

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO APARECIMENTO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

INFLUENCE OF CLIMATE VARIABLES ON THE APPEARANCE OF ASIAN SOYBEAN RUST

Ricardo Guido Arruda Maciel¹ Leonardo França da Silva² Victor Crespo de Oliveira³
Fernanda Lamede Ferreira de Jesus⁴ Denis Medina Guedes⁵
Cristiano Márcio Alves de Souza⁶

RESUMO

A soja é a cultura mais importante do Brasil e está entre as mais importantes do mundo devido a sua vasta produção e possibilidades de utilização. Dentre as doenças de maior potencial danoso a sua produtividade, destaca-se a ferrugem asiática devido a sua alta virulência e capacidade de disseminação, que são potencializadas por condições de temperatura e umidade relativa do ar. Desse modo, a análise agrometeorológica surge como uma ferramenta para auxiliar no controle à ferrugem, visto que existem carência de produtos fitossanitário de alta eficiência e ausência de cultivares resistentes. Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho analisar a influência de variáveis climáticas no aparecimento da ferrugem asiática da soja no Estado do Rio Grande do Sul para a safra de 2020/2021. Para tal, os dados meteorológicos foram coletados junto ao INMET, e os registros de ocorrência de ferrugem asiática no portal do Consórcio Antiferrugem, possibilitando obter mapas de dispersão da doença em função dos níveis de susceptibilidade climática. Como resultado, verificou-se que a variável climática que mais influenciou no aparecimento da ferrugem asiática foi a temperatura do ar, principalmente a partir do estágio fenológico R5. Portanto, o mapa de distribuição associado à classificação de susceptibilidade da ferrugem demonstra-se uma boa metodologia para auxiliar a tomada de decisão no combate à doença. Essas análises permitem entender a influência das variáveis climáticas no desenvolvimento do patógeno e, conseqüentemente, obter maior precisão nas medidas de controle, diminuindo o número de aplicações de fungicidas e riscos ambientais.

Palavras-chave: Distribuição Espacial. Fungo. *Glycine max* (L.) Merril. Rio Grande do Sul. Propagação.

¹Engenheiro Agrônomo, graduado pela Universidade Federal de Viçosa. Av. P H Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900. Email: leonardo.silva@ufv.br.

² Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa

³ Doutorando Engenharia Agrícola - FCA UNESP

⁴ Professora Adjunta Universidade Federal Da Grande Dourados

⁵ Professor Universidade Federal De Viçosa

⁶ Professor Titular Universidade Federal Da Grande Dourados

ABSTRACT

Soybean is the most important crop in Brazil and is among the most important in the world due to its vast production and possibilities of use. Among the diseases with the greatest damaging potential for productivity, Asian rust stands out due to its high virulence and dissemination capacity, which are enhanced by temperature and relative humidity conditions. Therefore, agrometeorological analysis appears as a tool to help control rust, given that there is a lack of highly efficient phytosanitary products and an absence of resistant cultivars. Thus, this work aimed to analyze the influence of climatic variables on the appearance of Asian soybean rust in the State of Rio Grande do Sul for the 2020/2021 harvest. To this end, meteorological data were collected on the INMET, and occurrences of Asian rust were recorded on the Antirust Consortium portal, making it possible to obtain maps of the disease's dispersion depending on the levels of climatic susceptibility. As a result, it was found that the climatic variable that most influenced the appearance of Asian rust was air temperature, especially from the R5 phenological stage onwards. Therefore, the distribution map associated with the rust susceptibility classification proves to be a good methodology to assist decision-making in combating the disease. These analyses make it possible to understand the influence of climatic variables on the development of the pathogen and, consequently, obtain greater precision in control measures, reducing the number of fungicide applications and environmental risks.

Key words: Spatial Distribution. Fungus. *Glycine max* (L.) Merrill. Rio Grande do Sul. Propagation.

¹Engenheiro Agrônomo, graduado pela Universidade Federal de Viçosa. Av. P H Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900. Email: leonardo.silva@ufv.br.

² Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa

³ Doutorando Engenharia Agrícola - FCA UNESP

⁴ Professora Adjunta Universidade Federal Da Grande Dourados

⁵ Professor Universidade Federal De Viçosa

⁶ Professor Titular Universidade Federal Da Grande Dourados

1 INTRODUÇÃO

A Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas mais importante do Brasil e do mundo (VON BLOH et al., 2023), devido sua capacidade de gerar óleo vegetal e farelo proteico a um baixo custo relativo. Dessa forma, sua utilização na indústria para produção de carnes é fator fundamental para a viabilidade econômica do seguimento produtivo. No contexto mundial, o Brasil possui significativa parcela da produção de soja, a qual vem desempenhando papel fundamental para o desenvolvimento de diversas regiões brasileiras (SCHOFFEL et al., 2023).

A expansão do cultivo da soja iniciou-se na década de 1950 com a primeira campanha da soja no Brasil, e deste então, ocorre constante aumento na demanda em decorrência do seu elevado teor de proteínas e óleo. Além do mais, em virtude de ser uma commodity padronizada, podendo ser negociado por diversos produtores ao redor do mundo, a soja possui alta liquidez, fato impulsionado ainda pelo aumento expressivo de tecnologias de produção e pela estruturação do mercado global, voltado ao comércio de produtos do complexo da soja (Depaula, 2023; Kamrud et al., 2023).

