

THADEU CARLOS DE SOUZA

**BIOECONOMIA PARA MANEJO RACIONAL DE *Spodoptera frugiperda* EM
MILHO: RELAÇÃO INJÚRIA-PRODUTIVIDADE E NÍVEIS DE DANO ECONÔMICO
EM DIVERSOS CENÁRIOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Eliseu José Guedes Pereira

Coorientadores: Marcelo Coutinho Picanço
Oscar Fernando S. Amaya
João Carlos C. Galvão

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S729b
2023 Souza, Thadeu Carlos de, 1984-
Bioeconomia para manejo racional de *Spodoptera frugiperda* em milho: relação injúria-productividade e níveis de dano econômico em diversos cenários / Thadeu Carlos de Souza. – Viçosa, MG, 2023.

1 tese eletrônica (79 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Eliseu José Guedes Pereira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.300>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Lagarta-do-cartucho. 2. *Zea mays*. 3. Milho - Resistência a doenças e pragas. 4. Pragmas - Controle. I. Pereira, Eliseu José Guedes, 1976-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Entomologia. III. Título.

CDD 22. ed. 595.78


THADEU CARLOS DE SOUZA

BIOECONOMIA PARA MANEJO RACIONAL DE *Spodoptera frugiperda* EM MILHO: RELAÇÃO INJÚRIA-PRODUTIVIDADE E NÍVEIS DE DANO ECONÔMICO EM DIVERSOS CENÁRIOS


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 12 de maio de 2023.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 THADEU CARLOS DE SOUZA
Data: 23/06/2023 14:03:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thadeu Carlos de Souza
Autor

Documento assinado digitalmente
 ELISEU JOSE GUEDES PEREIRA
Data: 23/06/2023 14:34:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eliseu José Guedes Pereira
Orientador

A Deus, pois, toda honra e toda glória deve ser dado a ele.

Aos meus pais por todo carinho e amor ao qual eu fui criado.

A minhas irmãs por me apoiar e sonhar todos os meus sonhos.

A todos os meus amigos pelo privilégio de tê-los conhecido

Em especial a minha falecida mãe Suely Helena de Souza que infelizmente não conseguiu realizar seu sonho de estudar quando queria. Mesmo sendo a melhor aluna de sua classe, ela precisou deixar de estudar para trabalhar desde muito nova. É com muito amor que eu digo: Mãe eu te amo e sempre te amarei e obrigado por tudo. Sei que a senhora queria me ver concluir meus estudos e eu consegui. O nosso abraço está marcado diante do Deus altíssimo o qual nós cremos.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Entomologia, pela oportunidade de conclusão do Doutorado neste programa de pós-graduação.

Ao Prof. Eliseu José Guedes Pereira pela orientação durante o mestrado e ao Dr. Oscar Fernando Santos-Amaya, Marcelo Coutinho Picanço pela e João Carlos Cardoso Galvão pela Co-orientação e ensinamentos durante o período que convivemos.

A Dr^a Simone Martins Mendes e a Embrapa Milho e Sorgo, pela orientação e todo o suporte na coleta de dados.

Aos três produtores de milho que permitiram coletar dados em seus cultivos, cada um localizado em Cajuri, Viçosa e Inhaúma, Minas Gerais.

A todos os meus amigos do Laboratório de Interação Inseto-Planta pela amizade e colaboração durante estes anos de convivência.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) – ICódigo do Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À PROVIVI, pelo financiamento e fornecimento de parte dos materiais para condução desta pesquisa.

RESUMO

SOUZA, Thadeu Carlos de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio 2023. **Bioeconomia para manejo racional de *Spodoptera frugiperda* em milho: relação injúria-productividade e níveis de dano econômico em diversos cenários.** Orientador: Eliseu José Guedes Pereira. Coorientadores: Marcelo Coutinho Picanço, Oscar Fernando Santos Amaya e João Carlos Cardoso Galvão.

A lagarta do cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) é considerada muito destrutiva em cultivos de milho, porém se desconhece a relação numérica da intensidade da sua injúria foliar com a produtividade de milho em condições representativas dos cultivos comerciais. Neste trabalho, determinamos curvas de dano e níveis de dano econômico (NDE) para *S. frugiperda* como desfolhadora em cultivos de milho grão e milho silagem. O trabalho foi conduzido nas safras de 2020/21 (1ª safra, outubro–fevereiro) e 2021/22 (2ª safra, março–julho), em quatro municípios de Minas Gerais, Brasil. Nos cultivos de milho, rotularam-se plantas com diferentes intensidades de injúria foliar pela lagarta do cartucho baseando-se na escala Davis. No ponto adequado para colheita, contabilizou-se a produção de cada planta rotulada, em silagem ou grãos. Com esses valores, estimou-se a porcentagem de produtividade da planta em relação à das plantas sem injúria foliar da lagarta do cartucho. Na análise de regressão para cada safra e finalidade da produção, equações do modelo logístico de três parâmetros se ajustaram adequadamente aos dados de produtividade em função da intensidade de injúria foliar. A máxima perda de produtividade foi 20-30% na maior intensidade de injúria (valor 9 na escala Davis, plantas com o cartucho destruído). As plantas tiveram nula redução na produtividade quando submetidas a baixas intensidades da desfolha pela lagarta do cartucho (valores 1–5 na escala Davis, i.e., até várias lesões com mais de 2,5 cm de comprimento nas folhas do cartucho). Esse padrão de tolerância à desfolha ocorreu nas plantas das duas épocas de cultivo. Na 1ª safra, a curva de dano de grãos foi mais inclinada (7,3%) do que a de silagem (4,5%), mas na 2ª safra declividade das curvas para grãos e silagem com semelhante (6,5 vs. 6,9%). O custo de controle do inseto em milho grão foi em média 4,3 e 2,0% do valor da produção em médio e alto grau de investimento, respectivamente. Para silagem, o custo de controle foi de 3,6 e 1,7%

para na 1ª safra. Na 2ª safra, esse custo representou 3,6 e 1,7% (grão) e 1,4 e 1,0% (silagem) para médio e alto investimento, respectivamente. O menor valor de NDE em intensidade de injúria na escala Davis para milho grão na 1ª safra foi de 8,0 e 7,1 para médio e alto grau de investimento. Para milho silagem esses valores foram de 5,9 e 5,4. Na 2ª safra, para milho grão com alto ou médio investimentos, os valores de NDE foram de 6,1 e 5,5 e, para silagem, de 5,8 e 5,5, respectivamente. Esses menores valores foram obtidos no cenário de duas aplicações manuais por hectare. Valores fixo de NC podem ser tomados como 75% desses valores de NDE. Esta pesquisa é pioneira em fornecer informações realísticas sobre NDE para milho grão e silagem e elas podem ser utilizadas por produtores de milho e outros agentes em diversas regiões no mundo. Coletivamente, os resultados mostram que a situação de menor nível dano econômico da lagarta do cartucho em milho ocorre quando 100% das plantas apresentam injúria de nota 4 na escala Davis (i.e., NDE = 4). O atual valor de NC recomendado (20% de plantas com injúria foliar Davis nota 3) é, no mínimo, cinco vezes menor que o valor de NDE aqui obtido, sendo assim bastante conservativo como nível de ação para controle de *S. frugiperda* em cultivos de milho.

Palavras-chave: Lagarta do cartucho. *Zea mays*. Tolerância. Injúria. Escala Davis. Tomada de decisão de controle de pragas.

ABSTRACT

SOUZA, Thadeu Carlos de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May 2023. **Bioeconomics for managing rationally *Spodoptera frugiperda* in maize: injury-yield relationship and economic injury levels in deverse scenarios.** Advisor: Eliseu José Guedes Pereira. Coadvisors: Marcelo Coutinho Picanço, Oscar Fernando Santos Amaya and João Carlos Cardoso Galvão.

The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) is considered highly destructive in maize crops, but the realistic relationship between the intensity of its defoliation and the corn yield in field conditions is unknown. In this thesis, damage curves and economic injury levels (EIL) were determined for defoliation by *S. frugiperda* under representative field conditions of maize cultivation for grain and silage. In commercial maize fields in the growing seasons of 2020/21 (October–February, 1st season) and 2021/2022 (March–July, 2nd season), plants with different intensities of defoliation by fall armyworms were labeled using Davis' visual rating scale, and the individual yield of each plant for silage or grain was recorded. In the analysis of variance, the relationship between leaf injury and yield was conditioned by the season and field within it. In the regression analysis for each crop and harvest purpose (grains or silage), equations of the logistic model adequately described the yield data as a function of the intensity of leaf injury by fall armyworms. The greatest yield loss was 20-30% at the highest injury intensity (value 9 on the Davis scale, i.e., plants with destroyed whorls). The plants had no yield reduction when subjected to low defoliation intensities by the fall armyworm larvae (values 1–5 on the Davis scale, i.e., up to several lesions more than 2.5 cm long on the whorl leaves). This pattern of tolerance to defoliation occurred with the plants of the two growing seasons. In the 1st season, the grain damage curve was steeper (7.3%) than the silage curve (4.5%), but in the 2nd season the curve slopes for grains and silage with similar (6.5 vs. 6.9%). For 1st season maize, the fall armyworm control cost corresponded to 4.3 and 2.0% of the production value in the scenario of medium and high investment to produce corn grains and 3.6 and 1.7% to produce silage. For the 2nd season, the cost corresponded to 3.6 and 1.7 (grain) and 1.4 and 1.0 (silage) for medium and high investment, respectively. The lowest EIL values for corn grain in the 1st season for medium and

high investment were 8.0 and 7.1, respectively; but for corn silage the values were 5.9 and 5.4, respectively. In the 2nd season, for corn grain production with high and medium investment, the EIL values were 6.1 and 5.5, and for silage, 5.8 and 5.5, respectively. These lower values were obtained in a scenario of two manual applications per hectare. Fixed ET values can be calculated as 75% of the EIL values. This research is pioneer in providing realistic EIL information for maize grain and silage production, and they can be used by maize growers and other agents worldwide. Collectively, the results show that the situation of lowest EIL values for fall armyworm occurs when 100% of the maize plants present injury of score 4 on the Davis scale (EIL = 4). The current ET value at 20% of plants with defoliation score of 3 is, at least, five times lower than the EIL value, thus being quite conservative as the action threshold for fall armyworm in maize.

Keywords: Fall armyworm. *Zea mays*. Tolerance. Injury. Davis leaf damage rating scale. Control decision-making index.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO 1. Determinando a relação da injúria foliar de <i>Spodoptera frugiperda</i> com a produtividade de milho para silagem e grãos	22
Resumo.....	22
Abstract.....	24
1.1. INTRODUÇÃO.....	26
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	29
1.2.1. Locais, condições dos cultivos e coleta dos dados	29
1.2.2. Análises dos dados para obter curvas de produtividade em função da intensidade da injúria foliar	30
1.3. RESULTADOS	32
1.4. DISCUSSÃO.....	34
1.5. CONCLUSÃO	36
1.6. REFERÊNCIAS	37
1.7. TABELAS & FIGURAS	42
CAPÍTULO 2. Níveis de dano econômico para <i>Spodoptera frugiperda</i> em milho grão e silagem com diferentes níveis de investimento	50
Resumo.....	50
Abstract.....	52
2.1. INTRODUÇÃO.....	54
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	57
2.2.1. Custos de controle	57
2.2.2. Níveis de dano econômico.....	57
2.2.2.1. Primeira Safra	57
2.2.2.2. Segunda Safra.....	59
2.3. RESULTADOS	61
2.4. DISCUSSÃO.....	63
2.5. CONCLUSÃO	67
2.6. REFERÊNCIAS	68
2.7. TABELAS E FIGURAS	72
CONSIDERAÇÕES FINAIS	78

INTRODUÇÃO GERAL

Programas de manejo integrado de pragas (MIP), utilizam métodos de controle baseados em parâmetros técnicos, econômicos, ecológicos e sociológicos, objetivando preservar ou incrementar os fatores de mortalidade natural das pragas (Pedigo & Rice 2009). Na agricultura, esses programas são geralmente compostos por quatro elementos, incluindo avaliação do agroecossistema (ou diagnose), tomada de decisão, estratégias, e táticas de manejo (Pedigo & Rice 2009). Para adequada avaliação do agroecossistema e tomada de decisão, é preciso entendimento da dinâmica populacional de insetos fitófagos e o impacto da injúria deles nas plantas cultivadas. Influenciam nesta dinâmica e relação elementos e condições climáticas, interações ecológicas e características da planta hospedeira (Power 1992, Stout 2013a, da Silva et al. 2017).

A planta hospedeira pode apresentar barreiras ao ataque de um inseto fitófago diretamente por fitoquímicos de defesa, qualidade nutricional ou características morfológicas ou da arquitetura vegetal (Power 1992, Krattiger 1996, Schoonhoven et al. 2005). O ataque do inseto fitófago influencia o desempenho da planta na medida em que a quantidade e qualidade da injúria causada afeta o rendimento da cultura (Pedigo & Rice 2009). A intensidade da injúria na planta ou de ataque do fitófago supostamente relaciona-se à sua intensidade ou nível de infestação no cultivo. O impacto (ou efeito) da injúria no desempenho da planta depende primariamente de suas características individuais e da condição ambiental que ocorre a interação com o fitófago (Stout 2013a, Peterson et al. 2017). Essas características e condições explicam porque a tolerância ao ataque fitófago pode variar com o genótipo da planta e com a situação. Assim, a resposta (impacto) no rendimento (desempenho) das plantas pode ser negativa, neutra ou até mesmo positiva por causa da capacidade de compensação ou até supercompensação, dependendo da intensidade de injúria (Higley & Pedigo 1996; Stout 2013a, b; Peterson et al. 2017).

A tomada de decisão de controle ou não da praga na situação do cultivo é outro importante componente do MIP (Higley & Pedigo 1996; Pinto et al. 2017). Os sistemas de tomada de decisão são compostos por um plano de amostragem convencional ou sequencial e índices de tomada de decisão (Pedigo & Rice 2009; Pinto et al. 2017;

Lima et al. 2018). Os planos de amostragem convencional são caracterizados por um número fixo de amostras e são utilizados para validar os planos de amostragem sequenciais de acordo com o nível de dano econômico (Bacci et al. 2008, Rosado et al. 2014). O nível de dano econômico é o limiar da intensidade de injúria ou do nível de infestação em que o custo de controle da praga se iguala ao valor da perda causada por aquela intensidade de ataque da praga. O mesmo é influenciado pelo custo de controle, rendimento da cultura, valor da produção e a susceptibilidade da cultura à injúria do inseto fitófago (Higley & Pedigo 1996). Outro importante índice é o nível de controle, que é a menor densidade populacional da praga (ou de intensidade de injúria) em que as medidas de controle devem ser adotadas para que se evite ultrapassar o nível de dano econômico no cultivo (Stern et al. 1959; Higley & Pedigo 1996).

O milho (*Zea mays* L. é uma das mais importantes plantas cultivadas. De origem nas Américas, ela está presente em quase todos os continentes e tem grande importância econômica, cultural e social (Day et al. 2017, FAO 2020). Isto é devido a sua utilização como fonte de energia para alimentação humana e produção de proteína animal (Loy & Lundy 2019). O maior produtor de milho do mundo é os Estados Unidos, seguido de China, Brasil e Argentina (FAO 2020). Atualmente, a produção anual de milho nos Estados Unidos é de aproximadamente 392 milhões de toneladas (USDA 2019). No Brasil, devido às características climáticas, ocorrem duas safras que totalizam uma produção anual de aproximadamente 123 milhões de toneladas de milho (USDA 2019, FAO 2020, CONAB 2023).

Um dos fatores de perda de produtividade de milho nesses países é o ataque de pragas. *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a lagarta do cartucho tem como plantas hospedeiras mais de 80 espécies em diferentes famílias botânicas (Montezano et al. 2018). Essa praga tem preferência para colonizar espécies gramíneas e, dentre essas, o milho (*Zea mays* L.), que parece ser bastante adequada como planta hospedeira (Sparks 1979). Historicamente, ela tem sido a praga mais importante na cultura do milho em regiões tropicais e subtropicais das Américas (Buntin 1986, Hardke et al. 2011) e mais recentemente invadiu muitos países na África, Ásia e até na Oceania (Day et al. 2017, Ma et al. 2019). Durante os seis instares da fase larval, o inseto pode se alimentar de várias partes da planta, dependendo do estágio fenológico do vegetal (Morrill & Greene 1973). Até o terceiro

instar as lagartas se alimentam das folhas superiores do dossel das plantas. A partir do quarto instar, as lagartas preferem alimentar nas áreas protegidas no cartucho, bainha das folhas, no interior do colmo da planta e na espiga, dependendo da disponibilidade desses órgãos. Esse comportamento se dá talvez pelas lagartas por serem fototáticas negativas nos estádios mais tardios (Morrill & Greene 1973). A lagarta do cartucho pode atuar como praga direta quando ataca a espiga durante a fase reprodutiva do milho. Embora predomine nos cultivos o ataque no cartucho das plantas, cada uma dessas injúrias afeta diferentes componentes de produção do milho. Assim, a resposta da planta e o potencial de perdas devem ser diferentes em cada uma dessas injúrias, o que influencia no nível de dano econômico (Higley & Pedigo 1996).

Quando a desfolha ocorre nos primeiros estádios de desenvolvimento da cultura (V0 a V4), as plantas podem se recuperar do ataque ao longo do seu desenvolvimento dependendo da intensidade do ataque (Luginbill 1928; Nel & Smit 1978; Buntin 1986) se a infestação advir de posturas das mariposas. Porém se a lagarta em instares mais avançados (4^o-6^o) atacar o tecido meristemático ou consumir parte do colmo, pode ocorrer a morte de plantas ou rompimento da translocação de seiva entre raiz e parte aérea. Consequentemente, esses tipos de injúrias podem reduzir o estande inicial ou comprometer o funcionamento fisiológico das plantas, pois mais de 90% do consumo de alimento dessas lagartas acontecem nesses instares mais avançados (Luginbill 1928, Martin et al. 1980, Buntin 1986). Quando o ataque ocorre nos estágios vegetativos mais avançados (e.g., V8, V12 e VT) ou nos estágios reprodutivos iniciais (e.g., R2), nesses a planta terá maior área foliar e poderá tolerar desfolha, mas pode ocorrer perda pelo estresse do ataque em estágios determinantes da produtividade (Francelli 1988).

