



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

KARLA BRAGA DE OLIVEIRA

**QUANTIFICAÇÃO DE DANOS E DESEMPENHO DE
FUNGICIDAS NO CONTROLE DA MANCHA BRANCA DO
MILHO:
UMA METANÁLISE**

Londrina
2022

KARLA BRAGA DE OLIVEIRA

**QUANTIFICAÇÃO DE DANOS E DESEMPENHO DE
FUNGICIDAS NO CONTROLE DA MANCHA BRANCA DO
MILHO:
UMA METANÁLISE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina como requisito para obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri
Coorientador: Dr. Adriano Augusto de Paiva Custódio

Londrina
2022

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

Oliveira, Karla Braga de.

Quantificação de danos e desempenho de fungicidas no controle da mancha branca do milho: Uma metanálise / Karla Braga de Oliveira. - Londrina, 2022.
69 f. : il.

Orientador: Marcelo Giovanetti Canteri.

Coorientador: Adriano Augusto de Paiva Custódio.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2022.

Inclui bibliografia.

1. Fitopatologia - Tese. 2. Epidemiologia - Tese. 3. Fungicidas - Tese. 4. Mancha Branca do Milho - Tese. I. Canteri, Marcelo Giovanetti . II. Custódio, Adriano Augusto de Paiva. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

KARLA BRAGA DE OLIVEIRA

**QUANTIFICAÇÃO DE DANOS E DESEMPENHO DE
FUNGICIDAS NO CONTROLE DA MANCHA BRANCA DO
MILHO:
UMA METANÁLISE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina como requisito para obtenção do título de Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

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

Coorientador: Dr. Adriano Augusto P. Custódio
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná –
IAPAR-EMATER - IDR-Paraná

Profa. Dra. Maria Isabel Balbi Peña
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dra. Dagma Dionísia da Silva
Embrapa Milho e Sorgo

Dr. Rodrigo Véras da Costa
Embrapa Milho e Sorgo

Dr. Rui Pereira Leite Jr
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná –
IAPAR-EMATER - IDR-Paraná

Londrina, 23 de março de 2022.

Dedico a minha mãe, Maria do Carmo Braga.

AGRADECIMENTOS

À minha família.

Ao meu orientador Prof. Marcelo Giovanetti Canteri, pela amizade, por seus preciosos conselhos, paciência e inestimável confiança.

Ao meu coorientador Dr. Adriano Augusto P. Custódio, pela valiosa orientação e principalmente pela grande parceria construída nos últimos anos.

Ao meu companheiro Lucas H. Fantin, por toda ajuda, conselhos e ensinamentos.

Aos membros da rede nacional de pesquisa cooperativa em milho segunda safra, incluindo pesquisadores e demais profissionais envolvidos.

Agradeço também aos membros da banca examinadora, Prof^a. Maria Isabel Balbi Peña (UEL), Dr^a Dagma Dionísia da Silva (EMBRAPA), Dr Rodrigo Véras da Costa (EMBRAPA), Dr Rui Pereira Leite Jr (IDR-Paraná), Dr. Hércules Diniz Campos (UniRV) e Dr^a Sandra Cristina Vigo (IDR-Paraná), pelas valiosas contribuições ao trabalho.

À Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realização do Doutorado nesta inestimável Instituição.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

OLIVEIRA, Karla Braga. **Quantificação de danos e desempenho de fungicidas no controle da mancha branca do milho: Uma metanálise.** 2022. 69 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

RESUMO

Acompanhando o crescimento na produtividade da cultura do milho, fatores de ordem biótica passaram de “pouco importantes” a ameaças a produção sustentável-econômica da cultura. Reduções de produtividade associadas a doenças foliares como a mancha branca tem ocorrido de forma endêmica nas principais regiões produtoras do Brasil. No presente estudo, buscamos i) quantificar a relação entre a severidade da mancha branca e a produtividade do milho (kg ha⁻¹) (Artigo A) e ii) estimar a eficiência de controle e a resposta de produtividade de aplicações de fungicidas no controle da doença (Artigo B). Uma abordagem metanalítica foi adotada para estabelecer o coeficiente de dano global e relativo, utilizando o gradiente de severidade gerado pelo efeito de diferentes tratamentos com fungicidas foliares avaliados em ensaios de campo conduzidos entre 2016 a 2020. A eficiência de azoxistrobina + difenoconazol + clorotalonil; azoxistrobina + tebuconazol + mancozebe; piraclostrobina + epoxiconazol; piraclostrobina + fluxapiroxade; piraclostrobina + fluxapiroxade + mefentrifluconazol; trifloxistrobina + protioconazol + bixafen foi sumarizada quantitativamente para estimar a média e a heterogeneidade da resposta dos tratamentos no controle da mancha branca, além da produtividade. Baseado nos modelos de efeito aleatórios, o coeficiente de dano global calculado foi -70,89 kg para uma produtividade de 7.940 kg ha⁻¹ e o dano potencial relativo calculado em -0,89%. Para cenários de baixa (<6.000 kg ha⁻¹) e alta (≥6.000 kg ha⁻¹) produtividade, o coeficiente de dano estimado através de modelos mistos foi de -73,08 e -82,75 kg, respectivamente. Nessas condições, o dano potencial relativo para cada ponto percentual de severidade da mancha branca foi de 1.086% (baixa) e 0.922% (alta). Todos os seis fungicidas proporcionaram resposta de produtividade (>1.000 kg ha⁻¹) superior a testemunha sem aplicação. A média de eficiência de controle da mancha branca (%C) e o retorno de produtividade (Y) entre os tratamentos com aplicações de fungicidas variaram de 61,3 a 74,2 e 1.019,4 a 1.337 kg ha⁻¹, respectivamente. A %C e o Y foi maior para as misturas triplas de sítio específicos piraclostrobina + fluxapiroxade + mefentrifluconazol (%C 74 e Y 1.337 kg ha⁻¹) e trifloxistrobina + protioconazol + bixafen (%C 71,8 e Y 1.287,2 kg ha⁻¹). Os três tratamentos com menores %C da mancha branca também apresentaram as menores respostas de produtividade em relação a testemunha sem aplicação, com valores de Y 1.057,5 kg ha⁻¹ para azoxistrobina + tebuconazol + mancozebe, 1.092,5 kg ha⁻¹ para azoxistrobina + difenoconazol + clorotalonil e 1.019,4 kg ha⁻¹ para a mistura dupla piraclostrobina + epoxiconazol. Os resultados apresentados neste estudo reforçam a importância do uso de fungicidas foliares no controle da doença para manutenção do potencial produtivo de híbridos de milho suscetíveis à mancha branca e podem ser úteis para o cálculo do limiar de dano econômico.

Palavras-chave: epidemiologia quantitativa; fitopatometria; nível de dano.

OLIVEIRA, Karla Braga. **Quantification of damage and performance of fungicides to control corn white spot.** 2022. 69 p. Thesis. (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

ABSTRACT

Following the growth in corn crop productivity, biotic factors went from being “low importance” to threats to the sustainable-economic production of the crop. Yield reductions associated with foliar diseases such as white spot have been endemic to the main producing regions of Brazil. In the present study, our goal was i) quantify the relationship between white spot severity and corn yield (kg ha⁻¹) (Article A) and ii) to estimate the control efficiency and yield response of applications of fungicides to control the disease. A meta-analytic approach was adopted to establish a global estimate of the damage coefficient for the evaluated pathosystem, using the severity gradient generated by the effect of different fungicide treatments evaluated in 40 field trials between 2016-2020. The efficiency of azoxystrobin + difenoconazol + chlorotalonil fungicides; azoxystrobin + tebuconazol + mancozeb; pyraclostrobin + epoxiconazole; pyraclostrobin + fluxapyroxad; pyrclostrobin + fluxapyroxad + mefentrifluconazole; trifloxystrobin + prothioconazol + bixafen was quantitatively summarized to estimate the mean and heterogeneity of treatment response and the crop yield. Based on random effect models, the calculated global damage coefficient was -70.89 kg for an estimated yield of 7940 kg ha⁻¹ and the calculated relative damage as -0.89%. For low (<6000 kg ha⁻¹) and high (≥6000 kg ha⁻¹) yield scenarios, the damage coefficient found was -73.08 and -82.75 kg, respectively. Under these conditions, the estimated relative damage for each percentage point of white spot severity was 1.086% (low) and 0.922% (high). All six fungicides tested resulted in a significant yield return (>1000 kg ha⁻¹) compared to the control. The mean %C of white spot and Y between treatments with fungicide applications ranged from 61.3 to 74.2 and 1019.4 to 1337 kg ha⁻¹, respectively. The %C and Y was higher for the two site-specific triple mixtures pyraclostrobin + fluxapyroxade + mefentrifluconazole (%C 74.0 and Y 1337 kg ha⁻¹) and trifloxystrobin + prothioconazole + Bixafen (%C 71.8 and Y 1287.2 kg ha⁻¹). The three treatments with the lowest %C of white spot also showed the lowest yield responses in relation to the control without fungicide application, with Y 822.9 kg ha⁻¹ for 1057.5 kg ha⁻¹ for azoxystrobin + tebuconazol + mancozeb, 1092.5 kg ha⁻¹ for azoxystrobin + difenoconazol + chlorothalonil and 1019.4 kg ha⁻¹ for the double mixture pyraclostrobin + epoxiconazole. The results presented in this study can be useful to calculate the economic damage threshold and reinforce the importance of using foliar fungicides to disease control maintain the productive potential of corn.

Key words: quantitative epidemiology; phytopathometry; damage level.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Sintomas característicos de mancha branca em folhas de milho.19
- Figura 2** - Localização dos municípios onde foram conduzidos os ensaios para avaliação de eficiência de fungicidas no controle de doenças foliares do milho segunda safra pela rede de ensaios cooperativos no Brasil (2016-2020)32
- Figura 3** - Localização dos municípios onde foram conduzidos os ensaios para avaliação de eficiência de fungicidas no controle de mancha branca incluídos na metanálise no milho segunda safra entre 2016 e 2020. Paraná (n=25) e São Paulo (n=2)36
- Figura 4** - Forest plot dos coeficientes de correlação de Pearson (r) com intervalo de confiança a 95% e peso atribuído a cada ensaio (k=27) na estimativa da relação entre a severidade de mancha branca e a produtividade do milho37
- Figura 5** - Forest plot dos coeficientes de correlação de Pearson (r) com intervalo de confiança a 95% e peso atribuído a cada ensaio (k=18) na estimativa da relação entre a severidade de mancha branca e a produtividade do milho para moderadora severidade média na testemunha >5%39
- Figura 6** - Redução relativa de produtividade de milho por ponto percentual de severidade de mancha branca em duas categorias de produtividade (<6000 e ≥6000 kg ha⁻¹) com base em parâmetros estimados pela metanálise de efeitos mistos da relação entre a severidade da mancha branca estimada em R4 e a produtividade do milho40
- Figura 7** - Relação entre a eficiência de controle de mancha branca (%C) e o retorno de produtividade (Y) de milho em relação a testemunha sem aplicação para seis fungicidas avaliados na segunda safra de 2016 a 2020 na região subtropical do Brasil....51

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 -** Estimativas metanalíticas e medidas de heterogeneidade dos coeficientes de correlação de Pearson (r), coeficiente linear global (β_0) e coeficiente angular global (β_1) da relação entre a severidade de mancha branca e a produtividade do milho37
- Tabela 2 -** Estimativas metanalíticas e medidas de heterogeneidade dos coeficientes de correlação de Pearson (r), coeficiente linear (β_0) e coeficiente angular (β_1) da relação entre a severidade de mancha branca e a produtividade do milho para a moderadora severidade média na testemunha $\geq 5\%$ 38
- Tabela 3 -** Estimativas metanalíticas e medidas de heterogeneidade dos coeficientes de correlação de Pearson (r), coeficiente linear (β_0) e coeficiente angular (β_1) da relação entre a severidade de mancha branca e a produtividade do milho para moderadora produtividade média39
- Tabela 4 -** Fungicidas químicos para o controle de mancha branca do milho em ensaios independentes conduzidos na segunda safra entre 2016 e 2020 na região subtropical do Brasil46
- Tabela 5 -** Estimativas médias de eficiência de controle (%C) de tratamentos com aplicações de fungicidas químicos no controle de mancha branca do milho em relação a testemunha sem aplicação em ensaios independentes conduzidos na segunda safra entre 2016 e 2020 na região subtropical do Brasil48
- Tabela 6 -** Estimativas médias do retorno de produtividade (Y) de tratamentos com aplicações fungicidas no controle de mancha branca em relação a testemunha sem aplicação em ensaios independentes da segunda safra de 2016 a 2020 conduzidos na segunda safra entre 2016 e 2020 na região subtropical do Brasil49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DMI	Inibidores da desmetilação
SDHI	Inibidores da succinato desidrogenase
QoI	Inibidores da quinona oxidase
MBC	Inibidores da biossíntese da tubulina
QTL's	Quantitative Trait Loci
r	Coefficiente de correlação de Pearson
β_0	Coefficiente linear (intercepto)
β_1	Coefficiente angular (inclinação da reta)
Y	Retorno de produtividade (kg ha ⁻¹)
%C	Porcentagem de eficiência de controle

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MILHO	15
2.2	DOENÇAS DO MILHO	16
2.3	MANCHA BRANCA DO MILHO	17
2.3.1	Histórico e Etiologia	17
2.3.2	Sintomas e Danos	18
2.3.3	Controle	20
2.3.3.1	Controle cultural	20
2.3.3.2	Controle genético	21
2.3.3.3	Controle químico	22
2.3.3.3.1	<i>Histórico de fungicidas</i>	22
2.3.3.3.2	<i>Fungicidas em milho</i>	23
2.3.3.3.3	<i>Fungicidas no controle da mancha branca</i>	25
2.4	QUANTIFICAÇÃO DE DANOS	26
2.5	METANÁLISE	28
3	ARTIGO A: METANÁLISE DO EFEITO DA MANCHA BRANCA SOBRE A PRODUTIVIDADE DO MILHO NA REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL	30
3.1	RESUMO	30
3.2	INTRODUÇÃO	30
3.3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.3.1	Banco de Dados	32
3.3.1.1	Descrição dos ensaios	33
3.3.1.2	Avaliações	33
3.3.2	Critérios de Inclusão	34
3.3.3	Medida de Efeito e Metanálise	34
3.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
3.5	CONCLUSÕES	42

4	ARTIGO B: METANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DA MANCHA BRANCA DO MILHO NA REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL	43
4.1	RESUMO	43
4.2	INTRODUÇÃO	43
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	45
4.3.1	Banco de Dados	45
4.3.2	Avaliações	46
4.3.3	Crerários para Inclusão na Metanálise	46
4.3.4	Medida de Efeito e Metanálise	47
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.5	CONCLUSÕES	52
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
	APÊNDICES	63

1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho segunda safra, também conhecido como “safrinha” deixou de ser coadjuvante no cenário agrícola brasileiro desde 2011, quando ultrapassou o milho primeira safra (milho verão) em produção e área cultivada. Algumas doenças foliares como a mancha branca, também conhecida como mancha foliar de *phaeosphaeria*, consegue se estabelecer nas duas safras, sendo um fator limitante para a produção sustentável do cereal, nas diversas regiões produtoras.

A doença vem ocorrendo no Brasil há pelo menos três décadas. Restos culturais infectados são a principal fonte de sobrevivência e inóculo entre as safras. Os danos causados pela mancha branca são expressivos, ocasionando reduções quantitativas e qualitativas, devido à deterioração foliar e conseqüentemente, redução da taxa fotossintética. Os sintomas são observados geralmente após o pendoamento das plantas. Quando ocorre precocemente, ainda na fase vegetativa da cultura, há conseqüências diretas para a produção. As recomendações de controle da doença são baseadas no manejo integrado, incluindo o uso de cultivares resistentes ou tolerantes associadas a medidas complementares, como o controle químico, via aplicações foliares de fungicidas.

O controle de qualquer doença em plantas cultivadas apenas é justificado pelo impacto econômico causado. Normalmente, impactos na produtividade são analisados através de estudos fitopatométricos das relações entre injúria (diferentes níveis de severidade/incidência) e dano (produtividade ou redução de produtividade em kg/ha^{-1}) baseados em experimentos de campo. No caso da mancha branca do milho, os trabalhos disponíveis são limitados e/ou não apresentam consistência. Além disso, o estudo de danos deve compreender as relações a nível local, regional ou nacional, para viabilizar uma análise econômica visando o controle da doença.

Desde 2016, ensaios da rede nacional de pesquisa cooperativa para avaliação da eficiência de fungicidas (registrados e em fase de registro) no controle de doenças foliares em milho segunda safra são realizados no Brasil, em diferentes regiões produtoras de clima tropical e subtropical. O volume e a disponibilidade do banco de dados gerados de forma padronizada durante cinco anos fornecem uma oportunidade para explorar de forma confiável a relação entre a produtividade do milho e a severidade da mancha branca, bem como monitorar a eficiência de controle de fungicidas e o retorno produtivo das aplicações.

Nos últimos anos, a metanálise vem sendo empregada na fitopatologia para sumarizar quantitativamente resultados obtidos em experimentos independentes. A técnica permite avaliar heterogeneidades observadas entre os efeitos estimados de estudos individuais e estimar a significância de covariáveis sobre a medida de efeito. Além disso, a combinação de resultados oriundos de diferentes estudos aumenta o poder estatístico, permitindo a detecção de efeitos menos expressivos.

Os objetivos da presente tese foram: i) analisar quantitativamente a relação entre a severidade da mancha branca, avaliada no estágio R4 (grãos pastosos) e a produtividade do milho (Artigo A) e ii) estimar a eficiência de controle e o retorno em produtividade de aplicações de fungicidas no controle da doença (Artigo B).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MILHO

Entre os principais produtores mundiais de milho, apenas o Brasil é capaz de produzir o cereal em duas ou três safras consecutivas ao ano. Após dos Estados Unidos e China, a produção brasileira foi de 102,5 milhões de toneladas em uma área de 18,5 milhões de hectares na safra 2019/2020 (CONAB, 2021). Desse total, 25,7 milhões de toneladas foram produzidos no período de primeira safra de milho verão, 75,1 milhões de toneladas na segunda safra (safrinha) e 1,84 milhões de toneladas na terceira safra (CONAB, 2021).

Mesmo com a pandemia da Covid-19, a produção do cereal não sofreu impactos econômicos significativos. No início da janela de semeadura no país, as projeções da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) mostravam acréscimo de 7,2% de área cultivada de milho e a estimativa de produção (total) era de aproximadamente 112,9 milhões de toneladas para 2020/21. No entanto, adversidades climáticas como longos períodos de déficit hídrico e geadas durante a segunda safra estabeleceram novas perspectivas para a produção brasileira, com projeção de produção ajustada para 106,4 milhões de toneladas (CONAB, 2021).

Normalmente, o crescimento da produção de milho no Brasil acompanha o crescimento da produção animal. Mas nos últimos dois anos, a produção de etanol a partir do processamento do milho também cresceu, chegando a 3,021 bilhões de litros (CONAB, 2021). Para a Conab (2021), a ausência de sazonalidade colabora para a ampliação da produção do biocombustível no país. Além disso, o escoamento da produção de milho para o setor alcooleiro regional pode evitar a redução de preços na época da colheita.

Apesar de ser a *commodity* brasileira menos rentável dentre as demais (soja, café, carne, petróleo), os avanços tecnológicos incorporados ao cultivo do milho no Brasil refletem positivamente na produtividade da cultura. Nos últimos 40 anos, a produtividade do milho aumentou aproximadamente 231,5%, representando um crescimento médio anual de 5,8% (CONAB, 2021). Mesmo assim, o cultivo do milho ainda é considerado de alto risco, sobretudo relacionado a adversidades climáticas, custos de produção e problemas de ordem fitossanitária, como insetos-praga e doenças.