Devido ao fato de ser produzida em monocultivo, a lavoura de soja está sujeita aos impactos negativos das condições ambientais e de patógenos como, fungos, vírus, nematoides e bactérias, causando doenças que podem gerar 100% de perdas na ausência de controle dos mesmos (Roth et al., 2020). Nesse sentido, a soja está sujeita ao contágio por mais de 100 doenças (Sinclair; Backman, 1989), dentre as quais destaca-se a ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow, considerada de maior potencial danoso, devido a sua alta virulência e velocidade de disseminação.

Nesse aspecto, a ferrugem asiática promove perdas em diversos países produtores, de modo que tal patógeno é capaz de se multiplicar e disseminar rapidamente sob condições ideais de temperatura e umidade relativa do ar (Schoffel et al., 2023), além de usufruir do fluxo de ar, resultando em repentina perda de área foliar e, conseqüentemente, na má formação de grãos.

Dessa forma, as variáveis climáticas são uns dos principais fatores que podem influenciar e intensificar a ocorrência de epidemias de ferrugem asiática. Logo, o acompanhamento das condições meteorológicas durante a safra auxilia a tomada de decisão referente ao momento ideal para realização do controle químico. Assim, é possível obter benefícios no manejo, de modo a permitir decisões assertivas sobre adiar ou antecipar a aplicação de fungicidas, evitando o uso excessivo e trazendo melhorias econômicas e ambientais para o sistema produtivo.

Além do mais, a indisponibilidade de produtos químicos com alta eficiência para controlar o *P. Pachyrhizi*, devido à resistência cruzada e múltipla que a ferrugem asiática possui frente a três grupos químicos e fungicidas sítio-específicos, realça a importância de modelos empíricos para previsão da doença (Muniz *et al.*, 2023). De modo que estes podem atuar como ferramentas de predição, auxiliando na formulação de estratégias racionais e eficientes de controle desta doença que se destaca na cultura da soja (Escobar *et al.*, 2023).

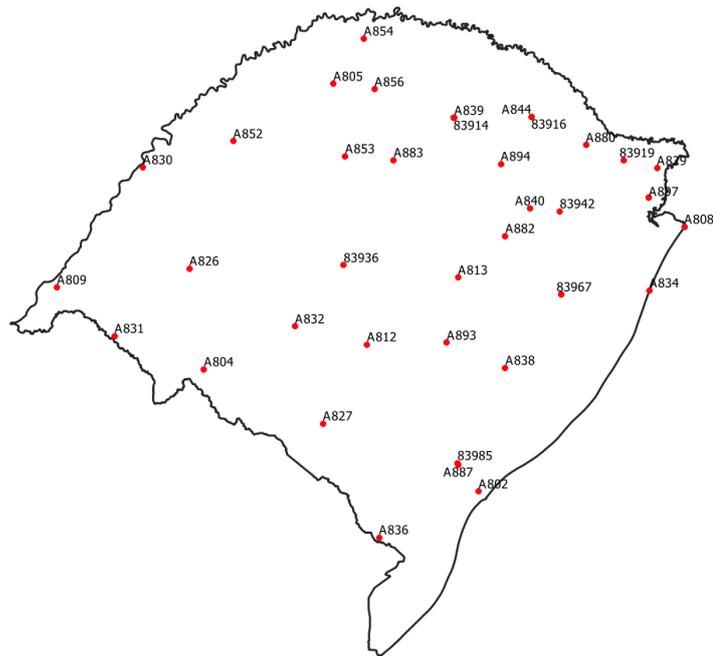
Portanto, objetivou-se com essa pesquisa avaliar, por meio de mapas de distribuição espacial, a influência das variáveis climáticas na ocorrência da ferrugem asiática da soja no estado do Rio Grande do Sul para a safra de 2020/2021.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Devido às condições climáticas que favorecem o contágio da ferrugem asiática, o local escolhido para o estudo foi o Estado do Rio Grande do Sul, no qual possui área de 281.748 km² e coordenada variando 27°4'50'' e 33°45'2'' de latitude Sul e de 57°36'46'' à 49°43'9'' de longitude Oeste. Os climas predominantes da região, de acordo com a classificação de Köppen, são subtropical úmido (Cfa) e oceânico (Cfb), com temperatura média anual de 18,6°C e precipitações médias anuais de 1300mm e 1500mm, ao sul e ao norte do estado, respectivamente. Com relação ao relevo, 60% da área possui altitude abaixo de 300m e 11% acima de 600m, sendo esta última localizada na região nordeste do estado.

Isso posto, as informações meteorológicas foram obtidas por meio do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de modo que foram selecionadas as séries de dados referentes as médias diárias de temperatura e umidade relativa do ar de 39 estações (A801, A802, A804, A805, A808, A809, A812, A813, A826, A827, A829, A830, A831, A832, A834, A836, A838, A839, A840, A844, A852, A853, A854, A856, A880, A882, A883, A887, A893, A894, A897, 83914, 83916, 83919, 83936, 83942, 83946, 83967 e 83985). Ademais, a fim de que os dados pertencessem ao mesmo ano agrícola e abrangessem todo o ciclo de desenvolvimento da soja, o período de seleção foi de 15 de dezembro de 2020 ao dia 01 de abril de 2021, totalizando 107 dias. Na Figura 1 é ilustrada a localização das estações meteorológicas utilizadas no presente estudo.

