no Estado foi exportada para 48 países, gerando US\$ 3,81 bilhões, tendo como principais destinos a China (75 %), a Coreia do Sul (5 %), a Eslovênia (4 %) e a Espanha (3 %) (RIO GRANDE DO SUL, 2021, p. 8).

Dada importância econômica da cultura da soja e sua ampla distribuição geográfica no Estado (Figura 1), a ocorrência de epidemias da ferrugem asiática pode ter consequências econômicas desastrosas, caso o manejo da doença não seja realizado de forma efetiva.

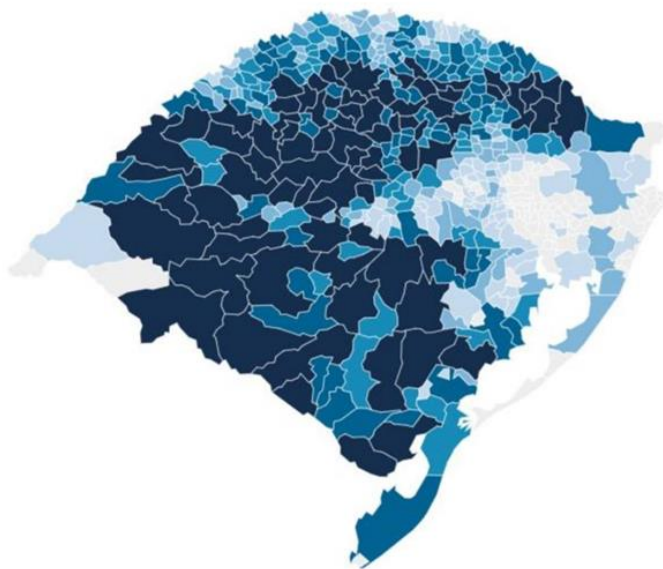


Figura 1. Mapa da produtividade da soja no Rio Grande do Sul, por município. Quanto mais intensa a tonalidade da cor maior é a produtividade.

Fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2020.

O objetivo desta Circular Técnica é sintetizar e divulgar informações sobre a ferrugem asiática da soja no que se refere ao patógeno *P. pachyrhizi*, a sintomatologia, os aspectos epidemiológicos e as principais medidas de manejo da doença, bem como, apresentar o Programa de Monitoramento da Ferrugem Asiática no RS – Monitora Ferrugem, ação interinstitucional, conduzido pela Secretaria da Agricultura Pecuária e Desenvolvimento Rural e Emater/Ascar-RS, como estratégia para auxiliar o produtor no manejo da ferrugem asiática da soja.

2 BIOLOGIA DE *Phakopsora pachyrhizi*

P. pachyrhizi é um fungo biotrófico obrigatório e a sua sobrevivência e multiplicação ocorre somente em tecidos vivos da planta. O fungo produz dois tipos de esporos: uredósporos (esporos assexuados) e teliósporos (esporos sexuais) (Figura 2).

Os teliósporos não infectam as plantas, mas correspondem a um estágio importante do ciclo de vida do patógeno, associado à sobrevivência (HAUDENSHIELD; HARTMAN, 2015). A germinação de teliósporos, nunca foi observada na natureza, sugerindo que a reprodução ocorre, predominantemente, de forma assexuada (BROMFIELD, 1984).



Figura 2. Tipos de esporos produzidos por *P. pachyrhizi*: uredósporos (A) e teliósporos (B e C).

Fonte: RUPE; SCONYERS, 2008.

Análises da estrutura genética de *P. pachyrhizi* mostraram que o fungo apresenta grande variabilidade genética. Populações do patógeno com alta diversidade genética têm sido responsáveis por epidemias de ferrugem da soja em diversos países (ANDERSON *et al.*, 2008, DARBEN *et al.*, 2020). Esta variabilidade genética está presente dentro das populações de isolados independentemente da zona geográfica, o que implica diretamente no manejo da doença, uma vez que possibilita ao patógeno a adaptação rápida, devido à expressão de novos genes de resistência do hospedeiro ou a fungicidas (TWIZEYIMANA *et al.*, 2011; XAVIER *et al.*, 2015).

3 SINTOMATOLOGIA E DIAGNOSE

A diagnose e a diferenciação das ferrugens causadas por *P. pachyrhizi* e *P. meibomiae* são dificultadas pelo fato de que as sintomatologias são bastante semelhantes, podendo ocorrer simultaneamente (FREDERICK *et al.*, 2002). Além disso, os sintomas iniciais da doença no campo podem ser facilmente confundidos com outras doenças como a pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* (Nakano) Dye.) e mancha parda (*Septoria glycines* Hemmi) (MILES; FREDERICK; HARTMAN, 2003).

As plantas de soja são suscetíveis a infecções por *P. pachyrhizi* em todos os estádios de desenvolvimento, porém, os sintomas iniciais da ferrugem asiática geralmente ocorrem nas folhas, inicialmente na face adaxial (Figura 3A), como pequenos pontos angulares, de 2-5 mm² de diâmetro, juntamente com os uredósporos de coloração acinzentada (MILES; FREDERICK; HARTMAN, 2003; REIS; BRESOLIN, CARMONA, 2006). Com menos frequência, as urédias podem

aparecer na parte superior das folhas (ALMEIDA *et al.*, 2005). A colonização os tecidos pelo fungo causa rápido amarelecimento, bronzeamento (ou crestamento) e queda prematura das folhas, o que traz consequências negativas, como a não formação plena dos grãos (REIS; ZANATA; REIS, 2019).

As infecções causadas por *P. pachyrhizi*, causam lesões do tipo castanho-claras ("Tanning" - TAN) (Figura 3 C) e as lesões produzidas por *P. meibomiae* são classificadas como do tipo castanho-avermelhada ("reddish-brown" - RB) (Figura 3 D). Porém, cultivares resistentes ou tolerantes a ferrugem asiática, também apresentam lesões do tipo RB, podendo ocasionar equívocos na diferenciação entre as ferrugens (YORINORI; JUNIOR; LAZZAROTTO, 2004). As lesões do tipo TAN, apresentam muitas urédias (estruturas de produção dos uredósporos) e abundante esporulação, enquanto nas lesões do tipo RB há pouca ou até mesmo ausência de urédias e uredósporos (BONDE *et al.*, 2007; SEIXAS *et al.*, 2020).

A análise morfológica dos uredósporos para distinção das duas espécies é complexa, pois, exceto por algumas características menores, são quase idênticos. Assim, a identificação correta das espécies requer o uso de técnicas de análise genética (DNA) (FREDERICK *et al.*, 2002; BARNES; SZABO; BOWERSOX, 2009). Esta ferramenta tem possibilitado determinar a distribuição e prevalência das espécies nas regiões produtoras de soja no Brasil, contribuindo para a geração de informações para o planejamento das medidas de controle (SOUSA *et al.*, 2007).