2.2 DOENÇAS DO MILHO

Até o final dos anos 90, as doenças apresentavam pouca importância na cultura do milho no Brasil. Reduções de produtividade eram geralmente associadas a outros fatores, como insetos-praga, práticas culturais ou sementes não melhoradas (PINTO, 1980). Os prejuízos causados por doenças evoluíram concomitantemente aos avanços nas técnicas de produção, impulsionados principalmente pela expansão da fronteira agrícola, ampliação das épocas de semeadura (primeira, segunda e terceira safra), semeaduras sucessivas, sistema plantio direto, cultivos irrigados, entre outros (CARVALHO et al. 2016).

Nos dias de hoje, diversas doenças são registradas acometendo a cultura durante todo o ciclo de desenvolvimento e sob diferentes níveis de resistência dos materiais. Entre as mais importantes economicamente estão a mancha branca, mancha de cercospora, ferrugens (comum, polissora e tropical), helmintosporioses (comum e maidis), podridões de espiga e colmo e enfezamentos (pálido e vermelho) (CASELA et al. 2006; CUSTÓDIO et al., 2019abc; CUSTÓDIO et al. 2020ab; SILVA et al. 2021).

Tanto pelo potencial de danos como pela ampla distribuição geográfica, as duas primeiras doenças foliares estão entre as principais doenças da cultura no Brasil. A mancha de cercospora, cujo agente etiológico é o fungo *Cercospora spp.*, foi relatada no Brasil em 1953, mas somente nos anos 2000 se manifestou de forma epidêmica no país (CARVALHO et al. 2016). Nesse período, foi responsável pela descontinuidade de diversos híbridos comerciais de milho altamente produtivos, porém suscetíveis (FANTIN; DUARTE, 2009). Atualmente, alguns estudos relacionam *Cercospora zeina* como espécie de fungo predominante em campos brasileiros sobre *C. zea-maydis* e *C. sorghi* (NEVES et al. 2015). Nos Estados Unidos, a doença ocasionada por *C. zea-maydis* foi identificada em 1924, e responsável por perdas significativas de produção na parte leste e na região conhecida como “cornbelt”. Danos variando de 80 a 100% foram relatados na produção de milho entre as décadas de 1950 e 1960 (WARD et al., 1999; MUNKVOLD; WHITE, 2016).

A mancha branca do milho, cuja etiologia será discutida no tópico a seguir, vem ocorrendo no Brasil há pelo menos três décadas. Desde então, reduções de produtividade associadas à doença têm aumentado de forma significativa, principalmente em cultivos de segunda safra e regiões de clima subtropical

(CUSTÓDIO et al. 2019a). Com o aumento exponencial da área cultivada de segunda safra, a ocorrência de doenças foliares como a mancha branca tem se tornado um fator limitante para a produção sustentável de milho.

2.3 MANCHA BRANCA DO MILHO

2.3.1 Histórico e Etiologia

A doença foi registrada pela primeira vez na Índia (RANE et al., 1965) e posteriormente nas Américas e África (CARSON et al. 1991; FANTIN, 1994). No Brasil, inicialmente foi descrita como “Mancha de *Phaeosphaeria*”, causada pelo fungo ascomiceto *Phaeosphaeria maydis* (Henn.) Rane, Payak & Renfro, assim como descrito por Rane et al. (1965). Desde seu relato oficial, estudos questionando a etiologia da doença são publicados (PACCOLA-MEIRELLES et al., 2001; CERVELATTI et al., 2002; GONÇALVES et al. 2013).

A maioria desses trabalhos relatou dificuldades em reproduzir os sintomas a partir de estruturas fúngicas obtidas nas lesões de folhas de milho. Paccola-Meirelles et al. (2001) provaram sob condições controladas o envolvimento da bactéria *Pantoea ananatis* (Serrano) Margaret no processo de infecção, resultando no desenvolvimento de lesões semelhantes as observadas em campo. No mesmo estudo, análises de lesões nos estágios iniciais não detectaram a presença de estruturas fúngicas (picnídios e pseudotécios). A partir disso, foi sugerido a denominação de mancha branca, em substituição à mancha de *phaeosphaeria*.

Concomitantemente, diferentes espécies fúngicas foram relatadas como agente causal da doença por outros autores. Amaral et al. (2004, 2005) apontaram os fungos *Phoma sorghina* (Sacc.) Boerema, Dorenb. & Kesteren, *Phyllosticta* spp., e *Sporormiella* sp. como necessários para o desenvolvimento dos sintomas da doença, com incidência variando de acordo com as regiões e estações do ano. O envolvimento destes patógenos fúngicos também foi observado por Carli (2008).

Ainda, houve questionamentos sobre a existência de duas doenças com sintomatologia semelhantes no campo. Fantin (2009, 2010) afirmou que a mancha branca, descrita por Paccola-Meireles et al. (2001) é distinta da mancha de *phaeosphaeria*, assim como os sintomas produzidos por outros patógenos fúngicos. Para a autora, a bactéria *P. ananatis* causa manchas elípticas, as quais seguem a

direção das nervuras, *P. sorghina* produz manchas menores (0,2 cm) com amplo halo amarelado e *Sporormiella* sp., manchas com bordos difusos e halo claro, diferentes de lesões da mancha de *phaeosphaeria*, geralmente arredondadas.

No Brasil, inicialmente, a natureza fúngica da etiologia da mancha branca foi utilizada tendo como uma das principais evidências a demonstração de eficiência de alguns fungicidas no controle da doença (PINTO; FERNANDES, 1995; PINTO, 2004; COSTA et al., 2012). No entanto, Bomfeti et al. (2007) demonstraram que os fungicidas utilizados para o controle da doença no campo também inibiam o crescimento *in vitro* da bactéria *Pantoea ananatis*. Em outro estudo, aplicações de antibiótico oxitetraciclina (17%) reduziram as lesões da mancha branca em até 90% no campo, e diferentes doses (0,5, 1, 2, 3 e 3,5 g/L) do antibiótico inibiram completamente o crescimento *in vitro* de *P. ananatis* (PEDRO et al. 2013).

Uma hipótese bem aceita pela comunidade científica nos dias de hoje considera *P. ananatis* como principal agente causal da doença no Brasil, baseado nos postulados desenhados por Robert Koch em 1880 (PACCOLA-MEIRELLES et al., 2001) e que, as diferentes espécies fúngicas supracitadas como *Phaeosphaeria maydis* ocorrem tardiamente nos estágios necróticos de lesões causadas pela bactéria (GONÇALVES et al 2013; CUSTÓDIO et al., 2019abc; 2020ab).

2.3.2 Sintomas e Danos

Os sintomas da doença compreende lesões variando na forma e tamanho, entre diferentes materiais e regiões de cultivo. No geral, os sintomas da mancha branca são caracterizados pelo surgimento de lesões foliares aquosas, do tipo anasarca, de coloração verde-escuro, que evoluem para lesões necróticas e de coloração palha (Figura 1) (COSTA et al. 2017). As lesões podem ser elípticas ou arredondadas, com diâmetro variando entre 0,3 a 2,0cm (CASELA et al. 2006; COSTA et al. 2017; CUSTÓDIO et al. 2019a;).

Normalmente, o início da doença ocorre nas folhas do terço inferior das plantas, próximas ao solo, progredindo rapidamente para folhas do terço médio e superior (COSTA et al., 2017). Após o estágio de pendoamento e durante o enchimento de grãos pode ser observada maior severidade da doença. Quando a doença ocorre antes desse período, há consequências diretas para a produção de milho, como redução de ciclo, tamanho e peso dos grãos (COSTA et al., 2017; CUSTÓDIO et al.

2019a).



Figura 1. Sintomas característicos de mancha branca em folhas de milho.
Fonte: O próprio autor.

O inóculo primário é oriundo de restos culturais e a disseminação do patógeno a curta distância ocorre principalmente pelo vento e chuva. As condições favoráveis à ocorrência da doença compreendem temperaturas noturnas amenas (14 a 20°C) e elevada umidade relativa do ar (>60%) (COSTA et al. 2017; FERNANDES; OLIVEIRA, 1997). Estas condições climáticas são comumente encontradas em regiões subtropicais acima de 600 metros de altitude (COSTA et al. 2017).

De modo geral, doenças foliares como a mancha branca afetam indiretamente a interceptação da luz e capacidade fotossintética das plantas, independente do sistema fotossintético (WAGGONER e BERGER, 1987). Em consequência disso, o processo de translocação de fotoassimilados para formação de grãos é prejudicado. No caso de plantas poáceas que possuem elevadas taxas fotossintéticas (C4), como o milho, qualquer redução nesse aproveitamento fotossintético pode resultar em redução drástica de produtividade.

No Brasil, a relação entre a porcentagem da área foliar doente ou severidade da mancha branca e a produtividade do milho não está bem esclarecida. Segundo Godoy et al. (2001), a doença pode causar reduções de produtividade de até 60%, em híbridos suscetíveis. Em São Paulo, Fantin e Duarte (2009) observaram redução

média de 1.933 kg ha⁻¹ (30%) na produtividade de materiais suscetíveis a doença.

2.3.3 Controle

2.3.3.1 Controle cultural

Na maioria dos casos, a adoção de práticas culturais interfere nas etapas de sobrevivência, reprodução e disseminação dos patógenos (BEDENDO et al. 2018). Para manchas foliares, como a mancha branca, restos culturais infectados distribuídos na superfície do solo representam a principal fonte de inóculo para as plântulas da nova semeadura (REIS et al. 2011). Além disso, o sistema plantio direto (SPD) e cultivo de segunda safra favorecem a manutenção do inóculo de doenças durante todo ano.

Nos EUA, um estudo de campo mostrou que a incidência e severidade da antracnose da folha do milho (causada por *Colletotrichum graminicola*) foi maior em monocultivo (milho) do que em sistema soja-milho, sendo registrada 91% maior incidência, e 24 a 78% maior severidade) (JIRAK-PETERSON et al. 2011). Nesse ponto, práticas simples como rotação de culturas com diferentes espécies de plantas não-hospedeiras e eliminação de restos culturais atuam eliminando a fonte nutricional dos fitopatógenos, e conseqüentemente os submete à competição microbiana e inanição (REIS et al. 2011).

Outra prática importante no manejo da mancha branca é o manejo nutricional adequado. Nesse caso, o desequilíbrio nutricional, por excesso ou deficiência de alguns micros e macronutrientes, ao reduzirem o desenvolvimento normal da planta, reduzem também sua resistência aos patógenos (BEDENDO et al. 2018). Em contrapartida, a adubação nitrogenada, principalmente, já foi relacionada à maior ou menor severidade de doenças em diversas culturas. Na cultura do milho, estudos avaliando o efeito de doses e fontes de nitrogênio na severidade da mancha branca vem sendo publicados nos últimos anos (PEGORARO et al. 2001; DORNELAS et al. 2015; SILVA et al. 2016). No geral, foi observado maior progresso da mancha branca com o aumento das doses de nitrogênio (FANCELLI, 1996; COSTA, 2001; DORNELAS et al. 2015), embora em alguns casos a produtividade também tenha sido maior.

Ainda na implantação da cultura, o ajuste populacional das plantas pode

contribuir para impedir o desenvolvimento de microclima favorável as manchas foliares (BEDENDO et al. 2018). A realização da semeadura na época recomendada também evita que os períodos críticos para a cultura coincidam com condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de doenças. Para mancha branca, é comum observar diferenças significativas entre a incidência e severidade da doença e a época de semeadura (BRASIL et al. 1998; CUNHA et al. 2019). Todas essas práticas supracitadas, além de trazerem um benefício imediato ao produtor por reduzir o potencial de inóculo, também contribuem para uma maior longevidade de materiais comerciais com resistência genética à doenças.

2.3.3.2 Controle genético

Baseado nos princípios gerais de controle, a resistência genética é consolidada como medida mais eficiente, econômica e segura de se controlar insetos-pragas e doenças de plantas (AMORIM et al. 2018). Do ponto de vista do produtor, o uso de variedades e híbridos resistentes facilita as operações de manejo, além de ser uma ferramenta de baixo impacto ambiental.

A partir da década de 90, quando o potencial produtivo de muitos materiais foi limitado por doenças foliares como a mancha branca, mancha de cercóspora e ferrugens (FERNANDES e OLIVEIRA, 1997), diversos híbridos e variedades resistentes ou tolerantes a doenças e adaptados a diferentes regiões e sistemas de produção do país, foram disponibilizados comercialmente. No entanto, o uso de uma ou poucas estratégias de forma isolada não proporciona estabilidade no controle, principalmente porque, na maioria das vezes nos trópicos, as doenças ocorrem na lavoura em forma de complexo múltiplo e nem sempre isoladamente. Além disso, é inexistente um híbrido com resistência satisfatória a todas as doenças da cultura (CAMPOS et al. 2013; WISE, 2017; CUSTÓDIO et al. 2019c; 2020b).

Estudos de herança de resistência e mapeamento de “Quantitative Trait Loci”- QTL’s foram publicados nos últimos anos (JULIATTI et al. 2013; LANA et al. 2017). Alguns QTL’s expressam alto nível de resistência à mancha branca, sendo potencialmente úteis para seleção e melhoramento visando a resistência à doença. No sul da Flórida (EUA), onde a mancha branca é atribuída apenas à *P. maydis*, a resistência foi considerada quantitativa, com alta herdabilidade (CARSON, 2001). No Brasil, embora ocorram também efeitos de dominância, estudos de campo estão de

acordo com Carson (2001), indicando que efeitos predominantemente aditivos são responsáveis pela resistência à mancha branca (PATERNIANI et al. 2000; SILVA; MORO, 2001). Esses resultados podem ser confirmados no campo, onde há uma variação contínua de graus de resistência à mancha branca entre os híbridos, em diferentes ambientes de cultivo e épocas de semeadura (COSTA et al. 2013).

2.3.3.3 Controle químico

2.3.3.3.1 Histórico de fungicidas

Na revisão “A Short History of Fungicides” de Morton e Staub (2008), os autores relatam que o uso de compostos químicos no controle de doenças em plantas ocorreu muito antes de se conhecerem as verdadeiras causas das doenças. Evidências indicam que no ano 1000 a.C. os gregos já utilizavam enxofre para controlar enfermidades. No entanto, apenas entre 1600 e 1800 d.C. produtos à base de enxofre e de cloreto de sódio passaram a ser usados para controlar doenças (SILVA JÚNIOR; BEHLAU, 2019).

Por volta de 1885, na cidade de Bordeaux-França, a descoberta da calda bordalesa pelo químico Millardet, um fungicida multissítio preparado a partir da mistura de sulfato de cobre e cal hidratada, usado no controle do míldio da videira, impulsionou os estudos de novos compostos para o controle de doenças de plantas, sendo o formaldeído considerado o primeiro fungicida sintetizado quimicamente em laboratório, em 1888 (MORTON; STAUB, 2008; SILVA JÚNIOR; BEHLAU, 2019). Já no século XX, fungicidas multissítios orgânicos, como os ditiocarbamatos zinebe, tiram e manebe, foram desenvolvidos e introduzidos no mercado. Produtos bactericidas como estreptomicina e outros à base de estanho também passaram a ser utilizados no controle de doenças (MORTON; STAUB, 2008; SILVA JÚNIOR; BEHLAU, 2019).

Na década de 1960, o aumento da produtividade das culturas, impulsionado pela revolução verde, acelerou as pesquisas visando à obtenção de novos compostos, como a carboxina e a oxicarboxina. Estes fungicidas específicos são responsáveis pela inibição da respiração mitocondrial de fungos no complexo II da succinato desidrogenase (SDHI). Outros fungicidas também foram desenvolvidos, como os metil benzimidazol carbamato (MBC) benomil e tiabendazol, e os inibidores da desmetilação (DMI) propiconazol, bitertanol, triadimefon e triadimenol (SILVA

JÚNIOR; BEHLAU, 2019). De 1960 a 1980 muitas outras moléculas importantes foram desenvolvidas, com destaque para os MCB's, carbendazin, tiofanato metílico e clorotalonil.

Em 1981, foi criado o Comitê de Ação a Resistência a Fungicidas (FRAC). Uma década depois, os fungicidas inibidores da respiração mitocondrial no complexo III da quinona externa (grupo das estrobilurinas, QoI) foram introduzidos no mercado (REIS et al. 2010; FRAC, 2021; SILVA JÚNIOR; BEHLAU, 2019). Esse grupo foi descoberto pelo pesquisador checo Vladimir Musilék em 1960, em madeiras “apodrecidas” pelo fungo basidiomiceto *Strobilurus tenacellus* (Pers.) Singer. Outro metabólito de outro basidiomiceto foi descoberto mais tarde, produzido pelo fungo *Oudemansiella mucida* (Schrader ex. Fries). De ambos os fungos foram desenvolvidos fungicidas, sendo a conhecida azoxistrobina do primeiro (REIS et al. 2010).

Em 2000, houve a introdução de diversos novos ingredientes ativos ou novas moléculas, como os indutores de resistência acibenzolar-S-metil (benzotiadiazol) e ainda, pré-misturas comerciais de fungicidas DMI e QoI foram incluídas no controle de doenças (SILVA JÚNIOR; BEHLAU, 2019).

2.3.3.3.2 Fungicidas em milho

Mundialmente, até 1970, pouca importância era dada às doenças na cultura do milho. Somente após a severa epidemia da mancha foliar de bipolares (*Helminthosporiose maidis*) nos Estados Unidos, as doenças da cultura passaram a ser consideradas como limitantes de rendimento (COSTA et al. 2014; MUNKVOLD; WHITE, 2016). As perdas causadas por *Bipolaris maydis* (raça T) naquele ano foram superiores a 1 bilhão de dólares (MUNKVOLD; WHITE, 2016). Estudos mencionam que fungicidas protetores foram utilizados em 1980 para controle da cercosporiose (WARD; NOWELL, 1998). Contudo, somente na década de 1990 os fungicidas passaram a ser efetivamente utilizados no controle de doenças do milho em diversos países, como Estados Unidos e África do Sul (WARD et al., 1997; WEGULO et al., 1997).

No Brasil, o uso de fungicidas em lavouras comerciais passou a ser realizado no início dos anos 2000, impulsionados pelos surtos epidêmicos da mancha de cercospora no Sudoeste de Goiás na primeira safra 1999/2000 e na segunda safra 2000 (FANTIN; DUARTE, 2009). Naquela época, o governo brasileiro precisou tomar

medidas rápidas para registrar os primeiros fungicidas para controlar doenças em milho (PINTO, 2004). Desde então, houve a intensificação gradativa do uso de fungicidas em áreas comerciais de milho e conseqüentemente um aumento do portfólio de produtos comerciais. Atualmente, existem 191 fungicidas registrados junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle de doenças foliares do milho (AGROFIT, 2022). Em 2013, 30 fungicidas estavam registrados no Brasil (SILVA et al. 2020), representando um incremento de 161 novos produtos em apenas nove anos. Os princípios ativos destes fungicidas em sua maioria, pertencem ao grupo químico dos triazóis (75%) e grupo das estrobilurinas (41%) constituídos principalmente pelos ingredientes ativos tebuconazol (45%), azoxistrobina (17%), piraclostrobina (15%), tiofanato metílico (13%) e mancozeb (10%) (SILVA et al. 2020).

Cota et al. (2018) realizaram um levantamento do uso de fungicidas na cultura do milho no Brasil. O estudo foi desenvolvido por pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo e coletou dados em duas safras (primeira safra) em 2015/2016 e 2016/2017 e duas safrinhas (segunda safra) nos anos de 2015 e 2016. Nas regiões produtoras de milho amostradas (956), o número de aplicações de fungicidas variou de zero (sem aplicação) até seis aplicações. Aproximadamente 73,6% dos produtores fizeram uma ou duas aplicações de fungicidas para o controle de doenças foliares. Por outro lado, apenas 19,5% das lavouras amostradas não foram pulverizadas com fungicidas.