Nos últimos anos, essa praga ganhou maior notoriedade por ter sua presença documentada no continente africano, de onde parece ter colonizado a Ásia, Austrália e até a Oceania (Goergen et al. 2016, Day et al. 2017, Jing et al. 2019). Muitos países africanos tem o milho como cultura de subsistência e essa praga tem sido considerada uma grande ameaça à segurança alimentar da porção Subsaariana da África (Day et al. 2017). Uma das alternativas para enfrentar o problema seria utilizar métodos de controle com base em programas de manejo integrado de pragas, que podem ser aplicados em cultivos de diferentes níveis de tecnificação (Thierfelder et al. 2018). A

seleção de cultivares mais tolerantes ao ataque da lagarta pode ser também uma estratégia a ser considerada, destacando a importância da busca por entendimento da relação entre injúria das lagartas e danos em plantas.

No final da década de 1970 e início da década de 1980, alguns autores estrangeiros sugeriram valores de nível de dano econômico variando entre 20 a 50% de plantas atacadas (Sarmiento & Cassanova 1975; Obando 1976; Young & Young 1998). Previamente no Brasil, Carvalho 1970 determinou que alta intensidade de injúria foliar nas plantas (cartucho destruído) pode causar de 15 a 35% de perda de produtividade. Entretanto, nesse trabalho não se investigou qual a porcentagem de plantas com aquele nível de injúria que justificaria o controle da praga em um dado cultivo, lote de plantas, ou talhão. Um valor de 2% de plantas atacadas foi o nível de dano econômico obtido para cultivo de milho irrigado (Hruska & Gladstone 1988). Esse valor foi devido ao alto valor dos insumos no período experimental, mas ao utilizar a média mundial dos valores dos insumos, o nível de dano econômico foi de 20% (Hruska & Gladstone 1988). Pereira & Hellman (1993) desenvolveram um nível de dano econômico em milho silagem utilizando diferentes níveis de infestação com lagartas de segundo instar infestadas manualmente. Além disso, (Cruz & Turpin 1982), ao testar níveis de infestação com massas de ovos, verificaram que quando 20% das plantas são infestadas com massas ovos é o suficiente para que as lagartas se dispersem para o restante das plantas das parcelas. Esses autores também relataram que a perda de produtividade (média) dessas plantas é a mesma de quando 100% das plantas são infestadas com lagartas. Tal perda variou de 15 a 30% em cultivo não irrigado e foi relatada alcançar 45% em cultivo irrigado (Obando 1976; Cruz & Turpin 1982).

Apesar de existir alguns trabalhos que determinam o nível de dano econômico e rendimento da cultura de milho sob diferentes níveis de infestação dessa praga, a maioria dessas informações foram geradas nos anos 1970-1990. Além disso, a grande maioria das pesquisas teve como foco a produção de milho grão e quase nunca a produção de silagem (Young & Gross 1875; Carvalho 1970). O número de novos genótipos de milho disponibilizados para plantio nos dias atuais é infinitamente maior do que naquela época. Além disso, a maior parte desses cultivares são variedades híbridas de alto desempenho, que podem ter tolerância ao ataque de pragas diferente dos cultivares daquela época. A melhora das condições dos cultivos a partir de 1970,

com um melhor fornecimento de nutrientes às plantas com *input* de corretivos e fertilizantes e uso de irrigação em alguns ambientes de cultivo, pode ter aumentado a capacidade das plantas de tolerar alguns estresses bióticos, tais como o ataque de alguns fitófagos como a lagarta do cartucho.

Plantas tolerantes a certas intensidades do ataque fitófago implica formato não-linear da curva de dano da praga na cultura (Peterson et al. 2017). A curva de dano retrata a relação entre injúria e produtividade. Essa relação afeta a determinação do nível de dano econômico por este depender da estimativa da equação que descreve a perda de rendimento em função da intensidade de ataque (Pedigo et al. 1986; Higley & Pedigo 1996; Pedigo & Rice 2009). O conhecimento da curva de dano das pragas permite saber quanto de injúria ou de ataque a planta tolera sem ocorrer dano considerável. Isso é imprescindível na busca pela sustentabilidade da agricultura e dos métodos de controle pragas. Informação criteriosa e atualizada sobre os índices de tomada de decisão é também crucial para uma eventual proposta de um moderno protocolo de amostragem da praga na cultura do milho (Higley & Pedigo 1996). Além disso, existem poucos trabalhos robustos que determinem o nível de dano econômico para milho grão e silagem e a estimativa da curva de dano em função da intensidade de injúria.

Assim, no primeiro capítulo desta tese, foi determinada a relação entre injúria foliar por *S. frugiperda* e a produtividade de milho visando obter estimativas realísticas da curva de dano. No segundo capítulo, determinou-se níveis de dano econômico de *S. frugiperda* como praga indireta para produtores que utilizem médio e alto grau de investimento na cultura para produção de milho grão. Os resultados deste trabalho representam um primeiro passo para se entender a relação injúria-dano dessa praga em cultivos de milho destinados à produção de grãos e silagem. As informações obtidas serão úteis em tomadas de decisão por agentes da cadeia produtiva de milho, inclusive para elaboração de protocolos e algoritmos de tomada de decisão úteis para produtores de diferentes realidades econômicas.

REFERÊNCIAS

- ANUALPEC. 2009.** ANUALPEC - Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo.
- Bacci, L., M. C. Picanço, M. F. Moura, A. A. Semeão, F. L. Fernandes, and E. G. F. Morais. 2008.** Sampling plan for Thrips (Thysanoptera: Thripidae) on Cucumber. *Crop Protection*. 37: 582–590.
- Berg, J., C. Britz, and H. du Plessis. 2021.** Maize yield response to chemical control of *Spodoptera frugiperda* at different plant growth stages in south africa †. *Agriculture (Switzerland)*. 11.
- Biomatrix. 2020.** Manejo Integrado de Pragas: Esclareça suas dúvidas e conheça os benefícios. Sementes Biomatrix. (<https://sementesbiomatrix.com.br/blog/fitossanitario/manejo-de-pragas/manejo-integrado-de-pragas/>).
- Boas. 2023.** Boas Praticas Agronômicas. Boas Praticas. (<https://boaspraticasagronomicas.com.br/quem-somos/>).
- Boiça Jr., A., J. C. Galli, S. A. Bortoli, and C. Rodrigues Jr. 2021.** Análise de danos produzidos por *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae) em cultivo de milho. *Rev. Agric.* 145–166.
- Britz, C. 2020.** Relationship between *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) damage and yield loss in maize.
- Buntin, D. G. 1986.** A Review of plant response to fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), Injury in Selected Field and Forage Crops. *The Florida Entomological society*. 69: 549–559.
- Carvalho, R. P. L. 1970.** Danos, flutuação da população, controle e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) e suscetibilidade de diferentes genótipos de milho, em condições de campo. 170.
- CONAB. 2023.** Acompanhamento da safra brasileira.
- Cruz, I., and F. T. Turpin. 1982.** Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estádios de crescimento da cultura do milho. *Pesqui Agropecu Bras.* 17: 355–359.

- Cruz, I., and F. T. Turpin. 1983.** Yield Impact of larval infestations of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to midwhorl growth stage of corn. *J Econ Entomol.* 76: 1052–1054.
- Davis, F., S., and W. Williams. 1992.** Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. Technical Bulletin-Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station. 186: 1–9.
- Day, R., P. Abrahams, M. Bateman, T. Beale, V. Clottey, M. Cock, Y. Colmenarez, N. Corniani, R. Early, J. Godwin, J. Gomez, P. G. Moreno, and S. T. Murphy. 2017.** Fall armyworm: impacts and implications for África. *Outlooks on pest management.* 28: 196–201.
- Earl, H. J., and R. F. Davis. 2003.** Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron J.* 95: 688–696.
- FAO. 2020.** Top 10 Country Production of Maize. Food and Agriculture Organization of the United States. (https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity).
- Forseed. 2016.** Boas Práticas Agronômicas. Forseed. (<https://www.forseedsementes.com.br/boas-praticas-agronomicas/monitoramento-de-pragas/>).
- Francelli, A. L. 1988.** Influência do desfolhamento de plantas e de sementes de milho (*Zea Mays* L.).
- Ghidiu, G. M., and G. E. Drake. 1989.** Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) Damage Relative to Infestation Level and Stage of Sweet Corn Development, *J Econ Entomol.*
- Goergen, G., P. L. Kumar, S. B. Sankung, A. Togola, and M. Tamò. 2016.** First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central África. *PLoS One.* 11: 1–9.
- Hardke, J. T., B. R. Leonard, F. Huang, and R. E. Jackson. 2011.** Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins q. *Crop Protection.* 30: 168–172.

- Hellwig, L., A. P. S. A. da Rosa, A. D. Grützmacher, P. M. dos Santos, C. de O. Trecha, L. B. Medina, and M. V. Fipke. 2016.** Avaliação de Dano de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em Plantas de Milho em Casa de Vegetação. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Clima Temperado Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Pelotas.
- Higley, L., and L. Pedigo. 1996.** Economic thresholds for integrated pest management. University of Nebraska Press, Lincoln, NE.
- Hruska, A. J. 2019.** Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources. 14.
- Hruska, A. J., and S. M. Gladstone. 1988.** Effect of Period and Level of Infestation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, on Irrigated Maize Yield. Fla Entomol. 71: 249.
- Hruska, A. J., and F. Gould. 1997.** Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): Impact of Larval Population Level and Temporal Occurrence on Maize Yield in Nicaragua. J Econ Entomol. 90: 611–622.
- IRAC Brasil. 2018.** Manejo da Resistência a Inseticidas e Plantas Bt.
- Jaramillo-Barrios, C. I., E. H. Varón-Devia, and B. Monje-Andrade. 2020.** Economic injury level and action thresholds for *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize crops. Rev Fac Nac Agron Medellin. 73: 9065–9076.
- Jing, D. P., J. F. Guo, Y. Y. Jiang, J. Z. Zhao, A. Sethi, K. L. He, and Z. Y. Wang. 2019.** Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in cornfields using molecular techniques. Insect Sci. 1–11.
- Kenward, M. G., and J. H. Roger. 1997.** Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood.
- Krattiger, A. F. 1996.** Insect Resistance in Crops: A case study of *Bacillus thuringiensis* (Bt) and its transfer to developing countries. ISAAA Briefs. 2: 42.
- Lima, C. H., R. A. Sarmiento, P. S. Pereira, A. V Ribeiro, D. J. Souza, and M. C. Picanço. 2018.** Economic injury levels and sequential sampling plans for control

decision-making systems of *Bemisia tabaci* biotype B adults in watermelon crops. Pest Manag Sci.

Loy, D. D., and E. L. Lundy. 2019. Nutritional properties and feeding value of Corn and Its coproducts, 3rd ed, Corn. Elsevier Inc.

Luginbill, P. 1928. The fall armyworm. USDA tech. 34: 92.

Ma, J., Y. P. Wang, M. F. Wu, B. Y. Gao, J. Liu, G. S. Lee, A. Otuka, and G. Hu. 2019. High risk of the fall armyworm invading Japan and the Korean Peninsula via overseas migration. Journal of Applied Entomology. 143: 911–920.

Martin, P. B., B. R. Wiseman, and R. E. Lynch. 1980. Action thresholds for fall armyworm on grain Sorghum and Coastal Bermudagrass. Florida Entomological Society. 63: 375–405.

Matthews, G. A. 2008. Attitudes and behaviours regarding use of crop protection products-A survey of more than 8500 smallholders in 26 countries. Crop Protection. 27: 834–846.

Montezano, D. G., A. Specht, D. R. Sosa-Gómez, V. F. Roque-Specht, J. C. Sousa-Silva, S. V. Paula-Moraes, J. A. Peterson, and T. E. Hunt. 2018. Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. African Entomology. 26: 286–300.

Morrill, W. L., and G. L. Greene. 1973a. Distribution of fall armyworm larvae. 2. Influence of biology and behavior of Larvae on selection of feeding sites. Environ Entomol. 2: 415–418.

Morrill, W. L., and G. L. Greene. 1973b. Distribution of fall armyworm larvae 1. Regions of field corn plants infested by larvae. Environ Entomol. 2: 195–198.

Nakano, O. 2011. Entomologia Econômica, 1^a. ed. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Nel, P. C., and N. S. H. Smit. 1978. Growth and development stages in the growing maize plant. Farming in South Africa.

Obando, R. 1976. Cogollero: umbrales permisibles de dano foliar en maiz. XXII Reunion Anual del PCCMCA, San Jose.

- Ostliei, K. R., and L. P. Pedigo. 1985.** Soybean response to simulated green cloverworm (Lepidoptera: Noctuidae) defoliation: Progress toward determining comprehensive economic injury levels. *J. Econ. Entomol.* 78: 437–444.
- Overton, K., J. L. Maino, R. Day, P. A. Umina, B. Bett, D. Carnovale, S. Ekesi, R. Meagher, and O. L. Reynolds. 2021.** Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Protection.* 145: 105641.
- Pedigo, L. P., L. G. Higley, and P. M. Davis. 1989.** Concepts and advances in economic thresholds for soybean entomology. *In* Pascale, A.J. (ed.), *Proc. World Soybean Res. Conf. IV. Vol 3.* Buenos Aires.
- Pedigo, L. P., S. H. Hutchins, and L. G. Higley. 1986.** Economic Injury Levels in Theory and Practice. *Annu Rev Entomol.* 31: 341–368.
- Pedigo, L. P., and M. E. Rice. 2009.** *Entomology and pest management*, 6th ed. Upper Saddle River, Pearson Prentice Hall, Nova Jersey.
- Pereira, C. J., and L. J. Hellman. 1993.** Economic Injury Levels for *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Silage Corn in Maryland. *J Econ Entomol.* 86: 1266–1270.
- Peterson, R. K. D., A. C. Varella, and L. G. Higley. 2017.** Tolerance: The forgotten child of plant resistance. *PeerJ.* 2017: e3934.
- Pinto, C. B., R. A. Sarmiento, P. S. Pereira, B. G. Barbosa, C. Henrique, O. Lima, N. Rodrigues, M. C. Picanc, A. Peter, and H. Rolfs. 2017.** Sampling and biostatistics standardized sampling plan for the Thrips *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) on watermelon crops. *Journal of Economic Entomology.* 110: 748–754.
- Power, M. E. 1992.** Top-Down and Bottom-Up Forces in Food Webs: Do Plants Have Primacy. *ESA -The Ecological Society of America.* 73: 733–746.
- Rosado, J. F., R. A. Sarmiento, and M. C. Picanc. 2014.** Sampling plans for pest mites on physic nut. 521–534.
- Rudnick, D., S. Irmak, C. Ray, J. Schneekloth, M. Schipanski, I. Kisekka, A. Schlegel, J. Aguilar, D. Rogers, D. Mitchell, C. West, T. Marek, Q. Xue, W. Xu,**

- and D. Porter. 2017.** Deficit irrigation management of corn in the right plains: A Review, Available from CPIA. Burlington.
- Santos-Amaya, O. F., J. V. C. Rodrigues, T. C. Souza, C. S. Tavares, S. O. Campos, R. N. C. Guedes, and E. J. G. Pereira. 2015.** Resistance to dual-gene Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Selection, inheritance, and cross-resistance to other transgenic events. *Sci Rep.* 5.
- Santos-Amaya, O. F., C. S. Tavares, J. V. C. Rodrigues, T. C. Souza, N. Rodrigues-Silva, R. N. C. Guedes, A. P. Alves, and E. J. G. Pereira. 2017.** Magnitude and Allele Frequency of Cry1F Resistance in Field Populations of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *J Econ Entomol.* 110.
- Sarmiento, J., and J. Cassanova. 1975.** Busqueda de limites de aplicaion en el control del “cogollero” de maiz. *Spodoptera frugiperda* S & A. *Revista Peruana de Entomologia.* 18: 104–107.
- Schoonhoven, L. M., J. J. A. Van loon, and M. Dicke. 2005.** *Insect-Plant Biology.*
- Sheaffer, C. C., J. L. Halgerson, and H. G. Jung. 2006.** Hybrid and N fertilization affect corn silage yield and quality. *J Agron Crop Sci.* 192: 278–283.
- da Silva, É. M., R. S. da Silva, N. Rodrigues-Silva, C. do C. Milagres, L. Bacci, and M. C. Picanço. 2017.** Assessment of the natural control of *Neoleucinodes elegantalis* in tomato cultivation using ecological life tables. *Biocontrol Sci Technol.* 27: 525–538.
- Silvestre, A. M., and D. D. Millen. 2021.** The 2019 brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. *Revista Brasileira de Zootecnia.* 50: 1–25.
- Sparks, A. N. 1979.** A review of the biology of the fall armyworm. *Fla Entomol.* 62: 82–87.
- Stern, V. M., R. F. Smith, R. Van den Bosch, and K. S. Hagen. 1959.** The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: The integrated control concep. *The integrated control concept.* 29: 81–101.
- Stout, M. J. 2013a.** *The Study of Herbivory and Plant Resistance in Natural and Agricultural Ecosystems.*

- Stout, M. J. 2013b.** Reevaluating the conceptual framework for applied research on host-plant resistance. *Insect Sci.* 20: 263–272.
- Tammes, P. M. L. 1961.** Studies of yield losses II. Injury as a limiting factor of yield. *Tijdschr Planteziekten.* 67: 257–263.
- Thierfelder, C., S. Niassy, C. Midega, S. Sevgan, J. van der Berg, B. M. Prasanna, F. Baudron, and R. Harrison. 2018.** Low-cost Agronomic practices and Landscape management approaches to control FAW, pp. 89–96. *In* Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management.
- USDA. 2019.** Crop Production 2018 Summary. Washington, D.C.
- Willink, E., V. M. Osores, and M. A. Costilla. 1993.** Naños, perdidas y niveles de daño económico por *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán.* 70: 49–52.
- Wiseman, B. R., R. H. Painter, and C. E. Wasson. 1966.** Detecting corn seedling differences in the greenhouse by visual classification of damage by the fall armyworm. *Journal of Economic Entomology.* 59: 1211–1214.
- Young, J. R., and H. R. Gross. 1975.** Insect control in summer planted sweet and field corn in South Georgia., p. 3. *In* Meeting of the Entomological Society of America. New Orleans.
- Young, L. J., and J. H. Young. 1998.** Statistical Ecology: a Population Perspective. Kluwer Academic, Boston.
- Yu, S. J. 1991.** Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)', *Pestic Biochem Physiol.*

CAPÍTULO 1. Determinando a relação da injúria foliar de *Spodoptera frugiperda* com a produtividade de milho para silagem e grãos

Resumo

A lagarta do cartucho do milho, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), é considerada uma praga altamente destrutiva em cultivos de milho, porém se desconhece a relação da intensidade da sua injúria foliar no cartucho das plantas com a produtividade de milho nos cultivos. Neste trabalho, foram determinadas curvas de dano para a injúria foliar de *S. frugiperda* em diferentes condições representativas de cultivo de milho para grão e silagem. Em cultivos comerciais de milho da safra 2020/21 (outubro–fevereiro, 1ª safra) e 2021/2022 (março–julho, 2ª safra), rotularam-se plantas com diferentes intensidades de injúria foliar usando a escala Davis e contabilizou-se a produção individual de cada planta na colheita de silagem ou grãos. Na análise de variância, houve interação significativa, indicando que a relação da injúria com a produtividade foi condicionada pela safra e cultivo dentro desta. Na análise de regressão para cada safra e finalidade da produção (grãos ou silagem), equações do modelo logístico de três parâmetros descreveram adequadamente esses dados de produtividade em função da intensidade de injúria foliar da lagarta do cartucho. A máxima perda de produtividade foi 20-30% na maior intensidade de injúria (valor 9 na escala Davis, plantas com o cartucho destruído). As plantas não tiveram redução na produtividade quando submetidas a baixas intensidades da desfolha pela lagarta do cartucho (valores 1–5 na escala Davis, i.e., até várias lesões com mais de 2,5 cm de comprimento nas folhas do cartucho). Esse padrão de tolerância à desfolha ocorreu nas plantas das duas épocas de cultivo. Na 1ª safra, a curva de dano de grãos foi mais inclinada (7,3%) do que a de silagem (4,5%), mas na 2ª safra declividade das curvas para grãos e silagem com semelhante (6,5 vs. 6,9%). Esses resultados avançam o conhecimento da relação entre injúria foliar e produtividade vegetal, fornecendo informações fundamentais para determinar níveis de dano econômico e outras ferramentas de tomadas de decisão para manejo racional e sustentável de *S. frugiperda* em milho.

