



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA
CAMPUS SETE LAGOAS**

MARIANA CHAVES DE OLIVEIRA

***Bacillus thuringiensis* COMBINADO COM O ÁCIDO BÓRICO PARA
CONTROLE DE LAGARTA-DO-CARTUCHO (*Spodoptera frugiperda*)**

Sete Lagoas, MG

2026

MARIANA CHAVES DE OLIVEIRA

***Bacillus thuringiensis* COMBINADO COM O ÁCIDO BÓRICO PARA
CONTROLE DE LAGARTA-DO-CARTUCHO (*Spodoptera frugiperda*)**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Cidália Gabriela Santos Marinho

Coorientador: Dr. Fernando Hercos Valicente

Sete Lagoas, MG

2026

MARIANA CHAVES DE OLIVEIRA

***Bacillus thuringiensis* COMBINADO COM O ÁCIDO BÓRICO PARA
CONTROLE DE LAGARTA-DO-CARTUCHO (*Spodoptera frugiperda*)**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Sete Lagoas, 08 de julho de 2026.

Banca avaliadora:

Dr^a. Cidália Gabriela Santos Marinho — Universidade Federal de São João del-Rei

Dr. Fernando Hercos Valicente — Embrapa Milho e Sorgo

Dr^a. Tatiane Teixeira de Melo — Embrapa Milho e Sorgo

Nada é pequeno se feito por amor.

Santa Teresinha do Menino Jesus (Poeta espanhol)

Dedico ao meus pais, José Gomes e Maria da Paixão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Deus, pelo dom da vida, sustento e estímulo à luta todos os dias.

A meu pai e minha mãe, José Gomes e Maria da Paixão, pelo amor incondicional e incentivo aos estudos.

Aos meus irmãos, Marden e Emerson, pelo apoio, amparo e conselhos nas adversidades.

A minha amiga, Tatiane Aparecida, que sempre me encorajou durante a realização dos meus trabalhos e torceu pelas minhas conquistas.

A Fernando, Cidália e Tatiane, orientadores que se dedicaram e estimularam minha formação acadêmica.

A Jean, analista do Laboratório de Controle Biológico, que acompanhou e coorientou minhas atividades na Embrapa.

A todos os colegas do Laboratório de Controle Biológico, que contribuíram para meu aperfeiçoamento profissional e pessoal.

A Universidade Federal de São João del-Rei e Embrapa Milho e Sorgo pelos recursos fornecidos e oportunidade de formação profissional.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1 Criação de <i>Spodoptera frugiperda</i>	11
2.2 Crescimento bacteriano.....	11
2.3 Infecção das lagartas.....	11
2.4 Avaliação.....	12
2.5 Isolamento do Bt por maceração.....	13
2.6 Observação microscópica.....	13
2.7 Análise estatística.....	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
4 CONCLUSÃO.....	20
5 AGRADECIMENTOS.....	21
6 REFERÊNCIAS.....	21

RESUMO

O *Bacillus thuringiensis* (Bt) Berliner, 1911 (Bacillales, Bacillaceae) é um dos principais recursos utilizados na produção de bioinseticidas para manejo agrícola sustentável de insetos-praga, destacando-se por sua efetividade de controle contra a espécie *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae). A procura por alternativas que aumentem a eficiência de controle ao utilizar este entomopatógeno é uma realidade associada à demanda crescente por inseticidas biológicos eficazes. Neste contexto, a verificação dos efeitos de compostos químicos na ação conjunta de letalidade do Bt é relevante em virtude do potencial para o aumento de sua eficácia de controle. Diante desse cenário, o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos da combinação do ácido bórico com o *B. thuringiensis* sobre a mortalidade de *S. frugiperda*. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Controle Biológico, na Embrapa Milho e Sorgo. Lagartas *S. frugiperda* foram submetidas ao controle negativo e aos tratamentos com o ácido bórico, o Bt individualmente, e o Bt em combinação com o ácido bórico. A mortalidade diária foi avaliada observando-se os sintomas e mudanças de coloração das lagartas após a morte. Além disso, realizaram-se plaqueamentos dos macerados de lagartas mortas coletadas dos tratamentos contendo o Bt e a observação das culturas em microscópio. Os resultados demonstram que o ácido bórico pode otimizar a eficácia de controle do Bt para *S. frugiperda*, indicando que tal combinação pode intensificar a sua atividade de maneira significativa, além de reduzir o tempo de ação para a mortalidade das lagartas.