Um estudo metanalítico realizado com dados de 2007 a 2013 observou maior probabilidade (95,2%) de aumento da produtividade com o emprego de fungicidas na cultura do milho comparado à testemunha sem aplicação (FANTIN; SILVA; CANTERI, 2017). Ainda, houve probabilidade de 82,1% para ocorrer acréscimo de 300 kg/ha (ou 5 sacas de 60 kg) e 56,7% de chance de acréscimo de 600 kg/ha (ou 10 sacas de 60 kg). Também, os resultados mostraram que comparada a apenas uma aplicação, houve maior probabilidade de acréscimo de produtividade em duas aplicações de fungicidas.

Prejuízos quantitativos e qualitativos devido ao ataque de fitopatógenos têm sido frequentes nas principais regiões produtoras do país, e dúvidas sobre a eficiência dos produtos no controle das principais doenças surgem a cada safra. No Brasil, alguns estudos já foram realizados para conhecer o efeito e a eficiência de fungicidas em milho (PINTO, 1997; 2004; MADALOSSO; TESTON; FÁVERO, 2017; COTA et al., 2018). A maioria destes ensaios foram realizados em poucas localidades ou

conduzidos majoritariamente com ingredientes ativos formados por moléculas simples ou misturas duplas.

A partir da segunda safra de milho 2016, foi estabelecido uma iniciativa de trabalho em rede nacional de pesquisa cooperativa por meio de uma parceria público-privada envolvendo empresas de defensivos agrícolas e instituições de pesquisas. O principal objetivo desta rede é obter informações sobre a eficiência de controle e o ganho de produtividade com o uso de fungicidas no controle da mancha branca e outras doenças do milho. Até o presente estudo, 40 ensaios foram conduzidos em 23 localidades proveniente de seis estados da federação e Distrito Federal, compostos por aproximadamente 29 fungicidas formados por moléculas simples, misturas duplas e triplas (CUSTÓDIO et al. 2019abc; 2020ab). A sumarização da eficiência de controle dos produtos e a relação do ganho de produtividade dos tratamentos em cinco anos serão explorados no Artigo B da presente tese.

2.3.3.3.3 Fungicidas no controle da mancha branca

Em sementeiras de materiais suscetíveis ou com resistência moderada a doenças foliares como a mancha branca, a utilização de fungicidas tem sido a principal medida adotada após o estabelecimento da cultura no campo (COSTA et al. 2012; CUSTÓDIO et al. 2019abc; CUSTÓDIO et al. 2020ab). As recomendações são baseadas em aplicações de fungicidas sítio específicos pertencentes aos grupos químicos dos triazóis, estrobilurinas e carboxamidas, formulados isolados ou em misturas duplas e triplas, além de fungicidas multissítios (AGROFIT, 2022).

Os ensaios realizados pela rede nacional de pesquisa cooperativa em milho segunda safra demonstram variação entre os produtos testados, do ponto de vista de eficiência de controle (%C) e ganho de produtividade (kg ha^{-1}). Nesse caso, o posicionamento dos produtos de acordo com cada cenário e estágio fenológico da cultura é fundamental para garantir o controle adequado da doença e obter resposta produtiva do híbrido escolhido (CUSTÓDIO et al. 2019abc; 2020ab).

Usualmente, produtores realizam duas e até três aplicações de fungicidas, e normalmente a primeira aplicação ocorre no estágio vegetativo da cultura de seis a oito folhas (V6-V8), seguida por uma aplicação antes do pendoamento das plantas em 11 folhas (V11). Mas em alguns casos, pode ocorrer uma terceira aplicação após o pendoamento das plantas no estágio reprodutivo de grão bolha (R2) da cultura.

Também, variações das aplicações de fungicidas nos três estádios fenológicos acima descritos podem ocorrer, com a primeira aplicação antes do pendoamento e a segunda aplicação após o pendoamento (CUSTÓDIO et al. 2019abc). É importante mencionar que no estágio fenológico reprodutivo após o pendoamento das plantas, considerado um período crítico da cultura, qualquer fator que interfira negativamente reduzindo a área foliar e, conseqüentemente, a sua capacidade fotossintética, resulta em reduções significativas na produtividade (COSTA et al 2009). Normalmente, esta aplicação tem sido negligenciada por muitos produtores das principais microrregiões milhícolas do país, devido à necessidade de um planejamento organizado e uso de aeronaves.

Devido ao alto investimento da cultura, principalmente na segunda safra e em áreas com histórico de doenças foliares ocasionados por fungos, alguns produtores realizam aplicações preventivas de fungicidas com o objetivo de proteger o potencial produtivo dos híbridos. Para mancha branca do milho, em parcelas sem tratamento com fungicidas, a severidade média foi cerca de 15% maior do que em parcelas tratadas com fungicidas. Além disso, o ganho de produtividade devido à manutenção da área foliar sadia proporcionado pelas aplicações de fungicidas pode chegar a 30% (CUSTÓDIO et al. 2020ab).

2.4 QUANTIFICAÇÃO DE DANOS

Doenças foliares, em geral, causam redução da área fotossintética e conseqüentemente reduzem a área de interceptação da radiação solar (JOHNSON, 1987; REIS; SANTOS; BLUM, 2007). A redução da área foliar está diretamente relacionada com o potencial produtivo da cultura, contudo, o nível de redução, em alguns casos, pode necessariamente não afetar o potencial produtivo. O trabalho de Zadocks, (1985) apresenta uma discussão valiosa sobre os conceitos de perdas e limiar de dano, calculado através de modelos matemáticos. O autor, citando outros autores, define o conceito de “injúria” como qualquer sintoma visível ou mensurável causado por um organismo nocivo, já o “dano” representa qualquer redução na quantidade ou qualidade do produto vegetal colhido, e o conceito de “perda” como a redução no retorno financeiro ou econômico. Sabemos que nem toda injúria causa dano, e, quando isso ocorre, o termo “dano aparente” ou tolerância pode ser utilizado.

Via de regra, o controle de qualquer doença de plantas só é justificado pelo

impacto econômico causado pela doença. O nível em que medidas de controle pontuais devem ser adotadas está diretamente relacionado ao valor do produto comercializado e o custo de controle, citado por Zadocks, (1985) como “nível de prejuízo econômico”. Na fitopatologia, normalmente são analisados as relações entre a injúria (diferentes níveis de severidade/incidência) e o dano (produtividade ou redução de produtividade em kg ha^{-1}). A relação “injúria-dano” é geralmente estabelecida pela regressão entre a severidade ou incidência da doença (%) e a produtividade da cultura (kg ha^{-1}) em ensaios de campo, onde diferentes gradientes de doença são gerados, por exemplo, através de inoculação artificial, híbridos com diferentes níveis de resistência ou tratamentos com aplicação de fungicidas (AMORIM e BERGAMIN FILHO, 2018).

Nutter; Jenco (1992) estudaram a relação injúria-dano para mancha de cercóspora do milho. Avaliando a severidade da doença, ocorrendo no terço médio da planta de milho (folhas 6 e 12) no estágio de grão pastoso, constataram que para cada 1% de acréscimo na severidade, a produção de grãos foi reduzida em $47,6 \text{ kg ha}^{-1}$. Para milho doce, Shah; Dillard, (2006) observaram redução de 2 a 7% da produção com 10% de severidade de ferrugem comum, causada por *Puccinia sorghi* Schwein. Dalla Lana et al. (2015) observaram relação linear negativa entre a produtividade da soja e a severidade da ferrugem asiática (causada por *Phakopsora pachyrhizi* Syd.& P.Syd), baseados em um grande conjunto de dados de testes de fungicidas conduzidos ao longo de 9 anos no Brasil. No estudo metanalítico, uma severidade de 3% reduziu 60 kg ha^{-1} para uma produtividade esperada de 3.000 kg ha^{-1} de soja. Em termos relativos, para cada aumento percentual de severidade houve redução de 0,6 ponto percentual na produtividade da soja.

Para o patossistema *Sclerotinia sclerotiorum*-soja, Lehner et al. (2016) estimaram redução de $17,2 \text{ kg ha}^{-1}$ para cada 1% de severidade considerando uma produtividade média de 3.455 kg ha^{-1} . No estudo de Edwards Molina et al. (2018a), os autores observaram redução de $0,48 \text{ kg ha}^{-1}$ na produtividade da soja para cada ponto percentual de severidade da mancha alvo (*Corynespora cassiicola*) para uma produtividade estimada em 3.507 kg ha^{-1} , e variando entre as cultivares utilizadas. Para giberella do trigo, o coeficiente de dano relativo foi de $1,05 \%^{-1}$ e $1,60 \%^{-1}$ para alta ($>3.631 \text{ kg ha}^{-1}$) e baixa ($\leq 3.631 \text{ kg ha}^{-1}$) produtividade da cultura (DUFFECK et al. 2020).

2.5 METANÁLISE

No século XVII, o matemático francês Blaise Pascal desenvolveu alguns modelos matemáticos para lidar quantitativamente com observações variadas em jogos de azar. Oficialmente, a técnica foi formalizada somente no século XX. O termo “meta-analysis” foi utilizado pela primeira vez pelo estatístico americano Gene V. Glass, no artigo “Primary, Secondary and Meta-Analysis of Research”. Glass (1976) se refere à técnica como “A análise estatística de uma grande coleção de resultados de estudos individuais com a finalidade de integrar as descobertas”.

O estatístico britânico Karl Pearson parece ter sido o primeiro a analisar e combinar os resultados de diferentes ensaios clínicos na área da saúde usando metanálise (PEARSON, 1904; SHANNON, 2016). Em 1931/32 a combinação de p-valores foi apresentada por Tippet e Fischer (WHITEHEAD, 2002). No mesmo período, Yates e Cochran (1938) descreveram métodos para combinação de experimentos agrícolas. Depois disso, Goldberger descreveu o processo que hoje conhecemos como “revisão sistemática”.

Embora os termos metanálise e revisão sistemática sejam confundidos, os dois métodos não são equivalentes. O primeiro corresponde ao método estatístico de síntese quantitativa e o segundo ao processo de seleção de referências, avaliação crítica e integração de resultados visando minimizar o risco de viés (FANTIN e CANTERI, 2017). Desde a publicação de Glass (1976), muitos estudos foram desenvolvidos, principalmente na área médica e social. De lá para cá, a técnica foi constantemente aprimorada pelos pesquisadores conforme os efeitos dos tratamentos variavam entre os estudos.

Nas ciências agrárias, a metanálise ganhou popularidade na última década (FANTIN e CANTERI, 2017). A necessidade de se obter resultados estatisticamente significativos que, muitas vezes são inviabilizados por inconsistências encontradas nos experimentos individuais impulsionam o uso desta abordagem pelos pesquisadores nos mais diversos ramos da área. Especialmente na fitopatologia, a sumarização de resultados vem crescendo nos últimos anos (MADDEN e PAUL, 2011; NGUGI et al. 2011ab). O primeiro trabalho utilizando a abordagem foi conduzido por Shaw e Larson (1999) para avaliar a fumigação de solo com brometo de metila + cloropicrina comparada a outras técnicas para o controle da murcha de *verticillium* em morango.

Alguns pesquisadores são precursores do uso e aprimoramento da abordagem, como o professor e pesquisador Dr. Pierce A. Paul e Dr. Laurence V. Madden, ambos da Universidade do estado de Ohio, EUA. No artigo “Meta-Analysis for Evidence Synthesis in Plant Pathology: An Overview” de 2011, os autores revisam os conceitos básicos e métodos para estimar parâmetros e interpretar os resultados. Na Revisão Anual de Patologia de Plantas (RAPP), Fantin e Canteri (2017) também forneceram uma completa revisão e métodos detalhados para a elaboração de metanálises.

Muitas pesquisas têm se concentrado na sumarização da eficácia e eficiência do controle químico de doenças de plantas. Nesse contexto, diversos artigos já foram publicados (FANTIN et al., 2016; CALVO et al., 2016; TUPICH et al. 2017; EDWARDS MOLINA et al. 2018b; WISE et al. 2019; BARRO et al. 2021; ASCARI et al. 2021), abordando diferentes patossistemas. Alguns englobam a revisão sistemática seguido da análise quantitativa e outros utilizam dados oriundos de redes nacionais de pesquisa cooperativa, compostos por um grande volume de dados obtidos em diferentes safras e localidades, em sua maioria. Nesse caso, a metanálise fornece uma estimativa global de resposta, o que não é possível de se obter em estudos individuais (SALAM et al., 2013).

A relação entre a severidade de doenças e a produtividade de diferentes culturas também vem sendo estudada via metanálise (SHAH e DILLARD, 2006; LEHNER et al. 2016; DALLA LANA et al. 2017; DUFFECK et al. 2020). Dados contrastantes sobre o mesmo assunto são comumente publicados, influenciados principalmente pela heterogeneidade do local e condução dos ensaios. Por ser um método não destrutivo, a modelagem metanalítica é uma ferramenta útil para explorar a relação entre a severidade de doenças e a produtividade, além de permitir o estabelecimento de uma estimativa global do dano causado.

3 ARTIGO A: METANÁLISE DO EFEITO DA MANCHA BRANCA SOBRE A PRODUTIVIDADE DO MILHO NA REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL

3.1 RESUMO

A relação entre a severidade da mancha branca e a produtividade do milho foi estimada através de metanálise. Para isso, o gradiente de severidade da doença gerado pelo efeito de diferentes fungicidas obtidos em ensaios de campo conduzidos entre 2016-2020 foi utilizado. Os dados foram selecionados conforme critérios pré-estabelecidos, sendo incluídos na metanálise: i) ensaios conduzidos entre 2016 a 2020; ii) cultivo de milho segunda safra; iii) ensaios que apresentaram dados brutos de severidade da mancha branca avaliada em R4 (grão pastoso); dados de produtividade (kg ha^{-1}) e trabalhos com no mínimo três aplicações de fungicidas. Para cada um dos 27 estudos selecionados (321 entradas totais) foi realizada uma regressão individual para obtenção de três medidas de efeito: coeficiente de correlação de Pearson (r), coeficiente linear (β_0) e coeficiente angular (β_1). Modelos de efeitos aleatórios e mistos foram empregados. A severidade média na testemunha $>5\%$ e a produtividade média menor ou maior que 6.000 kg ha^{-1} foram incluídas como moderadoras, a fim de explicar a variabilidade nos dados. Baseado em modelos de efeito aleatórios, o coeficiente de dano global calculado foi $-70,89 \text{ kg}$ para uma produtividade estimada de 7.940 kg ha^{-1} e o dano potencial relativo calculado em $0,89\%$. Para cenários de baixa e alta produtividade, o coeficiente de dano encontrado foi de $-73,08$ e $-82,75 \text{ kg}$, respectivamente. Nessas condições, o dano potencial relativo estimado para cada ponto percentual de severidade da mancha branca foi de $1,086\%$ (baixa) e $0,922\%$ (alta). Os coeficientes de dano obtidos no presente estudo podem ser úteis para o cálculo do limiar de dano econômico ou incorporados em modelos de análise de custo-benefício para aplicação de fungicidas.

Palavras-chave: Metanálise. Produtividade. Quantificação de danos. *Zea mays*.

3.2 INTRODUÇÃO

A produtividade do milho no Brasil aumentou $231,5\%$ nos últimos 40 anos. Nesse período, o país saltou de 1.632 kg ha^{-1} em 1976/77, para aproximadamente 5.537 kg ha^{-1} , em 2019/20, representando um crescimento médio anual de cerca de $5,8\%$. Do total de $102,5$ milhões de toneladas produzido no país em 2020/21, aproximadamente $24,9$ milhões de toneladas foram produzidos no período de safra (verão), 75 milhões de toneladas na segunda safra (safrinha) e $1,84$ milhões de toneladas na terceira safra (CONAB, 2021).

Independente da época de cultivo (1^a, 2^a ou 3^a safra), as plantas de milho estão expostas a diversos fatores bióticos e abióticos, responsáveis por alterar a normalidade fisiológica das plantas e causar impactos significativos na produtividade. Prejuízos causados por doenças foliares, como a mancha branca ameaçam a produção econômica-sustentável da cultura no Brasil, principalmente em cultivos de segunda safra (CUSTÓDIO et al. 2019a).

Apesar de sua ocorrência generalizada, não há estimativas sólidas e abrangentes do efeito da doença na produtividade da cultura em condições subtropicais. A compreensão dessa relação é importante não só para determinação do coeficiente de dano, mas também para elaboração de estratégias de manejo e auxílio na tomada de decisão por parte da cadeia produtiva (AMORIM e BERGAMIN FILHO, 2018). Atualmente, as recomendações de manejo da mancha branca são baseadas no uso de cultivares tolerantes associadas a medidas complementares, como o controle químico, via aplicações foliares de fungicidas (COSTA et al. 2017; CUSTÓDIO et al 2019ab).

Neste estudo, dados de 27 ensaios de campo avaliando a eficiência de fungicidas no controle da mancha branca em milho segunda safra, conduzidos entre 2016 a 2020 na região subtropical brasileira foram utilizados para avaliar a relação entre a severidade da doença e a produtividade (kg ha^{-1}), através de uma metanálise. A mesma abordagem foi utilizada para estimar o coeficiente de dano (redução percentual no rendimento por ponto percentual de severidade da doença) em outros patossistemas como milho doce-*Puccinia sorghi* (SHAH; DILLARD, 2006), soja-*Phakopsora pachyrhizi* (DALLA LANA et al., 2015), soja-*Sclerotinia sclerotiorum* (LEHNER et al. 2016) e trigo-*Gibberella zeae* (DUFFECK et al. 2020).

A modelagem metanalítica é uma ferramenta útil para explorar a relação entre a severidade da doença e a produtividade, além de permitir o estabelecimento de uma estimativa global do dano causado, o que não é possível de se obter em estudos individuais (SALAM et al., 2013). Além disso, a combinação de resultados oriundos de diferentes estudos aumenta o poder estatístico, permitindo a detecção de efeitos menos expressivos e obtenção de resultados confiáveis de forma sintetizada (FANTIN e CANTERI, 2017).

O objetivo principal deste estudo foi avaliar através de metanálise o dano causado pela mancha branca sobre a produtividade do milho segunda safra na região subtropical do Brasil.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 Banco de Dados

Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de uma rede nacional de pesquisa cooperativa para avaliar a eficiência de fungicidas no controle da mancha branca do milho, conduzidos na segunda safra de 2016 a 2020. Esta iniciativa de trabalho foi desenvolvida por uma parceria público-privada envolvendo empresas de defensivos agrícolas e experimentação agrícola (Apêndice A).

Periodicamente, os resultados da rede de pesquisa são publicados em boletins técnicos contendo a análise conjunta dos ensaios (CUSTÓDIO et al. 2019abc; 2020ab). Até 2020, 40 ensaios foram conduzidos em 23 municípios de seis estados da federação e o Distrito Federal, abrangendo as principais áreas de cultivo de milho segunda safra, nos biomas Mata Atlântica e Cerrado brasileiro (Figura 2).

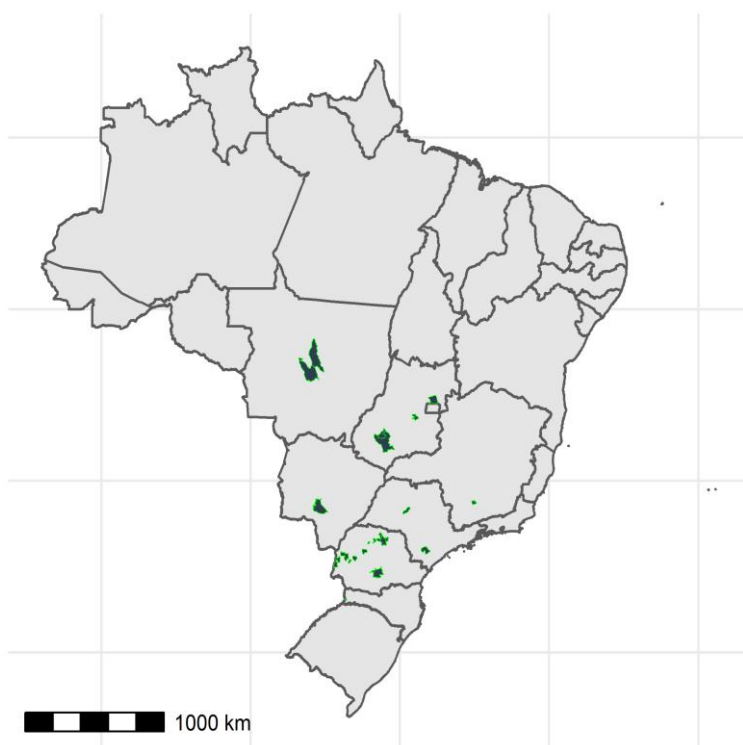


Figura 2. Localização dos municípios onde foram conduzidos os ensaios para avaliação de eficiência de fungicidas no controle de doenças foliares do milho segunda safra pela rede de ensaios cooperativos no Brasil (2016 a 2020).