Palavras-chave: Lagarta do cartucho. *Zea mays*. Tolerância. Injúria. Bioeconomia no manejo de pragas.

Abstract

Assessing the relationship between leaf injury by *Spodoptera frugiperda* and corn yield loss for silage and grains

The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) is considered highly destructive in maize crops, but the relationship between the intensity of its defoliation of whorl leaves and the corn yield in field conditions is unknown. In this chapter, damage curves were determined for leaf injury of *S. frugiperda* under representative conditions of maize cultivation for grain and silage. In commercial maize fields in the growing seasons of 2020/21 (October–February, 1st season) and 2021/2022 (March–July, 2nd season), plants with different intensities of defoliation by fall armyworms were labeled using Davis' visual rating scale, and the individual yield of each plant for silage or grain was recorded. In the analysis of variance, the relationship between leaf injury and yield was conditioned by the season and field within it. In the regression analysis for each crop and purpose of production (grains or silage), equations of the logistic model adequately described the yield data as a function of the intensity of leaf injury by fall armyworms. The greatest yield loss was 20-30% at the highest injury intensity (value 9 on the Davis scale, i.e., plants with destroyed whorls). The plants had no yield reduction when subjected to low defoliation intensities by the fall armyworm larvae (values 1–5 on the Davis scale, i.e., up to several lesions more than 2.5 cm long on the whorl leaves). This pattern of tolerance to defoliation occurred with the plants of the two growing seasons. In the 1st season, the grain damage curve was steeper (7.3%) than the silage curve (4.5%), but in the 2nd season the curve slopes for grains and silage with similar (6.5 vs. 6.9%). These results advance our knowledge of the relationship between leaf injury and plant yield, providing fundamental information for levels of economic damage and other decision-making tools for rational and sustainable management of fall armyworm in maize.

Keywords: Fall armyworm. *Zea mays*. Tolerance. Injury. Bioeconomics in pest management.

1.1. INTRODUÇÃO

Programas de manejo integrado de pragas (MIP) são geralmente compostos por quatro componentes com funções distintas no sistema, incluindo avaliação do agroecossistema (diagnose), tomada de decisão, estratégias, e táticas de manejo (Pedigo & Rice 2009). A tomada de decisão de controle ou não da praga na situação do cultivo é um importante componente do MIP (Higley & Pedigo 1996, Pinto et al. 2017). Os sistemas de tomada de decisão são compostos por um plano de amostragem convencional ou sequencial e índices de tomada de decisão (Pedigo & Rice 2009, Pinto et al. 2017, Lima et al. 2018). O nível de dano econômico (NDE) e nível de controle (NC) são importantes índices de tomada de decisão. O NDE é o limiar de intensidade de injúria ou ataque da praga em que o custo de controle da praga se iguala ao valor da perda causada por aquela intensidade de infestação da praga. A menor intensidade de ataque da praga em que as medidas de controle devem ser adotadas para que se evite ultrapassar o nível de dano econômico no cultivo define o NC (Stern et al. 1959, Pedigo et al. 1986). O mesmo é influenciado pelo custo de controle, rendimento da cultura, valor da produção e a susceptibilidade da cultura à injúria do inseto fitófago (Higley & Pedigo 1996).

Para mensurar esses índices é preciso conhecer a relação injúria-rendimento no ataque da praga à planta hospedeira (Pedigo et al. 1986, Higley & Pedigo 1996). Essa relação foi descrita por Tammes 1961, porém somente após mais de duas décadas foram descritas as partes dessa curva geral de dano (Pedigo et al. 1986). Nela podem existir sete porções ou fases denominadas: tolerância, supercompensação, limite do dano, compensação, linearidade, dessensibilização e impunidade inerente. Na fase de tolerância não ocorre dano por unidade de injúria. A segunda porção é a supercompensação, em que a planta é estimulada por estresse quando submetida a baixa intensidade de injúria, aumentando o rendimento da cultura (dano negativo). A Compensação, é onde ocorre o aumento do dano por unidade de injúria chegando a fase de linearidade, onde o dano por unidade de injúria é máximo. Nas porções finais da curva, inicialmente ocorre uma redução no dano por unidade da injúria (dessensibilização) chegando a dano zero quando o aumento da intensidade de ataque não tem efeito na perda da cultura, mas o rendimento da cultura com dano é

menor do que sem danos (impunidade Inerente) (Pedigo et al. 1986, Pedigo & Rice 2009, Peterson et al. 2017).

Os principais fatores que influenciam a resposta da planta à injúria são: tempo de injúria, parte da planta atacada, tipo de injúria e sua intensidade. Tempo da injúria é o estágio fenológico da planta sob ataque, parte da planta atacada define se a injúria é direta (ataque na parte comercial da cultura ou seu componente da produtividade) ou indireta (ataque em parte não-comercial, não diretamente um componente da produtividade), tipo de injúria diz respeito a natureza da lesão e por fim o principal fator que é a intensidade da injúria (Pedigo & Rice 2009). Além desses fatores, o ambiente pode condicionar como a planta responde a injúria. Por exemplo, o nível de fertilidade do solo e de disponibilidade hídrica podem afetar a resposta da planta, podendo ela variar entre estações do ano e locais de cultivo (Ostliei and Pedigo 1985, Sheaffer et al. 2006, Pedigo & Rice 2009, Rudnick et al. 2017)

O milho (*Zea mays* L.) é uma das mais importantes plantas cultivadas. De origem nas Américas, a planta é cultivada em quase todos os continentes. A cultura tem grande importância econômica, cultural e social, principalmente pela sua utilização como fonte de energia para alimentação humana e produção de proteína animal. (ANUALPEC 2009, Day et al. 2017, Loy & Lundy 2019, FAO 2020, Silvestre & Millen 2021). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, devido às características climáticas, ocorrem duas safras que totalizam uma produção anual de aproximadamente 123 milhões de toneladas (USDA 2019, CONAB 2023). Obtida em uma área de 22 milhões de hectares, essa produção, segundo dados apresentados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) no Fórum Nacional de Milho no Expodireto Cotrijal em 2013, 15% do milho cultivado no país é destinado para a produção de silagem, um alimento de alto valor nutritivo para a bovinocultura no país(USDA 2019, FAO 2020).

Um dos principais fatores de perdas dessa cultura é resultante do ataque de pragas. Conhecida popularmente como lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) é uma importante praga dos principais *commodities* produzidos no mundo. Apesar de ter como planta hospedeira várias espécies em diferentes famílias botânicas, seu hospedeiro preferencial é a planta de milho (*Zea mays* L.) (Sparks 1979, Montezano et al. 2018). Durante o estágio larval esse inseto se alimenta de várias partes da planta em diferentes estágios fenológicos do vegetal

(Morrill & Greene 1973, Goergen et al. 2016). A partir do quarto instar as lagartas preferem alimentar de áreas protegidas da planta como cartucho, bainha das folhas, colmo e órgãos reprodutivos (Morrill & Greene 1973).

No final da década de 1970 e início da década de 1980, alguns autores sugeriram valores de nível de dano econômico em percentual de plantas infestadas a partir da relação entre a perda de rendimento em função do nível de infestação (Wiseman et al. 1966, Sarmiento & Cassanova 1975, Young & Gross 1975, Obando 1976). Wiseman et al. (1966) desenvolveu uma escala de dano visual de 0 a 10, baseado em intensidade de injúria para avaliar resistência de linhagens de milho a *S. frugiperda*. Posteriormente no Brasil, Carvalho (1970) destacou que uma escala visual com um menor número de notas (0 a 5) é mais prática para fins de manejo de pragas. Davis et al. (1992) testou uma escala visual de notas de 0 a 9 quanto a sua adequabilidade para avaliar a intensidade de injúria foliar. Apesar de ter sido criada para avaliar resistência de genótipos de milho a mesma é bastante difundida e às vezes utilizada para tomada de decisão nos ambientes de cultivo.

Apesar de ser utilizada para essa finalidade, se desconhece trabalho robusto que valide a utilização da escala Davis para esse fim. O número de novos genótipos de milho, a maior parte deles variedades híbridas de alto desempenho, podem ser mais ou menos tolerantes ao ataque de *S. frugiperda* do que os cultivares avaliados na época de sua criação. Além disso, as condições dos cultivos de milho no Brasil melhoraram desde de 1970, com melhor fornecimento de nutrientes às plantas. Em alguns casos há até mesmo irrigação, o que deve oferecer melhor disponibilidade hídrica e pode ter aumentado a capacidade das plantas de tolerar alguns estresses bióticos. Entre esses estão o ataque de alguns fitófagos como a lagarta do cartucho (Sheaffer et al. 2006, Rudnick et al. 2017). Como o nível de tolerância ao ataque de pragas influencia a curva de dano, a sua estimativa nas condições atuais é crucial para determinar nível de dano econômico dessa praga no cultivo de milho grão para diferentes finalidades. Assim, o objetivo desse trabalho é determinar a relação entre injúria e danos de *S. frugiperda* na cultura milho para silagem e grãos.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Locais, condições dos cultivos e coleta dos dados

Ensaio de campo foram realizados em cinco cultivos comerciais de milho de produtores rurais parceiros da Universidade Federal de Viçosa e Embrapa Milho e Sorgo. Os cultivos ocorreram nas safras 2020/21 e (outubro–fevereiro) 2021/2022 (março-julho) em Cajuri, Viçosa, Sete Lagoas e Inhaúma, MG. Para obtenção de plantas de milho com injúria de *S. frugiperda*, somente híbridos de milho não-Bt ou Bt Cry1A.105+Cry2Ab (com as transgenias VTPRO, VTPRO2 ou VTPRO3) foram utilizados. Essas toxinas Bt conferem nas plantas apenas resistência parcial à lagarta do cartucho, dado a sua suscetibilidade reduzida às toxinas Bt da classe Cry1 e Cry2 (Santos-Amaya et al. 2015, 2017). Os cultivos foram divididos em talhões ou lotes nos quais havia homogeneidade das plantas. Uma série de linhas (transectos lineares) foram selecionadas, demarcadas com estacas e identificadas as plantas por classe de injúria da escala Davis com pequenas modificações (Tabela 2). Para isso, utilizou-se fitas coloridas de tecido não tecido de fibra sintética durável para cada classe de injúria (Figura 1). Essa demarcação da área e etiquetagem das plantas é necessária para permitir a localização das plantas na futura colheita.

Em Cajuri, foram conduzidos dois ensaios em cultivos de milho silagem. Um deles foi instalado em um cultivo de milho com o híbrido não-Bt RB 9006RR. Um segundo ensaio ocorreu em cultivo de milho com o híbrido Bt BM3063PRO2. Nos cultivos, foram identificadas 90 plantas por classe de injúria da escala Davis com pequenas modificações (Tabela 2 e Figura 1). As plantas estavam em estágio fenológico V6 em um dos cultivos e em V8 noutro, representando plantas de estágios medianos de crescimento do milho, entre V5 e V9. Em Sete Lagoas foram etiquetadas 30 plantas para cada classe de injúria do híbrido de milho grão, não-Bt P4285R cultivado no campo experimental na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG (Tabela 2 e Figura 1). Na safra 2021/22 (segunda Safra), em um cultivo no município em Viçosa, utilizou-se o híbrido de milho Bt para silagem BM3063PRO3 (Cry1A.105+Cry2Ab+Cry3Bb). Em Inhaúma, foi cultivado o híbrido P3889 de milho não-Bt para silagem. Foram etiquetadas 40 plantas por classe de injúria no estágio

vegetativo (V8-V9) e reprodutivo (R1-R2) para Inhaúma e Viçosa, respectivamente (Tabela 2 e Figura 1). Os tratos culturais, espaçamento, estande inicial foram estabelecidos e realizados pelos produtores de cada área de cultivo (Tabela 1).

A colheita para milho silagem ocorreu no estágio adequado, quando linha do leite alcança 1/3 do comprimento do grão. Cada planta foi cortada a 15 cm do solo e com a espiga foi imediatamente pesada em balança eletrônica. O valor obtido corresponde à massa fresca de silagem por planta. Na colheita do milho grão, as espigas foram coletadas das plantas de acordo com o valor da classe de injúria e levadas para o laboratório, procedendo-se com a pesagem após a debulha dos grãos. A umidade deles foi corrigida para 13%.

1.2.2. Análises dos dados para obter curvas de produtividade em função da intensidade da injúria foliar

Obtidos as massas de plantas, espigas e grãos obtidos no final de cada cultivo, calculou-se a produtividade de cada planta para milho grão e milho silagem. Para o cálculo da porcentagem de produtividade para cada planta utilizou-se a seguinte equação:

$$(1) \quad P_i = 100 \times (W_i / W_0)$$

onde P_i é a produtividade da planta (%), W_i é o peso por planta ou de grão e o W_0 é a média do peso da planta ou de grãos para as plantas com notas 0 da escala Davis.

Os dados de intensidade de injúria foliar pela lagarta do cartucho e peso da massa verde de cada planta e das espigas produzidas foram utilizados para estimativas da curva de dano. Inicialmente os dados foram analisados utilizando modelo linear com os seguintes fatores de efeito fixo: cultivo de milho (em quatro localidades, Cajuri, Inhaúma, Sete Lagoas e Viçosa), intensidade da injúria foliar (notas de 0 a 9) e sua interação com as condições dos cultivos. Esses locais podem afetar a resposta das plantas devido aos cultivares, as condições meteorológicas e às populações da lagarta do cartucho. Os fatores aleatórios no modelo foram talhões dentro de cultivo e bloco (ou transecto) dentro de cada talhão. Optou-se por usar a

correção de Kenward & Roger (1997) dado que o número de plantas amostradas não foi constante nos cultivos. Devido à significância da interação da injúria com o cultivo ($P < 0,05$), para cada um deles realizou-se regressão não-linear em função dos valores das classes de injúrias da Tabela 1. O modelo de regressão foi selecionado com base em sua significância ($P < 0,05$), coeficiente de determinação (maior R^2) e parcimônia, que visa explicar os dados com mínimo de parâmetros na equação da regressão. De maneira semelhante, realizou-se também regressão não-linear com a porcentagem de rendimento ou produtividade em função dos valores das classes de injúrias.

1.3. RESULTADOS

Nesta pesquisa, mais de 1420 amostras de plantas foram rotuladas, colhidas e processadas, utilizando-se 1207 (milho silagem) e 1371 (milho grão) observações nas análises. A representação gráfica dos dados de produtividade das plantas mostra que os erros desses dados ajustaram a probabilidade normal, seja para milho silagem ou grão (Figura 1.2A e B). Os resíduos apresentaram distribuição bastante simétrica, sem dados discrepantes, que se existissem, poderiam afetar a posição das médias (observe os gráficos de dispersão, histogramas e diagramas de caixa).

Seja a produtividade de silagem ou de grãos, ambas variáveis indicaram ser significativo ($P < 0.05$) o efeito da intensidade da injúria foliar pela lagarta do cartucho e da safra de cultivo na produtividade de milho (Tabela 1.3). Também houve significativa interação da intensidade da injúria foliar com o cultivo do milho dentro de safra ($P < 0,05$) (Tabela 1.3). Isso indica que a relação da desfolha pela lagarta do cartucho com a produtividade da planta foi condicionada pela safra e cultivo dentro desta. Portanto, prosseguiu-se com o desdobramento para cada um dos cultivos dentro da primeira e segunda safra (Figura 1.3A, B). Nos diagramas de caixa pode-se visualizar a variação dos dados observados em cada safra, cultivo e grau de injúria da lagarta do cartucho. Houve alguns dados indicados como discrepantes no gráfico, principalmente na massa de espiga e grãos (Figura 1.3 B). Para confirmar, verificou-se o conjunto de dados nas planilhas eletrônicas e de campo, eliminando aqueles muito discrepantes que possivelmente eram engano de anotação ou tabulação.