Figura 1. Mapa do Rio Grande do Sul indicando a localização das 39 estações meteorológicas utilizadas neste estudo



Fonte: Próprios Autores, 2023.

Com base nisso, os dados selecionados foram processados com o auxílio do *software* QGIS versão 3.10 (A Coruña) no sistema de coordenadas EPSG 3857 WGS84/Pseudo-Mercator, a fim de possibilitar a análise de todos os atributos climáticos de maneira georreferenciada. Por sua vez, a interpolação dos dados meteorológicos foi feita com o *plugin* *Smart-Map* (Pereira *et al.*, 2022), pelo método de krigagem ordinária, gerando assim imagens matriciais de 2820 pixels com resolução de 10000 x 10000 m a partir dos pontos vetorizados (estações).

A visualização dos sintomas do fungo *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja pode ser vista após 7 dias da infecção sob condições de temperatura e umidade favoráveis. Dessa forma, os 103 dias foram agrupados em 15 semanas de forma cronológica, a fim de facilitar as identificações e análises. Assim, as imagens matriciais do mesmo atributo pertencentes a mesma semana, foram somadas e divididas por sete, obtendo-se a média da semana para os atributos de temperatura e umidade relativa do ar.

Com o intuito de delimitar e individualizar as regiões que apresentaram condições de temperatura e umidade relativa favoráveis para o processo patogênico do *P. pachyrhizi*, as imagens matriciais das médias semanais para ambos os atributos foram reclassificadas com os seguintes parâmetros: se temperatura é menor que 20°C e maior que 25°C, assumir valor 0 (baixa susceptibilidade), caso contrário, valor 1 (alta susceptibilidade); se a umidade é menor

do que 85%, assumir valor 0 (baixa susceptibilidade), caso contrário, valor 1 (alta susceptibilidade). Desde modo foi possível obter duas imagens matriciais semanais, variando de 0 a 1, para temperatura e umidade relativa de forma individual.

Posteriormente, as duas matrizes pertencentes a mesma semana foram somadas, a fim de unir o grau de susceptibilidade de temperatura e umidade relativa em uma única imagem matricial, obtendo-se assim uma nova imagem matricial variando de 0 a 2. Nesse aspecto, pixels com valor zero (obtidos pela soma de dois pixels de valor zero) correspondem a regiões em que ambos os parâmetros estavam fora da faixa de susceptibilidade para a infecção do fungo. Por sua vez, pixels com valor 1 (obtido pela soma de um pixel de valor 1 e outro de valor zero ($1 + 0$ ou $0 + 1$)) correspondem a regiões em que um dos parâmetros analisados está dentro da faixa de alta susceptibilidade para a infecção do fungo, podendo ser temperatura ou umidade relativa. Assim, pixels de valor 2 (obtidos a partir da soma de dois pixels de valor um) correspondem a regiões em que ambos os parâmetros estão dentro da faixa de alta susceptibilidade para a infecção do fungo. Deste modo, foi possível obter imagem matricial com três níveis, sendo estes pixels de valor 0, 1 e 2. Na Figura 2 são ilustradas as possibilidades de valores obtidos nas imagens matriciais.

Figura 2. Soma das imagens matriciais classificadas

		Temperatura	
		0	1
Umidade	0	0	1
	1	1	2

Ou {
 Temperatura e umidade com baixa susceptibilidade = 0
 Temperatura ou umidade com alta/baixa susceptibilidade = 1
 Temperatura e umidade com alta susceptibilidade = 2

Fonte: Próprios Autores, 2023.

Portanto, ao final da sistematização do banco de dados meteorológicos, foram geradas três imagens matriciais para cada semana, sendo uma para temperatura, outra para umidade relativa, e a terceira para a interação entre umidade e temperatura.

Por fim, a partir do Consórcio Antiferrugem do Rio Grande do Sul, foram obtidos dados sobre a ocorrência de ferrugem asiática para mesmo período dos dados meteorológicos coletados junto ao INMET. Dessa forma, foram encontrados registros de 138 casos, distribuídos em 63 municípios, de modo que os registros possuem informações de data, posição geográfica, estágio fenológico da cultura no momento do registro, e quinzena de plantio. Em vista disso, a

fim de averiguar a existência de pré-disposição para o aparecimento da ferrugem asiática em função da temperatura e umidade relativa favoráveis, seja individualmente ou com interação entre ambos, o banco de dados de ocorrências da ferrugem asiática também foi agrupado em ordem cronológica a cada semana, possibilitando assim a sobreposição com os mapas de susceptibilidade meteorológica descritos anteriormente.