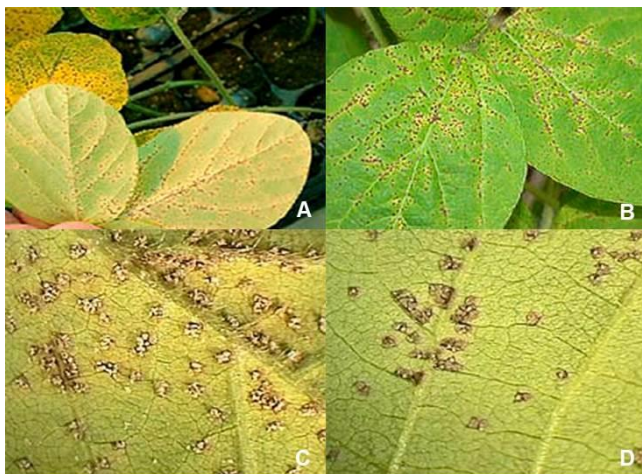


Figura 3. Sintomas da ferrugem asiática da soja. Pústulas causadas por *P. pachyrhizi* na parte inferior (A) e superior (B) da folha. Lesões do tipo castanho-clara - TAN (C) e castanho-avermelhada - RB (D).

Fonte: MILES; FREDERICK; HARTMAN, 2003.

4 EPIDEMIOLOGIA

A compreensão do ciclo da doença (Figura 4) e suas interações com o ambiente e o tempo, são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias de controle e o manejo bem-sucedido da ferrugem asiática. O inoculo primário para *P. pachyrhizi* consiste em plantas de soja infectadas ou outros hospedeiros vivos que abrigam os esporos em seu estágio uredial (Figura 3) (DEL PONTE; ESKER, 2008). Na lavoura, as folhas infectadas durante o ciclo da cultura, produzem urédias que servem de fonte de inoculo para novas infecções durante o mesmo ciclo (GODOY; DEL PONTE, 2006).

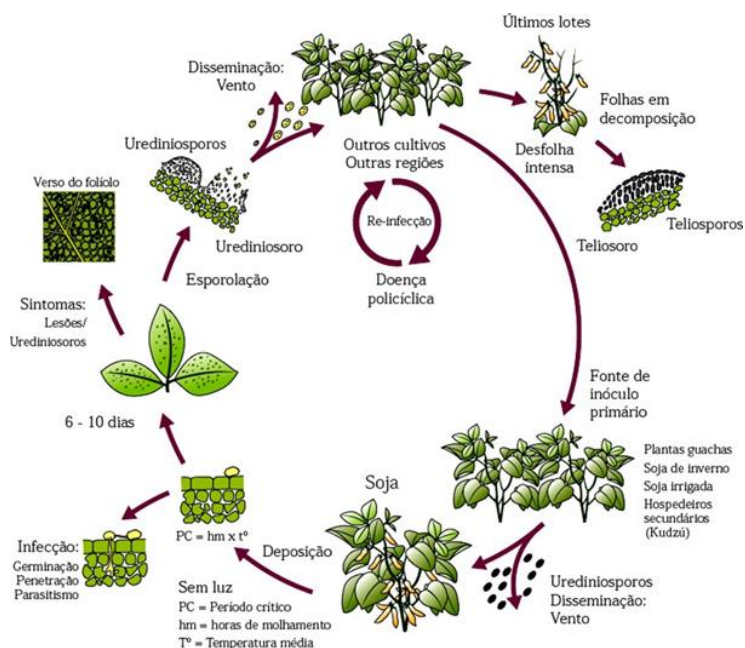


Figura 4. Ciclo da ferrugem asiática da soja.

Fonte: REIS; CARMONA, 2005, citado por REIS *et al.*, 2006.

As pesquisas demonstraram que, nas condições do Brasil, *P. pachyrhizi* produz urédias 28 dias após a inoculação e que uma urédia individual pode produzir uredósporos durante 21 dias, paralisando o processo após 27 dias (REIS; BRESOLIN; CARMONA, 2006). De acordo com Bergamin Filho (2006), apesar dos fatores ambientais exercerem forte influência no desenvolvimento da ferrugem asiática, a produção de urédias é pouco dependente das condições climáticas, contribuindo para a manutenção do inóculo durante todo o ciclo da cultura.

Como outros patógenos que causam ferrugens, *P. pachyrhizi* é um parasita obrigatório e requer um hospedeiro vivo para crescer e se reproduzir. A sobrevivência como uredósporos em condições naturais, longe do hospedeiro, ocorre por apenas alguns dias (BROMFIELD, 1984).

A gama de hospedeiros de *P. pachyrhizi* é bastante ampla. Além da soja, o fungo já foi identificado em pelo menos 31 espécies em 17 gêneros de leguminosas (GOELLNER, *et al.*, 2010). No Brasil, Jaccoud Filho *et al.* (2007), registraram a ocorrência em condições de campo, no feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), no kudzu (*Pueraria lobata*) e na soja perene (*Neotonia witwigii*). Além destas, o patógeno também foi encontrado em plantas das famílias Convulvulaceae e Euphorbiaceae, o que contribui para a sobrevivência e a manutenção do fungo na entressafra da soja (REIS, 2019).

A dispersão e transporte do fungo podem ocorrer através de implementos agrícolas contaminados com restos vegetais da cultura e, principalmente, através do vento. Não há relatos de transmissão por mudas, raízes e inflorescências. A possibilidade de transmissão via semente é muito baixa, uma vez que o fungo necessita de um hospedeiro vivo para se desenvolver (BRADLEY, 2008). Magnani; Mendonça e Albuquerque (2012) realizaram estudos sobre a adesão de uredósporos e a viabilidade de *P. pachyrhizi* em sementes de soja durante o armazenamento. Os autores constaram que apesar da alta incidência de uredósporos nas sementes recém-colhidas, houve redução de aproximadamente 50 % após 30 dias de armazenamento. A germinação dos uredósporos foi observada até 90 dias de armazenamento, mas perderam a viabilidade após esse período. Quando inoculados em plantas de soja, somente os uredósporos oriundos de sementes recém-colhidas desenvolveram

sintomas da ferrugem, confirmando a baixa capacidade de transmissão de *P. pachyrhizi* via sementes infestadas.

No que se refere ao processo de disseminação de *P. pachyrhizi*, a liberação e o movimento dos uredósporos são fortemente influenciados pelo vento, o qual é responsável pelo deslocamento do patógeno tanto a curtas distâncias (disseminação na lavoura: do dossel da planta para diferentes partes da mesma planta ou para outras plantas), como também a longas distâncias (WEN; BOWEN; HARTMAN, 2017). Estudos tem demonstrado que correntes atmosféricas possibilitam que os esporos alcancem grandes altitudes, percorrendo longas distâncias e ocasionado à contaminação de grandes áreas produtoras de soja (IZARD *et al.*, 2011; HARTMAN; SIKORA; RUPE, 2015). Além do vento, a chuva também pode desempenhar um papel na facilitação do deslocamento de uredósporos de ferrugem das urédias, contribuindo para a propagação da doença (DEL PONTE *et al.* 2006).

A taxa de desenvolvimento da ferrugem asiática é extremamente dependente das condições ambientais durante o ciclo da cultura, principalmente o que se refere à temperatura e ao molhamento foliar (GODOY; DEL PONTE, 2006; TSUKAHARA; HIKISHIMA; CANTERI, 2008). Umidade abundante, decorrente das precipitações pluviais (chuvas) ou de orvalho, juntamente com a temperatura na faixa ideal, afetam a eficiência da infecção, promovendo sucesso no estabelecimento inicial do patógeno e levando ao rápido desenvolvimento da epidemia (DEL PONTE *et al.*, 2006).