Para melhor visualizar as tendências, na Figura 1.4 confeccionaram-se gráficos de dispersão mostrando as médias apuradas dos valores absolutos de produtividade em função dos valores da intensidade de injúria foliares descritos na Tabela 1.2 (visualizados na Figura 1.1). Houve queda mais acentuada na produtividade da planta somente em intensidades mais altas de injúria, tipicamente uma resposta de tolerância. Em geral, esse padrão observado foi consistente nos cultivos e safras estudadas (Figura 1.4A–D), suportando com solidez a resposta de tolerância das plantas de milho à desfolha pela lagarta do cartucho. Em alguns cultivos, por exemplo, naqueles em Cajuri e Viçosa, a resposta das plantas parece até mesmo ter sido de supercompensação (Figura 1.4A–D), ocorrendo ligeiro aumento no desempenho

produtivo em níveis intermediários de injúria foliar. Mesmo com essa pequena variação entre cultivos e safras ocorrida na resposta das plantas, o padrão geral observado indica alta tolerância da planta de milho à desfolha pela lagarta do cartucho. Essa tolerância ocorreu com a desfolha em fases fenológicas intermediárias (V6-12, cultivos de Cajuri, Inhaúma e Viçosa) e fases mais tardias (VT, R2, Sete Lagoas). Nota-se que as plantas nos cultivos avaliados tiveram bom desempenho na produção de silagem (Figura 1.4A–C, cerca de 900-1200 g/planta, que equivale a 60-80 ton./ha, em stand de 67 mil plantas por hectare). Para o cultivo de Sete Lagoas (Figura 1.4B), os valores são de grãos a 13% de umidade, portanto a média de 200-250 g/planta corresponde a 12–15 ton./ha, supondo *stand* de 50–60 mil plantas/ha. Isso indica que os cultivos estudados foram de desempenho representativo a muitos no Brasil e no mundo e os resultados obtidos devem condizer com a realidade.

Ao realizar regressão não-linear da porcentagem do desempenho produtivo (percentual de rendimento ou produtividade) em função da intensidade de injúria, observa-se que os resultados foram descritos satisfatoriamente por modelos logísticos ($P < 0,05$, Figura 1.5A–D). As plantas com máxima intensidade de injúria foliar pela lagarta do cartucho tiveram perda de rendimento de 10%, na 1ª safra, e 16–33% na 2ª safra (Figura 1.5A–D) nas plantas com a máxima intensidade de injúria foliar pela lagarta do cartucho. Para a 1ª safra, o modelo logístico ajustou-se satisfatoriamente e com coeficientes de determinação (R^2) de 0,66 e 0,77 para milho grão e silagem, respectivamente (Figura 1.5A, B). Esse parâmetro teve respectivos valores de 0,85 e 0,70 para a 2ª safra (Figura 1.5A, B).

As equações de regressão mostram que a curva de dano de grãos foi um pouco mais inclinada (7,3%) do que de silagem (4,5%) na 1ª safra, mas elas apresentaram declividades mais similares (6,5–7%) na 2ª safra (Figura 1.5A–D). Uma taxa considerável de dano passou a ocorrer a partir da intensidade da injúria foliar de valor 7 (muitas lesões alongadas e vários furos grandes nas folhas) e 5 (várias lesões com mais de 2,5 cm de comprimento) na escala Davis, para grãos e silagem, respectivamente. Resultado semelhante foi observado na 2ª safra (Figura 1.5C, D), com dano considerável na quantidade de silagem somente a partir da intensidade de valor 5 ou 6 da injúria foliar (várias lesões com mais de 2,5 cm de comprimento).

1.4. DISCUSSÃO

Neste trabalho explorou-se a ideia de que a injúria foliar de *S. frugiperda* nem sempre se converte em perda de rendimento na produção de milho. Pesquisas anteriores obtiveram que as lagartas de *S. frugiperda* podem reduzir até 34% da produção de milho (Carvalho 1970) ou até mais (Ghidu & Drake 1989, Hruska & Gould 1997). Há também dados que indicam que o dano das lagartas varia com o estágio fenológico que a injúria ocorre (Cruz & Turpin 1982, Willink et al. 1993, Boiça Jr. et al. 2021), sendo as plantas nos estágios iniciais de crescimento mais tolerantes da injúria foliar (Hruska & Gladstone 1988, Hruska & Gould 1997, Hruska 2019). A relação da intensidade de infestação de *S. frugiperda* (porcentagem de plantas atacadas) com a produtividade de milho foi estudada em dois experimentos realizados em 1978 e 1979, em Indiana nos EUA, propondo-se a partir deles o nível de controle de 20% de plantas atacadas (Cruz & Turpin 1983), nível que por muito tempo tem sido utilizado no Brasil. Para fins de manejo de resistência às tecnologias transgênicas a base de *Bacillus thuringiensis*, partir da década de 2010 o Comitê Brasileiro de Ação à Resistência a Inseticidas propôs o uso do nível de controle de 4% de plantas com nota Davis ≥ 3 de injúria foliar por *S. frugiperda* (Davis et al. 1992, IRAC Brasil 2018). Mais recentemente, um estudo em casa de vegetação indicou que o dano das lagartas nas plantas é variável e pode ser menor que o percebido anteriormente (Hellwig, Rosa, et al. 2016). Esses indícios parecem consistentes com dados de estudos mais recentes e levantados em revisão da literatura (Jaramillo-Barrios et al. 2020, Berg et al. 2021, Overton et al. 2021).

Os resultados do presente estudo indicam que as plantas de milho cultivadas na primavera-verão ou outono-inverno são bastante tolerantes à injúria foliar das lagartas de *S. frugiperda*. A intensidade da injúria foliar em que se iniciou a perda de produtividade considerável ocorreu na nota 5 (várias lesões com mais de 2,5 cm de comprimento). Coletivamente, esses resultados indicam que as plantas de milho toleram considerável injúria foliar pela lagarta do cartucho, com maior limiar de injúria e menor inclinação da curva de dano (Pedigo et al. 1986, Peterson et al. 2017). para produção de silagem do que de grãos, principalmente na 1ª safra. A relação injúria-produtividade é geralmente condicionada pelo estágio de desenvolvimento das

plantas e às condições ambientais de estresse a que elas são expostas no cultivo (Pedigo et al. 1986, Peterson et al. 2017). É prudente, portanto, obter mais dados que ampliem o escopo de aplicação da(s) curva(s) de dano das lagartas aos cultivos de milho colonizados por *S. frugiperda*. Os resultados deste trabalho representam um avanço no conhecimento da bioeconomia subjacente à tomada de decisão no manejo de *S. frugiperda* em milho, sendo inéditos na literatura, até onde se sabe. Essas estimativas de curva(s) de dano para a relação injúria-dano em diferentes cenários de cultivo milho, que são representativos das diversas regiões e épocas de cultivos do Brasil, auxiliarão a determinar níveis de controle e outras tomadas de decisão para manejo mais racional e sustentável de *S. frugiperda*.

1.5. CONCLUSÃO

Equações do modelo logístico de três parâmetros descrevem satisfatoriamente os dados de produção de grãos e silagem em função da intensidade de injúria foliar por *S. frugiperda* ($P < 0,01$, $R^2 > 0,70$).

As plantas apresentam tolerância à injúria de desfolha pelas lagartas. A intensidade da injúria em que se inicia uma redução considerável de produtividade ocorre com injúria foliar de notas Davis 5 (várias lesões com mais de 2,5 cm de comprimento).

A curva de dano para grãos foi um pouco mais inclinada (7,3%) do que de silagem (4,5%) na 1ª safra (primavera–verão), mas elas apresentaram declividades mais similares (6,5–6,9%) na 2ª safra (outono–inverno).

1.6. REFERÊNCIAS

- ANUALPEC. 2009.** ANUALPEC - Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo.
- Berg, J., C. Britz, and H. du Plessis. 2021.** Maize yield response to chemical control of *Spodoptera frugiperda* at different plant growth stages in south africa †. Agriculture (Switzerland). 11.
- Boiça Jr., A., J. C. Galli, S. A. Bortoli, and C. Rodrigues Jr. 2021.** Análise de danos produzidos por *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae) em cultivo de milho. Rev. Agric. 145–166.
- Carvalho, R. P. L. 1970.** Danos, flutuação da população, controle e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) e suscetibilidade de diferentes genótipos de milho, em condições de campo. 170.
- CONAB. 2023.** Acompanhamento da safra brasileira.
- Cruz, I., and E. Turpin. 1982.** Efeito da *spodoptera frugiperda* em diferentes estádios de crescimento da cultura do milho. Pesqui Agropecu Bras. 17: 355–359.
- Cruz, I., and F. T. Turpin. 1983.** Yield Impact of larval infestations of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to midwhorl growth stage of corn. J Econ Entomol. 76: 1052–1054.
- Davis, F., S. Ng, and W. Williams. 1992.** Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. Technical Bulletin-Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station. 186: 1–9.
- Day, R., P. Abrahams, M. Bateman, T. Beale, V. Clottey, M. Cock, Y. Colmenarez, N. Corniani, R. Early, J. Godwin, J. Gomez, P. G. Moreno, and S. T. Murphy. 2017.** Fall armyworm: impacts and implications for África. Outlooks on pest management. 28: 196–201.
- FAO. 2020.** Top 10 Country Production of Maize. Food and Agriculture Organization of the United States. (https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity).

- Ghidiu, G. M., and G. E. Drake. 1989.** Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) Damage Relative to Infestation Level and Stage of Sweet Corn Development, *J Econ Entomol.*
- Goergen, G., P. L. Kumar, S. B. Sankung, A. Togola, and M. Tamò. 2016.** First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central África. *PLoS One.* 11: 1–9.
- Hellwig, L., A. P. S. A. da Rosa, A. D. Grützmacher, P. M. dos Santos, C. de O. Trecha, L. B. Medina, and M. V. Fipke. 2016.** Avaliação de Dano de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em Plantas de Milho em Casa de Vegetação. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Clima Temperado Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Pelotas.
- Higley, L., and L. Pedigo. 1996.** Economic thresholds for integrated pest management. University of Nebraska Press, Lincoln, NE.
- Hruska, A. J. 2019.** Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources.* 14.
- Hruska, A. J., and S. M. Gladstone. 1988.** Effect of Period and Level of Infestation of the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, on Irrigated Maize Yield. *Fla Entomol.* 71: 249.
- Hruska, A. J., and F. Gould. 1997.** Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): Impact of Larval Population Level and Temporal Occurrence on Maize Yield in Nicaragua. *J Econ Entomol.* 90: 611–622.
- IRAC Brasil. 2018.** Manejo da Resistência a Inseticidas e Plantas Bt.
- Jaramillo-Barrios, C. I., E. H. Varón-Devia, and B. Monje-Andrade. 2020.** Economic injury level and action thresholds for *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize crops. *Rev Fac Nac Agron Medellin.* 73: 9065–9076.
- Kenward, M. G., and J. H. Roger. 1997.** Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood.

- Lima, C. H., R. A. Sarmiento, P. S. Pereira, A. V. Ribeiro, D. J. Souza, and M. C. Picanço. 2018.** Economic injury levels and sequential sampling plans for control decision-making systems of *Bemisia tabaci* biotype B adults in watermelon crops. *Pest Manag Sci*.
- Loy, D. D., and E. L. Lundy. 2019.** Nutritional properties and feeding value of Corn and Its coproducts, 3rd ed, Corn. Elsevier Inc.
- Montezano, D. G., A. Specht, D. R. Sosa-Gómez, V. F. Roque-Specht, J. C. Sousa-Silva, S. V. Paula-Moraes, J. A. Peterson, and T. E. Hunt. 2018.** Host Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*. 26: 286–300.
- Morrill, W. L., and G. L. Greene. 1973.** Distribution of fall armyworm larvae 1. Regions of field corn plants infested by larvae. *Environ Entomol*. 2: 195–198.
- Obando, R. 1976.** Cogollero: umbrales permisibles de dano foliar en maiz. XXII Reunion Anual del PCCMCA, San Jose.
- Ostliei, K. R., and L. P. Pedigo. 1985.** Soybean response to simulated green cloverworm (Lepidoptera: Noctuidae) defoliation: Progress toward determining comprehensive economic injury levels. *J. Econ. Entomol*. 78: 437–444.
- Overton, K., J. L. Maino, R. Day, P. A. Umina, B. Bett, D. Carnovale, S. Ekesi, R. Meagher, and O. L. Reynolds. 2021.** Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Protection*. 145: 105641.
- Pedigo, L. P., S. H. Hutchins, and L. G. Higley. 1986.** Economic Injury Levels in Theory and Practice. *Annu Rev Entomol*. 31: 341–368.
- Pedigo, L. P., and M. E. Rice. 2009.** Entomology and pest management, 6th ed. Upper Saddle River, Pearson Prentice Hall, Nova Jersey.
- Peterson, R. K. D., A. C. Varella, and L. G. Higley. 2017.** Tolerance: The forgotten child of plant resistance. *PeerJ*. 2017: e3934.
- Pinto, C. B., R. A. Sarmiento, P. S. Pereira, B. G. Barbosa, C. Henrique, O. Lima, N. Rodrigues, M. C. Picanc, A. Peter, and H. Rolfs. 2017.** Sampling and biostatistics standardized sampling plan for the Thrips *Frankliniella schultzei*

(Thysanoptera: Thripidae) on watermelon crops. *Journal of Economic Entomology*. 110: 748–754.

Rudnick, D., S. Irmak, C. Ray, J. Schneekloth, M. Schipanski, I. Kisekka, A. Schlegel, J. Aguilar, D. Rogers, D. Mitchell, C. West, T. Marek, Q. Xue, W. Xu, and D. Porter. 2017. Deficit irrigation management of corn in the right plains: A Review, Available from CPIA. Burlington.

Santos-Amaya, O. F., J. V. C. Rodrigues, T. C. Souza, C. S. Tavares, S. O. Campos, R. N. C. Guedes, and E. J. G. Pereira. 2015. Resistance to dual-gene Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: Selection, inheritance, and cross-resistance to other transgenic events. *Sci Rep*. 5.

Santos-Amaya, O. F., C. S. Tavares, J. V. C. Rodrigues, T. C. Souza, N. Rodrigues-Silva, R. N. C. Guedes, A. P. Alves, and E. J. G. Pereira. 2017. Magnitude and Allele Frequency of Cry1F Resistance in Field Populations of the Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *J Econ Entomol*. 110.

Sarmiento, J., and J. Cassanova. 1975. Busqueda de limites de aplicacion en el control del “cogollero” de maiz. *Spodoptera frugiperda* S & A. *Revista Peruana de Entomologia*. 18: 104–107.

Sheaffer, C. C., J. L. Halgerson, and H. G. Jung. 2006. Hybrid and N fertilization affect corn silage yield and quality. *J Agron Crop Sci*. 192: 278–283.

Silvestre, A. M., and D. D. Millen. 2021. The 2019 brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 50: 1–25.

Sparks, A. N. 1979. A review of the biology of the fall armyworm. *Fla Entomol*. 62: 82–87.

Stern, V. M., R. F. Smith, R. Van den Bosch, and K. S. Hagen. 1959. The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: The integrated control concep. The integrated control concept. 29: 81–101.

Tammes, P. M. L. 1961. Studies of yield losses II. Injury as a limiting factor of yield. *Tijdschr Planteziekten*. 67: 257–263.

USDA. 2019. Crop Production 2018 Summary. Washington, D.C.

- Willink, E., V. M. Osores, and M. A. Costilla. 1993.** Naños, perdidas y niveles de daño economico por *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en maiz. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*. 70: 49–52.
- Wiseman, B. R., R. H. Painter, and C. E. Wasson. 1966.** Detecting corn seedling differences in the greenhouse by visual classification of damage by the fall armyworm. *Journal of Economic Entomology*. 59: 1211–1214.
- Young, J. R., and H. R. Gross. 1975.** Insect control in summer planted sweet and field corn in South Georgia., p. 3. *In Meeting of the Entomological Society of America*. New Orleans

1.7. TABELAS & FIGURAS

Tabela 1.1. Informações dos cultivos de milho de primeira e segunda safras que foram utilizados para a coleta de dados.

	Cidade	Coordenadas geográficas	Altitude (metros)	Híbridos de milho	Distância entre linhas (m)	Estande Inicial (plantas/ha)	Adubação de plantio		Adubação de cobertura	
							Tipo	(kg/ha)	Tipo	(kg/ha)
Safr 1 (2020/21)	Cajuri	20°47'04.5"S 42°48'22.9"W	660	RB9006RR	0,7	70000	MAP	250	N:P:K (20 0 20)	500
	Cajuri	20°46'34.3"S 42°49'09.2"W	660	BM3063PRO2	0,7	70000	MAP	250	N:P:K (20 0 20)	500
	Sete Lagoas	19°28'55.8"S 44°10'06.5"W	730	P4285R	0,7	60000	N:P:K (8 28 16)	411	Ureia	250
Safr 2 (2020/21)	Inhaúma	19°28'55.8"S 44°10'06.5"W	692	P3889	0,5	60000	N:P:K (10 50 0)	150	KCl	300
	Viçosa	20°42'47.3"S 42°48'56.6"W	665	BM3063PRO3	0,7	70000	N:P:K (6 30 6)	500	N:P:K (20 0 20)	350

Tabela 1.2. Escala de injúria foliar causada por *S. frugiperda* em milho. As notas são semelhantes às da escala de Davis et al. (1992) com pequenas modificações.