Fonte: O próprio autor.

3.3.1.1 *Descrição dos ensaios*

Os ensaios foram conduzidos de janeiro a julho seguindo protocolos padronizados de condução e avaliações pré-definidos pelo comitê gestor da rede. Os tratamentos experimentais foram constituídos por fungicidas avaliados individualmente em aplicações sequenciais com ingredientes ativos registrados ou em fase final de registro (RET III). O delineamento experimental dos ensaios foi em blocos ao acaso e quatro repetições por tratamento. Cada parcela foi composta por pelo menos quatro metros de largura e seis metros de comprimento.

As aplicações de fungicidas foram realizadas no estágio vegetativo (V) e reprodutivo (R) do milho (ABENDROTH et al., 2011), sendo a primeira em V8 (8 folhas), a segunda no pré-pendoamento estimado em V11-V12 (de 11 a 12 folhas) e a terceira em R2 'grão bolha' (10 dias após emissão completa do pendão, após a polinização). Os fungicidas foram aplicados com pulverizador costal pressurizado (30L pol⁻²) e haste prolongada, com auxílio de tanque de CO₂ e volume de calda com vazão constante de no mínimo 180L ha⁻¹.

Os tratos culturais em cada ensaio ou localidade seguiram as recomendações técnicas para cultura do milho (BORÉM et al., 2015), em cultivo não-irrigado e sistema de plantio direto na palha. Os híbridos simples de milho foram diferentes entre os ensaios. No entanto, todos apresentaram características comuns como alta suscetibilidade à mancha branca e bons níveis de resistência às doenças não-alvo, ciclo precoce ou superprecoce, representatividade comercial na região e geneticamente modificado para resistência à insetos e herbicidas.

3.3.1.2 *Avaliações*

A severidade da doença foi quantificada no estágio reprodutivo de grãos pastosos (R4). A folha do milho abaixo da espiga (Fe-1) foi avaliada conforme metodologia elaborada e validada por Capucho et al. (2010). Em cada parcela, foram aleatoriamente amostradas 10 plantas das duas linhas centrais, exceto as plantas nos 0,5m das extremidades. Para isso, cinco plantas em cada linha central foram avaliadas, totalizando 10 folhas em cada parcela, sendo 40 folhas avaliadas em cada tratamento experimental, considerando as quatro repetições. Em todos os ensaios, as avaliações de severidade foram realizadas por avaliadores experientes em

quantificação de doenças.

Ao atingir o ponto de maturidade fisiológica (R6), as plantas das duas linhas centrais de cada parcela foram colhidas para estimativa da produtividade (kg ha⁻¹). Para isso, a umidade dos grãos foi padronizada em 13%.

3.3.2 Critérios de Inclusão

Nesta etapa, os dados foram selecionados conforme critérios pré-estabelecidos, sendo incluídos na metanálise ensaios: i) conduzidos de 2016 a 2020; ii) conduzidos em milho segunda safra (janeiro a julho); iii) dados brutos de severidade da mancha branca avaliada em R4 (grão pastoso); dados de produtividade (kg ha⁻¹) e trabalhos com no mínimo três aplicações de fungicidas.

3.3.3 Medida de Efeito e Metanálise

Para análise da relação severidade-produtividade três medidas de efeito foram estimadas: o coeficiente de correlação de Pearson (r) (depois transformado para Z de Fisher), o intercepto (β_0) e o coeficiente angular (β_1) obtidos através da regressão linear de cada ensaio individual. Z foi usado como medida de efeito na metanálise e depois transformado novamente para o coeficiente de correlação (r), semelhante a Dalla Lana et al. (2015). O coeficiente r foi transformado através da equação “a” e transformado de volta em r pela equação “b”:

$$\text{a) } Z_k = \frac{1}{2} \log \frac{1+r_k}{1-r_k} \qquad \text{b) } r_z = \frac{e^{2.Z} - 1}{e^{2.Z} + 1}$$

Onde, equação a: Z_k é o coeficiente de Fisher no ensaio k ($k= 1, 2, \dots, n$) e r_k é o coeficiente de correlação de Pearson do ensaio k . Em equação b: r_z é o coeficiente de correlação obtido a partir da medida metanalítica (Z) e Z é o coeficiente de Fisher resultante da metanálise.

Modelos de efeitos aleatórios e mistos foram adotados. Inicialmente, estimativas globais do coeficiente de dano foram estimadas para as três medidas de efeito, assumindo que os efeitos individuais estavam aleatoriamente distribuídos em torno de uma média zero constante. Depois disso, modelos mistos estimaram os

coeficientes de dano para duas variáveis moderadoras (nível de severidade da mancha branca na testemunha sem aplicação e nível de produtividade média de milho), incorporadas para explicar a heterogeneidade entre os ensaios. Para a moderadora severidade, estudos com severidade média na testemunha <5% foram descartados. Para avaliar a moderadora produtividade média, os ensaios foram classificados em categorias de baixa (<6000 kg ha⁻¹) e alta (≥6000 kg ha⁻¹) produtividade, conforme os valores de distribuição do banco de dados deste estudo, e também por estarem muito próximos da média nacional brasileira (CONAB, 2021).

A heterogeneidade foi avaliada através do teste Q de Cochran (COCHRAN, 1954), além disso, o índice I² foi calculado para mensurar a extensão da heterogeneidade dos efeitos verdadeiros (*true effect-size*) (HIGGINS e THOMPSON, 2002), pela equação:

$$I^2 = [Q^{test} - (k - 1) / Q^{test}] * 100$$

Em que k representa o número de estudos e Q é dado por:

$$Q = \sum w_i (y_i - \hat{\mu}_F)^2$$

Em que y_i representa a estimativa de cada estudo, $\hat{\mu}_F$ é a somatório das estimativas e w_i é a precisão ou variância de cada estudo. Valores de I² próximos de 25, 50 e 75% indicam baixa, média e alta heterogeneidade, respectivamente (HIGGINS e THOMPSON, 2002). O coeficiente de dano relativo (redução percentual de produtividade atingível na ausência da doença) foi calculado para as estimativas globais e para cada classe de moderadora, através da equação $((\beta_1/\beta_0) * 100)$. As análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2021), usando os pacotes *metafor* (Viechtbauer, 2010), *gYplot* (Wickham et al. 2010) e *lme4* (Bates et al. 2015).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período de 2016 a 2020 foram conduzidos 40 ensaios pela rede nacional de pesquisa cooperativa. Baseados nos critérios pré-estabelecidos para inclusão dos dados, 27 ensaios foram incluídos na sumarização via metanálise. Os 27 ensaios (k) correspondem a 321 entradas. A distribuição dos valores de severidade e sua

transformação log e de produtividade do milho nas parcelas de cada ensaio estão apresentadas no apêndice B. A transformação dos dados aproximou a distribuição normal.

Ensaio com ocorrência de outras doenças que não fossem a mancha branca (como mancha de cercóspora, helmintosporiose), ausência de dados de produtividade e ensaios com valores discrepantes (*outliers*) foram excluídos da análise (n=13). Os ensaios incluídos no estudo (n=27) foram conduzidos no Paraná (n=25) e São Paulo (n=2), dois estados da região subtropical do País (Figura 3). O número de ensaios incluídos nas análises no ano de 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020 foram 2, 4, 5, 8 e 8, respectivamente.

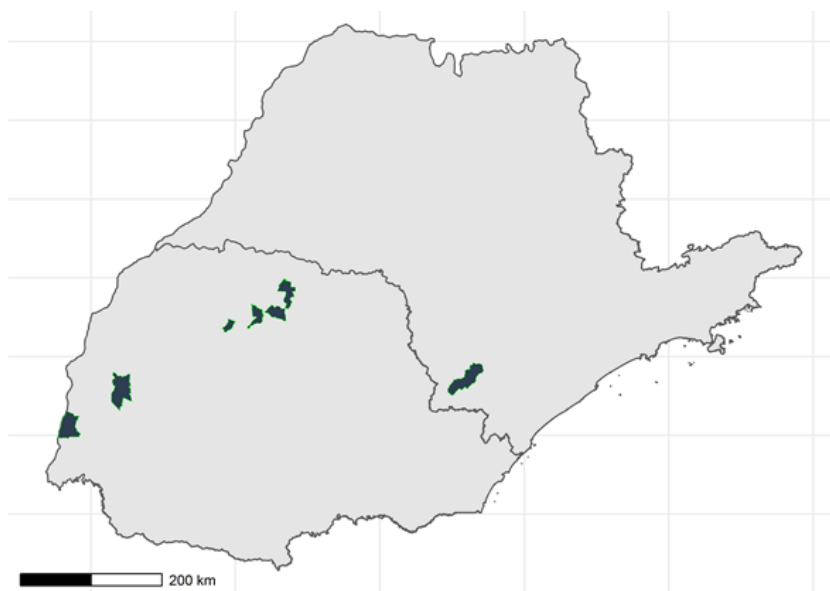


Figura 3. Localização dos municípios onde foram conduzidos os ensaios para avaliação de eficiência de fungicidas no controle de mancha branca incluídos na metanálise no milho segunda safra entre 2016 e 2020. Paraná (n=25) e São Paulo (n=2).

Fonte: O próprio autor.

Regressões individuais foram realizadas para cada ensaio e os dados estão apresentados no Apêndice C e D. Os resultados mostram diferentes respostas do efeito da mancha branca sobre a produtividade do milho em cada ensaio. O coeficiente linear das regressões (β_0), que representa a produtividade do milho em 27 ensaios variou de 5.812 a 11.764 kg ha⁻¹, com mediana de 7.379 kg ha⁻¹. O coeficiente angular (β_1) variou de -2773,3 a 27,4 kg, com mediana de -70,89 kg. A partir das regressões de cada ensaio, os coeficientes β_1 , β_0 e r foram submetidos a uma metanálise de efeitos aleatórios (Tabela 1), semelhante ao estudo realizado por Dalla Lana et al. (2015).

Tabela 1. Estimativas metanalíticas e medidas de heterogeneidade dos coeficientes de correlação de Pearson (r), coeficiente linear global (β_0) e coeficiente angular global (β_1) da relação entre a severidade de mancha branca e a produtividade do milho.

	k	Estimativas	Inferior	Superior	Erro Padrão	P-valor	I ² (%)
r	27	-0,38	-0,48	-0,28	0,05	<0,001	12,7
β_0	27	7.940,37	7.274,29	8.606,46	339,84	<0,001	99,11
β_1	27	-70,89	-85,48	-55,72	7,59	<0,001	46,5

^a Estimativas metanalíticas, limites inferior e superior do intervalo de confiança 95% e seu erro padrão. ^b P-valor do nível de significância do test Q de Cochran e estatística I².

Os resultados mostram associação linear negativa entre a severidade da mancha branca e a produtividade do milho. Os valores de β_0 foram de 7.940 kg ha⁻¹ e β_1 estimado em -70,89 kg. Isso indica que, em média, mais que uma (1) saca de milho é “perdida” a cada ponto percentual de severidade (%) da mancha branca. O dano relativo foi calculado em -0,89%. Resultados semelhantes foram estimados para o patossistema *Xanthomonas vasicola* pv *vasculorum*-milho. Para cada 1% de severidade da estria bacteriana, as reduções de produtividade do milho (termos absolutos e relativos) foram de -114,7; -68,8; -33,9 kg e -0,92%, -0,63% -0,36%, considerando híbridos altamente suscetíveis, suscetíveis e moderadamente suscetíveis (*dados não mostrados*). Os valores de r , que medem a intensidade de uma associação, variaram de 0,07 (-0,11 a -0,24 IC 95%) a -0,72 (-0,7 a -0,68 IC 95%) (Figura 4).

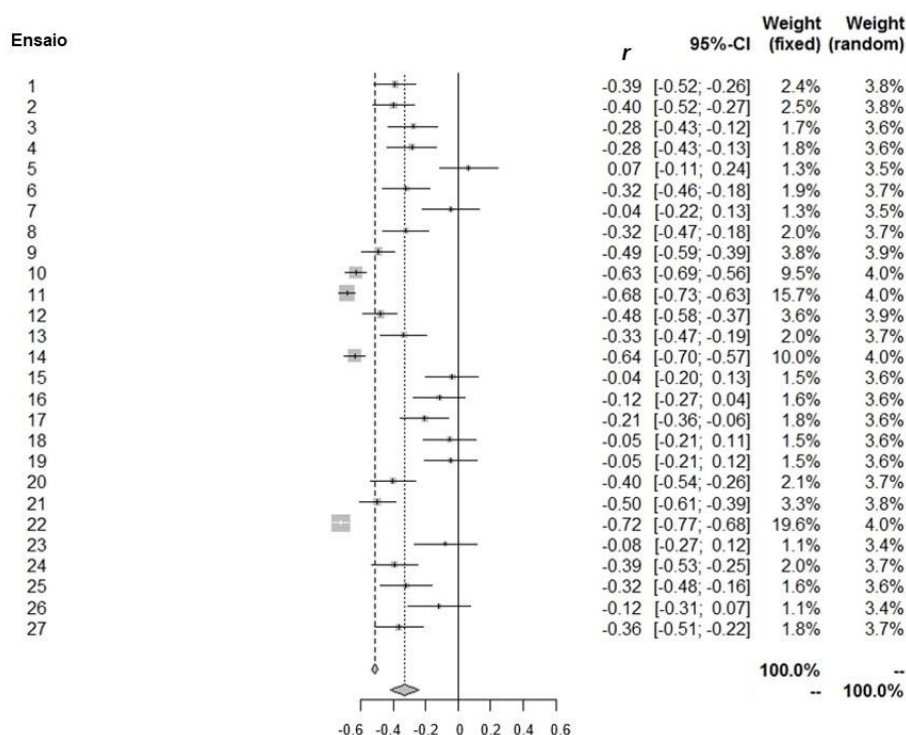


Figura 4. *Forest plot* dos coeficientes de correlação de Pearson (r) com intervalo de confiança a 95% e peso atribuído a cada ensaio ($k=27$) na estimativa da relação entre a severidade de mancha branca e a produtividade do milho.

Fonte: O próprio autor.

A análise de heterogeneidade foi significativa para os três coeficientes utilizados como medidas de efeito, segundo o Q teste ($P<0,001$), e os valores da estatística I^2 foram considerados “altos”, segundo os critérios de Higgins e Thompson (2002). Com a finalidade de explicar a heterogeneidade observada no conjunto de dados, modelos mistos foram ajustados para as duas variáveis moderadoras (severidade média na testemunha ($\geq 5\%$) e produtividade baixa ($< 6.000 \text{ kg. ha}^{-1}$) e alta ($\geq 6.000 \text{ kg. ha}^{-1}$).

As duas variáveis estudadas mostraram efeitos significativos (Tabela 2, Figura 6). Os ensaios que apresentaram severidade $\geq 5\%$ foram 18 estudos (k), totalizando 211 entradas de dados. O número de estudos incluídos nas análises no ano de 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020 foram 2, 4, 2, 3 e 7, respectivamente.

Tabela 2. Estimativas metanalíticas e medidas de heterogeneidade dos coeficientes de correlação de Pearson (r), coeficiente linear (β_0) e coeficiente angular (β_1) da relação entre a severidade de mancha branca e a produtividade do milho para a moderadora severidade média na testemunha $\geq 5\%$.

	k	Estimativas	Inferior	Superior	Erro Padrão	P-valor	I^2 (%)
r	18	-0,48	-0,59	-0,38	0,05	<0,001	0
β_0	18	7.723,93	6.951,48	8.496,37	394,11	<0,001	98,72
β_1	18	-69,03	-83,99	-54,07	7,63	<0,001	54,32

^a Estimativas metanalíticas, limites inferior e superior do intervalo de confiança 95% e seu erro padrão. ^b P-valor do nível de significância do test Q de Cochran e estatística I^2 .

Os valores de β_0 e β_1 foram alterados. O β_0 variou de 6.951 a 8.496 kg ha^{-1} , com mediana de 7.723 kg ha^{-1} . O coeficiente angular (β_1) variou de -54,07 a -83,99 kg , com mediana de -69,03 kg . Após eliminar os ensaios ($n=9$) com severidade média na testemunha $< 5\%$, o coeficiente de correlação de Pearson passou de -0,38 (-0,48 a -0,28 IC 95%) para -0,48 (-0,59 a -0,38 IC 95%), demonstrando o melhor ajuste das correlações individuais (Figura 5). Assim como em Dalla Lana et al (2015) os coeficientes de correlação individuais para a relação severidade-produtividade do presente estudo foram variáveis entre o conjunto de ensaios de campo, devido às diferenças de cada local e condições em que as correlações foram analisadas. Isso

explica também a alta heterogeneidade apontada nos testes Q de Cochran e estatística I².

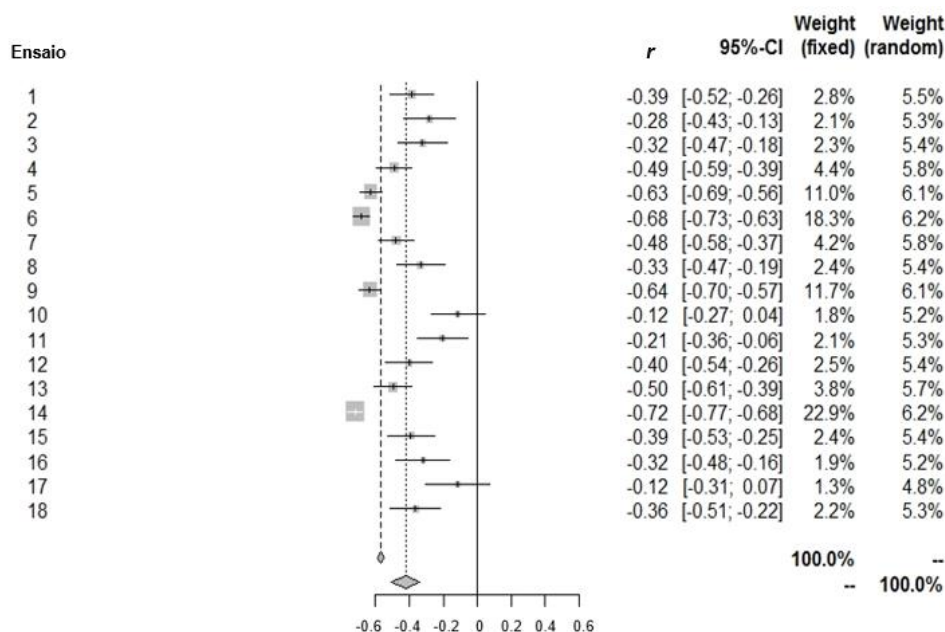


Figura 5. Forest plot dos coeficientes de correlação de Pearson (r) com intervalo de confiança a 95% e peso atribuído a cada ensaio (k=18) na estimativa da relação entre a severidade de mancha branca e a produtividade do milho para moderadora severidade média na testemunha > 5%.

Fonte: O próprio autor.