Palavras-chave: Controle biológico. Ácido bórico. Sinergismo subaditivo.

ABSTRACT

Bacillus thuringiensis (Bt) Berliner, 1911 (Bacillales, Bacillaceae) is a key resource in the production of bioinsecticides for the sustainable agricultural management of insect pests, notable for its effectiveness in controlling the species *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae). The search for alternatives to enhance control efficiency when using this entomopathogen is driven by the growing demand for effective biological insecticides. In this context, investigating the effects of chemical compounds on the lethal action of Bt is relevant due to the potential to increase its control efficacy. Given this scenario, the objective of the present study was to evaluate the effects of combining boric acid with *B. thuringiensis* on the mortality of *S. frugiperda*. The experiments were conducted at the Biological Control Laboratory at Embrapa Maize and Sorghum. *S. frugiperda* larvae were subjected to a negative control and to treatments involving boric acid, Bt alone, and Bt combined with boric acid. Daily mortality was assessed by observing symptoms and color changes in the larvae following death. Additionally, macerates from dead larvae collected from Bt-containing treatments were plated, and the resulting cultures were examined. The results demonstrate that boric acid can improve the control efficacy of Bt against *S. frugiperda*, indicating that this combination can significantly enhance its activity and reduce the time required to cause larval mortality.

Key words: Biological control. Boric acid. Subadditive synergism.

Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Milho e Sorgo

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com o desenvolvimento de uma agricultura sustentável tem impulsionado a busca por alternativas menos agressivas ao meio ambiente, bem como incentivado pesquisas científicas voltadas à redução dos impactos decorrentes das intervenções humanas sobre os ecossistemas. Nesse cenário, a adoção de técnicas de controle biológico de pragas agrícolas tem se intensificado com o objetivo de fomentar o Manejo Integrado de Pragas (MIP) e favorecer a manutenção de agroecossistemas sustentáveis, reduzindo a dependência de pesticidas químicos (Silva et al., 2024). Diante disso, o *Bacillus thuringiensis* (Bt) Berliner, 1911 (Bacillales, Bacillaceae) destaca-se como agente de controle biológico, configurando uma alternativa eficaz e não contaminante, e que é amplamente utilizada no biocontrole de pragas agrícolas (Dibyanoro & Siswojo, 1988).

O Bt é uma bactéria aeróbica Gram-positiva, em forma de bastonete, formadora de esporos e capaz de produzir inclusões proteicas cristalinas durante a fase estacionária de seu crescimento, conhecidas como proteínas Cry e Cyt ou endotoxinas delta (δ) (Hannay & Fitz-James, 1955; Crickmore et al., 1998). Essas proteínas parasporais são responsáveis pela atividade inseticida da espécie, apresentando especificidade de ação contra diferentes ordens de insetos, como lepidópteros, coleópteros, himenópteros e dípteros (Bravo et al., 2012). Além disso, cepas de Bt podem sintetizar proteínas inseticidas vegetativas (Vips), expressas durante a fase de crescimento vegetativo, ampliando seu espectro de ação e contribuindo para a mortalidade do alvo, especialmente de lepidópteros, por meio de alterações no intestino médio das larvas (Estruch et al., 1996).

Destaca-se a aplicação do Bt no controle da espécie *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), praga-chave da cultura do milho, conhecida popularmente como lagarta-do-cartucho (Cruz, 1995). A adoção de produtos que utilizam o Bt como princípio ativo para o controle da lagarta-do-cartucho configura uma possibilidade promissora para a implementação do biocontrole (Valicente, 2008). Ressalta-se que, essa praga é responsável por danos significativos à cultura do milho, podendo ocasionar reduções de produtividade entre 34% e 52%, dependendo do estágio fenológico da planta, das condições edafoclimáticas, do sistema de cultivo e de fatores bióticos associados (Cruz et al., 2002; Valicente, 2008; Valicente, 2015).