Estudos realizados por Hartman; Miles e Frederick (2003) demonstram que os uredósporos de *P. pachyrhizi* germinam 1 a 4 horas após a deposição em uma folha, nas condições ideais. A germinação é afetada pela temperatura do

ar, sendo a faixa de 18°C a 25°C considerada ótima. A penetração direta na superfície da folha ocorre em 6 horas, em temperaturas entre 20°C a 25°C. As taxas máximas de infecção ocorrem com um período de orvalho de 10 a 12 horas. De acordo com os autores conforme a temperatura diminui a duração do período de orvalho necessária para infecção aumenta. A interrupção do período de orvalho produz taxas de infecção mais baixas, demonstrando a importância do molhamento foliar para a ocorrência da infecção.

Contudo, é importante considerar que as pesquisas demonstraram que existem variações nas condições de temperatura favoráveis à infecção e à germinação dos uredósporos. Marchetti, Melching e Bromfield (1976) observaram que a germinação pode ocorrer entre as temperaturas de 7°C e 28°C, sendo a faixa ótima de 15°C a 25°C. Melching *et al.* (1989) constataram que *P. pachyrhizi* infecta as plantas em temperaturas que variam entre 10°C e 27,5°C e umidade relativa entre 75 % e 80 %. Nicolini *et al.* (2010) relatam que os uredósporos podem germinar desde 5 até 30°C, sendo 21°C a temperatura ótima.

5 MANEJO DA DOENÇA

As estratégias de manejo da doença recomendadas pelo Programa Nacional de Controle da Ferrugem Asiática da Soja, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2021) e do Consórcio antiferrugem (<http://www.consorcioantiferrugem.net>), coordenado pela Embrapa Soja, incluem a adoção do vazio sanitário, plantio de variedades precoces, o uso de cultivares com genes de resistência e o controle químico, com a aplicação de

fungicidas protetores, feito de forma preventiva ou no aparecimento dos sintomas.

5.1 Vazio sanitário

O vazio sanitário é definido como período definido e contínuo em que não se pode semear ou manter plantas vivas de uma espécie vegetal em uma determinada área, com vistas à redução do inoculo de doenças ou população de uma determinada praga. Os períodos de vazio sanitário em nível nacional são estabelecidos anualmente pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (Mapa), o qual determina pelo menos 90 dias sem a cultura e plantas voluntárias no campo, incluindo a semeadura (BRASIL, 2021). Esta medida é adotada em vários estados brasileiros produtores de soja e sua implementação vem sendo debatida no Rio Grande do Sul. O objetivo do vazio sanitário é diminuir o inoculo de *P. pachyrhizi* e promover o atraso nas primeiras ocorrências de ferrugem asiática na safra. Ou seja, diminuir a probabilidade de ocorrência da doença nos estádios iniciais do desenvolvimento da soja nas primeiras semeaduras e, conseqüentemente, reduzir o número de aplicações de fungicidas necessárias para o controle (GODOY, *et al.*, 2020).

5.2 Variedades precoces

O plantio de variedades precoces também tem se mostrado eficiente no controle da ferrugem asiática. Nos últimos anos, segundo Godoy *et al.* (2020), as primeiras ocorrências de ferrugem em lavouras comerciais têm sido relatadas no site do Consórcio Antiferrugem, nos meses de novembro, dezembro e em alguns estados somente em

janeiro, evidenciando a eficiência da adoção da medida de escape no controle da doença.

5.3 Cultivares resistentes

O controle genético com o uso de variedades resistentes é a estratégia mais econômica de controle de doenças. Porém, embora genes de resistência (*Rpp*) para *P. pachyrhizi* tenham sido relatados em diversas variedades de soja, não têm se mostrado efetivos contra todas as populações do patógeno, devido à alta variabilidade genética de *P. pachyrhizi* (AOYAGI; MURAKI; YAMANAKA, 2020). De acordo com Godoy *et al.* (2020) é limitado o número de cultivares com genes de resistência (ex.: BRS 511, BRS 7280RR, BRS 531, TMG 7061 IPRO, TMG 7062IPRO, TMG 7063IPRO, TMG7067IPRO, TMG 7260 IPRO, TMG 7262 RR, TMG 7363 RR, entre outras cultivares), disponibilizadas por diferentes programas de melhoramento para o produtor brasileiro, evidenciando a importância de estudos contínuos para a identificação de novos genes de resistência e o desenvolvimento de novas cultivares resistentes à ferrugem asiática.

5.4 Controle químico

O controle químico é uma das estratégias mais eficientes na redução dos níveis de dano da doença (CHECHI *et al.*, 2020). Devido o aumento da população resistente de *P. pachyrhizi* aos fungicidas dos grupos DMI (inibidores da desmetilação - triazóis) e QoI (inibidores de quinona externa-estrobirulinas), são recomendadas aplicações de misturas de triazóis, estrobilurinas e carboxamidas adicionadas de

fungicidas multissítios, com o intuito de recuperar a baixa eficácia dos produtos que já apresentam redução da sensibilidade, bem como, preservar a vida efetiva dos princípios ativos (GODOY *et al.*, 2016; ALVES; JULIATTI, 2018; GODOY *et al.*, 2020).

5.5 Acompanhamento de fatores de risco de ocorrência da ferrugem asiática

A ocorrência de doença de plantas é dependente da perfeita interação entre uma população de plantas suscetíveis, uma população de patógenos virulentos e agressivos, sob condições ambientais favoráveis (AGRIOS, 2005). Uma das formas de se evitar que a doença atinja proporções epidêmicas é através da modificação de um (ou mais) dos elementos da interação hospedeiro-patógeno-ambiente, provocando a redução da intensidade ou da taxa de desenvolvimento da doença.

No entanto, para conhecimento desses parâmetros é necessário o acompanhamento das condições que são propícias para a ocorrência da doença e o desencadeamento de uma epidemia. O monitoramento pode ser baseado no conhecimento das condições ambientais, da presença do patógeno e/ou das características do hospedeiro, fornecendo as informações para a previsão da ocorrência de epidemias (MARCUIZZO, 2009).

O monitoramento da ferrugem asiática, aliado às demais medidas de manejo, é uma prática que vem sendo utilizada com sucesso com o objetivo de prever a ocorrência da epidemia e auxiliar o produtor na tomada de decisão para o controle doença, diminuindo os custos e o impacto ambiental decorrente da aplicação de fungicidas (GIARDINO *et al.*,

2010; ASSIS *et al.*, 2015; SEIXAS *et al.*, 2018). O monitoramento envolve diferentes técnicas que podem estar baseadas na presença do patógeno, nas características do hospedeiro e seus diferentes estádios fenológicos, bem como, nas condições ambientais (MOREIRA *et al.*, 2015; SEIXAS *et al.*, 2020; BERUSKI *et al.*, 2020).