Nota	Definição da injúria
0	Sem injúria foliar visível
1	Danos com raspagens foliares
2	Pequenas perfurações circulares em algumas folhas
3	Poucas perfurações e pequenas lesões circulares e algumas pequenas lesões alongadas (de forma retangular) de até 1,3 de comprimento presentes nas folhas expandidas e novas.
4	Várias lesões alongadas de 1,3 a 2,5 cm de comprimento presentes em algumas folhas
5	Várias lesões grandes e alongadas com mais de 2,5 cm de comprimento estão presentes em algumas folhas.
6	Várias lesões grandes e alongadas estão presentes em várias folhas com furos grandes e uniformes de formas irregulares
7	Muitas lesões alongadas de todos os tamanhos estão presentes em várias folhas, além de vários furos grandes de uniformes a irregulares.
8	Muitas lesões alongadas de todos os tamanhos estão presentes na maioria das folhas enroladas, além de muitos furos de tamanho médio a grande, uniformes a irregulares.
9	Folhas perfuradas quase totalmente destruídas.

Tabela 1.3. Resultados dos testes de efeitos fixos para o rendimento de silagem ou grãos por planta em função da intensidade de injúria foliar pela lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em condições representativas dos cultivos de milho.

Fonte de variação	Produção de silagem				Produção de grãos			
	GL Num	GL Den	F	P	GL Num	GL Den	F	P
Safra de milho	1	1169	164,47	<0,001	1	1325	135,72	<0,001
Injúria foliar	9	1169	7,28	<0,001	9	1325	8,75	<0,001
Cultivo (Safra)	2	1169	14,09	<0,001	3	1325	54,16	<0,001
Injúria × Cultivo (Safra)	23	1169	1,6	0,037	28	1325	1,69	0,014

GL Num, graus de liberdade do numerador. GL Den, graus de liberdade do denominador.

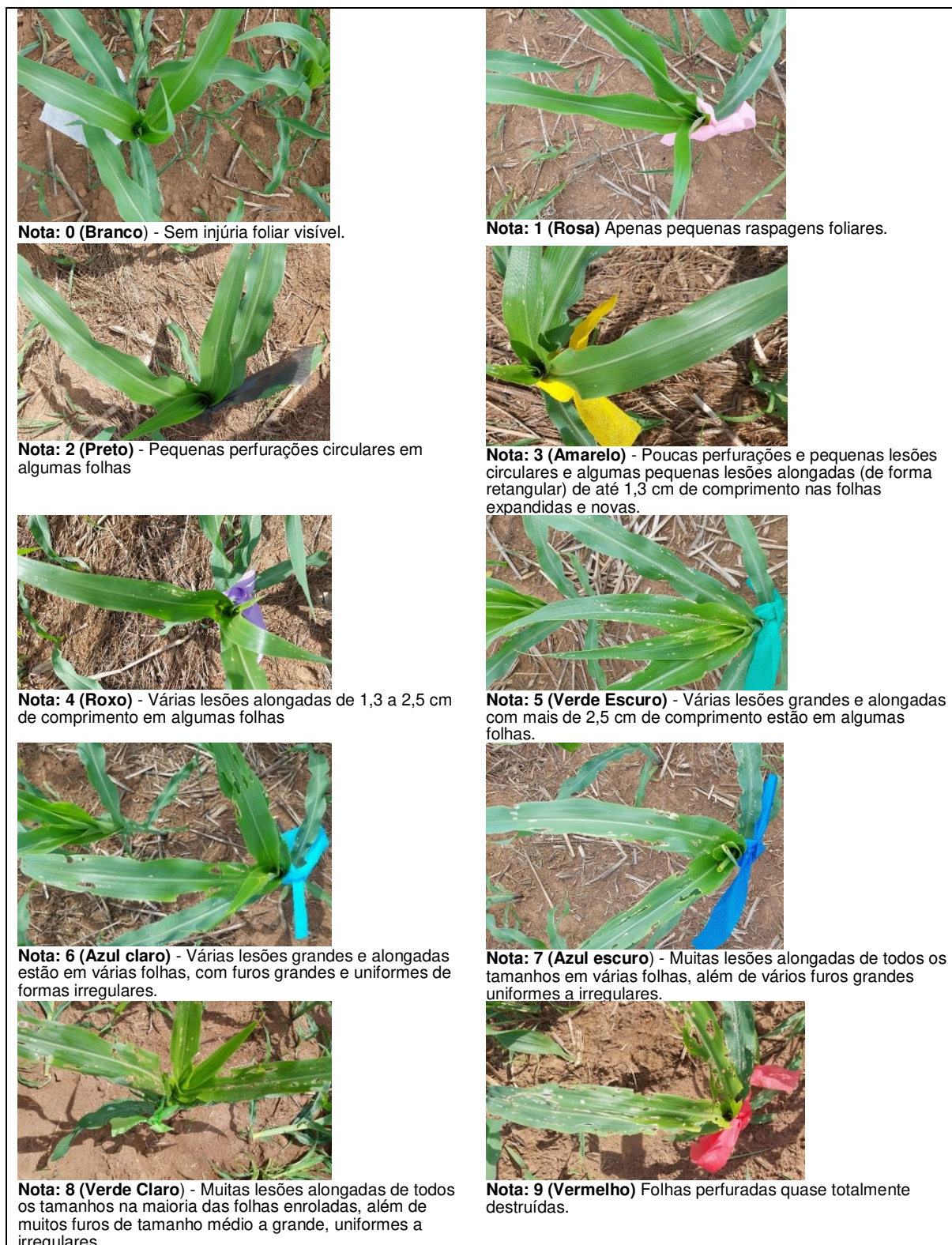


Figura 1.1. Intensidade de injúria foliar causada por *S. frugiperda* em milho. As notas são semelhantes às da escala de Davis et al. (1992) com pequenas modificações.

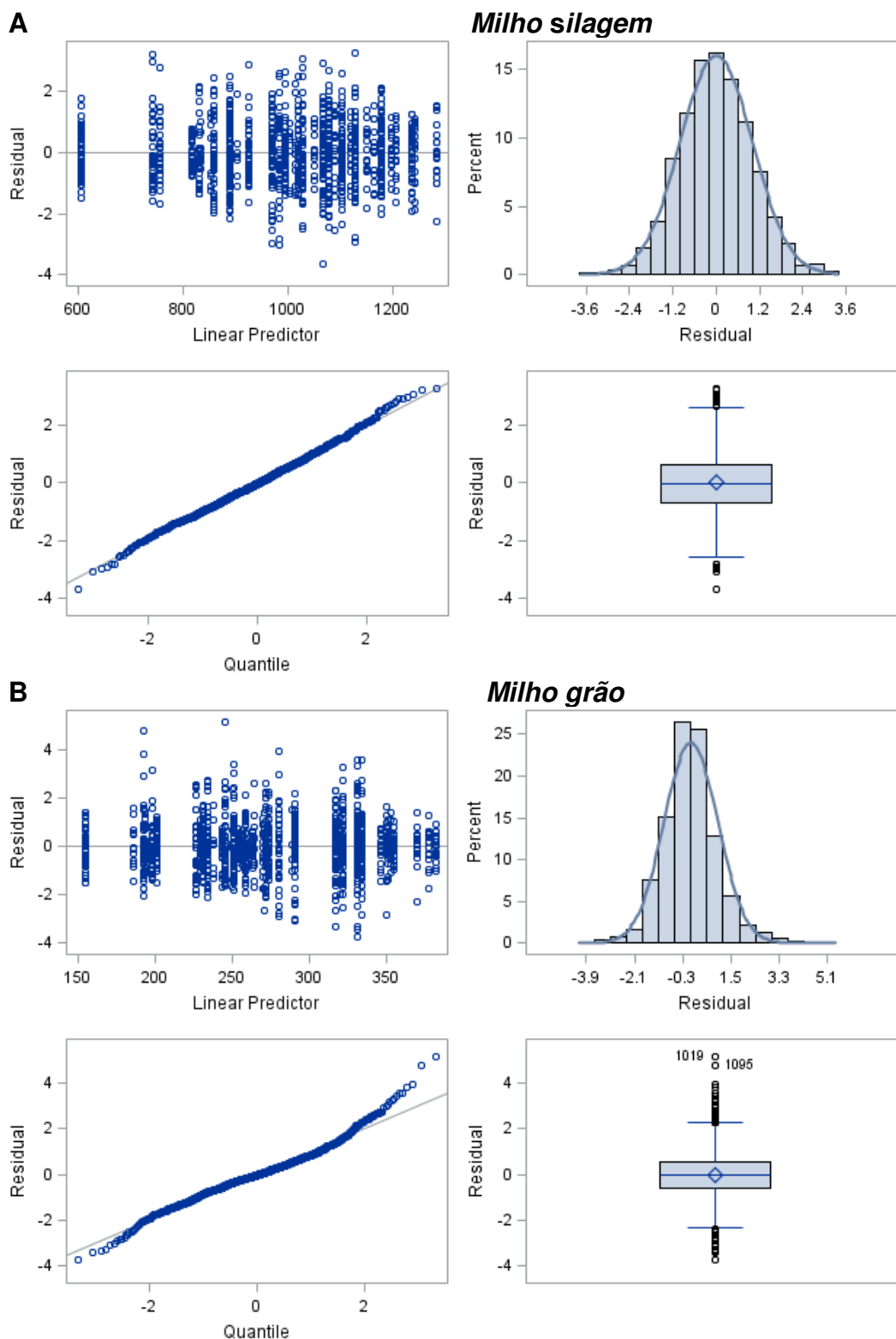


Figura 1.2. Resultados da análise de resíduo para os dados de produção de **A)** silagem e **B)** grãos. O modelo linear conteve os fatores intensidade de injúria foliar (escala Davis), safra e cultivo e a interação entre eles. Os efeitos de talhão e bloco nos cultivos foram considerados aleatórios. Mais de 1420 amostras de plantas foram rotuladas, colhidas e processadas, utilizando-se 1207 (milho silagem) e 1371 (milho grão) na presente análise.

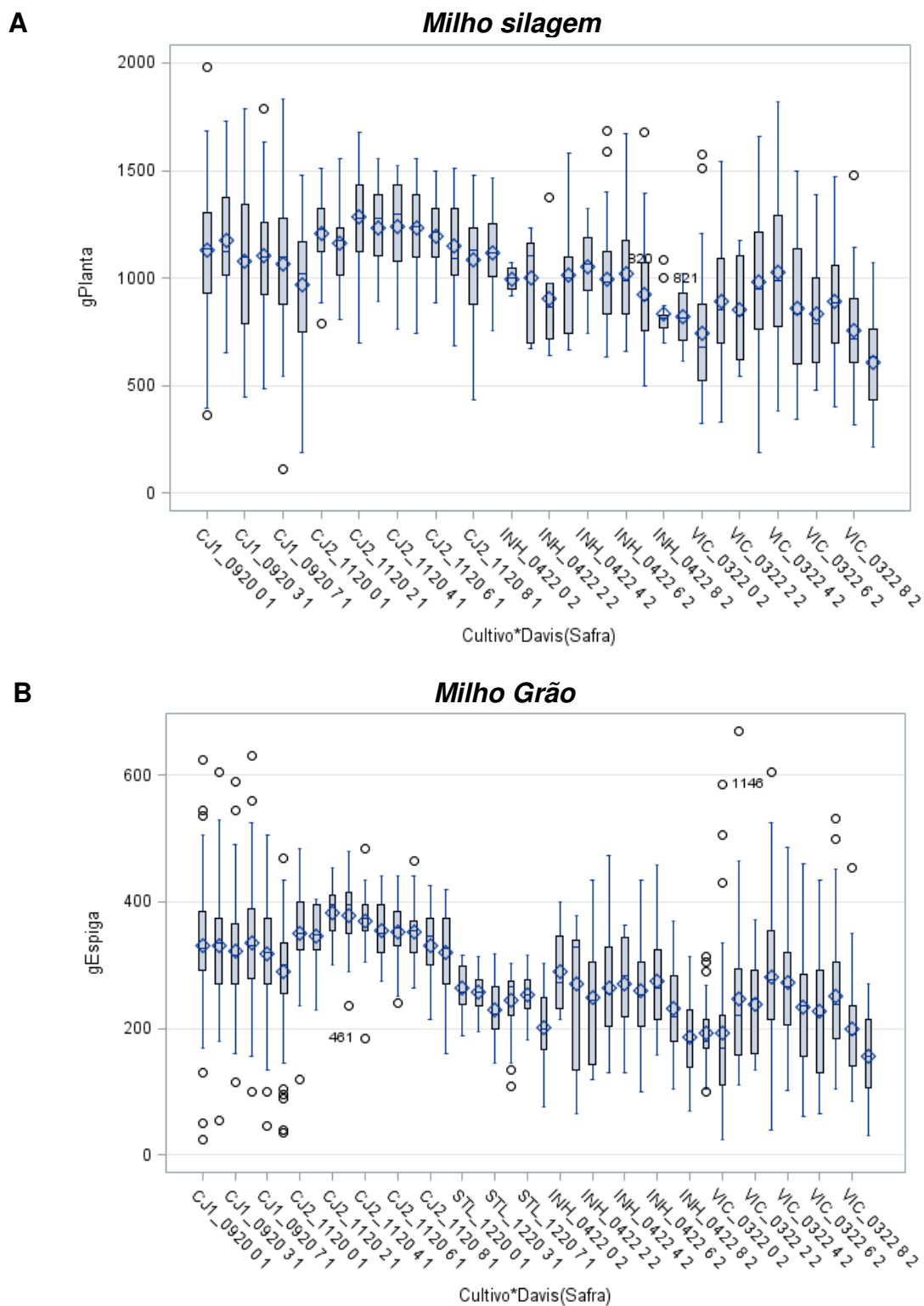


Figura 1.3. Diagrama de caixas mostrando o grau de dispersão, a simetria nos dados e os extremos (outliers). Os dados correspondem à medida da massa fresca de **A**) silagem (g/planta) e **B**) grãos + sabugo (g espiga(s)/planta). A linha na caixa representa a mediana, e o símbolo quadrado corresponde à média. Valores assinalados com um círculo nos painéis são possíveis dados discrepantes segundo o modelo linear utilizado.

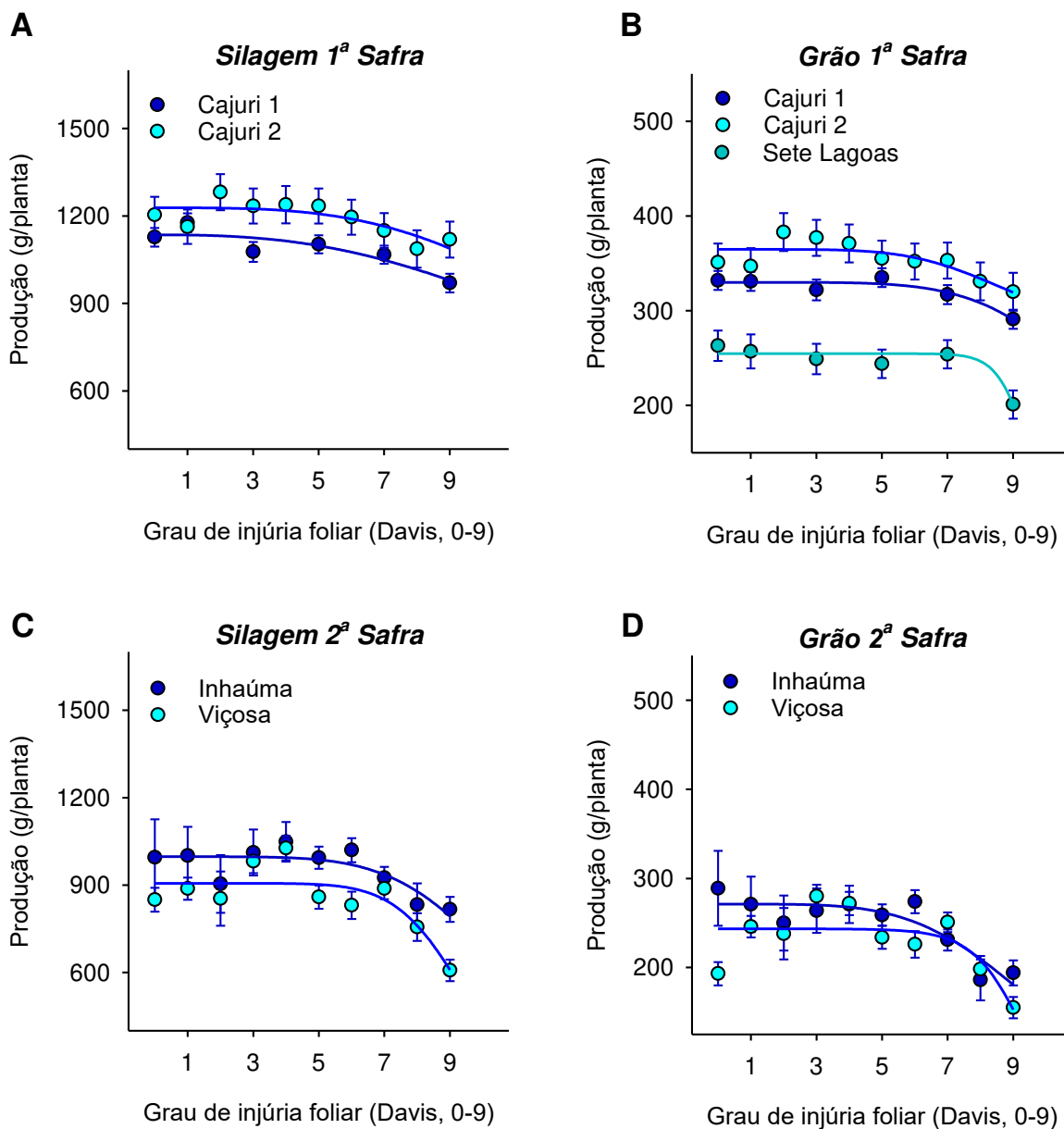


Figura 1.4. Painéis dos resultados obtidos em cada cultivo de milho, para transparência no processamento dos dados visando estimar a curva dano da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*). Essa curva relaciona a intensidade de injúria foliar da lagarta ao rendimento do cultivo. As tendências representadas nos painéis são significativas ($P < 0,05$) em relação ao simples modelo da média geral dos dados.