Embora o Bt seja uma ferramenta eficaz e amplamente utilizada no controle biológico, o uso contínuo e muitas vezes baseado em uma única cepa ou toxinas específicas, associado à elevada capacidade reprodutiva e adaptativa da *S. frugiperda*, favorece a seleção de populações resistentes (Deiss & Edgington, 2024; Omoto & Bernardi, 2015). Esse cenário representa um dos principais desafios fitossanitários da agricultura brasileira, especialmente na cultura do milho (Barcellos, 2025). Dessa forma, torna-se pertinente o desenvolvimento de estudos que busquem estratégias capazes de aumentar a eficiência do Bt, considerando sua relevância e efetividade nos programas de MIP e sua importância como agente de controle biológico.

Nesse sentido, estudos indicam que a associação de agentes químicos de ação inseticida com entomopatógenos podem potencializar a eficácia do biocontrole, funcionando como estratégia complementar no manejo de pragas (Bertoli, 2024; Borges Junior, 2024; Oliveira et al., 2003; Simi, 2014). O uso de substâncias sinergistas reduz a dose necessária do agente biológico para obter um controle satisfatório, ampliando sua eficiência, além de melhorar a relação custo-benefício dos programas de controle (Reis, 2022). De forma geral, inseticidas químicos podem atuar como agentes estressantes, aumentando a suscetibilidade dos insetos às toxinas produzidas pelo Bt e potencializando sua ação (Polanczyk & Alves, 2005a).

A interação entre Bt e inseticidas sintéticos foi relativamente bem estudada (Polanczyk & Alves, 2005a). Contudo, ainda há lacunas quanto à associação entre esse entomopatógeno e compostos químicos inorgânicos com potencial inseticida. Nesse contexto, o ácido bórico destaca-se como um composto inorgânico sólido, amplamente utilizado na forma de pó branco cristalino, com reconhecida atividade inseticida. Essa substância apresenta toxicidade para diferentes grupos de insetos e foi historicamente utilizada no controle de pragas antes do desenvolvimento dos inseticidas orgânicos sintéticos (Ebeling, 1995). Formulações diversas à base de ácido bórico ainda são empregadas no controle de infestações agrícolas e urbanas, com eficácia comprovada contra cupins e baratas (Bare, 1945; Sierras et al., 2018).

Diante da necessidade de investigação de substâncias com potencial efeito sinérgico ao Bt para incremento da eficiência de biocontrole, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da associação entre ácido bórico e *B. thuringiensis* no controle de lagartas de *S. frugiperda*, buscando compreender os impactos dessa combinação sobre a mortalidade das larvas e sua viabilidade como estratégia de incremento da eficiência do controle biológico desta praga.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Controle Biológico, na Embrapa Milho e Sorgo.

2.1 Criação de *Spodoptera frugiperda*

Lagartas de primeiro instar de *S. frugiperda*, provenientes da criação do Laboratório de Controle Biológico da Embrapa Milho e Sorgo, foram utilizadas neste estudo. A criação é conduzida de acordo com Leite et al. (2016), sendo mantida em condições padronizadas em sala climatizada, sob temperatura 26 ± 1 °C, umidade relativa de $70 \pm 10\%$ e fotofase de 12 horas.

O ciclo biológico completo da *S. frugiperda* mantida sob essas condições varia geralmente entre 25 a 30 dias, de forma que ocorrem cinco ou seis ínstaes na fase larval.

2.2 Crescimento bacteriano

O meio de cultura utilizado para o crescimento microbiano do Bt foi o Luria-Bertani (LB) com adição de sais (MgSO_4 , FeSO_4 , MnSO_4 e ZnSO_4). No crescimento, foi utilizada a cepa 1641, proveniente da Coleção de Cepas de *B. thuringiensis* do Laboratório de Controle Biológico. Após o processo de inoculação, a solução nutritiva permaneceu em incubadora shaker a 260 rpm e 27 ± 2 °C durante o período de 72 horas, sendo este intervalo necessário para a produção e liberação dos esporos e cristais proteicos da bactéria.

2.3 Infecção das lagartas

O processo de infecção foi realizado utilizando quatro tratamentos, sendo eles o ácido bórico na concentração de 2%, o Bt na concentração de 5×10^6 esporos/mL, a combinação de ácido bórico na concentração de 2% com Bt na concentração de 5×10^6 esporos/mL e o controle negativo (testemunha), que recebeu água destilada.

No preparo do tratamento contendo Bt foi elaborada uma suspensão bacteriana homogênea na concentração de 5×10^6 esporos/mL em 20 ml de água destilada. O tratamento contendo ácido bórico foi preparado pela diluição de 0,4 g do composto em 20 mL de água destilada, obtendo-se concentração final de 2%. O tratamento combinado foi preparado pela adição de 0,4 g de ácido bórico a 20 mL da suspensão bacteriana previamente preparada na concentração de 5×10^6 esporos/mL. O tratamento controle recebeu apenas água destilada.