5.5.1 Monitoramento de uredósporos de *P. pachyrhizi*

Para que as estratégias de manejo químico apresentem máxima eficiência, este deve ser adotado de forma preventiva ou logo que ocorram os primeiros sintomas, uma vez que, em condições favoráveis, a ferrugem asiática apresenta desenvolvimento rápido. Uma maneira de realizar o monitoramento de *P. pachyrhizi* é utilizar coletores de esporos, que permitem confirmar a presença de um patógeno, disseminado pelo vento, antes do desenvolvimento dos sintomas na cultura. Esta estratégia vem sendo utilizada com sucesso para tomada de decisão no controle da doença em algumas regiões produtoras no País (SEIXAS *et al.*, 2019; SEIXAS *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

5.5.2 Monitoramento das condições meteorológicas favoráveis à ocorrência de epidemias da ferrugem asiática

Diferentes estudos tem demonstrado que as condições meteorológicas exercem fundamental importância nas epidemias da ferrugem asiática, sendo as precipitações pluviais (chuvas) consideradas o fator mais importante para o progresso da doença nas condições de campo, em função do molhamento foliar (DEL PONTE *et al.*, 2006; GODOY *et al.*, 2009; NUNES; MARTINS; DEL PONTE, 2018). O molhamento

foliar contínuo, promovido por orvalho, chuva ou irrigação, sob condições ótimas de temperatura (18°C a 26,5°C) favorece o rápido desenvolvimento da doença (MELCHING *et al.*, 1989; ALVES; FURTADO; BERGAMIN FILHO, 2006).

Dada importância das condições de tempo e clima para produção agrícola, o uso de informações meteorológicas e climáticas é fundamental para que a agricultura se torne uma atividade sustentável. A agricultura é a atividade econômica mais dependente das condições de tempo e clima. As variáveis meteorológicas (precipitação pluvial, temperatura do ar, vento e radiação solar, por exemplo) afetam não somente os processos metabólicos das plantas, diretamente relacionados à produção vegetal, como também as mais diversas atividades no campo (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009). Além de influenciar o crescimento e o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade das culturas agrícolas, as condições meteorológicas afetam também a relação das plantas com microorganismos, insetos, fungos e bactérias, favorecendo ou não a ocorrência de pragas e doenças, o que demanda medidas de controle adequadas (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009). Dessa maneira, as condições meteorológicas desempenham papel importante na ocorrência de doenças em plantas, são base para o entendimento da relação patógeno - hospedeiro – ambiente e empregadas em modelos de previsão de doenças e sistemas de alerta fitossanitários.

6 PROGRAMA MONITORA FERRUGEM RS

A relevância da cultura da soja para o Rio Grande do Sul e a insuficiência de estudos epidemiológicos detalhados, que subsidiem os produtores na tomada de decisão para a

aplicação de fungicidas no controle da ferrugem asiática, indicou a necessidade de implantação de um programa interinstitucional de monitoramento da ocorrência do *P. pachyrhizi* no Estado. Por isso, na safra 2019/2020 foi criado um projeto piloto de monitoramento de uredósporos do fungo em 24 lavouras de soja, localizadas nas regiões produtoras. Na safra agrícola 2020/21, esta ferramenta se aprimorou com a inclusão de informações relativas às condições meteorológicas, dando início ao Programa de Monitoramento da Ferrugem Asiática da Soja no RS – o Monitora Ferrugem RS. O programa é conduzido pela Secretaria da Agricultura Pecuária e Desenvolvimento Rural (SEAPDR), com o apoio da Emater/Ascar-RS e diversas instituições de ensino e pesquisa do Estado. O Monitora Ferrugem tem como estratégia metodológica o monitoramento a campo de uredósporos de *P. pachyrhizi* e a avaliação das condições meteorológicas favoráveis à ocorrência da doença. Estas informações são empregadas na geração de um prognóstico de risco da ocorrência da ferrugem asiática, para que produtores nas diferentes regiões do Estado possam utilizá-lo na tomada de decisão, especialmente em relação à adoção do controle químico.

6. 1 Coleta de uredósporos

O monitoramento de uredósporos de *P. pachyrhizi* é realizado através de coletores de esporos (Figura 5 A), instalados a partir do fechamento do dossel do cultivo de soja, em lavouras de Unidades de Referência Técnica (URT) de Manejo Integrado de Doenças (MID) acompanhadas pela Emater/Ascar-RS. As URTs estão localizadas em diferentes regiões produtoras e são georreferenciadas para a construção

dos mapas de ocorrência dos uredósporos. As lâminas são colocadas nos coletores (Figura 5 B) e coletadas/substituídas semanalmente, conforme metodologia proposta por Oliveira *et al.* (2020). A quantidade de uredósporos obtida em cada leitura é expressa através de uma escala, com quatro intervalos de classes (0-5; 5-50; 50-100; <100), fornecendo uma estimativa do potencial de inoculo do patógeno nas unidades de observação.



Figura 5. Modelo de coletor de esporos (A) com lâminas adesivadas acopladas (B) utilizado no monitoramento de uredósporos de *P. pachyrhizi*.

Fonte: Emater/Ascar-RS.

A partir dos resultados obtidos com a leitura das lâminas, são gerados mapas de ocorrência de *P. pachyrhizi*, interpolando as informações do número de uredósporos encontrados em cada local, com o número fixo de classes, incluindo a inserção do perímetro do Estado. As coordenadas empregadas são oriundas do *datum World Geodetic System* (WGS-84), utilizando o sistema *Universal Transverse Mercator* (UTM), estando às áreas situadas nos fusos 21 e 22 S e os

mapas são gerados com o software *Quantum Geographic Information System* (QGIS 3.16; <https://qgis.org/en/site/>).

6.2 Análise das condições meteorológicas para estimativa de risco da ocorrência de ferrugem asiática

A estimativa de risco da ocorrência da doença proposta pelo programa Monitora Ferrugem está baseada na análise de variáveis meteorológicas que podem favorecer a ocorrência de epidemias de ferrugem asiática. Essas variáveis também são utilizadas por alguns modelos de avaliação de risco da ferrugem descritos na literatura (DEL PONTE; ESKER, 2008; LELIS *et al.*, 2009; MEGETO *et al.*, 2014). Assim, são utilizados dados de condições de umidade relativa, temperatura e temperatura do ponto de orvalho, onde, através da operacionalização do modelo meteorológico *Global Forecast System* (GFS), são geradas previsões diárias para uma grade de 25 km, com horizonte de 15 dias para o estado do Rio Grande do Sul.

Com os resultados do modelo GFS, são determinadas as condições de ocorrência de ferrugem asiática, calculadas a partir dos cenários favoráveis (ou desfavoráveis), de três parâmetros: umidade relativa do ar (UR), depressão do ponto de orvalho (DPO) e temperatura (T). Os intervalos utilizados para determinar às condições favoráveis a incidência de ferrugem asiática, são: $UR > 90 \%$; $18^{\circ}\text{C} < T < 25^{\circ}\text{C}$; $DPO < 2^{\circ}\text{C}$, onde a depressão do ponto de orvalho (DPO) resulta da diferença entre a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho (GILLESPIE; SRIVASTAVA; PITBLADO, 1993).