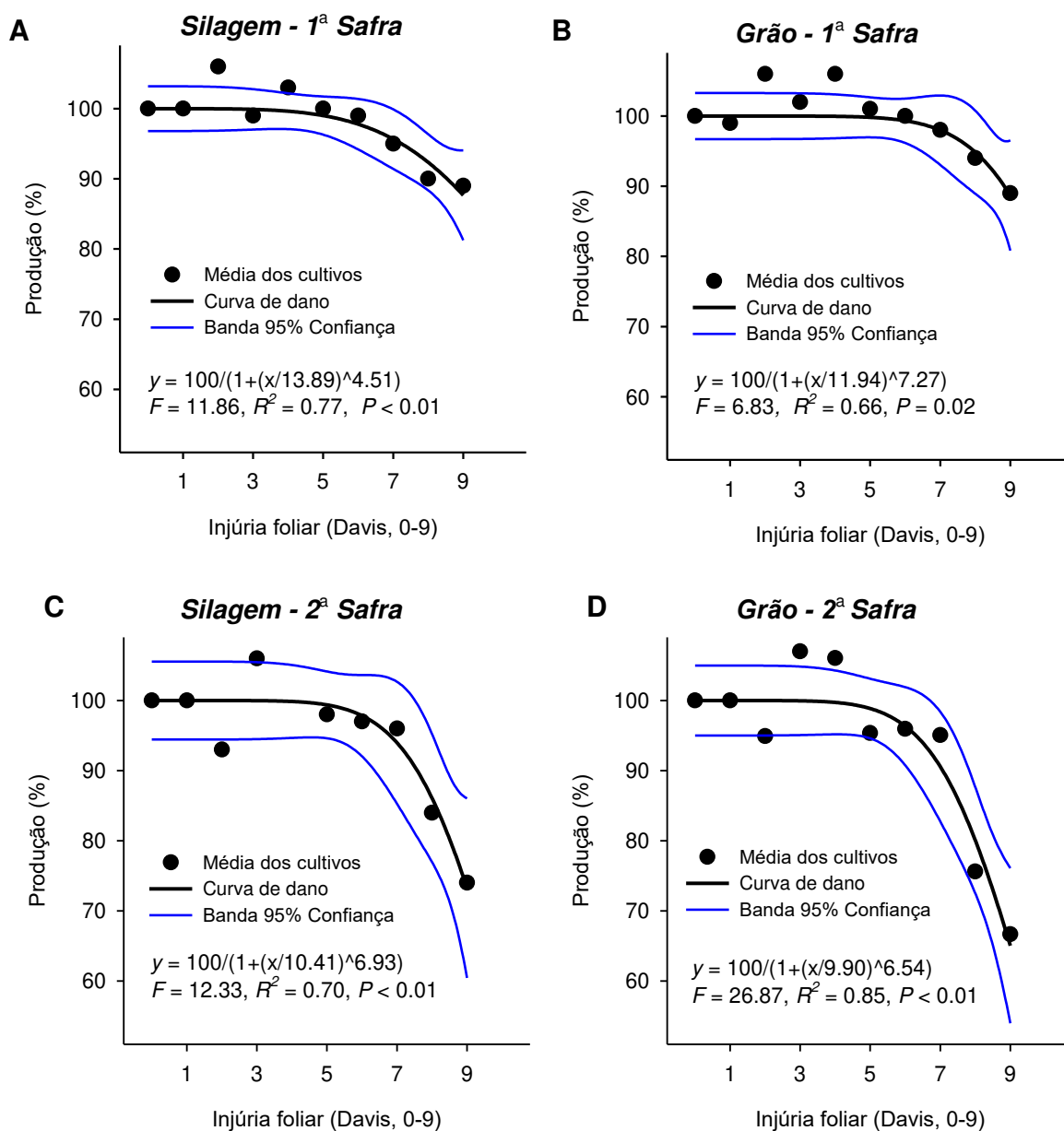


Figura 1.5. Curvas de rendimento para cultivos de milho de primeira (outubro–fevereiro) e segundas safras em função da intensidade de injúria foliar causada por *Spodoptera frugiperda*. **A-B)** milho para silagem ou grão na primeira e **C-D)** segunda safras. Os dados são médias e erros padrões para 100–150 plantas com injúria foliar em diferentes estágios de crescimento, como indicado nos painéis. As linhas externas à linha de regressão representam o intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

CAPÍTULO 2. Níveis de dano econômico para *Spodoptera frugiperda* em milho grão e silagem com diferentes níveis de investimento

Resumo

Para manejo de pragas na agricultura, utilizam-se sistemas de tomada de decisão baseados em planos de amostragem e índices tais como o Nível de Dano Econômico (NDE) e o Nível de Controle (NC). Há mais de 40 anos que foram propostos os valores desses índices utilizados no manejo da lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do milho. A produtividade da cultura e o valor dos grãos e silagem produzidos nos diferentes níveis de investimento e épocas de cultivo de milho podem variar em relação ao custo de controle, variáveis elementares do NDE. No capítulo anterior, foi observada uma resposta de tolerância das plantas de milho com base nas curvas de dano determinadas. Neste trabalho determinaram-se valores de NDE e de NC de *S. frugiperda* no cultivo de milho grão e milho silagem em diferentes cenários. Foram utilizados os coeficientes das equações das curvas de dano do capítulo anterior para a relação da injúria com a produtividade da cultura. Foram calculados os custos de controle da praga para cenários de cultivo de milho com diferentes níveis de investimento no cultivo e de pressão de ataque de pragas. Fez-se uma pesquisa de quais produtos (inseticidas e adjuvantes), equipamentos e números de aplicação são normalmente utilizados para o controle da lagarta do cartucho nos cultivos de milho no Brasil. O custo de controle foi em média 4,3 e 2,0% do valor da produção no cenário de médio e alto nível de investimento para milho grão e 3,6 e 1,7% para silagem na 1ª safra. Na 2ª safra, o mesmo representou 3,6 e 1,7 (grão) e 1,4 e 1,0 (silagem) para médio e alto investimento, respectivamente. O custo de controle do inseto em milho grão foi em média 4,3 e 2,0% do valor da produção em médio e alto grau de investimento, respectivamente. Para silagem, o custo de controle foi de 3,6 e 1,7% para na 1ª safra. Na 2ª safra, esse custo representou 3,6 e 1,7% (grão) e 1,4 e 1,0% (silagem) para médio e alto investimento, respectivamente. O menor valor de NDE em intensidade de injúria na escala Davis para milho grão na 1ª safra foi de 8,0 e 7,1 para médio e alto grau de investimento. Para milho silagem esses valores foram de 5,9 e 5,4. Na 2ª safra, para milho grão com alto ou médio investimentos, os valores de NDE foram de 6,1 e 5,5 e, para silagem, de 5,8 e 5,5, respectivamente. Esses menores valores foram obtidos no cenário de duas aplicações manuais por hectare. Valores fixo de NC

podem ser tomados como 75% desses valores de NDE. Esta pesquisa é pioneira em fornecer informações realísticas sobre NDE para milho grão e silagem e elas podem ser utilizadas por produtores de milho e outros agentes em diversas regiões no mundo. Coletivamente, os resultados mostram que a situação de menor nível dano econômico da lagarta do cartucho em milho ocorre quando 100% das plantas apresentam injúria de nota 4 na escala Davis (NDE = 4). O atual NC recomendado (20% de plantas com injúria foliar Davis nota 3) é cinco vezes menor que o valor de NDE aqui obtido, sendo assim bastante conservativo como nível de ação para controle de *S. frugiperda* em cultivos de milho.

Palavras chave: Lagarta do cartucho. Escala Davis. Índice de tomada de decisão controle. Aplicação manual, tratorizada e aérea.

Abstract

Economic injury levels for *Spodoptera frugiperda* in maize for grain and silage at different levels of crop investment

For agricultural pest management, decision-making systems based on sampling protocols and threshold values such as the Economic Injury Level (EIL) and the Economic Threshold (ET) are helpful. The current ET values for the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the maize crop was proposed 40 years ago. The crop yield and the market value of corn grains and silage produced in different investment levels and growing seasons may vary in relation to the control cost and are fundamental variables the EIL formula. Previously, a tolerance response of maize plants was observed based on the damage curves determined. In this work, we determined values of EIL and ET of *S. frugiperda* in the cultivation of corn grain and corn silage in different scenarios. The equations' coefficients of the damage curves of the previous chapter were used as the relationship between injury with crop yield. The pest control costs were calculated for corn cultivation scenarios with different levels of crop investment and pressure of fall armyworm attack. A market research on which products (insecticides and adjuvants), equipment and application numbers are usually used for the control of fall armyworm in maize crops in Brazil. For 1st season maize, the fall armyworm control cost corresponded to 4.3 and 2.0% of the production value in the scenario of medium and high investment to produce corn grains and 3.6 and 1.7% to produce silage. For the 2nd season, the cost corresponded to 3.6 and 1.7 (grain) and 1.4 and 1.0 (silage) for medium and high investment, respectively. The lowest EIL values for corn grain in the 1st season for medium and high investment were 4.8 and 3.3, respectively; but for corn silage the values were 6.5 and 6.0, respectively. In the 2nd season, for corn grain with high and medium investment, the EIL values were 6.4 and 5.7, and for silage, 6.2 and 5.9, respectively. These lower values were obtained in a scenario of two manual applications per hectare. The ET values for all scenarios were also calculated by taking them as 75% of the EIL. This is first time information on EIL and ET values for corn grain and silage is provided, and they and can be useful for maize growers worldwide. Collectively, the results show that the situation of lowest EIL values for fall armyworm occurs when 100% of the maize plants present injury of score 3 in the Davis scale (EIL = 4). The current ET value at 20%

of plants with defoliation score of 3 is five times lower than the EIL value, thus being quite conservative as the action threshold for *S. frugiperda* in maize.

Keywords: Fall armyworm; Davis leaf damage rating scale. Control decision-making index. Manual, tractor and aerial application.

2.1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de tomada de decisão são partes essenciais dos programas de manejo integrado de pragas. Esses sistemas são compostos por um plano de amostragem e índices de tomada de decisão (Pedigo & Rice 2009, Pinto et al. 2017, Lima et al. 2018). O nível de dano econômico é o limiar da intensidade de ataque em que o custo de controle da praga se iguala ao valor da perda causada por aquela intensidade de infestação da praga (Higley & Pedigo 1996). Outro importante índice é o nível de controle, que é a menor densidade populacional da praga em que as medidas de controle devem ser adotadas para que se evite ultrapassar o nível de dano econômico no cultivo (Stern et al. 1959, Pedigo et al. 1986). Esses são influenciados pelo custo de controle, rendimento da cultura, valor da produção e a susceptibilidade da cultura à injúria do inseto herbívoro (Higley & Pedigo 1996).

O milho (*Zea mays* L.) (Sparks 1979) é uma das principais plantas cultivadas, com grande importância econômica, cultural e social (Day et al. 2017, FAO 2020). Isto é devido a sua utilização como fonte de energia para alimentação humana e produção de proteína animal (ANUALPEC 2009, Loy & Lundy 2019, Silvestre & Millen 2021). Os maiores produtores de milho do mundo são os Estados Unidos, China, Brasil e Argentina (FAO 2020). No Brasil, devido às características climáticas, ocorrem duas safras que totalizam uma produção anual de aproximadamente 123 milhões de toneladas de milho (USDA 2019, FAO 2020, CONAB 2023). A cultura é plantada em 22 milhões de hectares por produtores que utilizam diferentes níveis de investimento, alcançando diferentes produtividades (CONAB 2023).

Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae), a lagarta do cartucho, é uma das principais pragas da cultura do milho no mundo. As lagartas se alimentam das folhas superiores, preferencialmente as localizadas no cartucho, além de outros órgãos das plantas tais como aqueles dos estádios reprodutivos (Morrill & Greene 1973, Goergen et al. 2016). O consumo preferencial de folhas do cartucho a planta pela redução da área fotossintetizante, injúria que influencia indiretamente na produtividade e no nível de dano econômico dessa praga na cultura (Morrill & Greene 1973, Goergen et al. 2016, Overton et al. 2021). Nos últimos anos, essa praga ganhou maior notoriedade por ter sua presença documentada no continente africano, de onde

parece ter colonizado a Ásia, Austrália e até na Oceania (Day et al. 2017, Jing et al. 2019, IPPC/FAO 2020). Muitos países africanos tem o milho como cultura de subsistência e essa praga tem sido considerada uma grande ameaça à segurança alimentar da porção Subsaariana da África (Day et al. 2017). Uma das alternativas para enfrentar o problema seria utilizar métodos de controle com base em programas de manejo integrado de pragas, que podem ser aplicados em cultivos de diferentes níveis de tecnificação (Thierfelder et al. 2018).

No final da década de 1970 e início da década de 1980, alguns autores sugeriram valores de nível de dano econômico variando entre 20 a 50% de plantas atacadas (Young & Gross 1875, Sarmiento & Cassanova 1975, Obando 1976, Huis 1981). Previamente no Brasil, Carvalho (1970) determinou que alta intensidade de injúria foliar nas plantas (cartucho destruído) pode causar de 15 a 35% de perda de produtividade. Apesar de existir alguns trabalhos sobre índices de tomada de decisão para lagarta do cartucho na cultura do milho, essas informações foram geradas a mais de 30 anos e poucos tem como foco a produção de silagem (Pereira & Hellman 1993, Overton et al. 2021). Ao longo desse tempo, e mais intensamente nos últimos 15 anos, muitos novos genótipos de milho foram lançados, a maior parte deles são híbridos de alta produtividade, destacando os materiais transgênicos (Tabashnik et al. 2013). Além disso, as condições dos cultivos de milho melhoraram desde de 1970, com o fornecimento de nutrientes às plantas usando corretivos e fertilizantes e uso de irrigação em algumas regiões (Sheaffer et al. 2006, Rudnick et al. 2017).

A tolerância ao ataque de pragas influencia no nível de dano econômico, bem como os custos de produção de milho grão e milho silagem. Informações mais atuais sobre índices de tomada de decisão são essenciais para a elaboração de melhores protocolos de amostragem dessa praga na cultura do milho (Higley & Pedigo 1996, Peterson et al. 2017). Esse esforço é imprescindível na busca pela sustentabilidade da agricultura e dos métodos de controle pragas. Informação criteriosa e atualizada sobre os índices de tomada de decisão é também crucial para uma eventual proposta de um moderno protocolo de amostragem da praga na cultura do milho (Higley & Pedigo 1996, Peterson et al. 2017). Além disso, existem poucos trabalhos robustos que determinem o nível de dano econômico para milho grão e silagem.

Como objetivo, neste trabalho foram determinados níveis de dano econômico da desfolha de *S. frugiperda* para cultivos de milho grão e milho silagem e em

diferentes cenários de investimento pelos produtores. Três elementos são essenciais na determinação de níveis de dano econômico, incluindo a estimativa das curvas do rendimento dos cultivos em função da intensidade de ataque da praga. Essa parte, foi determinada no capítulo anterior e aqui realizamos o levantamento e cálculo dos custos de controle químico da praga e a determinação dos níveis de dano econômico para milho grão e milho silagem em épocas de cultivo.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1. Custos de controle

Inicialmente realizou-se uma pesquisa de quais produtos (inseticidas e adjuvantes), equipamentos e número de aplicações são utilizados para o controle de *S. frugiperda* nos cultivos de milho em diferentes regiões do Brasil. Os inseticidas foram selecionados com base no custo, tempo de lançamento do produto no mercado e frequência de utilização nos cultivos de milho. Foram calculados os custos de controle da praga quando feita por aplicação manual, terrestre (trator) e aérea (avião), considerando a necessidade de duas ou quatro aplicações durante o cultivo. Esses métodos e números de aplicações utilizados representam cenários de cultivo de milho com diferentes níveis de investimento no cultivo e de pressão de ataque de pragas (Tabela 2.1).

2.2.2. Níveis de dano econômico

2.2.2.1. Primeira Safra

Essas determinações foram realizadas em três etapas. Na primeira, foram calculados os valores da produção dos cultivos de milho sem o ataque da praga em função do sistema de produção e nível de investimento utilizado. Para isso, foi utilizada a fórmula (1):

$$(1) \quad V_{0ij} = Y_{0ij} \times P_{cj}$$

onde, V_0 é o valor da produção sem o ataque de *S. frugiperda* (R\$.ha⁻¹) no *i*ésimo sistema de produção (*i* = grãos, ensilagem) e *j*ésimo nível de investimento do produtor (*j* = médio, alto); Y_0 é o rendimento do cultivo (t.ha⁻¹); e P_c é preço do produto (R\$.ha⁻¹). Nos cálculos, utilizamos o valor médio no mercado da saca de 60 kg de milho (R\$ 80,00) e da tonelada de silagem (R\$ 418,00). Além disso, consideramos as

produtividades ($t \cdot ha^{-1}$) de 5,7 e 12,0 de grãos e 45,0 e 65,0 de silagem como as esperadas pelo produtor que emprega médio e alto nível de investimento, respectivamente (Tabela 2.2).

Na segunda etapa, foram calculados os níveis de dano econômico em termos de perdas percentuais na produtividade. Para isso, usamos a fórmula 2:

$$(2) \quad EILP_{\%ijq} = (100 \times C_q) / (V_{0ijq} \times K),$$

onde $EILP_{\%ijq}$ é o nível de dano econômico para *S. frugiperda* (% de perdas na produtividade) no *i*ésimo sistema de produção (*i* = grãos, ensilagem) e *j*ésimo nível de investimento do produtor (*j* = médio, alto) e *q*ésima modalidade de aplicação de inseticidas (*q* = manual, trator e avião); *C* é o custo de controle da praga ($R\$ \cdot ha^{-1}$); e *K* é a eficiência de controle da praga, tomada como sendo 0,80 (80%). A modalidade manual de aplicação refere-se àquela em que o produtor realiza a aplicação de inseticida com pulverizador costal.