A moderadora nível de produtividade foi avaliada (Tabela 3). Os ensaios classificados como produtividade baixa (<6.000 kg ha⁻¹) totalizaram 10 estudos, sendo 31 entradas de dados. Estudos classificados como produtividade alta (≥6.000 kg ha⁻¹) foram 7 e 25 entradas de dados. Entre ensaios com baixa produtividade, para cada ponto percentual de severidade da mancha-branca houve uma redução de 73,1 kg, com intervalo de confiança entre -90,2 e -55,98 kg. Para ensaios com produtividade alta, o coeficiente de dano foi de -82,7 kg com intervalo de confiança de -113,71 a -51,81 kg.

Tabela 3. Estimativas metanalíticas e medidas de heterogeneidade dos coeficientes de correlação de Pearson (r), coeficiente linear (β₀) e coeficiente angular (β₁) da relação entre a severidade de mancha branca e a produtividade do milho para moderadora produtividade média.

Baixa ^a	k	Estimativas	Inferior	Superior	Erro Padrão	P-valor
r	10	-0,51	-0,65	-0,38	0,0696	<0,001
β ₀	10	6.729,1	6.164,65	7.293,58	287,99	<0,001

β_1	10	-73,08	-90,2	-55,98	8,73	<0,001
Alta^b	k	Estimativas	Inferior	Superior	Erro Padrão	P-valor
r	7	-0,43	-0,60	-0,27	0,08	<0,001
β_0	7	8.976,8	7.835,11	10.118,47	582,50	<0,001
β_1	7	-82,75	-113,71	-51,81	15,79	<0,001

^a produtividade baixa (<6000 kg ha⁻¹). ^b produtividade alta (≥6000 kg ha⁻¹).

O valor de r foi superior (-0,51) para cenários com produtividade <6.000 kg ha⁻¹, indicando associação “mais forte” comparado à cenários com produtividade ≥6.000 kg ha⁻¹ (-0,43). Em termos relativos, o coeficiente de dano potencial para cada ponto percentual de severidade da mancha branca, estimada em R4, para cenários com baixa e alta produtividade foi de 1,08% e 0,92%, respectivamente (Figura 6).

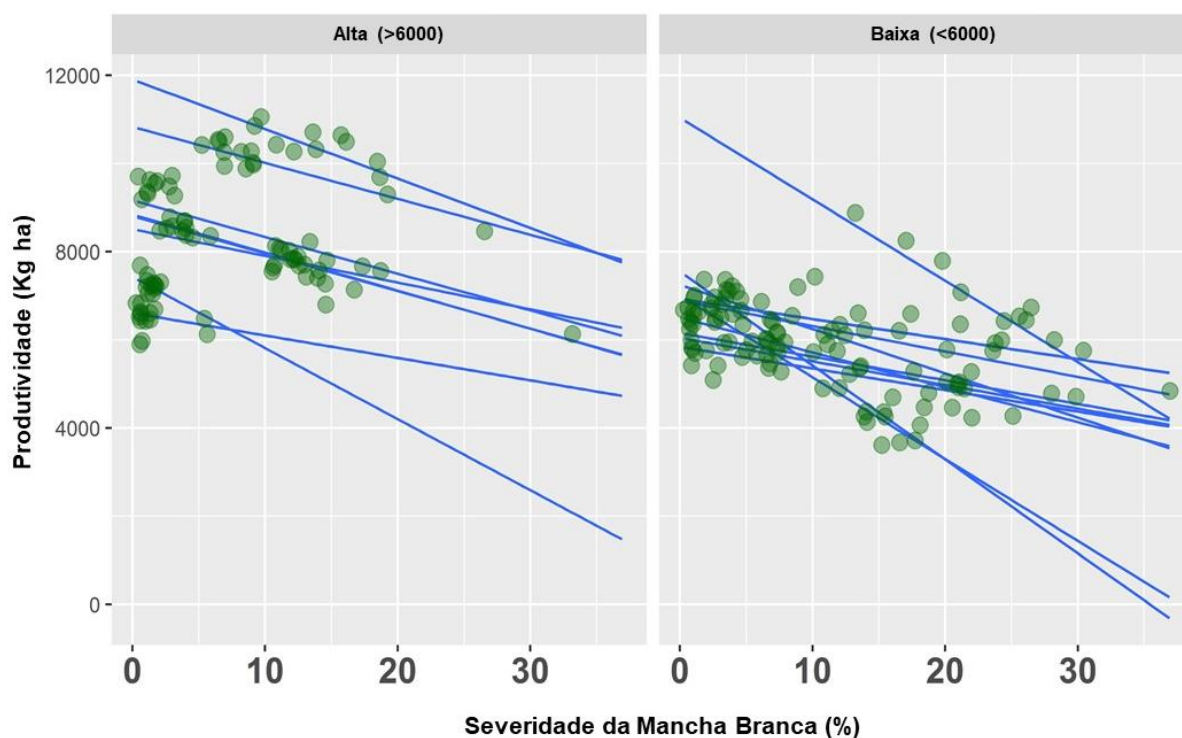


Figura 6. Redução relativa de produtividade de milho por ponto percentual de severidade de mancha branca em duas categorias de produtividade (<6.000 e ≥6.000 kg ha⁻¹) com base em parâmetros estimados pela metanálise de efeitos mistos da relação entre a severidade da mancha branca estimada em R4 e a produtividade do milho.

Fonte: O próprio autor.

O coeficiente de dano calculado para giberella do trigo por Duffeck et al. (2020) também foi maior em cenários de baixa produtividade, estimado em 1,60% e 1,05% para baixa e alta produtividade, respectivamente. O mesmo resultado foi citado

por Paul et al (2011) em metanálise com aplicação de fungicidas no controle de doenças do milho. Quantificando os danos causados por diferentes doenças foliares do milho, Fantin et al. (2010) estimaram que para cada 1% de aumento de severidade da mancha branca há uma redução correspondente a 2% na produtividade do milho. Em nosso estudo, os coeficientes de dano foram menores. Essa diferença pode ser explicada principalmente pela amplitude de severidade da doença entre os estudos, onde os autores exploraram uma faixa de 1 a 10% de severidade da mancha branca e no presente trabalho, estimamos o coeficiente de dano sob uma faixa de 0,5 a 40%. Além disso, o uso da técnica metanalítica para estimativa dos parâmetros pode ter reduzido a influência de outros efeitos, que na análise de regressão linear de Fantin et al. (2010) podem ter influenciado as estimativas.

Os resultados do presente estudo fornecem uma referência importante para os produtores tomarem decisões sobre o manejo da mancha branca, principalmente em áreas de monocultivo e sistema de plantio direto. A relação encontrada e os coeficientes estabelecidos podem ser amplamente aplicados, devido à característica dos dados, oriundos de vários anos de experimentação em diferentes locais. Do ponto de vista econômico, se considerarmos um cenário hipotético de produtividade esperada de 12.000 kg ha⁻¹ onde o produtor opte por um híbrido suscetível a mancha branca, a severidade de 10% estimada em R4 representaria uma redução de produtividade aproximada de 1.100 kg ha⁻¹ ou 18,3 sacas de 60 kg. Considerando ainda este mesmo cenário e o preço da saca de 60 kg em R\$97,00 (CEPEA, em 14/02/2022), a perda representaria aproximadamente R\$1.778 ha⁻¹. Embora cenários com baixa pressão da mancha branca (<5%) não tenham sido explorados, isso não significa ausência de danos à produtividade esperada, principalmente em materiais altamente suscetíveis. Mallowa et al. (2015) estudaram o efeito da aplicação de fungicidas na produtividade de híbridos em condições de baixa severidade de cercosporiose. Mesmo em baixos níveis de severidade houve redução de produtividade e tratamentos com uso de fungicidas apresentaram efeito na produtividade de acordo com o híbrido.

No presente estudo, os coeficientes de dano foram estimados por modelos metanalíticos considerando o ponto-crítico da doença (Reis et al., 2008), ou seja, a medida da severidade da doença utilizada foi avaliada em um determinado momento ou estágio fenológico da cultura, neste caso em R4 (grãos pastosos). A quantidade de inóculo e o tempo de início da doença não foram considerados. Hipoteticamente,

epidemias com início precoce na fase vegetativa da cultura podem resultar em um coeficiente de dano maior do que cenários onde a doença começou mais tarde na fase reprodutiva (Casa et al. 2006). Esse comportamento foi observado por Dalla Lana et al. (2015). Neste estudo, baseado na medida de efeito global estimada por metanálise, a relação entre a severidade da mancha branca e a produtividade do milho pode ser interpretada como uma associação negativa moderada (-70,89 kg). Para aumentar a força dessa relação, outros fatores relacionados ao desenvolvimento da doença podem ser explorados em novos estudos, incluindo por exemplo a resposta produtiva de diferentes híbridos, estágio fenológico de desenvolvimento inicial da epidemia e pressão da doença por meio da área abaixo da curva de progresso (AACPD).

3.5 CONCLUSÕES

A mancha branca causa redução de produtividade na cultura milho. Para cada 1% de severidade da mancha branca, as reduções de produtividade do milho (termos absolutos e relativos) foram de -70,89 kg e 0,89%, respectivamente.

4 ARTIGO B: METANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DA MANCHA BRANCA DO MILHO NA REGIÃO SUBTROPICAL DO BRASIL

4.1 RESUMO

Desde 2010, epidemias de doenças foliares como a mancha branca impulsionaram o uso de fungicidas na cultura do milho. Para avaliar a eficiência de controle de fungicidas e a resposta de produtividade com as aplicações na cultura, foi realizada uma metanálise com dados provenientes de ensaios de campo conduzidos de forma padronizada durante cinco anos (2016-2020) na região subtropical do Brasil. Com base em critérios pré-estabelecidos, seis tratamentos foram incluídos na análise. Nos tratamentos foram realizadas três aplicações sequenciais (V8, V11 e R2) dos fungicidas azoxistrobina + difenoconazol + clorotalonil; azoxistrobina + tebuconazol + mancozebe; piraclostrobina + epoxiconazol; piraclostrobina + fluxapiroxade; piraclostrobina + fluxapiroxade + mefentrifluconazol; trifloxistrobina + protioconazol + bixafen. O modelo metanalítico de efeitos aleatórios foi ajustado para o logaritmo das médias de cada tratamento com fungicida e o tratamento testemunha (sem aplicação). A diferença nas estimativas entre os tratamentos e a testemunha foram utilizadas para calcular a resposta média de eficiência de controle (%C) da mancha branca e o retorno de produtividade do milho (Y) em kg ha^{-1} . Todos os seis fungicidas apresentaram retorno de produtividade ($>1.000 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação à testemunha sem aplicação. A média de %C e Y entre os tratamentos com aplicações de fungicidas variaram de 61,3 a 74,2 e 1.019,4 a 1.337 kg ha^{-1} , respectivamente. A %C e o Y em relação a testemunha sem aplicação foi maior para misturas triplas de sítio específicos piraclostrobina + fluxapiroxade + mefentrifluconazol (%C 74 Y 1.337 kg ha^{-1}) e trifloxistrobina + protioconazol + bixafen (%C 71,8 e Y 1.287,2 kg ha^{-1}). Os três tratamentos com menores %C da mancha branca também apresentaram as menores respostas de produtividade em relação a testemunha sem aplicação, com valores de Y 1.057,5 kg ha^{-1} para azoxistrobina + tebuconazol + mancozebe, 1.092,5 kg ha^{-1} para azoxistrobina + difenoconazol + clorotalonil e 1.019,4 kg ha^{-1} para a mistura dupla piraclostrobina + epoxiconazol. Os resultados apresentados neste estudo reforçam a importância do uso de fungicidas para controlar a mancha branca mantendo o potencial produtivo do milho segunda safra na região subtropical brasileira.

Palavras-chave: Controle químico. Eficiência de controle. Produtividade. *Zea mays*.

4.2 INTRODUÇÃO

Há 20 anos, aplicações de fungicidas na cultura do milho eram raras no Brasil e realizadas esporadicamente em algumas regiões (CUSTÓDIO et al. 2019a). A partir do ano 2000, houve um aumento significativo no uso de fungicidas foliares na cultura,

estimulado principalmente por surtos epidêmicos da mancha de cercóspora na região sudoeste do estado de Goiás (FANTIN e DUARTE, 2009; COTA et al. 2013). Alterações no sistema de produção, a prática do monocultivo e a expansão da área cultivada para novas fronteiras agrícolas são as principais causas do aumento da incidência e severidade de doenças na cultura (FANTIN e DUARTE, 2009).

Atualmente, há 191 fungicidas registrados junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle de doenças foliares em milho (AGROFIT, 2022). Em 2013, 30 fungicidas estavam registrados no Brasil, representando um incremento de 161 novos produtos em apenas nove anos. Os princípios ativos destes fungicidas em sua maioria, pertencem ao grupo químico dos triazóis e estrobilurinas constituídos principalmente pelos ingredientes ativos tebuconazol, azoxistrobina, piraclostrobina, tiofanato metílico e mancozeb (SILVA et al. 2020).

Com duas (e até três) safras de milho consecutivas por ano, as aplicações de fungicidas geralmente são direcionadas ao controle das principais doenças foliares, como a mancha branca, doença distribuída em praticamente todas as regiões produtoras do Brasil (CUSTÓDIO et al. 2019a). O impacto negativo causado pela doença na ausência de fungicidas foliares vem sendo relatado em diferentes regiões (CUSTÓDIO et al. 2019ab; 2020a), afetando drasticamente a produtividade do milho. No presente estudo (Artigo A), foi estimado que para cada 1% de acréscimo na severidade da doença, a produtividade é reduzida em 70,89kg/ha.

A alta dos preços de mercado para o milho observada em 2021 reduziu a resposta de produtividade necessária para pagar por uma aplicação de fungicida, tornando a aplicação mais atrativa para os produtores de milho. Baseado no contexto econômico, conhecer a eficiência de controle dos produtos e o ganho produtivo com as aplicações de fungicidas tem sido cada vez mais importante, não só para que a relação custo/benefício seja positiva, mas também para desenvolver um plano eficaz de controle da doença.

No Brasil, uma rede nacional de pesquisa cooperativa para avaliar a eficiência de fungicidas (registrados e em fase de registro) no controle de doenças foliares de milho tem sido desenvolvida em diferentes regiões produtoras de milho segunda safra tropical e subtropical (CUSTÓDIO et al. 2019abc; 2020ab). O principal objetivo é conhecer e monitorar o desempenho de fungicidas para a cultura do milho, incluindo fungicidas registrados e aqueles em fase final de registro. Periodicamente, os

resultados são publicados em boletins técnicos, com informações de severidade e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) da mancha branca, eficiência de controle e produtividade dos tratamentos com fungicidas, comparados a parcelas testemunhas sem aplicações.

O objetivo deste estudo foi sumarizar quantitativamente a eficiência de controle da mancha branca e o efeito médio de tratamentos com aplicações de fungicidas na resposta de produtividade do milho segunda safra na região subtropical do Brasil.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1 Banco de Dados

Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de uma rede nacional de pesquisa cooperativa para avaliar a eficiência de fungicidas no controle da mancha branca e outras doenças foliares do milho. Os dados incluem 29 produtos, formulados em 27 combinações de ingredientes ativos. Os tratamentos experimentais foram constituídos por fungicidas avaliados individualmente em aplicações sequenciais com ingredientes ativos registrados ou em fase final de registro (RET III). Um tratamento testemunha foi incluído em todos os ensaios, sem aplicação de fungicida. As doses utilizadas seguiram as recomendações dos fabricantes.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições. A parcela foi constituída por pelo menos quatro linhas de largura espaçadas em um metro e seis metros de comprimento. As aplicações de fungicidas foram realizadas nos estádios vegetativo (V) e reprodutivo (R) do milho (ABENDROTH et al., 2011), sendo a primeira em V8 (8 folhas), a segunda no pré-pendoamento estimado em V11-V12 (de 11 a 12 folhas) e a terceira em R2 'grão bolha' (10 dias após emissão completa do pendão, após a polinização). Os fungicidas foram aplicados com pulverizador costal pressurizado (30 L pol⁻²), com tanque de CO₂ e volume de calda com vazão constante de no mínimo 180 L ha⁻¹.

Os tratos culturais em cada ensaio ou localidade seguiram as recomendações técnicas para a cultura do milho (BORÉM et al., 2015), em cultivo não-irrigado e sistema de plantio direto na palha. Os híbridos simples de milho foram diferentes entre os ensaios. No entanto, todos apresentaram características comuns como alta suscetibilidade à mancha branca e bons níveis de resistência às doenças não-alvo,

ciclo precoce ou superprecoce, representatividade comercial na região e geneticamente modificado para resistência à insetos e herbicidas.

4.3.2 Avaliações

As avaliações de severidade em cada localidade foram realizadas no estágio reprodutivo de grão pastoso (R4), em pelo menos 10 plantas das duas linhas centrais de cada parcela (5 plantas por linha). Em todos os ensaios, as avaliações de severidade foram realizadas com auxílio de escala diagramática (CAPUCHO et al. 2010) e conduzidas de forma semelhante por avaliadores experientes em quantificação de doenças. Para estimativa de produtividade dos ensaios, as plantas das duas linhas centrais de cada parcela foram colhidas no estágio de maturação fisiológica R6.

4.3.3 Critérios para Inclusão na metanálise

Para inclusão na metanálise, os ensaios foram selecionados conforme os critérios pré-estabelecidos, sendo incluídos: i) ensaios conduzidos entre os anos de 2016 e 2020; ii) milho segunda safra (janeiro a julho); iii) ensaios que apresentaram os dados brutos de severidade da mancha branca avaliada em R4 (grão pastoso); dados de produtividade (kg ha^{-1}) e trabalhos com no mínimo três aplicações de fungicidas. Adicionalmente, o tratamento com fungicida deveria ter sido testado em pelo menos 15 ensaios de campo em semeaduras de segunda safra e conduzidos por no mínimo três anos. Ensaios com severidade na testemunha $<5\%$ também não foram considerados.

No total, seis tratamentos atenderam todos os critérios, incluindo misturas duplas e triplas de ingredientes ativos dos grupos dos inibidores da quinona oxidase (QoI), inibidores da desmetilação (DMI), inibidores da succinato desidrogenase (SDHI) e multissítios (Tabela 4).

Tabela 4. Tratamentos com fungicidas sintéticos utilizados para o controle da mancha branca do milho em ensaios independentes conduzidos na segunda safra entre 2016 e 2020 na região subtropical do Brasil.

Tratamento i.a ^a	Grupo químico ^b	Nome rotulado	Empresa	Dose ^c	IA ^d
-----------------------------	----------------------------	---------------	---------	-------------------	-----------------

Azo+Dife+Cloro	QoI+DMI+Multi	ADA FF 0086/16 ^e	ADAMA	2,0L	80+80+1000
Azo+Tebu+Manco	QoI+DMI+Mult	Tridium	UPL	2,0Kg	94+112+1194
Pira+Epox	QoI+DMI	Abacus HC	BASF	0,38L	98,8+60,8
Pira+Flux	QoI+SDHI	Orkestra	BASF	0,35L	116,66+58,45
Pira+Flux+Mefe	QoI+SDHI+DMI	BAS 753 02F ^e	BASF	0,6L	106,68+53,34+79,98
Triflox+Protio+Bix	QoI+DMI+SDHI	Fox XPRO	BAYER	0,5L	75+87,5+62,5

^a Ingrediente Ativo; Azo+Dife+Cloro= Azoxistrobina (4%) +Difenoconazol (4%) +Clorotalonil (50%); Azo+Tebu+Manco= Azoxistrobina (4,7%) +Tebuconazol (5,6%) +Mancozebe (59,7%); Pira+Epox= Piraclostrobin (26%) + Epoxiconazol (16%); Pira+Flux= Piraclostrobin (33,33%) + Fluxapiraxade (16,7%); Pira+Flux+Mefe= Piraclostrobin (17,78%) + Fluxapiraxade (8,89%) + Mefentrifluconazol (13,33%); Triflox+Protio+Bix= Trifloxistrobina (15%) + Protioconazol (17,5%) + Bixafen (12,5%).