Assim, para a estimativa de risco de ocorrência da ferrugem asiática, considera-se o número de horas com umidade relativa maior ou igual a 90 %, temperatura do ar

entre 18°C e 25°C, e depressão do ponto de orvalho menor que 2°C. A partir da combinação dos resultados destas variáveis, são gerados mapas apresentando as áreas com condições de normalidade, atenção, alerta ou alerta máximo, para ocorrência da doença.

6.3 Monitoramento do *P. pachyrhizi* na safra 2020/21

O monitoramento da ocorrência de *P. pachyrhizi* pelo Programa Monitora Ferrugem RS na safra 2020/21, foi realizado semanalmente, de 14/12/2020 a 5/4/2021 em 24 URTs localizadas em 24 municípios de diferentes regiões produtoras do Estado (Figura 6).

Os mapas da ocorrência de esporos de *P. pachyrhizi* (Figura 7) e das condições meteorológicas favoráveis à ocorrência da doença (Figura 8) estão disponíveis para consulta no website do programa, através dos links <https://www.agricultura.rs.gov.br/monitora-ferrugem-rs> e <http://www.emater.tcche.br/site/monitora-ferrugem-rs/home> podendo ser consultados, de forma gratuita, por produtores e técnicos.

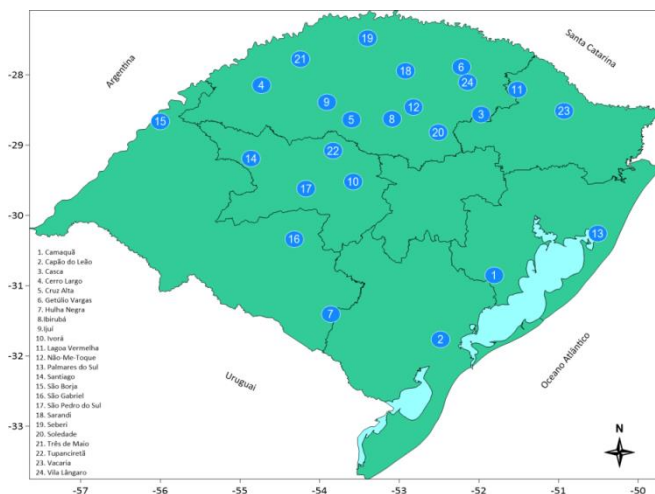


Figura 6. Municípios de localização das lavouras (URT/MID) acompanhadas pela Emater/Ascar-RS, com coletores de esporos na safra 2020/21.

Na safra 2020/21, dentre as URTs em observação no Monitora Ferrugem RS, os primeiros uredósporos de *P. pachyrhizi* detectados em lâminas foram registrados no início da safra, no período compreendido entre 14/12/2020 à 4/01/2021, na, regiões nordeste, central e centro-oeste do Estado (Figura 7 A, B e C). A presença de esporos associada às condições meteorológicas favoráveis na região centro-oeste, podem ser relacionadas com o primeiro foco da ferrugem no campo registrado no Estado, na segunda quinzena de janeiro, no município de Ibirubá, conforme notificação na plataforma do Consórcio antiferrugem (CONSÓRCIO..., 2021).

Embora o número de uredósporos detectados nos coletores instalados na região centro-oeste do Estado tenha

oscilado durante o período de monitoramento, esta região foi a que registrou a maior quantidade de uredósporos em todo o período de observação. O segundo registro da doença no campo ocorreu no município de Santo Antônio da Patrulha, na primeira quinzena de fevereiro (CONSÓRCIO..., 2021) e coincidiu com o aumento do número de uredósporos detectados no coletor instalado em Palmares do Sul nas semanas seguintes (Figura 7 I-O).

Os esporos da ferrugem asiática são transportados predominantemente pelo vento (WEN; BOWEN; HARTMAN, 2017). Essa constatação indica a possível dispersão do patógeno através das correntes de ar, destacando a importância do uso dos coletores de esporos na detecção antecipada de *P. pachyrhizi* e o acompanhamento do avanço do patógeno para novas áreas de produção, durante a safra, antes da manifestação da doença no campo.

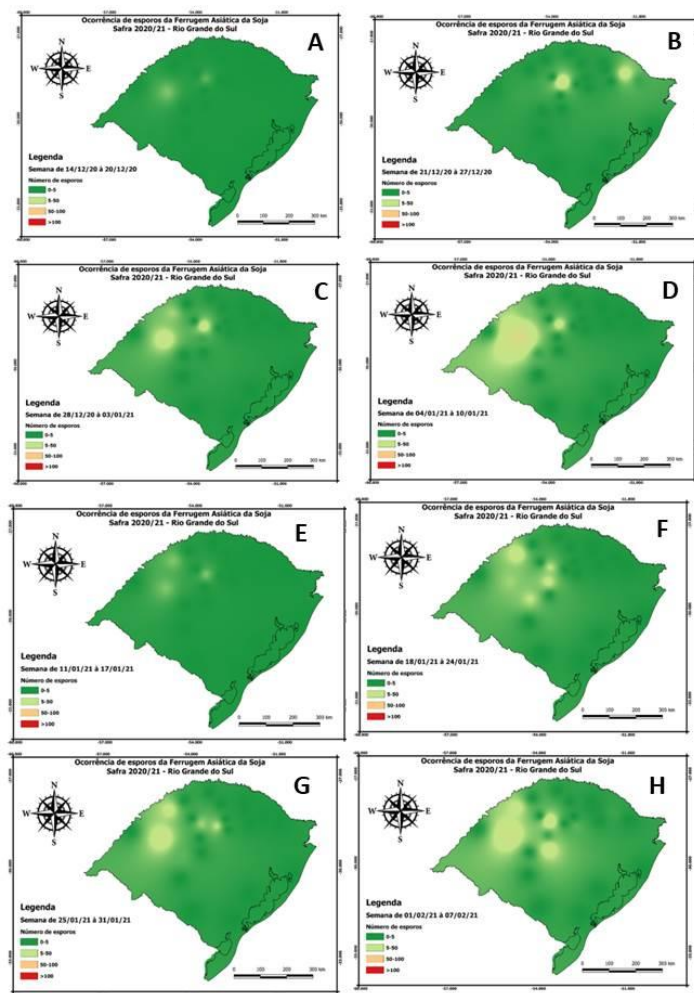


Figura 7. Ocorrência e quantidade de uredósporos de *P. pachyrhizi*, detectados nos coletores instalados nas lavouras (URTs/MID) acompanhadas pela Emater/Ascar-RS, no período de 28/12/2020 a 4/4/2021.

Continua...

Fonte: <http://www.emater.tche.br/site/monitora-ferrugem-rs/home>.