Na terceira etapa, calculamos os níveis de dano econômico em termos de intensidade de ataque da praga na escala Davis (Davis et al. 1992). Nesses cálculos foram utilizados os valores obtidos com a fórmula (2) e as equações de regressão (Figura 1.5). Essas operações matemáticas resultaram nas fórmulas (3), (4) e (5) que foram utilizadas nas determinações dos níveis de dano econômico:

$$(3) \quad Y_{EIL} = (100 - EILP_{\%}),$$

onde Y_{EIL} é o rendimento ou produção da planta quando sujeita ao ataque de *S. frugiperda* (% de perda na produtividade), e $EILP_{\%}$ é a perda de produtividade admitida considerando o nível de investimento do produtor, o número de aplicações demandadas para controle da praga e a modalidade de aplicação.

$$(4) \quad YEIL = (100 / (1 + (EIL_{dgr\tilde{a}os} / 11,94)^{7,27})),$$

onde Y_{EIL} é o rendimento ou produção da planta quando sujeita ao ataque de *S. frugiperda* e $EIL_{dgr\tilde{a}os}$ é o nível de dano econômico em escala Davis para milho grão.

$$(5) \quad YEIL = (100 / (1 + (EIL_{dsilagem} / 13,89)^{4,51}))$$

onde Y_{EIL} é o rendimento das plantas quando sujeitas a ataque de pragas (% de perdas na produtividade); e $EIL_{dsilagem}$ é o nível de dano econômico em escala Davis para milho silagem.

2.2.2.2. Segunda Safra

Assim como na primeira safra as determinações foram realizadas em três etapas. Na primeira, foram calculados os valores da produção dos cultivos de milho sem o ataque da praga em função do sistema de produção e nível de investimento utilizado. Para isso, foi utilizada a fórmula (1):

$$(1) \quad V0ij = Y0ij \times Pci$$

onde, $V0$ é o valor da produção sem o ataque de *S. frugiperda* (R\$.ha⁻¹) no *i*ésimo sistema de produção (*i* = grãos, ensilagem) e *j*ésimo nível de investimento do produtor (*j* = médio, alto); $Y0$ é o rendimento do cultivo (t.ha⁻¹); e Pc é preço do produto (R\$.ha⁻¹). Nos cálculos, utilizamos o valor médio no mercado da saca de 60 kg de milho (R\$ 95,00) e da tonelada de silagem (R\$ 500,00). Além disso, consideramos as produtividades (t.ha⁻¹) de 5,7 e 12,0 de grãos e 45,0 e 65,0 de silagem como as esperadas pelo produtor que emprega médio e alto nível de investimento, respectivamente (Tabela 2.3).

Na segunda etapa, foram calculados os níveis de dano econômico em termos de perdas percentuais na produtividade. Para isso, usamos a fórmula 2:

$$(2) \quad EILP\%ijq = (100 \times Cq) / (V0ijq \times K),$$

onde $EILP\%ijq$ é o nível de dano econômico para *S. frugiperda* (% de perdas na produtividade) no *i*ésimo sistema de produção (*i* = grãos e ensilagem) e *j*ésimo nível de investimento do produtor (*j* = médio e alto) e *q*ésima modalidade de aplicação de inseticidas (*q* = manual, trator e avião); C é o custo de controle da praga (R\$.ha⁻¹); e K é a eficiência de controle da praga, tomada como sendo 0,80 (80%). A

modalidade manual de aplicação refere-se àquela em que o produtor realiza a aplicação de inseticida com pulverizador costal.

Na terceira etapa, calculamos os níveis de dano econômico em termos de intensidade de ataque da praga na escala Davis et al. (1992). Nesses cálculos foram utilizados os valores obtidos com a fórmula (2) e as equações de regressão (Figura 2). Essas operações matemáticas resultaram nas fórmulas (3), (4) e (5) que foram utilizadas nas determinações dos níveis de dano econômico:

$$(3) \quad YEIL = (100 - EILP\%),$$

onde YEIL é o rendimento ou produção da planta quando sujeita ao ataque de *S. frugiperda* (% de perda na produtividade), e EILP% é a perda de produtividade admitida considerando o nível de investimento do produtor, o número de aplicações demandas para controle da praga e a modalidade de aplicação.

$$(4) \quad YEIL = (100 / (1 + (EILDgrãos/9,90)^{6,54})),$$

onde YEIL é o rendimento ou produção da planta quando sujeita ao ataque de *S. frugiperda* e EILDgrãos é o nível de dano econômico em escala Davis para milho grão.

$$(5) \quad YEIL = (100 / (1 + (EILdsilagem/10,41)^{6,93})),$$

onde YEIL é o rendimento das plantas quando sujeitas a ataque de pragas (% de perdas na produtividade); e EILdsilagem é o nível de dano econômico em escala Davis para milho silagem.

2.3. RESULTADOS

O custo de controle estimado em função da modalidade de aplicação para as duas safras foi de R\$ 300, 318 e 358 e 600, 636 e 716 para duas e quatro aplicações via manual, terrestre e aérea, respectivamente. O componente inseticida representou cerca de 87,6; 82,7 e 73,5 %, do total do custo de controle via aplicação manual, terrestre e aérea, respectivamente (Tabela 2.1).

Para a primeira safra, o nível de dano econômico (NDE) em perda percentual para milho grão com nível médio e alto investimento foram de 4,94; 5,23 e 5,89% e 2,35; 2,49 e 2,80 para aplicação manual, terrestre e aérea respectivamente, quando se utiliza somente duas aplicações. No cenário de quatro aplicações para controle de *S. frugiperda*, os percentuais foram de 9,88; 10,46 e 11,78% (médio) e 4,69; 4,97 e 5,60 (alto) para aplicação manual, terrestre e aérea. Quando a finalidade da produção foi silagem, os NDE em perda de percentual foi de 2,00; 2,11 e 2,38% (médio) e 1,38; 1,46 e 1,65 (alto) para aplicação manual, terrestre e aérea respectivamente, utilizando somente duas aplicações por cultivo. Quando utilizaram quatro aplicações os percentuais foram de 3,99; 4,23 e 4,76% e 2,76; 2,93 e 3,30% para o nível de investimento médio e alto quando se utiliza aplicação manual, terrestre e aérea (Tabela 2.4).

Para milho grão, os valores de NDE em notas da escala Davis para nível médio e alto de tecnologia foram de 7,1 a 8,8, dependendo do número de aplicações necessárias para controle da praga e da modalidade para realizar a aplicação. Já para milho silagem, os valores de NDE foram entre 5,4 e 6,9, de acordo com os cenários de número e modalidade das aplicações de lagartocida (Tabela 2.5). Para um nível de controle (NC) fixado a 75 % do NDE, os valores deles para milho grão ficam em 5–6 em notas de escala Davis para duas aplicações de inseticida. No caso de quatro aplicações, em milho grão, os valores foram 6–7. Do mesmo modo, para milho silagem, os valores de NC seriam 4–5 para duas aplicações e 4–5 para quatro aplicações, dependendo da modalidade utilizada da aplicação (Tabela 2.6).

Na segunda safra, os valores de NDE em perda percentual para milho grão com nível médio e alto investimento foram de 2 e 5%, dependendo da modalidade da aplicação quando utilizam-se apenas duas aplicações durante o cultivo para o controle

da lagarta do cartucho. No cenário de quatro aplicações para o controle da praga, os percentuais foram 8–10% (médio investimento) e 4–5% (alto investimento), dependendo da modalidade da aplicação. Para milho silagem, os valores do nível de dano econômico foram 1–2% para o cenário de duas aplicações de inseticidas durante o cultivo. Porém, no cenário de quatro aplicações os percentuais foram de 2–4% nos cenários estudados (Tabela 2.7).

Os valores de NDE para milho grão em notas da escala Davis para nível médio e alto de investimento foram de 5–7, dependendo da modalidade e quantidade de aplicações e do nível de investimento no cultivo. Quando a finalidade foi a produção de silagem o NDE em notas da escala Davis foram 5–7 de acordo com os cenários utilizados nesta pesquisa. Os valores correspondentes de NC para milho grão em notas de escala para nível médio e alto de tecnologia foram 4–5. Quando necessário quatro aplicações em milho grão os valores foram 5–6. Do mesmo modo para milho silagem os valores foram 4–5 (Tabela 2.9).

2.4. DISCUSSÃO

O custo de controle de *S. frugiperda* representa em média 1,7–4,3% do valor da produção com médio e alto grau de investimento no cultivo. Esses valores são para cenários onde são necessárias apenas duas aplicações ao longo do cultivo. Porém, em regiões do Brasil onde a pressão de ataque é maior, com no mínimo quatro aplicações ao longo do desenvolvimento cultura, o custo percentual médio será o dobro desses valores. A curva de dano do capítulo anterior mostra que a máxima intensidade de desfolha na escala Davis pela lagarta do cartucho reduz a produtividade de grãos ou silagem em 11% na 1ª safra e em 27 e 33% na 2ª safra (Figura 1.5). Assim, é economicamente vantajoso optar pelo controle químico independente da intensidade de ataque da praga, pois o controle químico no pior cenário custaria à metade do valor da perda percentual na maior intensidade de ataque. Essa prática é conhecida como calendário de pulverização e o seu uso indiscriminado tem como consequência problemas ambientais, sociais e técnicos como: impactos em organismos não alvo como inimigos naturais, polinizadores e decompositores, impactos na saúde humana, seleção de indivíduos resistentes a esses xenobióticos, ressurgimento de pragas e erupção de pragas secundária (Carvalho 1970, Yu 1991, Matthews 2008).

O NDE em perda percentual de produção para a 1ª safra e segunda safra é menor quanto maior for o nível de investimento empregado, independente da finalidade do milho. O nível de investimento afeta uma variável inversamente proporcional ao nível de dano. O contrário acontece com a modalidade de aplicação que quanto maior o seu custo, maior é o valor do nível de dano em perda percentual independente do nível de tecnologia empregado na produção (Pedigo et al. 1986, Higley & Pedigo 1996). Esses resultados são importantes, pois a cultura do milho independente da finalidade de produção é cultivada por produtores que empregam diferentes níveis tecnológicos e em consequência alcançam diferentes produtividades. Isso é facilmente observado quando consultamos a média nacional da produção de milho grão que é de 5,6 ton ha⁻¹, variando de 1,8 nas piores área de sequeiro a 10,0 ton ha⁻¹ em cultivo irrigado (CONAB 2023). Além disso, desconheço na literatura trabalho que considera essas particularidades e forneça informação que

possam ser utilizadas tanto para a agricultura familiar quanto para grandes grupos de produção agrícola.

Como esperado, quanto maior o custo de controle, maiores foram os valores de os níveis de dano econômico. Aqui, consideramos diferentes cenários de pressão de ataque das lagartas, os quais podem demandar mais ou menos aplicações para o seu controle. Independentemente do cenário, na primeira safra, os valores de NDE foram 11% menores para produtores com maior investimento do que para os de médio investimento na produção de milho grão. Para milho silagem essa diferença foi de apenas 7,8%. Na segunda safra, essa diferença foi menor, representando 11 e 5,1% para milho grão e milho silagem, respectivamente. Os maiores valores de NDE na maioria dos modos de aplicação em milho grão e silagem foram observados na primeira safra.

Em quase todos os cenários, independente da safra, os valores de NDE são menores para milho silagem do que para milho grão. Isso pode ser explicado pelo maior valor da produção silagem em relação à de grãos. Pode também estar relacionado à natureza e particularidade de cada curva de percentual de rendimento em função do nível de injúria para cada safra. Essa variação ocorre pela diferença visível de cada porção da curva de dano que descreve o rendimento em função da intensidade de injúria descrita por Pedigo et al. (1986) a mais de três décadas.

Como esperado, as plantas mostraram uma menor tolerância à injúria das lagartas na segunda safra. Isso possivelmente se deve aos maiores investimentos em adubação e controle fitossanitário na primeira safra, além da maior disponibilidade hídrica para cultivos não irrigados. Este último é um fator importante para o acúmulo de biomassa na fase reprodutiva, reduzindo o índice de colheita (Earl & Davis 2003). Essa ideia parece consistente com a resposta obtida no cultivo de Inhaúma em relação ao de Viçosa, em que o primeiro era cultivo irrigado e o segundo não.

O nível de controle é o índice de tomada de decisão indica o momento em que medidas de controle devem ser aplicadas para que não se atinja o nível de dano econômico (Pedigo & Rice 2009). A determinação do nível baseada em dados empíricos é possível quando se conhece a taxa de crescimento populacional da praga. Entretanto, essa é difícil de ser estimada para *S. frugiperda* por requerer conhecimento aprofundado da dinâmica suas populações no tempo e no espaço (Pedigo et al. 1986, Higley & Pedigo 1996). Em contrapartida, pode se utilizar um nível

de ação fixo baseado em 75% do valor do NDE (Pedigo et al. 1989). Considerando todos os cenários, o menor valor do nível de controle foi na injúria de nota 4. Esse é superior ao de nota 3 comumente recomendado e ressalta a capacidade da planta em tolerar a desfolha da lagarta do cartucho (Forseed 2016, Peterson et al. 2017, Biomatrix 2020, Boas 2023).

Índices de tomada de decisão para lagarta do cartucho na cultura do milho expressos em quantia da injúria em notas da escala Davis são mais informativo, pois retratam a intensidade do ataque da lagarta na planta. Essa escala visual de injúria foliar tem relação empírica com a capacidade da planta de tolerar o ataque da praga e é bastante conhecida para avaliação de níveis de resistência de plantas de milho a *S. frugiperda* (Davis et al. 1992). A maioria dos valores de NDE descritos anteriormente na literatura são expressos em percentual de plantas atacadas ou número de lagartas por planta (Nakano 2011, Hellwig, Schneid, et al. 2016, Overton et al. 2021). Essas variáveis, as quais retratam densidade populacional das lagartas ou de infestação delas no cultivo, são menos informativas que a intensidade de injúria causada nas plantas. A intensidade de injúria é a variável mais imediatamente ligada à perda de desempenho ou produtividade e, portanto, é mais adequada para descrever relação entre injúria do inseto e produtividade da planta.

Overton et al. (2021), buscou em sua revisão obter estimativas dos impactos globais da lagarta do cartucho em algumas culturas. Os autores lamentaram que a maioria dos trabalhos focam pouco no impacto negativo da injúria na produtividade e mais na densidade de infestação. Além disso, argumentaram a impossibilidade de relacionar a intensidade de injúria pela escala Davis à produtividade dos cultivos de milho. Esse é ponto forte deste trabalho de doutorado, que descreve a relação entre intensidade de injúria e rendimento da cultura por utilizar dados de plantas individuais. A essa dificuldade, (Overton et al. (2021) associaram à multiplicidade de outras fontes de variação tais como o estágio fenológico do ataque na cultura e a variabilidade genotípica das plantas. Nesta tese, consideramos alguns desses fatores, entre eles o uso de diferentes variedades de milho e estádios fenológicos da cultura, incluindo aqueles determinantes da produtividade (Cruz and Turpin 1982, Hellwig, Schneid, et al. 2016). Ao contrário do reportado por Britz (2020), os resultados desse trabalho mostram que intensidades de injúria de notas 2 a 9 na escala Davis tem sim relação com perdas de rendimento da planta.

Até onde se sabe, esse é o único trabalho que determina o nível de dano econômico de *S. frugiperda* para milho grão e milho silagem em termos de intensidade da injúria foliar na escala Davis. Os valores aqui obtidos mostram que o menor nível dano econômico da lagarta do cartucho em milho ocorre quando 100% das plantas apresentam injúria de nota 4 na escala Davis (NDE = 4). O valor de 20% de plantas com nota 3 nessa escala é, no mínimo, cinco vezes mais conservativo (menor) que o menor valor de NDE aqui obtido. Assim, tal valor pode, com ampla margem de segurança, ser usado como o nível de controle para *S. frugiperda* em cultivos de milho.

2.5. CONCLUSÃO

O custo de controle da lagarta do cartucho representa no máximo 8,6% do valor da produção em diversos os cenários utilizados.

O maior valor de nível de dano econômico (NDE) em perda percentual de produção é de aproximadamente 10% e ocorre para milho de segunda safra.

Para milho de 1ª safra, o NDE para a produção de grão ocorre em intensidade de injúria 8–9 para médio investimento e 7–8 para alto investimento nos diversos cenários utilizados. Para produção de silagem, o valor de NDE foi de injúria nota 6–7 para médio ou alto investimentos na condução da cultura.

Na 2ª safra, o valor de NDE para milho grão é de intensidade de injúria de notas 6–7 para médio e de 6 para alto investimento; já para milho silagem, tanto para alto quanto médio investimento, o NDE é de nota 6–7 da escala Davis.

Considerando todos cenários de necessidade aplicação do controle químico, nível de controle (NC) da lagarta do cartucho na 1ª safra pode assumir os seguintes (escala Davis): milho grão: 6–7 para médio investimento e 4–5 para alto investimento; silagem: 4–5 (médio investimento) e 4-5 (alto). Na 2ª safra, grão: 5 (médio) e 4–5 (alto); silagem: 4–5 para duas e quatro aplicações.

2.6. REFERÊNCIAS

- ANUALPEC. 2009.** ANUALPEC - Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo.
- Biomatrix. 2020.** Manejo Integrado de Pragas: Esclareça suas dúvidas e conheça os benefícios. Sementes Biomatrix. (<https://sementesbiomatrix.com.br/blog/fitossanitario/manejo-de-pragas/manejo-integrado-de-pragas/>).
- Boas. 2023.** Boas Práticas Agronômicas. Boas Práticas. (<https://boaspraticasagronicas.com.br/quem-somos/>).
- Britz, C. 2020.** Relationship between *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) damage and yield loss in maize.
- Carvalho, R. P. L. 1970.** Danos, flutuação da população, controle e comportamento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) e suscetibilidade de diferentes genótipos de milho, em condições de campo. 170.
- CONAB. 2023.** Acompanhamento da safra brasileira.
- Cruz, I., and F. T. Turpin. 1982.** Efeito da *Spodoptera frugiperda* em diferentes estádios de crescimento da cultura do milho. *Pesqui Agropecu Bras.* 17: 355–359.
- Davis, F., S. Ng, and W. Williams. 1992.** Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. *Technical Bulletin-Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station.* 186: 1–9.
- Day, R., P. Abrahams, M. Bateman, T. Beale, V. Clotney, M. Cock, Y. Colmenarez, N. Corniani, R. Early, J. Godwin, J. Gomez, P. G. Moreno, and S. T. Murphy. 2017.** Fall armyworm: impacts and implications for África. *Outlooks on pest management.* 28: 196–201.
- Earl, H. J., and R. F. Davis. 2003.** Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron J.* 95: 688–696.
- FAO. 2020.** Top 10 Country Production of Maize. Food and Agriculture Organization of the United States. (https://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity).
- Forseed. 2016.** Boas Práticas Agronômicas. Forseed. (<https://www.forseedsementes.com.br/boas-praticas-agronicas/monitoramento-de-pragas/>).