^b QoI= inibidores de quinona oxidase; DMI= inibidores da desmetilação; SDHI= inibidores da succinato desidrogenase; Multi=Cloronitrilas e Ditiocarbamatos de ação múltipla.

^c Dose em L ou Kg ha⁻¹.

^d IA= Ingrediente ativo (g por ha⁻¹).

^e Registro especial temporário fase III (RET III).

4.3.4 Medida de Efeito e Metanálise

Os dados que atenderam aos critérios pré-estabelecidos para inclusão na metanálise foram agrupados. O quadrado médio do resíduo (QMRes) de cada estudo foi adotado como medida de variabilidade (“*within-study variability*”), assim como Paul et al. (2008). Nesse sentido, o peso de cada estudo na metanálise foi dado pelo inverso do QMRes, ou seja, estudos que apresentaram menor variância tiveram maior peso na metanálise. Modelos de efeito aleatórios e o método de máxima verossimilhança foram adotados para estimativa dos parâmetros. A medida de efeito produtividade (Y) foi calculada através da diferença entre o tratamento com aplicação de fungicida e a testemunha sem aplicação. A eficiência de controle (%C) foi dada a partir das estimativas metanalíticas de severidade da doença, calculada como:

$$\%C = (1 - \exp(Msev)) * 100$$

Em que %C é a eficiência de controle e *Msev* é a medida metanalítica de severidade. A abordagem de metanálise em rede (*network meta-analysis*) foi adotada para estimar o efeito entre os tratamentos com fungicidas e a testemunha sem aplicação. Um a um, os tratamentos com aplicações de fungicidas foram comparados a testemunha para produtividade e eficiência de controle. A mesma abordagem foi

utilizada por Barro et al. (2021) e Ascari et al. (2021). O modelo é dado por:

$$\gamma_i \sim N(\mu + \delta_i, \Sigma + S_i)$$

Em que δ_i é o vetor que representa a variável moderadora de efeito para cada estudo. As análises foram realizadas utilizando o software R (R Core Team, 2021), com os pacotes *metafor* (Viechtbauer 2010), *gYplot* (Wickham et al. 2010) e *lme4* (Bates et al., 2015).

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A severidade média da mancha branca na testemunha variou de 0,5 a 40% na avaliação realizada em R4 (Apêndice E). Nos resultados metanalíticos, todos os tratamentos com aplicações de fungicidas incluídos apresentaram valores médios de produtividade superiores à testemunha ($>1.000 \text{ kg ha}^{-1}$). As estimativas médias de eficiência de controle (%C) com aplicação de fungicidas variaram de 61,3 a 74% (Tabela 5).

Tabela 5. Estimativas médias de eficiência de controle (%C) de tratamentos com aplicações de fungicidas químicos no controle de mancha branca do milho em relação a testemunha sem aplicação em ensaios independentes conduzidos na segunda safra entre 2016 e 2020 na região subtropical do Brasil.

Tratamentos ^a	k ^b	%C ^c	Inferior	Superior	P-valor	Erro padrão
Azo+Dife+Cloro	12	64,67	49,17	75,44	<0,001	0,19
Azo+Tebu+Manco	10	66,66	55,81	74,84	<0,001	0,14
Pira+Epox	18	61,35	50,61	69,76	<0,001	0,13
Pira+Flux	18	69,90	60,89	76,83	<0,001	0,13
Pira+Flux+Mefe	12	74,02	65,99	80,15	<0,001	0,14
Triflox+Protio+Bix	12	71,88	64,82	77,52	<0,001	0,11

^a Ingrediente Ativo; Azo+Dife+Cloro= Azoxistrobina (4%) +Difenoconazol (4%) +Clorotalonil (50%); Azo+Tebu+Manco= Azoxistrobina (4,7%) +Tebuconazol (5,6%) +Mancozebe (59,7%); Pira+Epox= Piraclostrobina (26%) + Epoxiconazol (16%); Pira+Flux= Piraclostrobina (33,33%) + Fluxapiróxade (16,7%); Pira+Flux+Mefe= Piraclostrobina (17,78%) + Fluxapiróxade (8,89%) + Mefentrifluconazol (13,33%); Triflox+Protio+Bix= Trifloxistrobina (15%) + Protioconazol (17,5%) + Bixafen (12,5%).

^b número de ensaios em que cada fungicida foi avaliado.

^c Porcentagem de controle de cada tratamento em relação ao tratamento testemunha sem aplicação (kg ha^{-1}).

A diferença de %C da mancha branca entre o tratamento com maior e menor eficiência foi de 12,7%. As maiores %C foram observadas para os dois tratamentos constituídos de misturas triplas de fungicidas sítio específicos trifloxistrobina + protioconazol + bixafen (71,8 %C) e piraclostrobina + fluxapiróxade + mefentrifluconazol (74 %C). Misturas triplas com as combinações azoxistrobina + tebuconazol + mancozebe (66,6 %C), azoxistrobina + difeconazol + clorotalonil (64,6 %C) apresentaram eficiência de controle calculada através da metanálise inferior as demais misturas triplas. Entre os produtos com mistura dupla, a eficiência de controle de piraclostrobina + epoxiconazol (61,3 %C) foi inferior a piraclostrobina com o ativo parceiro fluxapiróxade (69,9 %C), do grupo das carboxamidas. O resultado pode estar relacionado à relatos da baixa eficiência de fungicidas do grupo dos triazóis no controle da mancha branca do milho, como relatado em outros estudos (COSTA et al. 2011; COSTA et al. 2012).

Apesar de não haver um consenso quanto à etiologia da mancha-branca, após o estabelecimento da cultura, o uso de fungicidas é a principal alternativa adotada para o manejo da doença em híbridos suscetíveis. Nossos resultados sumarizaram cinco anos de estudos conduzidos na região subtropical do Brasil, trazendo novas opções de fungicidas para o controle da doença. No artigo A da presente tese, foi estimado que para cada 1% de severidade da doença no estágio R4, há uma redução de produtividade de aproximadamente uma saca de milho. Com base nessa informação, fungicidas com maior %C são mais efetivos em evitar reduções de produtividade causadas por doenças foliares como a mancha branca, em híbridos suscetíveis.

As estimativas metanalíticas do retorno de produtividade média (Y) foram significativamente diferentes de 0 para todos os tratamentos ($P < 0.001$). O Y entre os tratamentos com fungicidas variaram de 1.019,4 a 1.337 kg ha⁻¹ entre as misturas duplas e triplas testadas (Tabela 6).

Tabela 6. Estimativas médias do retorno de produtividade (Y) de tratamentos com aplicações fungicidas no controle de mancha branca em relação a testemunha sem aplicação em ensaios independentes da segunda safra de 2016 a 2020 conduzidos na segunda safra entre 2016 e 2020 na região subtropical do Brasil.

Fungicida ^a	k ^b	Y ^c	Inferior	Superior	P-valor	Erro padrão
Azo+Dife+Cloro	12	1.092,5	881,9	1303,1	<0,001	149,1

Azo+Tebu+Manco	10	1.057,5	835,2	1279,8	<0,001	138,6
Pira+Epox	18	1.019,4	826,7	1212,1	<0,001	130,9
Pira+Flux	18	1.218,7	1004,7	1432,6	<0,001	148,4
Pira+Flux+Mefe	12	1.337,0	1108,4	1565,7	<0,001	149,3
Triflox+Protio+Bix	12	1.287,2	1032,3	1542,1	<0,001	212

^a Ingrediente Ativo; Azo+Dife+Cloro= Azoxistrobina (4%) +Difenoconazol (4%) +Clorotalonil (50%); Azo+Tebu+Manco= Azoxistrobina (4,7%) +Tebuconazol (5,6%) +Mancozebe (59,7%); Pira+Epox= Piraclostrobrina (26%) + Epoxiconazol (16%); Pira+Flux= Piraclostrobrina (33,33%) + Fluxapiraxade (16,7%); Pira+Flux+Mefe= Piraclostrobrina (17,78%) + Fluxapiraxade (8,89%) + Mefentrifluconazol (13,33%); Triflox+Protio+Bix= Trifloxistrobina (15%) + Protioconazol (17,5%) + Bixafen (12,5%).

^b Número de ensaios em que cada fungicida foi avaliado.

^c Retorno de produtividade de cada tratamento em relação ao tratamento testemunha sem aplicação (kg ha⁻¹).

Os maiores valores de Y foram estimados para trifloxistrobina + protioconazol + bixafen (1.287,2 kg ha⁻¹) e piraclostrobina + fluxapiraxade + mefentrifluconazol (1.337 kg ha⁻¹). Os resultados sugerem relação linear entre a %C e o ganho de produtividade em kg ha⁻¹. Os três tratamentos com menores %C da mancha branca também apresentaram as menores respostas de produtividade em relação a testemunha sem aplicação, com valores de Y 1.057,5 kg ha⁻¹ para azoxistrobina + tebuconazol + mancozebe, 1.092,5 kg ha⁻¹ para azoxistrobina + difeconazol + clorotalonil e 1.019,4 kg ha⁻¹ para a mistura dupla piraclostrobina + epoxiconazol (Figura 7).

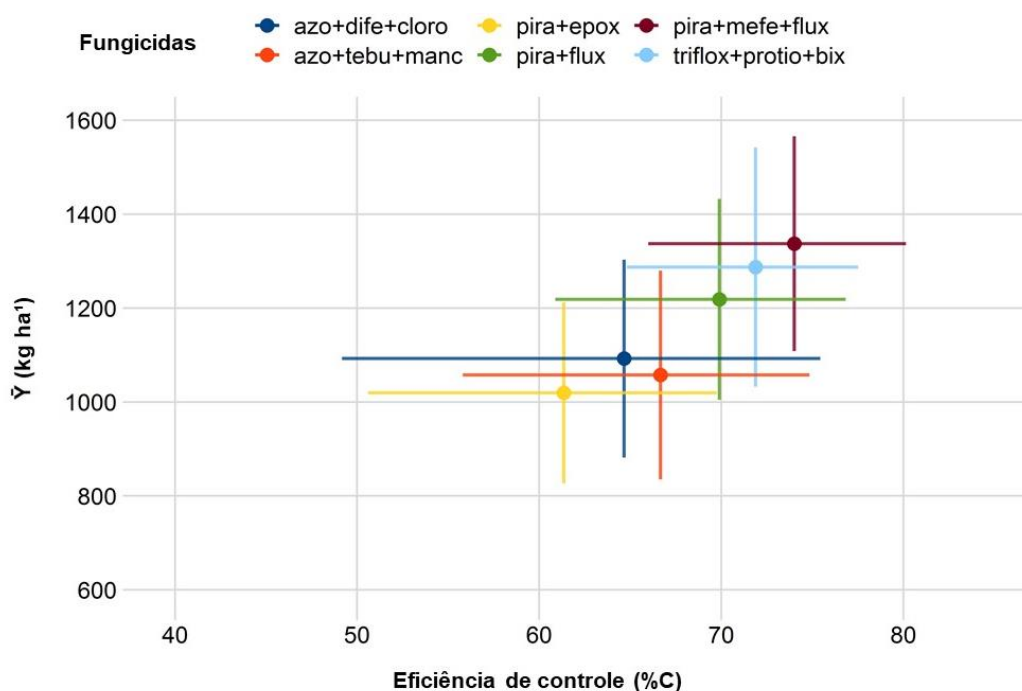


Figura 7. Relação entre a eficiência de controle de mancha branca (%C) e o retorno de produtividade (Y) do milho em relação a testemunha sem aplicação para seis fungicidas avaliados na segunda safra de 2016 a 2020 na região subtropical do Brasil. As barras mostram os limites superior e inferior dos intervalos de confiança de 95% em torno das estimativas para ambas as respostas. Azo+Dife+Cloro= Azoxistrobina (4%) +Difenoconazol (4%) +Clorotalonil (50%); Azo+Tebu+Manco= Azoxistrobina (4,7%) +Tebuconazol (5,6%) +Mancozebe (59,7%); Pira+Epox= Piraclostrobina (26%) + Epoxiconazol (16%); Pira+Flux= Piraclostrobina (33,33%) + Fluxapiraxade (16,7%); Pira+Flux+Mefe= Piraclostrobina (17,78%) + Fluxapiraxade (8,89%) + Mefentrifluconazol (13,33%); Triflox+Protio+Bix= Trifloxistrobina (15%) + Protioconazol (17,5%) + Bixafen (12,5%).

Fonte: o proprio autor.

Em relação aos tratamentos com parceiros multissítios, o benefício quantitativo com a introdução deste grupo de fungicidas no controle da mancha branca não está claro. Embora a resposta de eficiência ter sido inferior em relação as misturas triplas de sítio específicos, a introdução de multissítios tem um papel importante no manejo anti-resistência de fitopatógenos (GODOY et al. 2018).

Nossos resultados demonstraram de forma consistente que o uso de fungicidas permite manter o potencial produtivo da cultura do milho. Fantin et al. (2016) demonstraram via metanálise que houve 95,1% de probabilidade de retorno produtivo com o uso de fungicidas no controle de doenças foliares do milho. Em um cenário como o atual onde o preço da venda do milho está elevado (14/02/2022 R\$97,00 saca de 60kg), a probabilidade de lucro aumenta. O mesmo comportamento pode ser observado quando o custo de controle (aplicação) é reduzido. Com base nos critérios desta metanálise, dados de ensaios com severidade média na testemunha <5% não foram explorados. Paul et al (2007) destacaram que a resposta da aplicação de fungicidas em milho está associada à suscetibilidade dos materiais, ao potencial produtivo da cultura, ao nível de doença no momento da aplicação e à eficiência do produto utilizado. Dessa maneira, em cenários com baixa pressão de doenças (<5%), a aplicação de fungicidas pode não ser uma alternativa economicamente viável, a não ser que os preços dos grãos estejam muito altos ou os custos de aplicação baixos (PAUL et al (2011). Outros estudos também sugerem que o uso de fungicidas é menos provável de ser lucrativo quando híbridos resistentes são utilizados (MUNKVOLD et al. 2001; COSTA et al. 2009).

No geral, as estimativas metanalíticas indicaram que misturas com ingredientes ativos dos grupos das estrobilurinas e carboxamidas apresentam maior eficiência de controle. Ambos os grupos químicos atuam na respiração celular de microrganismos,

inibindo a quinona oxidase (QoI) e a succinato desidrogenase (SDHI). Possíveis efeitos sinérgicos entre estes grupos e ingredientes ativos devem ser explorados.

4.5 CONCLUSÕES

Misturas triplas de fungicidas sítio-específicos (DMI + QoI + SDHI) apresentam maior eficiência de controle da mancha branca (>70%) e retorno de produtividade (>1000 kg/ha). Os resultados demonstram a importância do uso de fungicidas como ferramenta de controle da doença e manutenção do potencial produtivo do milho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem metanalítica demonstrou-se apropriada para combinar o grande volume de dados de severidade da mancha branca e produtividade de milho obtidos em estudos de campo independentes permitindo esclarecer os danos causados pela mancha-branca do milho na região subtropical do Brasil.

O aumento da severidade da mancha branca resultou em redução na produtividade do milho.

O uso de fungicidas foliares promoveu a manutenção do potencial produtivo da cultura do milho. Misturas triplas de fungicidas sítio-específicos (DMI + QoI + SDHI) apresentam maior eficiência de controle da mancha branca (>70%) e retorno de produtividade (>1000 kg/ha).

Estudos com a interação entre a resistência genética de híbridos e programas de aplicações de fungicidas devem ser explorados para fornecer informações que ajudem no planejamento e uso de medidas integradas de manejo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENDROTH, L. J.; ELMORE, R. W.; BOYER, M. J.; MARLAY, S. K. Corn growth and development. Ames, IA: Iowa State University Extension, 2011. PM R: 1009.

AGROFIT. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 5 dezembro 2021.

AMARAL, A. L.; SOGLIO, F. K.; CARLI, M. L.; NETO, J. F. B. Pathogenic fungi causing symptoms similar to *Phaeosphaeria* leaf spot of maize in Brazil. **Plant Disease**, v.89, n.1, p.44-49, 2005.

AMARAL, A.L.; CARLI, M.L.; BARBOSA NETO, J.F.; DAL SOGLIO, F.K. *Phoma sorghina*, a new pathogen associated with phaeosphaeria leaf spot on maize in Brazil. **Plant Pathology**, v.53, p. 259, 2004.

AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Fenologia, Fitopatometria e Quantificação de Danos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO. **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 5ed. São Paulo: Ceres, 2018. v.1, p.499-518.

ASCARI, J.P.P.; BARRO, J.; SANTANA, F.M.; PADUA, J.M.V.; MACIEL, J.; LAU, D.; TORRES, G.A.M.; SBALCHEIRO, C.C.; SEIXAS, C.S.; GOULART, A.; SUSSEL, A.; SCHIPANSKI, C.; CHAGAS, D.F.; COELHO, M.; MONTECELLI, T.D.N.; AMARAL, D.R.; CUSTÓDIO, A.A.P.; MOREIRA, L.; UTIAMADA, C.; VENANCIO, W.S.; GOUSSAIN, R.C.S.; ALVES, K.S.; DEL PONTE, E.M. Sequential post-heading applications for controlling wheat blast: a summary of fungicide performance. **Plant Disease**, 2021.

BARRO, J.; SANTANA, F. M.; MACHADO, F. J.; DUFFECK, M. R.; LAU D.; SBALCHEIRO, C. C.; et al. Are DMI+QoI Fungicide Premixes During flowering Worthwhile for *Fusarium* head blight Control in Wheat? A Meta-analysis. **Plant Disease**, Available at: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-09-20-2096-RE>. Acesso em: 05 julho 2021.

BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting linear mixed-effects models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v.67, n.1, 2015.

BEDENDO, I. P.; MASSOLA JÚNIOR, N.S.; AMORIM, L. Controles cultural e físico de doenças de plantas. In: **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**, v.1, 2018, p.275-287.

BOMFETI, C. A.; MEIRELLES, W. F.; SOUZA-PACCOLA, E. A.; CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; MARRIEL, I. E.; PACCOLAMEIRELLES, L. D. Evaluation of commercial chemical products, in vitro and in vivo in the control of foliar disease, maize white spot, caused by *Pantoea ananatis*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 33, p. 63-67, 2007.

BRASIL, E. M.; CARVALHO, Y. Comportamento de híbridos de milho em relação a *Phaeosphaeria maydis* em diferentes épocas de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.12, p.1977-1981, 1998.

BRASIL, E.M.; CARVALHO, Y. Comportamento de híbridos de milho em relação a *Phaeosphaeria maydis* em diferentes épocas de plantio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.12, 1998.

BRITO, A.H.; VON PINHO, R.G.; POZZA, E.A.; PEREIRA, J.L.A.R.; FARIA FILHO, E.M. Efeito da cercosporiose no rendimento de híbridos comerciais de milho. **Fitopatologia Brasileira**, v.32, p.472-479, 2007.

CALVO, N.S.; FANTIN, L.H.; CANTERI, M.G.; SUMIDA, C.H. Modelo metanalítico na avaliação do incremento de produtividade com o uso de fungicidas para o controle de *Sclerotinia sclerotiorum*. **Agronomy Science and Biotechnology Journal**. v.2, p.6-10, 2016.

CAMPOS, H.D.; SIMON, G.S.; SILVA, A.G. **Controle de doenças em milho safrinha**. XII Seminário Nacional Milho Safrinha. Universidade Federal da Grande Dourados Dourados, MS, 2013.

CAPUCHO, A. S.; ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; PARREIRA, D. F.; FERREIRA, P. A.; LANZA, F. E.; COSTA, R. V.; CASELA, C. R.; COTA, L. V. Influence of leaf position that correspond to whole plant severity and diagrammatic scale for white spot of corn. **Crop Protection**, Guildford, v. 29, n. 9, p. 1015-1020, 2010.

CARLI, M. L. Aspectos etiológicos e epidemiológicos do complexo mancha branca do milho. 87p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

CARSON, M. L.; GOODMAN, M.M.; GLAWE, D.A. *Phaeosphaeria* Leaf Spot of Maize in Florida. **Plant Disease**, V. 75, 1991.