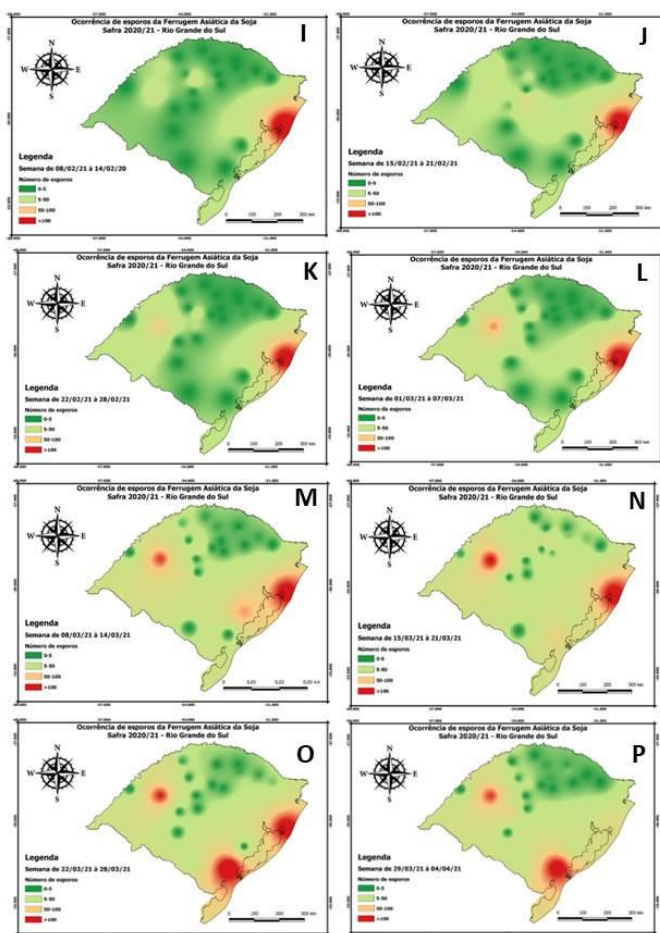


Figura 7. Ocorrência e quantidade de uredósporos de *P. pachyrhizi*, detectados nos coletores instalados nas lavouras (URT/MID) acompanhadas pela Emater/Ascar-RS, no período de 28/12/2020 a 4/4/2021.

Conclusão...

Fonte: <http://www.emater.tche.br/site/monitora-ferrugem-rs/home>.

A ferrugem asiática é altamente dependente das condições ambientais para se desenvolver (DEL PONTE *et al.*, 2006). Na safra 2020/21, as condições favoráveis à ocorrência da doença, se mantiveram durante todo o período de desenvolvimento da cultura (Figura 8 A-I). Foram registrados 138 focos da doença no Rio Grande do Sul, o maior número em todo o Brasil (CONSÓRCIO..., 2021).

Esta situação é bastante diferente do que ocorreu na safra 2019/20, quando apesar da constatação da presença de *P. pachyrhizi* nas URTs acompanhadas pelo Monitora Ferrugem, foram registrados somente 22 focos da doença no campo, devido à estiagem que atingiu o Estado naquele período (CONSÓRCIO..., 2021, CARDOSO *et al.*, 2020).

O acesso às informações referentes à presença e a quantidade de inoculo de *P. pachyrhizi*, bem como, às condições meteorológicas que favorecem a ocorrência da ferrugem durante a safra, disponibilizadas pelo Programa Monitora Ferrugem RS, contribuem para o manejo da doença e a diminuição o número de aplicação de fungicidas, o que traz benefícios econômicos ao produtor, reduz o risco de seleção de populações do fungo resistentes aos fungicidas e ameniza o impacto ambiental.

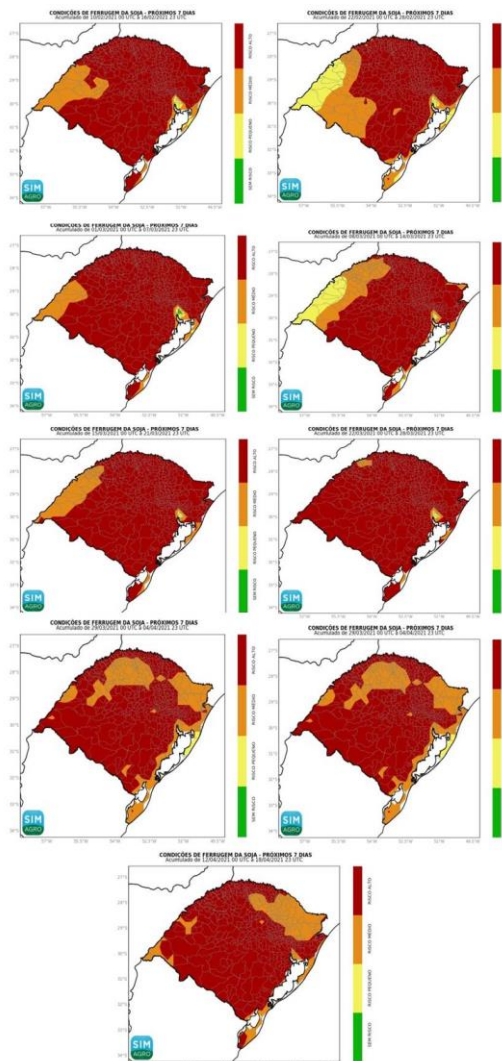


Figura 8. Determinação das variáveis meteorológicas e risco de ocorrência da ferrugem da soja no período de 10/02/2021 à 18/4/2021(A-I).

Fonte: <http://www.emater.tche.br/site/monitora-ferrugem-rs/home>

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A soja é uma das culturas mais importantes para o agronegócio brasileiro e gaúcho e a ferrugem asiática está entre as principais doenças da que afetam a cultura. Embora as medidas de controle tenham avançado em relação à primeira epidemia severa registrada no Brasil na safra 2001/2002, a doença, que é fortemente influenciada pelas condições do ambiente para se desenvolver, continua em destaque pelo potencial de dano econômico que pode causar. Cultivares com genes de resistência para *P. pachyrhizi* já estão disponíveis para os produtores, porém, o fungo apresenta grande variabilidade genética e o material disponível não é efetivo contra todas as populações do patógeno. O custo com fungicidas para controlar a doença é ainda bastante alto e o surgimento de populações resistentes do fungo aos fungicidas dos grupos DMI e QoI, reforça a necessidade do uso adequado desses produtos, evitando aplicações desnecessárias. Destaca-se também, que a adoção do vazio sanitário vem sendo estudada para implantação no Rio Grande do Sul, para diminuir a quantidade de uredósporos nas áreas de produção. Esta prática associada ao monitoramento da presença de *P. pachyrhizi*, antes da manifestação da doença no campo, são medidas importantes que podem minimizar os efeitos da ferrugem asiática na soja.

Assim, o Programa Monitora Ferrugem RS é uma ferramenta estratégica para o manejo da ferrugem asiática no Rio Grande do Sul. A partir da safra 2020/2021, acessando o website do programa, produtores e técnicos dispõem de informações sobre a presença e a quantidade uredósporos de *P. pachyrhizi* nas regiões produtoras de soja do Estado, bem

como, as condições meteorológicas que favorecem a ocorrência da doença. Desta forma, as informações geradas pelo Programa contribuem para a tomada de decisão do momento inicial da aplicação preventiva de fungicidas, para o controle da ferrugem asiática, diminuindo o dano ambiental o custo econômico das lavouras de soja; estimulam o desenvolvimento das pesquisas para o melhor entendimento da epidemiologia da doença nas condições do Rio Grande do Sul e o desenvolvimento de políticas públicas para o agronegócio gaúcho.

8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos colaboradores:

Fernando Hinnah da empresa SMART AGRI por disponibilizar os coletores de esporos.