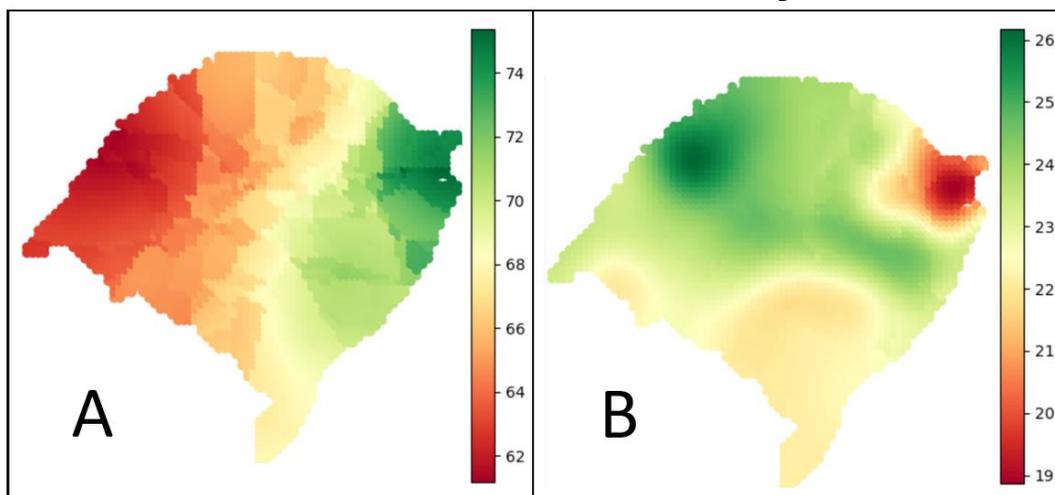
Ressalta-se que o registro da ferrugem asiática em uma determinada semana possui a influência de temperatura e umidade relativa da semana anterior, pois o tempo necessário para que seja possível a identificação da doença em campo após a deposição do esporo do fungo *P. pachyrhizi*, são de aproximadamente 7 dias em condições favoráveis. Assim, as imagens matriciais de susceptibilidade meteorológica foram sobrepostas com a semana posterior do registro da ocorrência de ferrugem asiática.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da espacialização vetorizada das estações meteorológicas do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), foi possível realizar análise de dependência espacial entre as estações e suas variáveis coletadas.

Assim, a interpolação por krigagem ordinária gerou um mapa matricial para cada variável por dia, sendo 103 para temperatura e 103 para umidade relativa ao longo de todo o período, totalizando 206 matrizes. NA Figura 3 é ilustrado o resultado da interpolação dos dados para o dia 15 de dezembro de 2020.

Figura 3. Mapas obtidos através da interpolação por krigagem ordinária para o dia 15/12/2020. (A) média da umidade relativa do ar (%) e (B) temperatura média do ar (°C)

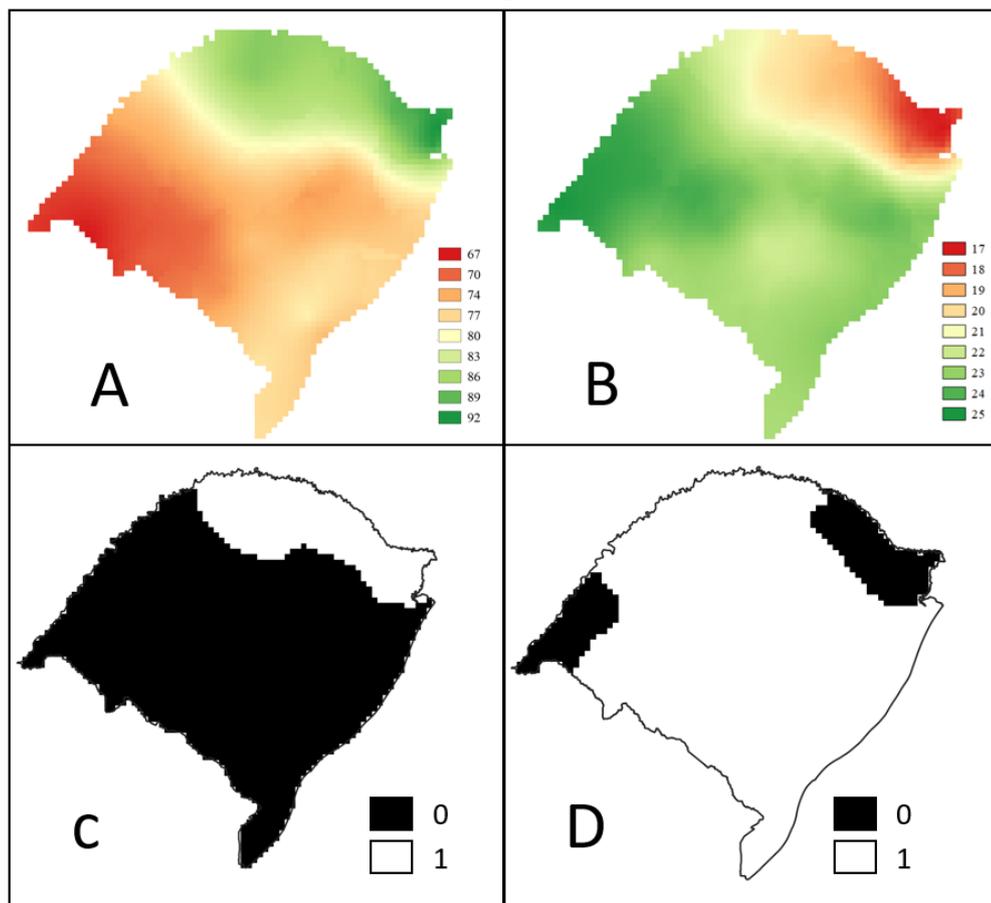


Fonte: Próprios Autores, 2023.