CARSON, M.L. Inheritance of resistance to *Phaeosphaeria* leaf spot of maize. **Plant Disease**, v.85, n.7, p.798-800, 2001.

CARVALHO, R. V.; PEREIRA, O. A. P.; CAMARGO, L. E. A. Doenças do milho (*Zea mays* L.). In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. 5ed. São Paulo: Ceres, 2016. v.2, p.549-560.

CASELA, C.R.; FERREIRA, A.S.; PINTO, N.F.J.A. **Doenças na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, Circular Técnica, 83, 2006.

CERVELATTI, E.P.; PAIVA, E.; MEIRELLES, W.F.; CASELA, C.R.; FERNANDES, F.T.; TEIXEIRA, F.F.; PACCOLA-MEIRELLES, L.D. Characterization of fungal isolates from pycnidia and pseudothecia from lesions of *Phaeosphaeria* leaf spot in maize. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.1, n.3, p.30-37, 2002.

COCHRAN, W. G. The combination of estimates from different experiments. **Biometrics**, v.10, p.101-129, 1954.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília, DF: Conab, 2021. Safra 2019/20, 12º- levantamento, v.7, p.1- 68.

COSTA, F. M. P. **Severidade de *Phaeosphaeria maydis* e rendimento de grãos de milho (*Zea mays* L.) em diferentes ambientes e doses de nitrogênio.** 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba.

COSTA, R. V. Controle químico da mancha branca do milho através de fungicidas: Análise da situação atual. In: **Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. (CD-ROM).

COSTA, R. V. da.; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da.; LANZA, F. E. **Recomendações para o controle químico da mancha branca do milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 167, 2011. 6p.

COSTA, R. V. da.; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da.; LANZA, F. E.; FIGUEIREDO, J. E. F. Eficiência de fungicidas para o controle da mancha branca do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.3, p.291-301, 2012.

COSTA, R. V. da.; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da.; FIGUEIREDO, J. E. F.; MEIRELLES, W. F.; CASELA, C. R.; LANZA, F. E.; ZAMBOLIM, L.; PACCOLA MEIRELLES, L. D. **Variáveis epidemiológicas associadas à mancha-branca-do-milho.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 249, 2013, 25p.

COSTA, R. V. SILVA, D. D da.; COTA, L. V. **Evolução dos Sintomas da Mancha-branca no Campo.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 229, 2017, 5p.

COSTA, R. V. da.; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da.; CAMPOS, L. J. M.; ALMEIDA, R. E. M. de.; BERNARDES, F. P.; PEREIRA, L. A. O. A. **Reação de híbridos comerciais de milho à mancha-de-bipolaris em diferentes épocas de semeadura.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 238, 2018, 11p.

COSTA, R.V.; COTA, L.V. **Controle químico de doenças na cultura do milho: aspectos a serem considerados na tomada de decisão sobre aplicação.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 125, 2009, 11p.

COTA, L. V.; COSTA, R. V. da.; SILVA, D. D. da.; LANDAU, E. C.; GUIMARAES, D. P.; MACHADO, J. R. de A.; MENDONÇA, L. B. P.; SILVA, A. F. da.; TARDIN, F. D.; MEIRELLES, W. F. **Monitoramento do uso de fungicidas na cultura do milho no Brasil.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica, 84, 2018, 13p.

CUNHA, B.A.; NEGREIROS, M.M.; ALVES, K.A; TORRES, J.P. Influence of sowing time on the severity of foliar diseases and winter corn yield. **Summa Phytopathologica**, v.45, n.4, p.424-427, 2019.

CUSTÓDIO, A. A. P.; MOREIRA, L. S. O.; FANTIN, L. H.; BRAGA, K.; CANTERI, M. G.; YADA, I. F. U. **Eficiência de fungicidas para o controle da mancha branca do**

milho segunda safra 2016 e 2017. Londrina, PR: IAPAR, 2019a. 38 p. (Boletim Técnico, n. 93).

CUSTÓDIO, A. A. P.; UTIAMADA, C. M.; MADALOSSO, T.; YADA, I. F. U.; COSTA, A. A.; SCHIPANSKI, C. M.; NAKASHIMA, C.; SONEGO, D. A.; BLAINSKI, A.; BETIOLI JUNIOR, A.; GARCIA, F. C.; SILVA, J. B. G. D.; ROY, J. M. T.; COSTA, J. M.; BRAGA, K.; FANTIN, L. H.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; CARRÉ-MISSIO, V. **Eficiência de fungicidas para o controle da mancha branca do milho segunda safra 2018 e 2019.** Londrina, PR: IAPAR, 2019b. 34 p. (Boletim Técnico, n. 94).

CUSTÓDIO, A. A. P.; UTIAMADA, C. M.; MADALOSSO, T.; YADA, I. F. U.; COSTA, A. A.; SCHIPANSKI, C. M.; NAKASHIMA, C.; SONEGO, D. A.; BLAINSKI, A.; BETIOLI JUNIOR, A.; GARCIA, F. C.; SILVA, J. B. G. D.; ROY, J. M. T.; COSTA, J. M.; BRAGA, K.; FANTIN, L. H.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G.; CARRÉ-MISSIO, V. **Eficiência de fungicidas para o controle múltiplo de doenças foliares do milho segunda safra 2019.** Londrina, PR: IAPAR, 2019c. 34 p. (Boletim Técnico, n. 95).

CUSTÓDIO, A. A. P.; UTIAMADA, C. M.; MADALOSSO, T.; YADA, I. F. U.; CAMPOS, H.D.; SILVA, D. D.; COSTA, R. V.; DUARTE, A.P.; DIAS, A.R.; MUHL, A.; COSTA, A. A.; SCHIPANSKI, C. M.; CHAGAS, D.F.; BARROS, E.; BLAINSKI, E.; MOREIRA, E.N.; MEDEIROS, F.L.C.; FANTIN, G.M.; GRIGOLLI, J.F.J.; NUNES JUNIOR, J.; BELUFI, L.M.; SATO, L.N.; MULLER, M.A.; TORMEN, N.R.; SILVA, J. B. G. D.; ROY, J. M. T.; COSTA, J. M.; BRAGA, K.; FANTIN, L. H.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G. **Eficiência de fungicidas para o controle da mancha branca do milho segunda safra 2020.** Londrina, PR: IDR-IAPAR, 2020a. 40 p. (Boletim Técnico, n. 96).

CUSTÓDIO, A. A. P.; UTIAMADA, C. M.; MADALOSSO, T.; YADA, I. F. U.; CAMPOS, H.D.; SILVA, D. D.; COSTA, R. V.; DUARTE, A.P.; DIAS, A.R.; MUHL, A.; COSTA, A. A.; SCHIPANSKI, C. M.; CHAGAS, D.F.; BARROS, E.; BLAINSKI, E.; MOREIRA, E.N.; MEDEIROS, F.L.C.; FANTIN, G.M.; GRIGOLLI, J.F.J.; NUNES JUNIOR, J.; BELUFI, L.M.; SATO, L.N.; MULLER, M.A.; TORMEN, N.R.; SILVA, J. B. G. D.; ROY, J. M. T.; COSTA, J. M.; BRAGA, K.; FANTIN, L. H.; SATO, L. N.; CANTERI, M. G. **Eficiência de fungicidas para o controle múltiplo de doenças foliares do milho segunda safra 2020.** Londrina, PR: IDR-IAPAR, 2020b. 38 p. (Boletim Técnico, n. 97).

DALLA LANA, F.; ZIEGELMANN, P.K.; MAIA, A. H. N.; GODOY, C. V.; DEL PONTE, E. M. Meta-analysis of the relationship between crop yield and soybean rust severity. **Phytopathology**, v.105, p.307-315, 2015.

DORNELAS, G.A.; POZZA, E.A.; SOUZA, P.E.; COSTA, R.V.; POZZA, A.A.A, SANTOS, L.A. Nitrogen and potassium fertilization on the yield and intensity of the maize white spot. **Revista Ceres**, Viçosa, v.62, n.4, p.351- 359, 2015.

DUFFECK, M.R.; ALVES, K.S.;MACHADO, F.J.; ESKER, P.D.; DEL PONTE, E. M. Modeling Yield Losses and Fungicide Profitability for Managing Fusarium Head Blight in Brazilian Spring Wheat. **Phytopathology**. v.110, p.370–378, 2020.

EDWARDS MOLINA, J. P.; PAUL, P.A.; AMORIM,; DA SILVA, L. H. C. P., SIQUERI, F.V.; BORGES, E.P et al. 2018. Effect of target spot on soybean yield and factors affecting this relationship. **Plant Pathology**, v.68, p.107–115, 2018a.

EDWARDS MOLINA, J. P.; PAUL, P.A.; AMORIM,; DA SILVA, L. H. C. P., SIQUERI, F.V.; BORGES, E.P et al. 2018. Meta-analysis of fungicide efficacy on soybean target spot and costbenefit assessment. **Plant Pathology**, v.68, p.94–106, 2018b.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Cultura do milho: aspectos fisiológicos e manejo da água**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n.73, p.1-4, 1996.

FANTIN, G. M. Mancha de *Phaeosphaeria*, doença do milho que vem aumentando sua importância. **Biológico**, São Paulo, v. 56, n. 1, p. 39, 1994.

FANTIN, G. M.; DUARTE, A. P. **Manejo de doenças na cultura do milho safrinha**. Campinas: Ed. Instituto Agronômico, 2009. 99p.

FANTIN, G.M. Mancha de *Phaeosphaeria* do milho. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em:
<http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Phaeosphaeria/index.htm>. Acesso em: 10/6/2021

FANTIN, L.H.; CANTERI, M.G, SILVA, A.L.; TUPICH, F.L.B.; MADDEN, L.V. Contribution of soybean seed treatment with Fluquinconazole to manage yield losses caused by *Phakospora pachyrhizi* using meta-analysis. **African Journal of Agricultural Research**, v.39, p.3880-3888, 2016.

FANTIN, L.H.; CANTERI, M.G. Metanálise da Fitopatologia: Um conjunto de técnicas estatísticas para sumarização de resultados. *In: Revisão Anual de Patologia de Plantas-RAPP*, v.25, 2017.

FANTIN, L.H.; SILVA, A.L.; CANTERI, M.G. Retorno Produtivo. **Cultivar Grande Culturas**, n.216, 2017.

FERNANDES, F.T.; OLIVEIRA, E. 1997. **Principais doenças na cultura do milho**. Sete Lagoas, Embrapa-CNPMS, Circular 26.

FRAC - Comitê Brasileiro de Ação a Resistência a Fungicidas - FRAC-BR – 2021. Disponível em: <https://www.frac-br.org/sobre-o-frac>

GLASS, G.V. Primary, secondary, and meta-analysis of research. **Educational Research**, v.5, p.3-8, 1976.

GODOY, C.V.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A. Alterações na fotossíntese e na transpiração de folhas de milho infetadas por *Phaeosphaeria maydis*. **Fitopatologia Brasileira**, v.26, p.209-215, 2001.

GODOY, C. V.; UTIAMADA, C. M.; MEYER, M. C.; CAMPOS, H. D.; LOPES, I. de O. N.; FORCELINI, C. A.; PIMENTA, C. B.; JACCOUD FILHO, D. S.; MOREIRA, E. N.; ANDRADE JUNIOR, E. R. de; BORGES, E. P.; SIQUERI, F. V.; JULIATTI, F. C.; FAVERO, F.; ARAUJO JUNIOR, I. P.; NUNES JUNIOR, J.; SILVA, L. H. C. P. da; SATO, L. N.; BELUFI, L. M. de R.; GOUSSAIN, M.; VOLF, M. R.; DEBORTOLI, M.

P.; MARTINS, M. C.; BALARDIN, R. S.; FURLAN, S. H.; MADALOSSO, T.; CARLIN, V. J.; VENANCIO, W. S. Eficiência de fungicidas multissítios e produto biológico no controle da ferrugem-asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2016/17: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. (Embrapa Soja. Circular técnica, 131), 2018, 8p.

GONÇALVES, R. M.; FIGUEIREDO, J. E. F.; PEDRO, E. S.; MEIRELLES, W. F.; LEITE JÚNIOR, R. P.; SAUER, A. V.; PACCOLLA-MEIRELLES, L. D. Etiology of phaeosphaeria leaf spot disease of maize. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v.95, n.3, p.559-569, 2013.

HIGGINS, J; THOMPSON, S.G. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. **Stat. Med.** v.21, p.1539-1558, 2002.

JIRAK-PETERSON, J. C.; ESKER, P.D. Tillage, Crop Rotation, and Hybrid Effects on Residue and Corn Anthracnose Occurrence in Wisconsin. **Plant Disease**, v.95, n.5, p.601–610, 2011.

JOHNSON, K.B. Defoliation, disease, and growth: A reply. **Phytopathology**, v.77, n.11, p.1495-1497, 1987

JULIATTI, F.C.; PEDROSA, M.G.; JULIATTI, B.C.M.; BELOTI, I.F.; FIGUEIRÓ, A.A. Identificação de QTL's associados à resistência parcial a mancha branca do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.5, p.1163 -1178, 2013.

LANA, U.G.P.; PRAZERES DE SOUZA, I.R.; NODA, R.W.; PASTINA, M.M.; MAGALHÃES, J.V.; GUIMARÃES, C.T. Quantitative Trait Loci and Resistance Gene Analogs Associated with Maize White Spot Resistance. **Plant Disease**, v.1, p.200-208, 2017.

LEHNER, M.S.; PETHYBRIDGE, S.J.; MEYER, M.C.; DEL PONTE, E.M. Meta-analytic modelling of the incidence– yield and incidence–sclerotial production relationships in soybean white mold epidemics. **Plant Pathology**, v.65, p.1365-3059, 2016.

MADALOSSO, T.; TESTON, R.; FÁVERO, F. Avaliação de fungicidas para o controle de mancha branca no milho. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, Resumos expandidos, Cuiabá: Fundação MT, 2017. p.187-192.

MADDEN, L. V.; PAUL, P. A. Meta-analysis for evidence synthesis in plant pathology: an overview. **Phytopathology**, Saint Paul, v.101, n.1, p.16-30, 2011.

MALLOWA, S. O.; ESKER, P. D.; PAUL, P. A.; BRADLEY, C. A.; CHAPARA, V. R.; CONLEY, S. P., & ROBERTSON, A. E. Effect of Maize Hybrid and Foliar Fungicides on Yield Under Low Foliar Disease Severity Conditions. **Phytopathology**, v.105, n.8, p.1080-1089, 2015.

MORTON, V.; STAUB, T. 2008 A Short History of Fungicides. Online, APSnet Features. doi: 10.1094/APSnetFeature-2008-0308. Acesso em 04 de julho de 2021.

MUNKVOLD, G. P.; MARTINSON, C. A.; SHRIVER, J. M.; DIXON, P. M. Probabilities for profitable fungicide use against gray leaf spot in hybrid maize. **Phytopathology**, v.9, p.477-484, 2001.

MUNKVOLD, G. P.; WHITE, D. G. **Compendium of corn diseases**. 4^oed. St. Paul: American Phytopathological Society, 2016.

NEVES, D.L.; SILVA, C.N.; PEREIRA, C.B.; CAMPOS, H.D.; TESSMANN, D.J. *Cercospora zeina* is the main species causing gray leaf spot in southern and central Brazilian maize regions, **Tropical Plant Pathology**, v.40, p.368–374, 2015.

NGUGI, H. K.; ESKER, P. D.; SCHERM, H. Meta-analysis to determine the effects of plant disease management measures: review and case studies on soybean and apple. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 101, n. 1, p. 31-41, 2011a.

NGUGI; H. K.; LEHMAN, B. L.; MADDEN, L. V. Multiple treatment metaanalysis of products evaluated for control of fire blight in the eastern United States. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 101, n. 5, p. 512-522, 2011b.

NUTTER, F.W.; JENCO, J.H. Development of a critical-point yield loss model to estimate yield losses in corn caused by *Cercospora zea-maydis*. **Phytopathology**, v.82, p.994, 1992.

OLIVEIRA, E. de.; FERNANDES, F. T.; CASELA, C. R.; PINTO, N. F. J. A. ; FERREIRA, A. S. **Diagnose e controle de doenças na cultura do milho**. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Ed.). Tecnologias de produção do milho. Viçosa-MG: UFV, 2004. p. 226-267.

PACCOLA-MEIRELLES, L. D.; FERREIRA, A. S.; MEIRELLES, W. F.; MARRIEL, I. E.; CASELA, C. R. Detection of a bacterium associated with a leaf spot disease of maize in Brazil. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v.149, n.5, p.275-279, 2001.

PATERNIANI, E. M.; SAWAZAKI, E.; DUDIENAS, C. DUARTE, A. P.; GALLO, P. B. Diallel crosses among maize lines with emphasis on resistance to foliar disease. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.23, p.381-385, 2000.

PEARSON, K. Report on certain enteric fever inoculation statistics. **British Medical Journal**, v.3, p.1243-1246, 1904.

PEDRO, E.S.; GONÇALVES, R. M.; FIGUEIREDO, J. E. F.; MEIRELLES, W. F.; COSTA, R. V.; COTA, L. V.; SILVA, D. D. da; PACCOLA-MEIRELLES, L. D. **Nova evidência comprovando ser a bactéria *Pantoea ananatis* o agente etiológico da mancha-branca-do-milho (mancha-de-phaeosphaeria)**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013, 20p.

PINTO, N. F. J. A. Controle químico de doenças foliares em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.3, n.1, p.134-138, 2004.

PINTO, N. F. J. A. **Doenças do Milho**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.6, n.72, p.50-53, 1980.

PINTO, N. F. J. A.; FERNANDES, F. T. Avaliação de fungicidas no controle da mancha foliar de milho causada por *Phyllosticta* sp. (*Phaeosphaeria maydis*). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.20, p.333, 1995.

R CORE TEAM. 2021. A language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <https://www.R-project.org>.

RANE, M.S.; PAYAK, M.M.; RENFRO, B.L.A. *Phaeosphaeria* leaf spot of maize. *Indian Phytopathology Society Bulletin*, v.3, p.6-10, 1965.

REIS, E.; REIS, A.C.; CARMONA, M.A. Manual de Fungicidas. 6ªed. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, 2010, 226p.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; BIANCHIN, V. Control of plant disease by crop rotation. **Summa Phytopathologica**, v.37, n.3, p.85-91, 2011.

REIS, E.M.; SANTOS, J.A.P.; BLUM, M.M.C. Critical-Point Yield Model to Estimate Yield Damage Caused by *Cercospora zea-maydis* in Corn. **Fitopatologia Brasileira** 32:110-113. 2007.

SALAM, K.P.; THOMAS, G.J.; BEARD, C.; LOUGHMAN, R.; MACLEOD, W.J.; SALAM, U.M. Application of meta-analysis in plant pathology: a case study examining the impact of fungicides on wheat yield loss from the yellow spot - septoria nodorum blotch disease complex in Western Australia. **Food Security**, v.5, p.319–325, 2013.

SHAH, D. A.; DILLARD, H. R. Yield loss in sweet corn caused by *Puccinia sorghi*: a meta-analysis. **Plant Disease**, Saint Paul, v.90, n.11, p.1413-1418, 2006.

SHAW, D. V.; LARSON, K. A meta-analysis of strawberry yield response to preplant soil fumigation with combinations of methyl bromide–chloropicrin and four alternative systems. **Hort Science**, v.34, n.5, p.839–845, 1999.

SHANNON, H. A statistical note on Karl Pearson's 1904 meta-analysis. **Journal of the Royal Society of Medicine**, v.109, n.8, p.310–311, 2016.

SILVA JUNIOR, G.J.; BEHLAU, F. Controles Químico. *In: Manual de fitopatologia: princípios e conceitos*, v.1, 2018, p.239-260.