- Goergen, G., P. L. Kumar, S. B. Sankung, A. Togola, and M. Tamò. 2016.** First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central África. PLoS One. 11: 1–9.
- Hellwig, L., A. P. S. A. da Rosa, A. D. Grützmacher, P. M. dos Santos, C. de O. Trecha, L. B. Medina, and M. V. Fipke. 2016.** Avaliação de Dano de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em Plantas de Milho em Casa de Vegetação. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Clima Temperado Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Pelotas.
- Higley, L., and L. Pedigo. 1996.** Economic thresholds for integrated pest management. University of Nebraska Press, Lincoln, NE.
- Huis, A. van. 1981.** Integrated pest management in the small farmer's maize crop in Nicaragua. Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen. 81: 221 p.
- IPPC/FAO. 2020.** First detection of *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) in Torres Strait. International plant protection convention. (file:///C:/Users/Usuario/Downloads/003.026.0286.pdf).
- Jing, D. P., J. F. Guo, Y. Y. Jiang, J. Z. Zhao, A. Sethi, K. L. He, and Z. Y. Wang. 2019.** Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in cornfields using molecular techniques. Insect Sci. 1–11.
- Lima, C. H., R. A. Sarmiento, P. S. Pereira, A. V Ribeiro, D. J. Souza, and M. C. Picanço. 2018.** Economic injury levels and sequential sampling plans for control decision-making systems of *Bemisia tabaci* biotype B adults in watermelon crops. Pest Manag Sci.
- Loy, D. D., and E. L. Lundy. 2019.** Nutritional properties and feeding value of Corn and its coproducts, 3rd ed, Corn. Elsevier Inc.
- Matthews, G. A. 2008.** Attitudes and behaviours regarding use of crop protection products-A survey of more than 8500 smallholders in 26 countries. Crop Protection. 27: 834–846.
- Morrill, W. L., and G. L. Greene. 1973.** Distribution of fall armyworm larvae 1. Regions of field corn plants infested by larvae. Environ Entomol. 2: 195–198.
- Nakano, O. 2011.** Entomologia Econômica, 1^a. ed. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

- Obando, R. 1976.** Cogollero: umbrales permisibles de dano foliar en maiz. XXII Reunion Anual del PCCMCA, San Jose.
- Overton, K., J. L. Maino, R. Day, P. A. Umina, B. Bett, D. Carnovale, S. Ekesi, R. Meagher, and O. L. Reynolds. 2021.** Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Protection*. 145: 105641.
- Pedigo, L., S. H. Hutchins, and L. G. Higley. 1986.** Economic Injury Levels in Theory and Practice. *Annu Rev Entomol*. 31: 341–368.
- Pedigo, L. P., L. G. Higley, and P. M. Davis. 1989.** Concepts and advances in economic thresholds for soyben entomology. *In* Pascale, A.J. (ed.), *Proc. World Soybean Res. Conf. IV. Vol 3. Bueno Aires*.
- Pedigo, L. P., and M. E. Rice. 2009.** *Entomology and pest management*, 6th ed. Upper Saddle River, Pearson Prentice Hall, Nova Jersey.
- Pereira, C. J., and L. J. Hellman. 1993.** Economic Injury Levels for *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Silage Corn in Maryland. *J Econ Entomol*. 86: 1266–1270.
- Peterson, R. K. D., A. C. Varella, and L. G. Higley. 2017.** Tolerance: The forgotten child of plant resistance. *PeerJ*. 2017.
- Pinto, C. B., R. A. Sarmiento, P. S. Pereira, B. G. Barbosa, C. Henrique, O. Lima, N. Rodrigues, M. C. Picanc, A. Peter, and H. Rolfs. 2017.** Sampling and biostatistics standardized sampling plan for the Thrips *Frankliniella schultzei* (Thysanoptera: Thripidae) on watermelon crops. *Journal of Economic Entomology*. 110: 748–754.
- Rudnick, D., S. Irmak, C. Ray, J. Schneekloth, M. Schipanski, I. Kisekka, A. Schlegel, J. Aguilar, D. Rogers, D. Mitchell, C. West, T. Marek, Q. Xue, W. Xu, and D. Porter. 2017.** Deficit irrigation management of corn in the right plains: A Review, Available from CPIA. Burlington.
- Sarmiento, J., and J. Cassanova. 1975.** Busqueda de limites de aplicaion en el control del “cogollero” de maiz. *Spodoptera frugiperda* S & A. *Revista Peruana de Entomologia*. 18: 104–107.
- Sheaffer, C. C., J. L. Halgerson, and H. G. Jung. 2006.** Hybrid and N fertilization affect corn silage yield and quality. *J Agron Crop Sci*. 192: 278–283.

- Silvestre, A. M., and D. D. Millen. 2021.** The 2019 Brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 50: 1–25.
- Sparks, A. N. 1979.** A review of the biology of the fall armyworm. *Fla Entomol.* 62: 82–87.
- Stern, V. M., R. F. Smith, R. Van den Bosch, and K. S. Hagen. 1959.** The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid: The integrated control concept. *The integrated control concept*. 29: 81–101.
- Tabashnik, B. E., T. Brévault, and Y. Carrière. 2013.** Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nat Biotechnol.* 31: 510–521.
- Thierfelder, C., S. Niassy, C. Midega, S. Sevgan, J. van der Berg, B. M. Prasanna, F. Baudron, and R. Harrison. 2018.** Low-cost Agronomic practices and Landscape management approaches to control FAW, pp. 89–96. *In Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management*.
- USDA. 2019.** Crop Production 2018 Summary. Washington, D.C.
- Young, J. R., and H. R. Gross. 1975.** Insect control in summer planted sweet and field corn in South Georgia., p. 3. *In Meeting of the Entomological Society of America*. New Orleans.
- Yu, S. J. 1991.** Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)', *Pestic Biochem Physiol.*

2.7. TABELAS E FIGURAS

Tabela 2.1. Custos do controle químico (R\$ ha⁻¹) de *Spodoptera frugiperda* em cultivos de milho em função da tecnologia de aplicação de inseticidas.

Equipamentos	Unidade	Custo (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)	
				2 aplicações	4 aplicações
EPI	unid.	150,00	0,1	15,00	15,00
Trator	h	124,38	0,1	12,44	12,44
Avião	ha	32,5	1	32,50	32,50
Costal	h	0,60	6	3,60	3,60
Inseticidas					
Espineteram	L	1260,00	0,1	126,00	126,00
Clorfenapir	L	213,4	0,75	160,05	160,05
Benzoato de Emamectina	kg	1015,33	0,3	304,60	304,60
Clorantraniliprole	L	842,75	0,125	105,34	105,34
Espinosade	L	1756	0,1	175,60	175,60
Flubendiamida	L	656,5	0,15	98,48	98,48
Clorpirifós	L	44,135	0,6	26,48	26,48
Metomil	L	51,3	0,4	20,52	20,52
Bifentrina + Carbossulfano	L	167,5	1	167,50	167,50
Custo médio de inseticida por aplicação (R\$)				131,62	131,62
Custo por aplicação Manual (R\$)				150,22	150,22
Custo por aplicação Terrestre (R\$)				159,06	159,06
Custo por aplicação Aérea (R\$)				179,12	179,12
Número de aplicação por cultivo				2	4
<i>Custo total de controle – Aplicação Manual (R\$)</i>				<i>300,44</i>	<i>600,88</i>
<i>Custo total de controle – Aplicação terrestre* (R\$)</i>				<i>318,11</i>	<i>636,23</i>
<i>Custo total de controle – Aplicação com Avião (R\$)</i>				<i>358,24</i>	<i>716,48</i>

* Usando pulverizador tratorizado ou autopropelido

Tabela 2.2. Valores da produção (R\$. ha⁻¹) de lavouras de milho em função do sistema de produção e nível de investimento utilizado.

Nível de investimento	Sistema de produção	
	Produção de grãos	Produção de silagem
Médio	7600,00	18810,00
Alto	16000,00	27170,00

Na safra de 2020/21, o valor médio da saca de milho (60 kg) e da tonelada de silagem foram de R\$ 80,00 e 418,00, respectivamente.

Tabela 2.3. Valores da produção (R\$. ha⁻¹) de lavouras de milho em função do sistema de produção e nível de investimento utilizado.

Nível de investimento	Sistema de produção	
	Produção de grãos	Produção de silagem
Médio	9025,00	22500,00
Alto	19000,00	32500,00

Na safra de 2021/22 Valor médio da saca de milho (60 kg) e da tonelada de silagem foram de R\$ 95,00 e 500,00, respectivamente

Tabela 2.4. Limiar econômico de perda percentual (EIL%) e rendimento economicamente viável da cultura ($Y_{EIL\%}$) sob ataque de *Spodoptera frugiperda* no cartucho do milho, dependendo do intuito da produção, nível de investimento do produtor e tecnologia de aplicação da medida de controle populacional.

Limiar (%)	Modo de aplicação de praguicida	Produção de grãos				Produção de silagem			
		N. inv. médio		N. inv. alto		N. inv. médio		N. inv. alto	
		2 aplic.	4 aplic.	2 aplic.	4 aplic.	2 aplic.	4 aplic.	2 aplic.	4 aplic.
Perda (EIL%)	Manual	4,94	9,88	2,35	4,69	2,00	3,99	1,38	2,76
	Terrestre	5,23	10,46	2,49	4,97	2,11	4,23	1,46	2,93
	Aérea	5,89	11,78	2,80	5,60	2,38	4,76	1,65	3,30
Produção (YEIL%)	Manual	95,06	90,12	97,65	95,31	98,00	96,01	98,62	97,24
	Terrestre	94,77	89,54	97,51	95,03	97,89	95,77	98,54	97,07
	Aérea	94,11	88,22	97,20	94,40	97,62	95,24	98,35	96,70

Tabela 2.5. Níveis de dano econômico (em valores de intensidade injúria foliar baseados na escala Davis) para *Spodoptera frugiperda* em cultivos de milho de 1ª safra em função da finalidade de produção, nível de investimento no cultivo e modalidade de aplicação de inseticida.

Modalidade de aplicação	Nível de investimento do produtor	Produção de grãos		Produção de silagem	
		2 aplicações	4 aplicações	2 aplicações	4 aplicações
Manual	Médio	8,0	8,8	5,9	6,9
	Alto	7,1	7,9	5,4	6,3
Terrestre	Médio	8,0	8,9	5,9	7,0
	Alto	7,2	8,0	5,5	6,4
Avião	Médio	8,2	9,1	6,1	7,1
	Alto	7,3	8,1	5,6	6,6

*Aplicação de inseticida com pulverizador costal

Tabela 2.6. Níveis de controle (em valores de intensidade injúria foliar baseados na escala Davis) para *Spodoptera frugiperda* em cultivos de milho de 1ª safra em função do sistema de produção, nível de investimento no cultivo e modalidade de aplicação de inseticidas.

Modalidade de aplicação	Nível de investimento	Produção de grãos		Produção de silagem	
		2 aplicações	4 aplicações	2 aplicações	4 aplicações
Manual	Médio	6,0	6,6	4,4	5,2
	Alto	5,3	5,9	4,1	4,7
Terrestre	Médio	6,0	6,7	4,4	5,3
	Alto	5,4	6,0	4,1	4,8
Avião	Médio	6,2	6,8	4,6	5,3
	Alto	5,5	6,1	4,2	5,0

*Aplicação de inseticida com pulverizador costal

Tabela 2.7. Limiar econômico de perda percentual (EIL%) e rendimento economicamente viável da cultura ($Y_{EIL\%}$) sob ataque de *Spodoptera frugiperda* no cartucho do milho, dependendo do intuito da produção, nível de investimento do produtor e tecnologia de aplicação da medida de controle populacional.

Limiar	Modo de aplicação de praguicida	Produção de grãos				Produção de silagem			
		N. inv. médio		N. inv. alto		N. inv. médio		N. inv. alto	
		2 aplic.	4 aplic.	2 aplic.	4 aplic.	2 aplic.	4 aplic.	2 aplic.	4 aplic.
Perda (EIL%)	Manual	4,16	8,32	1,98	3,95	1,67	3,34	1,16	2,31
	Terrestre	4,41	8,81	2,09	4,19	1,77	3,53	1,22	2,45
	Aérea	4,96	9,92	2,36	4,71	1,99	3,98	1,38	2,76
Produção (YEIL%)	Manual	95,84	91,68	98,02	96,05	98,33	96,66	98,84	97,69
	Terrestre	95,59	91,19	97,91	95,81	98,23	96,47	98,78	97,55
	Aérea	95,04	90,08	97,64	95,29	98,01	96,02	98,62	97,24

N. inv., Nível de investimento; aplic., aplicações.

Tabela 2.8. Níveis de dano econômico (em valor baseado es na média da Escala Davis) para *Spodoptera frugiperda* em cultivos de milho em função do sistema de produção, nível de investimento utilizado e tecnologia de aplicação de inseticidas.

Modo de aplicação	Nível de investimento	Produção de grãos		Produção de silagem	
		2 aplicações	4 aplicações	2 aplicações	4 aplicações
Manual	Médio	6,1	6,9	5,8	6,4
	Alto	5,5	6,1	5,5	6,1
Terrestre	Médio	6,2	6,9	5,8	6,5
	Alto	5,5	6,1	5,5	6,1
Avião	Médio	6,3	7,1	5,9	6,6
	Alto	5,6	6,3	5,6	6,2

*Aplicação de inseticida com pulverizador costal

Tabela 2.9. Níveis de controle (em valor de intensidade da injúria foliar da Escala Davis) para *Spodoptera frugiperda* em cultivos de milho de 2ª safra em função da finalidade da produção, nível de investimento utilizado e tecnologia de aplicação de inseticidas.

Modo de aplicação	Nível de investimento	Produção de grãos		Produção de silagem	
		2 aplicações	4 aplicações	2 aplicações	4 aplicações
Manual	Médio	4,6	5,2	4,4	4,8
	Alto	4,1	4,6	4,1	4,6
Terrestre	Médio	4,7	5,2	4,4	4,9
	Alto	4,1	4,6	4,1	4,6
Avião	Médio	4,7	5,3	4,4	5,0
	Alto	4,2	4,7	4,2	4,7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos sobre bieconomia do manejo integrado de pragas na agricultura costumam focar no componente econômico do termo e negligenciar o elemento fundamental de determinação da relação da injúria da praga com a produtividade da cultura. Nesta tese, foram criteriosamente traçadas curvas que descrevem a relação da injúria foliar de *S. frugiperda* e a produtividade de milho grão e silagem em realísticas condições de campo. Também propomos níveis de dano econômico para cenários representativos dos cultivos de milho. A relação da intensidade da injúria foliar com a produtividade se mostrou condicionada por alguns fatores como a época do cultivo de milho. O modelo logístico de três parâmetros foi satisfatório para descrever a produtividade de grãos e silagem em função da intensidade da injúria na escala Davis. A curva de dano da lagarta do cartucho para milho grão e de milho silagem pode ser descrita em função da intensidade de injúria foliar na referida escala. Os resultados da pesquisa têm importantes implicações para o manejo do inseto na cultura do milho.

Nos cultivos avaliados, houve queda acentuada na produtividade somente em graus mais altos da injúria de desfolha. Esse padrão ocorreu na época de cultivo de primavera-verão e outono-inverno e em plantas de diversos estágios fenológicos que ocorreu desfolha pela lagarta do cartucho (e.g., V6-12, VT-R2). A perda de produtividade ocorreu em valores de nota Davis ≥ 5 . Somente esses resultados bastam para suportar o padrão da tolerância das plantas de milho a desfolha pela lagarta do cartucho. A evidência é ainda mais forte porque os resultados desta tese representam o cenário em que todas as plantas do cultivo submetidas à maior intensidade de ataque (valor 9 na escala Davis; plantas com o cartucho de folhas destruídas). Na maioria dos resultados aqui obtidos, a maior perda de produtividade foi de aproximadamente 20%, valor inferior aos 34% proposto em 1970. Também foi possível visualizar a variação do rendimento da cultura em função da intensidade de injúria. Em alguns casos de baixa intensidade de ataque parece ter ocorrido resposta de supercompensação das plantas. Esse fenômeno pôde ser observado devido ao grande número de amostras de plantas individuais tomadas, diferente do método padrão de observações no conjunto das plantas. Porém, melhoria na coleta de dados

pode possibilitar entender se a sobreposição (acúmulo) de injúria ao longo do desenvolvimento da planta afeta a sua produtividade.

O custo de controle químico de *S. frugiperda* estimado varia entre 1,0 e 8,6% do valor da produção de milho grão e 7,2% de milho silagem. Enquanto o máximo valor de nível de dano econômico (NDE) foi cerca de 10% em perda percentual, no pior cenário de alta intensidade do ataque (nota 9 da escala Davis), cerca de 30% foi a perda de produtividade. Diante desses valores, pode parecer economicamente viável realizar o controle da praga independente da intensidade de ataque atingir o limiar de dano econômico, embora essa prática seja contrária aos princípios da produção sustentável na agricultura.

Obteve-se que a situação de menor nível dano de econômico da lagarta do cartucho em milho ocorre em intensidade de injúria de nota 3 (NDE = 3 na escala Davis). Isso corresponde à situação quando 100% das plantas de milho de um cultivo sofrem aquela intensidade de desfolha pela lagarta do cartucho. O valor de 20% de plantas com nota 3 na escala é então cinco vezes mais conservativo (menor) que o valor de NDE aqui determinado. Assim, tal valor de 20% pode, com ampla margem de segurança, ser usado como o nível de controle para *S. frugiperda* em cultivos de milho. Em fim, os resultados desta pesquisa suportam a hipótese de que os valores propostos atualmente como nível de controle para a lagarta do cartucho em milho estão exageradamente baixos. Precisamos continuar a avançar a ciência da bioeconomia para propor programas mais sustentáveis de manejo de *S. frugiperda* nos campos de produção de milho.