Verifica-se que a umidade relativa variou de 61 a 75%, de forma que as áreas ao leste e ao oeste obtiveram maior e menor valor de umidade, respectivamente. Ademais, a temperatura variou de 19 a 26°C, nas quais a região nordeste apresentou maiores temperaturas enquanto a noroeste menores. Para esse dia em específico, não houve regiões com umidade acima de 85%, porém observou-se regiões com temperaturas médias entre 20 e 25°C. Desse modo, a matriz da umidade relativa do ar obteve baixa susceptibilidade para todo o Estado, ao passo que para temperatura do ar ocorreu na mesma matriz regiões de alta e baixa susceptibilidade.

O agrupamento em semanas dos mesmos atributos climáticos, gerou matrizes semanais com as médias de temperatura e umidade, conforme ilustrado na Figura 4 para a semana 6.

Figura 4. Média semanal dos valores observados de umidade relativa (A) e temperatura do ar (B) para a semana 6, além dos valores de reclassificação dos pixels (0 ou 1) para umidade relativa (C) e temperatura do ar (D)



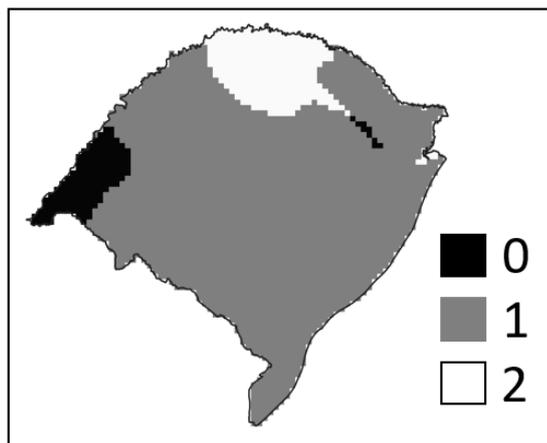
Fonte: Próprios Autores, 2023.

Para essa semana, observa-se que a variação da umidade foi de 67 a 92% (Figura 4A) enquanto a temperatura variou de 17 a 25°C (Figura 4B). Dessa forma, verifica-se zonas de alta

susceptibilidade para a ocorrência da ferrugem asiática devido a ambos os parâmetros. Entretanto, mesmo utilizando escala de cores, a visualização de tais zonas é dificultada pela quantidade de pixels que assumem valores distintos dentro da faixa de amplitude das variáveis. Desse modo, os mapas reclassificados auxiliam no processo de identificação, pois os dados são normalizados em duas classes, baixa ou alta susceptibilidade (0 ou 1). Assim, nas Figuras 4C e 4D é ilustrada a reclassificação dos dados, de modo que todos os pixels com valores maiores que 85% e 25°C para umidade relativa e temperatura do ar, respectivamente, assumiram valores iguais a 1 e foram representados pela cor branca. Em contrapartida, o restante assumiu o valor zero, sendo representados pela cor preta. Em vista disso, observa-se que as zonas fora da faixa de susceptibilidade da ferrugem, em decorrência da umidade relativa (Figura 4C) e da temperatura do ar (Figura 4D), concentram-se nas regiões norte e nordeste, e oeste e nordeste, respectivamente. O processo de reclassificação foi feito para todas as semanas.

Por sua vez, ao executar a soma das matrizes classificadas pertencentes a mesma semana, obteve-se uma terceira matriz que representa a influência simultânea de ambos os parâmetros, conforme ilustrado na Figura 1. Desse modo, a partir da Figura 5 é possível avaliar o grau de susceptibilidade de temperatura e umidade relativa em uma única matriz para semana 6.

Figura 5. Níveis de susceptibilidade (0, 1 e 2), devido a soma das classificações obtidas para as imagens matriciais da semana 6.



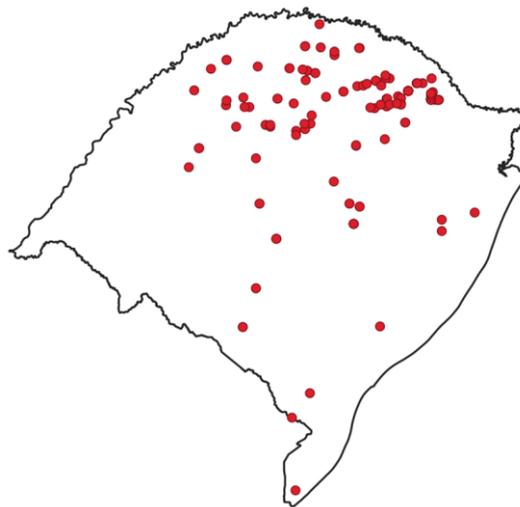
Fonte: Próprios Autores, 2023.

Nesse sentido, observa-se que a cor preta, de valor numérico zero, representa as regiões não favoráveis para o desenvolvimento do fungo, ocorrendo na região oeste do estado. A cor cinza, de valor 1, que predominou em todo estado, foi resultado de alta e de baixa susceptibilidades devido à temperatura umidade relativa do ar, respectivamente, que ocorreram

concomitantemente. Além do mais, observa-se que as condições climáticas na região norte, de valor 2 e caracterizada pela cor branca, foram favoráveis para o desenvolvimento do fungo, uma vez que tanto a umidade relativa quanto a temperatura do ar obtiveram valores nas faixas de susceptibilidade.