Aos pesquisadores e equipes de Fitopatologia das instituições parceiras, que auxiliaram a identificação de esporos nas safras 2019/2020 e 2020/2021: Profa. Renata Silva Canto de Pinho (UNIPAMPA - Itaquí), Prof. Igor Poletto (UNIPAMPA - São Gabriel), Prof. Vinicius Dias (IFSUL – Bagé), Profa. Carla Bocchese (UERGS – Vacaria), Profa. Carolina Deuner (UPF-Passo Fundo), Profa. Juliana Câmera (UNICRUZ – Cruz Alta), Profa. Daniela Batista dos Santos (IFRS – Ibirubá), Pesquisador Bernardo Ueno e Patrícia Grinberg (EMBRAPA-Clima Temperado, Pelotas), Prof. Júlio Carlos Pereira da Silva (UFSM), Marcelo Grippa Madalosso (URI – Santiago), Tânia Bayer (SETREM – Três de Maio), Juliane Ludwig (UFFS –

Cerro Largo) e Carolina Wesp Guterres (CCGL- Tecnologia – Cruz Alta).

Aos técnicos extensionistas da EMATER/ASCAR-RS: Clovis Roberto Schwengber, Renato Mena Barreto de Juli, Guilherme de Pietro Zorzi, Nicolas Brandt, Renato Mores, Pâmela dos Santos Couto, Graciel Albino Maggioni, Douglas Regis Isk, Larissa Lima dos Reis, Oneide Ernesto Kumm, Vilson Nadin, Maurício Luis Dall Acqua, Vinicius Toso, Fernando de Rossi, Ezequiel Avila Pereira da Silva, Augusto Luiz Pereira de Oliveira, Êmerson da Silva Portes, Gilberto Welzel, Marcelo Steiner, Nilmar Stefanello, Alexandre Silva da Costa, Fabio Karlec, Carla Damiele Sausen, Roger Terra Morais.

À equipe da Tecnologia da Informação da EMATER/ASCAR-RS, responsável pelo desenvolvimento do website do Programa MONITORA FERUGEM RS.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. M. R *et al.* Doenças de soja. *In:* KIMATI, H. *et al.* (ed.) **Manual de Fitopatologia**. 4. ed. Piracicaba: Livro Ceres, 2005. v. 2, p. 376-399.

ALVES S. A. M.; FURTADO G. Q.; BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. *In:* ZAMBOLIM, L. (ed.). **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa, MG: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2006. p. 37-59.

ALVES, V. M.; JULIATTI, F. C. Fungicidas no manejo da ferrugem da soja, processos fisiológicos e produtividade da cultura. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 44, n. 3, p. 245-251, 2018.

AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 5th ed. San Diego: Academic Press, 2005.

ANDERSON, S. J. *et al.* Development of simple sequence repeat markers for the soybean rust fungus, *Phakopsora pachyrhizi*. **Molecular Ecology Resources**, Oxford, v. 8, p. 1310-1312, 2008.

AOYAGI, L. N.; MURAKI, Y.; YAMANAKA, N. Characterization of three soybean landraces resistant to asian soybean rust disease. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 40, n. 53, p. 1-12, May 2020.

ASSIS, F. P. *et al.* Aplicativo web mobile para monitoramento da ferrugem asiática da soja no Brasil. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 10., 2015, Ponta

Grossa, PR. **Anais [...]**. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2015. p. 1-10. Disponível em: <http://eventos.uepg.br/sbiagro/2015/anais/SBIAgro2015/index.htm>. Acesso em: 01 out. 2021.

BARNES, C. W.; SZABO, L. J.; BOWERSOX, V. C. Identifying and quantifying *Phakopsora pachyrhizi* spores in rain. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 99, n. 4, p. 328-338, Mar. 2009.

BERGAMIN FILHO, A. Comparative epidemiology: soybean rust and other diseases. In: H. KUDO, K. et al. (ed.). **Facing the challenge of soybean rust in South America**. Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 2008. p. 31-38. (JIRCAS Working Report, 48).

BERUSKI, G. C. et al. Performance and profitability of rain-based thresholds for timing fungicide applications in soybean rust control. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 104, n. 10, p. 2704-2712, Oct. 2020.

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, Aug. 2007.

BRADLEY, C. A. Effect of fungicide seed treatments on stand establishment, seedling disease, and yield of soybean in north Dakota. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 92, n. 1, p. 120-125, Jan. 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria nº 306 de 13 de

maio de 2021. Institui o Programa Nacional de Controle da Ferrugem Asiática da Soja - ***Phakopsora pachyrhizi*** (PNCFS) no âmbito do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, Edição 90-A, 14 maio 2021.

BROMFIELD, K. R. **Soybean rust**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1984. 65 p. (Monography, 11).

CARDOSO, L. S. *et al.* **Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuária do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEAPDR/DDPA, 2020. 57 p. (Circular: divulgação técnica, 6).

CHECHI, A. *et al.* Asian soybean rust control in response to rainfall simulation after fungicide application. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 43, n. 1, e45689, 2020.

CARVALHO JR., A. A.; FIGUEIREDO, M. B. A. A verdadeira identidade da ferrugem da soja no Brasil. **Summa Fitopatológica**, Jaboticabal, v. 26, p. 197-200, abr./jun. 2000.

CONSÓRCIO Antiferrugem. Disponível em: <http://www.consorcioantiferrugem.net/#!/main>. Acesso em: 21 jul. 2021.

DARBEN, L. M. *et al.* Characterization of genetic diversity and pathogenicity of *Phakopsora pachyrhizi* mono-uredinial isolates collected in Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 1, n. 156, p. 355-372, Feb. 2020.

DE LA PARTE, E. M. *et al.* *Phakopsora pachyrhizi* y *P. meibomiae* en Cuba: distribución y cultivo hospedantes. **Fitosanidad**, La Habana, v. 19, n. 3, p. 221-225, dic. 2015.

DEL PONTE, E. M. *et al.* Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 96, n. 7, p. 797-803, Mar. 2006.

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, special issue, p. 88-97, Dec. 2008.

EMATER/RS-ASCAR. **Safra de verão 2020-2021**: estimativas atuais de área, produtividade e produção. Porto Alegre: Emater/RS-Ascar, mar. 2021. Disponível em: http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/safra/safraTabela_25032021.pdf. Acesso em: 21 jul. 2021.

FREDERICK, R. D. *et al.* Polymerase chain reaction assays for the detection and discrimination of the soybean rust pathogens *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomiae*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 92, n. 2, p. 217-227, Feb. 2002.

GIARDINO, C. G. *et al.* Manejo químico da ferrugem asiática da soja, baseado em diferentes métodos de monitoramento. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 77, n. 3, p. 497-504, jul./set. 2010.

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**, Boston, v. 32, p. 567-573, 1993.

GODOY, C. V.; DEL PONTE, E. M. Epidemias de ferrugem asiática e meio ambiente. **Revista Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 5, p. 100-101, jan. 2006.

GODOY, C. V. *et al.* Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 56-61, 2009.

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

GODOY, C. V. *et al.* **Ferrugem-asiática da soja**: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 40 p. (Embrapa Soja. Documentos, 428).