SILVA, D. D. da.; SOUZA, I. R. P. de.; OLIVEIRA, I. R. de.; MENDES, S. M.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da.; OLIVEIRA, C. M. de.; MEIRELLES, W. F.; BORDIN, I.; BIANCO R.; ANDROCIOLI, H. G.; SILVA, M. R. L. da.; LEMISKA, A.; ARAÚJO, M. M. **Protocolos para experimentação, identificação, coleta e envio de amostras da cigarrinha *Dalbulus maidis* e de plantas com enfezamentos em milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021, 23p.

SILVA, D.D.; SANTOS, F.C.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; COTA, L.V.; COSTA, R.V.; GUIMARÃES, E.L. Efeito de doses e fontes de nitrogênio na severidade da mancha branca do milho. **XXXI Congresso Brasileiro de Milho e Sorgo**, 2016.

SILVA, H. P.; MORO, J. P. Diallel analysis of maize resistance to *Phaeosphaeria maydis*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 32-42, 2004.

TUPICH, F.L.B.; FANTIN, L.H.; SILVA, A.L.; CANTERI, M.G. Impact of white mold control by fluazinam on soybean yield in the south of Paraná: Meta-analysis. **Summa Phytopathologica**, v.43, n2, p.145-150, 2017.

VIECHTBAUER, W. Conducting Meta-Analyses in R with the metafor Package. **Journal of Statistical Software**, v.36, p.1–48, 2010.

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

WARD, J. M. J.; LAING, M. D.; RIJKENBERG, F. H. J. Frequency and timing of fungicide application for the control of gray leaf spot in maize. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 81, n. 1, p. 41-48, 1997.

WARD, J.M.J.; NOWELL, D.C. Integrated management for the control of maize gray leaf spot. **Integrated Pest Management Reviews** v.3, p.1–12, 1998.

WARD, J.M.J.; STROMBERG, E.L.; NOWELL, D.C.; NUTTER JUNIOR, F.W. Gray leaf Spot: A Disease of Global Importance in Maize Production. **Plant Disease**, v.83, n.10, p.884-895, 1999.

WEGULO, S. N.; MARTINSON, C. A.; RIVERA-C, J. M.; NUTTER JR., F. W. Model for economic analysis of fungicide usage in hybrid corn seed production. **Plant Disease**, St. Paul, v.81, n.4, p.415-422, 1997.

WISE, K. Fungicide efficacy for control of corn diseases. Botany & Plant Pathology, West Lafayette, BP-160-W, p. 1-2, jan. 2017. **Purdue Extension**, 1-888-EXT-INFO.

WISE, K.A.; SMITH, D.; FREIJE, A.; MUELLER, D.D.; KANDEL, Y.; ALLEN, T.; CARL, A.; BRADLEY, C.A.; BYAMUKAMA, E.; CHILVERS, M.; FASKE, T.; FRISKOP, A.; HOLLIER, C.; JACKSON-ZIEMS, T.A.; KELLY, H.; KEMERAIT, B.; PRICE, P.; ROBERTSON, A.; TENUUDA, A. Meta-analysis of yield response of foliar fungicide-treated hybrid corn in the United States and Ontario, Canada. **PLoS ONE**, v.14, n.6, e0217510, 2019.

WICKHAM, H. (2016). **GGplot2: Elegant Graphics for Data Analysis**. 978-3-319-24277-4, 260p.

WHITEHEAD, A. **Meta-analysis of controlled clinical trials**. John Wiley & Sons: Nova Jersey, EUA, 2002.

YATES, F.; COCHRAN, W.G. The analysis of groups of experiments, **The Journal of Agricultural Science**, v28, n.4, p.556-580, 1938.

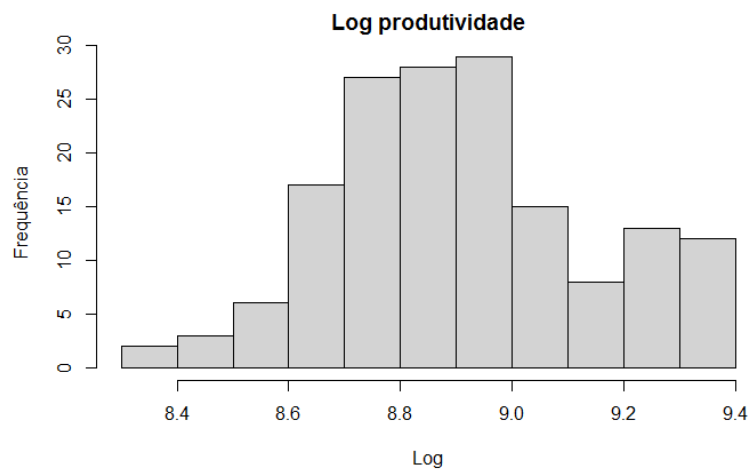
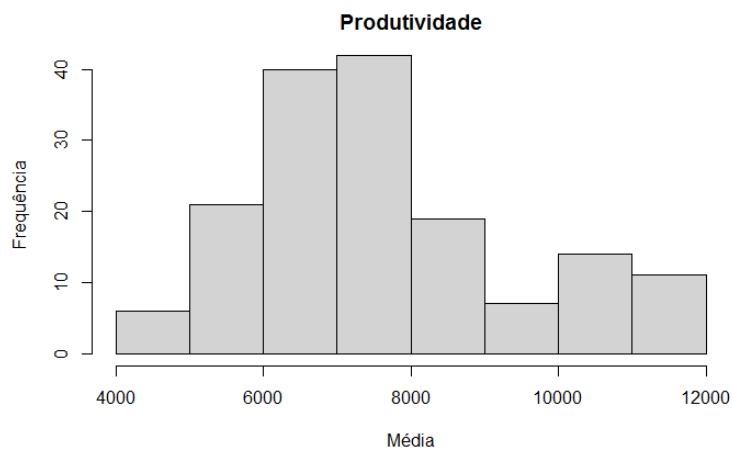
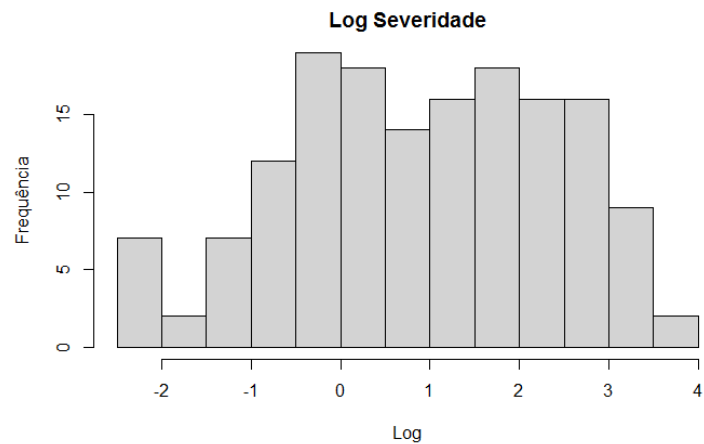
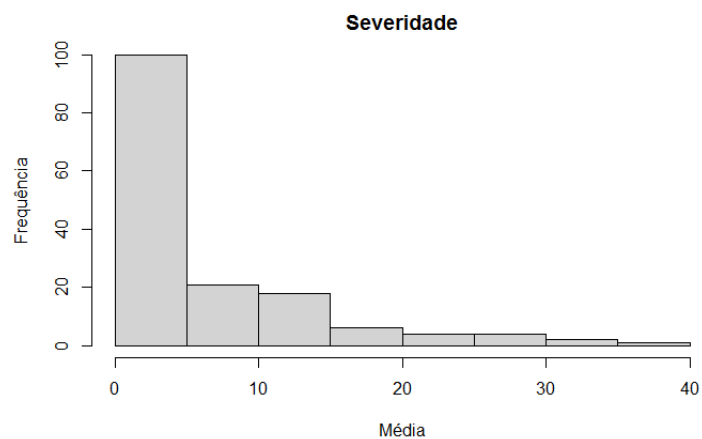
ZADOKS, J.C. On the conceptual basis of crop loss assessment: the threshold theory. **Annual Review of Phytopathology**, v.23, p.455–73, 1985.

APÊNDICES

Apêndice A. Localização geográfica e instituições de pesquisa participantes da rede nacional cooperativa em milho segunda safra no Brasil no período 2016 a 2020.

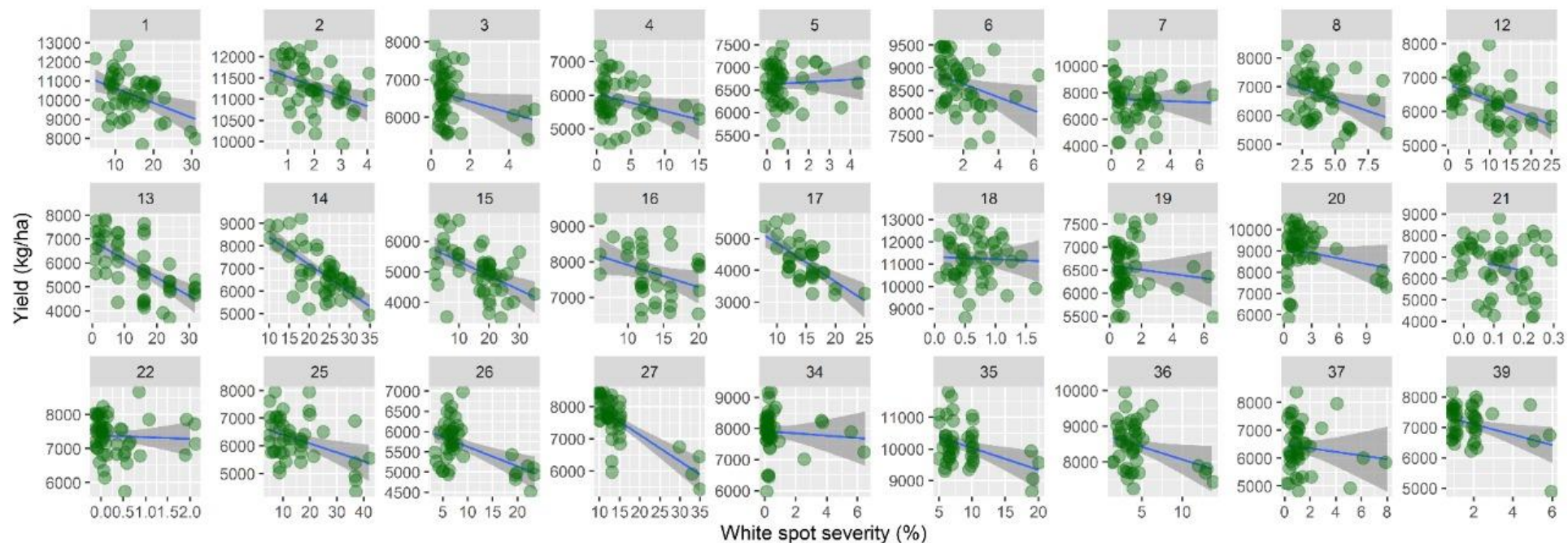
	Estado	Município	Instituição	Responsáveis
1	Paraná	Santa Tereza do Oeste	IDR-Paraná	Adriano Custódio
2	Paraná	Campo Mourão	COAMO	Lucas Simas Moreira
3	Paraná	Londrina	IDR-Paraná	Adriano Custódio
4	Paraná	Assis Chateaubriand	Terra Paraná	Éder Blainski
5	Paraná	Cafelândia	Copacol	Tiago Madalosso/João Roy
6	Paraná	Ubiratã	Coagru	Fernanda Garcia
7	Paraná	Guarapuava	G12 Agro	Carlos A. Schipanski/ Débora Chagas
8	Paraná	Campo Mourão	AgroEnsaio	Alexandre Costa/Joaquim Costa
9	Paraná	Floresta	Cocamar	Edner Betioli Júnior
10	Paraná	Mandaguari	Cocari	João Batista da Silva
11	Paraná	Arapongas	UEL	Marcelo Canteri/André Silva
12	Paraná	Cambé	TAGRO	Carlos Utiamada/Luiz Sato
13	Paraná	Assaí	Integrada	Cláudio Nakashima
14	Paraná	Marechal C. Rondon	Copagril	Darci Augusto Sônego
15	Paraná	Palotina	UFPR	Vivian Carré Missio
16	São Paulo	Capão Bonito	APTA/IAC/Instituto Biológico	Gisele Fantin/Aildson Duarte
17	Minas Gerais	Sete Lagoas	Embrapa	Dagma Silva/Rodrigo Vêras

	Estado	Município	Instituição	Responsáveis
16	Minas Gerais	Lavras	UFLA	Fernanda Medeiros
17	Mato Grosso do Sul	Maracaju	Fundação MS	José F. Grigolli
18	Mato Grosso do Sul	Chapadão do Sul	Fundação Chapadão	Alfredo R. Dias
19	Goiás	Anápolis	CTPA Emater	José Nunes Júnior
20	Goiás	Rio Verde	UniRV	Hércules Diniz Campos,
21	Goiás	Montividiu	IGA	Eduardo Barros
22	Distrito Federal	Planaltina	Instituto Phytus	Nédio Rodrigo Tormen
23	Mato Grosso	Nova Mutum	Fitolab	Éder Novaes Moreira
24	Mato Grosso	Sorriso	Fundação MT	Mônica Anghinoni Müller
25	Mato Grosso	Lucas do Rio Verde	Fundação Rio Verde	Luana Maria de Rossi



Apêndice B. Histograma da frequência dos valores e log dos valores de severidade de mancha branca (%) determinada no estádio R4 e da produtividade de milho (kg ha⁻¹) determinada no estádio R6, em parcelas experimentais de 27 ensaios de campo conduzidos pela rede nacional de pesquisa cooperativa em milho segunda safra entre 2016 e 2020.

Fonte: O próprio autor.



Apêndice C: Regressões individuais dos 27 ensaios (k) incluídos na metanálise da relação entre a severidade da mancha branca e a produtividade do milho. **Fonte:** O próprio autor.

Apêndice D. Parâmetros de regressões individuais dos 27 ensaios (k) incluídos na metanálise da relação entre a severidade da mancha branca e a produtividade do milho.

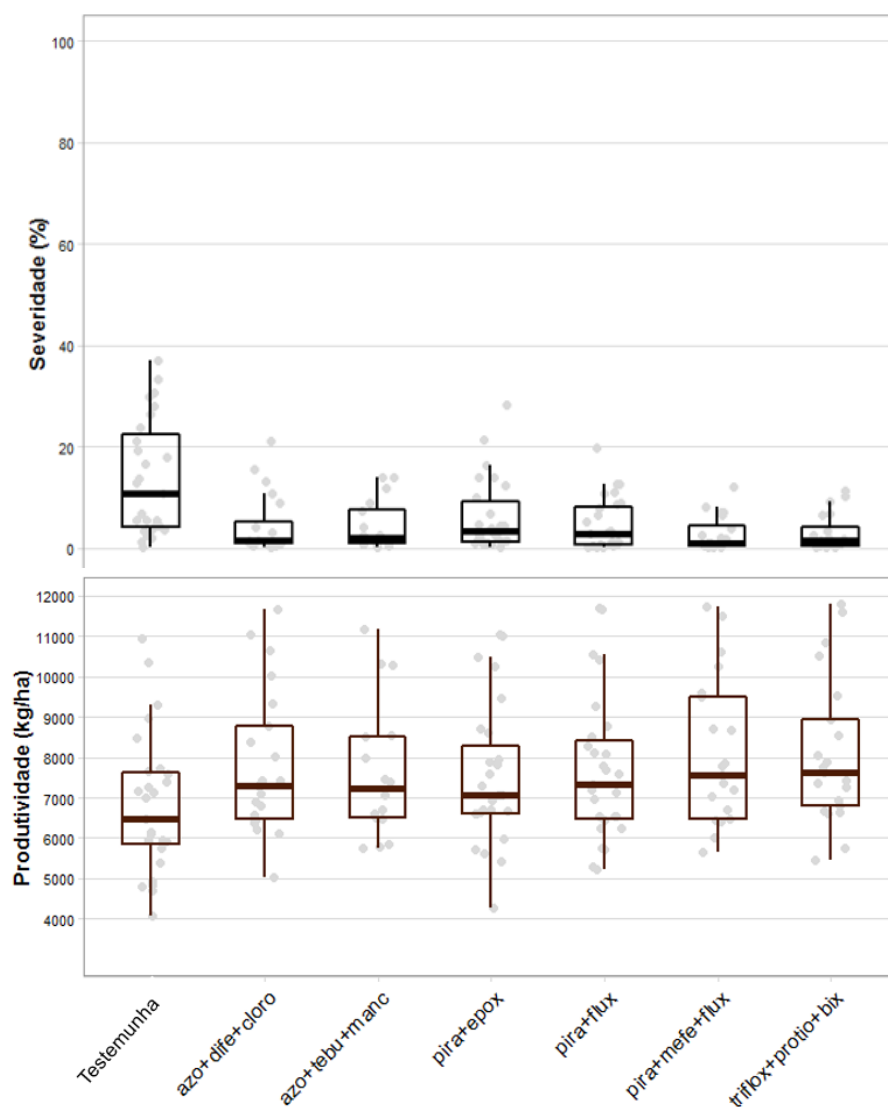
Ensaio	β_0	β_1	β_0^{SE}	β_1^{SE}
1	11400,81222	-76,91003632	415,56803	26,9856126
2	11763,9615	-233,5925022	172,412742	79,9634514
3	6721,76636	-148,8834879	121,213334	76,6141748
4	6037,113466	-50,58723684	132,253157	25,1958392
5	6622,136798	27,0376839	86,5108183	60,7062322
6	8945,419544	-148,1097871	140,9647	64,5475314
7	7561,553816	-47,76961336	351,202671	160,555105
8	7331,043829	-157,1838932	289,320923	67,9624083
12	6804,853092	-48,49288518	145,989524	12,6927418
13	6919,051575	-76,23627962	233,793601	13,89503
14	9617,68462	-122,4198368	451,875165	19,2548979
15	5812,00279	-47,1060305	232,355144	12,7198597
16	8539,743815	-62,5594573	423,869383	30,2592356
17	6048,385849	-119,9846121	374,959673	24,9957686
18	11326,9723	-109,1864431	316,579208	427,361792
19	6604,172197	-46,05997431	103,715779	56,0650248
20	9172,888683	-86,61333905	202,450134	58,2987814
21	6906,731424	-2773,337919	923,41213	7820,38697
22	7379,143613	-46,67626561	89,9218261	139,845199
25	6726,398481	-32,01012235	205,539723	11,2725124
26	6108,832093	-48,27890773	140,266186	12,9849155
27	8766,330041	-81,93374092	188,943945	12,1469176
34	7920,132153	-36,79883006	117,00378	73,3743349
35	10726,22621	-69,22623231	237,257905	25,1516963
36	8777,510936	-70,89077216	168,770922	32,3730087
37	6486,982859	-65,04095689	175,69075	84,8484576
39	7446,270921	-170,6196887	150,508575	67,1570245

β_0 coeficiente linear das regressões

β_1 coeficiente angular das regressões

β_0^{SE} erro padrão do coeficiente linear das regressões

β_1^{SE} erro padrão do coeficiente angular das regressões



Apêndice E. Boxplots das médias de severidade da mancha branca (%) e a produtividade de milho (kg ha^{-1}) (ao longo dos anos) das parcelas não tratadas (testemunha) e tratadas com fungicida. Azo+Dife+Cloro= Azoxistrobina (4%) +Difenoconazol (4%) +Clorotalonil (50%); Azo+Tebu+Manco= Azoxistrobina (4,7%) +Tebuconazol (5,6%) +Mancozebe (59,7%); Pira+Epox= Piraclostrobin (26%) + Epoxiconazol (16%); Pira+Flux= Piraclostrobin (33,33%) + Fluxapiraxade (16,7%); Pira+Flux+Mefe= Piraclostrobin (17,78%) + Fluxapiraxade (8,89%) + Mefentrifluconazol (13,33%); Triflox+Protio+Bix= Trifloxistrobin (15%) + Protioconazol (17,5%) + Bixafen (12,5%).

Fonte: O próprio autor.