Por sua vez, a inserção dos registros de ferrugem asiática (obtidos por meio do Consórcio Antiferrugem do Rio Grande do Sul) foi feita no mesmo sistema de coordenadas das estações meteorológicas. Assim, na Figura 6 é ilustrada a localização dos 138 casos de ferrugem registrados do Rio Grande do Sul para o período do estudo. Considerando apenas o número de ocorrências, nota-se concentração de casos ao norte, com diluição à medida que se dirige ao sul, e a ausência de registros a oeste.

Figura 6. Localização dos 138 registros de casos de ferrugem asiática no Rio Grande do Sul para a safra de 2020/2021



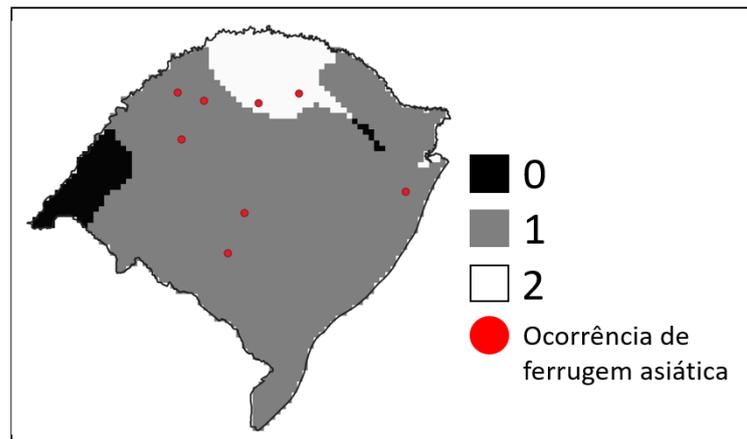
Fonte: Próprios Autores, 2023.

Porém, a fim de considerar as influências da temperatura e umidade tanto dentro quanto fora dos valores críticos, os casos registrados foram sobrepostos com a semana anterior de dados meteorológicos. Dessa forma, na Figura 7 estão ilustrados casos de ferrugem asiática para a semana 7, sobrepostos as variáveis climáticas classificadas e somadas, referentes à semana 6.

Assim, de um total de oito registros na semana 7, dois estão dentro da região susceptível para ambos os parâmetros meteorológicos, representado pela cor branca de valor numérico 2. Ao passo que seis ocorrências estão inseridas em regiões de valor numérico 1, representado pela cor cinza, em que a temperatura ou umidade relativa do ar estavam dentro dos valores críticos. Não houve registros de ferrugem asiática para este período dentro das regiões de baixa

susceptibilidade para ambos os parâmetros (cor preta), porém, a fim de realizar análises com maior precisão, é necessária a compilação de todos os casos em suas respectivas semanas de dados.

Figura 7. Susceptibilidade meteorológica da semana 6 sobreposta com os casos de ferrugem da semana 7



Fonte: Próprios Autores, 2023.

A Tabela 1 lista o número de casos de ferrugem asiática em relação ao grau de susceptibilidade da temperatura e umidade relativa do ar, individualmente e com interação entre ambos os fatores. Observa-se que das quinze semanas analisadas, seis não obtiveram grau 1 de susceptibilidade para umidade, ou seja, a média de umidade relativa semanal não foi maior que 85% para todo o Estado do Rio Grande do Sul. Consequentemente, o grau 2 de susceptibilidade para a interação das variáveis térmicas não existiu para essas mesmas semanas, quando avaliado a interação entre as variáveis. Paralelamente todas as semanas apresentaram temperatura favorável para o desenvolvimento do fungo, ou seja, temperatura semanal com valores entre 20 e 25°C.

Dos 138 casos de ferrugem asiática registrados pelo Consórcio Antiferrugem, 92% (127) ocorreram em regiões que estavam fora da zona de alta susceptibilidade devido à umidade relativa (valores de umidade < 85%). Tal fato pode ser explicado por alguns fatores: o primeiro entre a diferença de umidade existente na atmosfera e ao microclima no dossel (GODOY et al., 2020a), sofrendo interações da umidade proveniente da transpiração da planta e evaporação do solo, além da proteção contra os raios UV pela área foliar; o segundo pela desconsideração do tipo de sistema na lavoura, pois, caso seja um sistema irrigado, haverá um aumento de umidade não registrado no sensor da estação meteorológica.