GOELLNER, K. *Phakopsora pachyrhizi*, the causal agent of asian soybean rust. **Molecular Plant Pathology**, Oxford, v. 11, n. 2, p. 169-177, 2010.

HARTMAN, G. L., SIKORA, E. F.; RUPE, J. C. Rust. In: HARTMAN, G. L.; SIKORA, E. F.; RUPE, J. C. (ed.). Compendium of Soybean Diseases and Pests American. **Phytopathological Society**, Saint Paul, p. 56-59, 2015.

HARTMAN, G. L.; MILES, M. R.; FREDERICK, R. D. Epidemiology and spread of soybean rust. *In*: CORN AND SORGHUM AND SOYBEAN CONFERENCE, 2003. **Anais** [...]. American Seed Trade Association, 2003. p. 1-9

HAUDENSHIELD, J. S.; HARTMAN, G. L. Archaeophytopathology of *Phakopsora pachyrhizi*, the soybean rust pathogen. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 99, n. 5, p. 575-579, Mar. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes (soja)**. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 10 mar. 2021.

IZARD, S. A. *et al.* Predicting seasonal soybean rust incursions into the North American continental interior using sentinel plot monitoring, spore trapping, and aerobiological modeling. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 95 n. 11, p. 1346-1357, Oct. 2011.

JACCOUD FILHO, D. *et al.* Alternatives hosts of the agent of the asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 60-63, 2007. Suplemento.

JULIATTI, F. C.; ZAMBOLIM, L. Etiology, epidemiology and management of asian soybean rust (ASR) in Brazil and vulnerability of chemical control of specific without multisite

fungicidas. *In*: Intech Open (org.). **Cereal Grains**. 1th ed. Zagreb, Croacia: IntechOpen, 2021. v.1, p. 1-31.

LELIS, V. P. *et al.* Favorabilidade ao desenvolvimento da ferrugem asiática da soja no estado de Minas Gerais. **Locus**, Lavras, p. 233-243, maio 2009. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/20313>. Acesso em: 01 out. 2021.

MAGNANI, E. B. Z.; MENDONÇA, E. A. F.; ALBUQUERQUE, M. C. F. Adhesion of uredospores of *Phakopsora pachyrhizi* on soybean seeds and their viability during storage. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 225-230, 2012.

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, n. 4, p. 461-463, 1976.

MARCUZZO, L. L. Papel do monitoramento de doenças de plantas com ênfase em bactérias foliares. **Ágora: Revista de Divulgação Científica**, Mafra, v. 16, n. 2, p. 1-13, jul. 2009.

MEGETO, G. A. S. *et al.* Árvore de decisão para classificação de ocorrências de ferrugem asiática em lavouras comerciais com base em variáveis meteorológicas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 3, p. 590-599, maio/jun. 2014.

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.

MILES, M. R.; FREDERICK, R. D.; HARTMAN, G. L. Soybean Rust: Is the U.S. Soybean Crop At Risk? APSnet Features, 2003. DOI: 10.1094/APSnetFeature-2003-0603.

MOREIRA, E. N. *et al.* Temporal dynamics of soybean rust associated with leaf area index in soybean cultivars of different maturity groups, **Plant Disease**, Saint Paul, v. 99, n. 9, p. 1216-1226, Sept. 2015.

MOREL PAIVA, W. **Roya de la soja**. Itapúa: Ministério de Agricultura y Ganadería, Subsecretaria de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola, Centro Regional de Investigación Agrícola, 2001. (Comunicado Técnico - Reporte Oficial, Série Fitopatologia, 1).

NICOLINI, F. *et al.* Efeito de temperaturas na germinação de uredósporos de *Phakopsora pachyrhizi*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, Aug. 2010. Suplemento.

NUNES, C. D. M.; MARTINS, J. F. S.; DEL PONTE, E. M. **Validação de modelo de previsão de ocorrência da ferrugem asiática da soja com base em precipitação pluviométrica**. Londrina: Embrapa Soja, 2018, 18 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 199).

OLIVEIRA, G. M. *et al.* **Coletor de esporos**: descrição, uso e resultados no manejo da ferrugem asiática da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 18 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 167).

QGIS DEVELOPMENT TEAM. 2021. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project**. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 01 fev. 2021.

RUPE, J.; SCONYERS, L. Soybean Rust. **The Plant Health Instructor**. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2008-0401-01>. Acesso em: 1 set. 2021.

REIS, E. M. Sobre os hospedeiros de *Phakopsora pachyrhizi*, no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 45, p. 113-113, 2019.

REIS, E. M.; ZANATTA, M.; REIS, A. C. Relationship between soybean plant defoliation and Asian soybean rust severity. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 45, n. 3, p. 252-254, 2019.

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.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Radiografia da Agropecuária Gaúcha**: 2020. Porto Alegre: SEAPDR, 2020. 38 p.

SEIXAS, C. D. S. *et al.* **Monitoramento de *Phakopsora pachyrhizi* na safra 2017-2018 para tomada de decisão do controle da ferrugem-asiática da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 19 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 141).

SEIXAS, C. D. S. *et al.* **Monitoramento de *Phakopsora pachyrhizi* na safra 2018/2019 para tomada de decisão do controle da ferrugem-asiática da soja.** Londrina: Embrapa Soja, 2019. 23 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 150).

SEIXAS, C. D. S. *et al.* **Monitoramento de *Phakopsora pachyrhizi* na safra 2019/2020 para tomada de decisão do controle da ferrugem asiática da soja.** Londrina: Embrapa Soja, 2020. 28 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 164).

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. de A. Agrometeorologia dos cultivos: informações para uma agricultura sustentável. *In: Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola.* Brasília, DF: INMET, 2009. v.1, p. 5-15.

SOUSA, P. F. C. *et al.* Identificação e distribuição de *Phakopsora pachyrhizi* agente causal da ferrugem da soja no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 672-677, maio/jun. 2007.

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.

TWIZEYIMANA, M. *et al.* Genetic structure and diversity of *Phakopsora pachyrhizi* isolates from soyabean. **Plant Pathology**, Oxford, v. 60, p. 719-729, 2011.

WEN, L.; BOWEN, C. R.; HARTMAN, G. L. Prediction of short-distance aerial movimento of *Phakopsora pachyrhizi* uredinospores using machine learning. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 107, n. 10, p. 1187-1198, June 2017.

XAVIER, S. A. *et al.* Variação da sensibilidade de populações de *Phakopsora pachyrhizi* a fungicidas inibidores da desmetilação no Brasil. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 41, n. 3, p. 191-196, 2015.

YORINORI, J. T. *et al.* Epidemia da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, em 2001 e 2002. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 178-179, 2002. Suplemento.

YORINORI, J. T.; JUNIOR, J. N.; J. J. LAZZAROTTO. **Ferrugem "asiática" da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle**. Londrina, Embrapa Soja, 2004. 36 p. (Embrapa Soja. Documentos, 247).

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, n. 6, p. 675-677, June. 2005.

Secretaria de Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do RS
Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária

Avenida Getúlio Vargas, 1384 - Menino Deus
CEP 90150-004 - Porto Alegre - RS
Fone: (51) 3288-8000

www.agricultura.rs.gov.br/ddpa