Tabela 1. Número de casos de ferrugem asiática em relação ao grau de suscetibilidade da temperatura e umidade

Semana	Período de cultivo		Casos de ferrugem	Temp. e UR			Temp.		UR	
	Início	Término		0	1	2	0	1	0	1
1	15/12/2020	21/12/2020	0	0	0	0	0	0	0	0
2	22/12/2020	28/12/2020	0	0	0	Nulo	0	0	0	Nulo
3	29/12/2020	04/01/2021	1	0	1	Nulo	0	1	1	Nulo
4	05/01/2021	11/01/2021	0	0	0	0	0	0	0	0
5	12/01/2021	18/01/2021	1	0	1	Nulo	0	1	1	Nulo
6	19/01/2021	25/01/2021	0	0	0	0	0	0	0	0
7	26/01/2021	01/02/2021	8	0	6	2	0	8	6	2
8	02/02/2021	08/02/2021	10	0	1	9	0	10	1	9
9	09/02/2021	15/02/2021	24	9	15	Nulo	9	15	24	Nulo
10	16/02/2021	22/02/2021	52	26	26	0	26	26	52	0
11	23/02/2021	01/03/2021	26	6	20	Nulo	6	20	26	Nulo
12	02/03/2021	08/03/2021	8	0	8	Nulo	0	8	8	Nulo
13	09/03/2021	15/03/2021	8	0	8	0	0	8	8	0
14	16/03/2021	22/03/2021	0	0	0	Nulo	0	0	0	Nulo
15	23/03/2021	29/03/2021	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de casos			138	41	86	11	41	97	127	11
Percentual			100%	30%	62%	8%	30%	70%	92%	8%

Temp. = temperatura do ar, UR= umidade relativa do ar.

Fonte: Próprios Autores, 2023.

Em contrapartida, a temperatura do ar foi a variável meteorológica de maior influência para o desenvolvimento da doença, sendo que 70% dos registros (97 casos), ocorreram dentro da região de alta susceptibilidade (valores entre 20 e 25°C). Tal resultado corrobora com o que foi relatado Radons *et al.* (2020), no qual também verificou influência da temperatura na incidência de ferrugem no Rio Grande do Sul.

Com relação à interação entre temperatura e umidade, 30% dos casos ocorreram em regiões com grau 0; 62% com grau 1 e 8% em grau 2 de susceptibilidade. A baixa ocorrência de ferrugem asiática em regiões com ambos os parâmetros favoráveis para o desenvolvimento da doença, se deve ao fato de que 43,4% dos registros foram feitos em semanas nas quais a umidade relativa do ar não apresentou grau 1 de susceptibilidade, inexistindo por consequência, regiões com ambos os fatores favoráveis nas respectivas semanas.

Por sua vez, na Figura 8 é ilustrada a distribuição dos casos de ferrugem asiática em função da semana, de forma que é possível verificar que os dados seguiram distribuição normal. O primeiro registro foi feito isoladamente na semana 3, com incremento significativo a partir da semana 7, e pico de ocorrências na semana 10, na qual houve 52 registros. Ressalta-se que 74% dos casos ocorreram entre 09 de fevereiro e 01 de março. Assim, o aumento repentino de registros se deve ao fato do fechamento da lavoura, em que o dossel das plantas se encontra na entrelinha, favorecendo o desenvolvimento do fungo, pela proteção contra os raios UV e

manutenção da umidade, conforme relatados por Godoy *et al.* (2020b), além do plantio em massa na mesma época, sendo que 54% dos registros foram feitos em lavouras semeadas no mês de novembro. Embora a ferrugem asiática possa ocorrer durante todo o ciclo da cultura, seu aparecimento tardio é uma reação ao vazio sanitário, em que o fungo *P. Pachyrhizi* indis põe de grande oferta de hospedeiros, fazendo com que surtos de infecções não ocorram no início da safra.

Na Figura 9 são ilustrados os números de casos de ferrugem em função do estágio de desenvolvimento da soja.

Figura 8. Número de casos de ferrugem asiática por semana

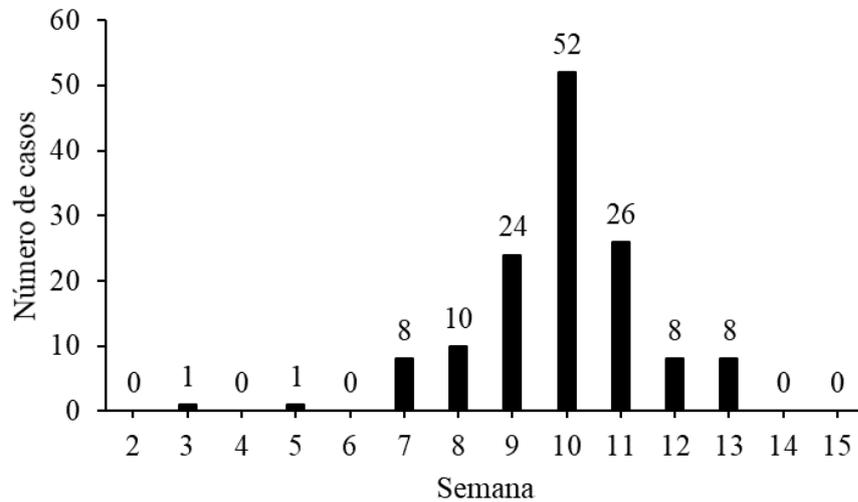
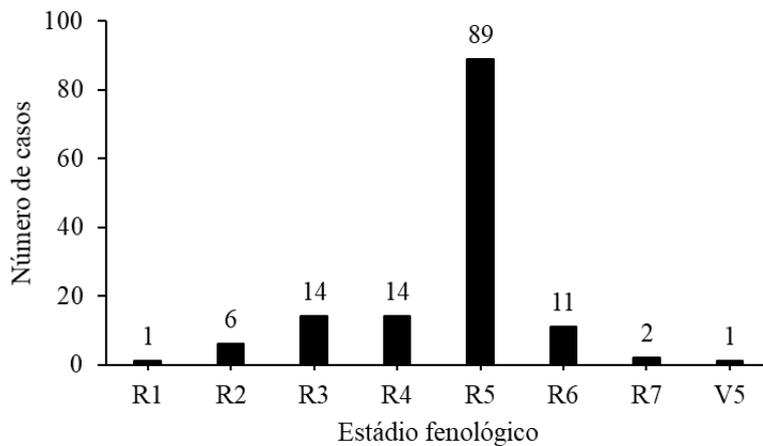


Figura 9. Número de casos por estágio fenológico



Fonte: Próprios Autores, 2023.

Observa-se que apenas 1 caso de ferrugem asiática foi registrado no estágio vegetativo (V5), e 137 casos nos estádios reprodutivos (indicados pela letra R), em que se destaca o R5

(enchimento de grãos) como o estágio fenológico com o maior número de ocorrências (89 casos que representam 64,5%). Segundo Richetti e Roese (2008) e Godoy *et al.* (2009), o aparecimento da ferrugem asiática é intensamente perceptível a partir do início do florescimento, e quase ausente na fase vegetativa. Nesse aspecto, os dados observados nesse estudo corroboram com os autores supracitados.

4 CONCLUSÕES

A interpolação por krigagem ordinária enquadrou-se como uma eficiente metodologia para elaboração de mapas a partir de pontos que possuem dependência espacial, possibilitando sua posterior classificação em diferentes níveis de susceptibilidade ao desenvolvimento da ferrugem asiática na soja, facilitando a análise visual.

A temperatura do ar foi a variável de maior influência para a ocorrência da ferrugem asiática da soja no período e local analisado. Contudo, com base nos dados do Consórcio Antiferrugem conciliados com os níveis de susceptibilidade climática, a presença de soja a partir do estágio fenológico R5 em temperatura média ideal, intensificaram o desenvolvimento da doença.

REFERÊNCIAS

DEPAULA, G. Bundled contracts and technological diffusion: Evidence from the Brazilian soybean boom. **Journal of Development Economics**, v. 165, p. 103163, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2023.103163>>. Acesso em: 23 abr. 2024.

ESCOBAR, O. *et al.* Severidade de *Phakopsora pachyrhizi* em soja estimada por modelos de crescimento não lineares. **Agrometeoros**, v. 31, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v31.e027185>>. Acesso em: 23 abr. 2024.

GODOY, C. *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**, v. 34, n. 1, p. 56-61, fev. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1982-56762009000100011>>. Acesso em: 10 jun. 2022.

GODOY, C. *et al.* **Ferrugem-asiática da soja: bases para o manejo da doença e estratégias antirresistência**. Embrapa Soja: Documento 428, Londrina, PR. 2020.

GODOY, C. *et al.* **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra de 2019/2020: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos**. Embrapa Soja: Circular técnico 160, Londrina, PR. 2020. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124331>>. Acesso em: 18 mar. 2024.

KAMRUD, G.; WILSON, W. W.; BULLOCK, D. W. Logistics competition between the US and Brazil for soybean shipments to China: An optimized Monte Carlo simulation approach. **Journal of Commodity Markets**, v. 31, p. 100290, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2022.100290>>. Acesso em: 18 mar. 2024.

MUNIZ, C. R. *et al.* Associação de *Bacillus subtilis* BV02 e produto à base de cobre no controle da ferrugem asiática na soja. **Summa Phytopathologica**, v. 49, p. e241169, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0100-5405/241169>>. Acesso em: 23 abr. 2024.

PEREIRA, G. *et al.* Smart-Map: An open-source QGIS plugin for digital mapping using machine learning techniques and ordinary kriging. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1350, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/198050985082>>. Acesso em: 28 jun. 2022.

RADONS, S. Z. *et al.* Climate risk of Asian soybean rust occurrence in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 46, p. 435-442, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350746147_Climate_risk_of_Asian_soybean_rust_occurrence_in_the_state_of_Rio_Grande_do_Sul_Brazil. Acesso em: 18 abr. 2024.

RICHETTI, A.; ROESE, A. **Custo do controle químico da ferrugem asiática da soja em Dourados, MS, para a safra 2008/09**. Embrapa Agropecuária Oeste: Comunicado Técnico 150. 2008. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/241151/1/COT2008150.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2024.

ROTH, M. G. *et al.* Integrated management of important soybean pathogens of the United States in changing climate. **Journal of Integrated Pest Management**, v.11, p. 1-17, 2020. Disponível em: < Disponível em: <<https://doi.org/10.53660/654.prw1802a>>. Acesso em: 23 abr. 2024.>. Acesso em: 23 abr. 2024.

SCHOFFEL, A. *et al.* Eficiência de fungicidas no controle da ferrugem asiática na soja. **Peer Review**, v. 5, n. 14, p. 12-24, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.53660/654.prw1802a>>. Acesso em: 23 abr. 2024.

SINCLAIR, J.; BACKMAN, A. **Compendium of soybean diseases**. St. Paul: American Phytopathology Society. 1989.

VON BLOH, M. *et al.* Machine learning for soybean yield forecasting in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 341, p. 109670, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109670>>. Acesso em: 23 abr. 2024.