A virulência dos tratamentos foi avaliada em lagartas neonatas de *S. frugiperda*, com até 24 horas após a eclosão. As lagartas foram alimentadas com dieta artificial padronizada, composta por feijão, germe de trigo e componentes nutricionais, conforme metodologia descrita por Valicente & Barreto (2003). As dietas artificiais foram preparadas em cubos de aproximadamente 1 cm³ e acondicionadas individualmente em copos plásticos transparentes de 50 mL, organizados em suportes de isopor. Cada suporte continha o total de 24 copos plásticos, sendo que foram utilizados quatro suportes por tratamento.

A aplicação dos tratamentos foi realizada por pipetagem direta sobre a superfície da dieta, utilizando-se 150 µL da respectiva solução em cada unidade experimental. Após a secagem das dietas em temperatura ambiente, uma lagarta neonata foi transferida para cada copo plástico (Figura 1) e as unidades experimentais foram mantidas em sala climatizada sob temperatura de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas. As lagartas permaneceram sob essas condições durante o período experimental de 7 dias, sendo avaliadas quanto à mortalidade.

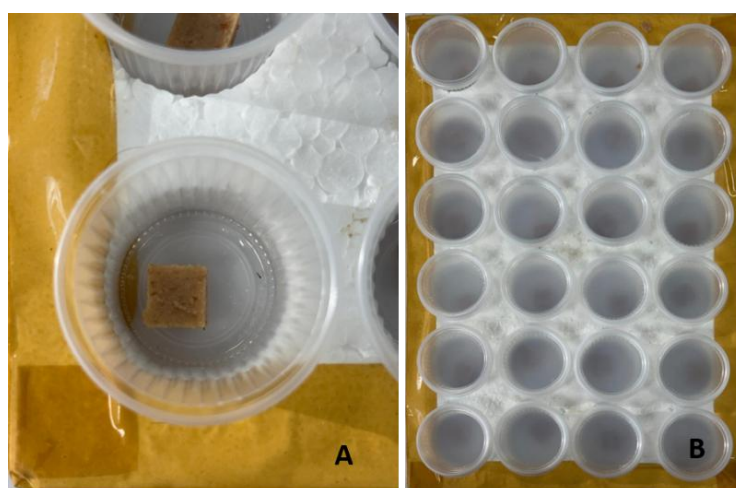


Figura 1. Copo plástico contendo 1 cm³ de dieta artificial do controle negativo e uma lagarta neonata de *Spodoptera frugiperda* (A). Suporte de isopor com controle negativo (B). Fonte: Autora.

2.4 Avaliação

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, contendo quatro tratamentos, com quatro repetições para cada tratamento, e 24 unidades amostrais por repetição, onde uma lagarta foi inserida por unidade experimental. As avaliações iniciaram no primeiro dia após a infecção e foram realizadas diariamente durante sete dias, exceto no final de semana (sábado e domingo). Acompanhou-se a mortalidade diária para cada tratamento e

foram observados e registrados os sintomas letais, como ausência de resposta a estímulos e mudanças de coloração do tegumento.

Durante o período de avaliação, as lagartas mortas provenientes dos tratamentos que continham o Bt foram coletadas para posterior maceração, plaqueamento e observação em microscópio.

2.5 Isolamento do Bt por maceração

Com o objetivo de identificar a presença de Bt, confirmando a infecção pela cepa 1641, as lagartas mortas obtidas dos tratamentos com o Bt na concentração de 5×10^6 esporos/mL e o ácido bórico na concentração de 2% em combinação com o Bt na concentração de 5×10^6 esporos/mL foram coletadas, maceradas e submetidas ao processo de inoculação em placa de Petri.

Para o processo de maceração, lagartas coletadas foram acondicionadas em tubos *ependorf* de 1,5 mL, identificados por tratamento e data de mortalidade, e armazenados em freezer a -18 ± 2 °C. Ao final do período de avaliação do experimento e, conseqüentemente, final da coleta de lagartas mortas por tratamento contendo o Bt, essas lagartas foram maceradas. No processo de maceração, foram utilizados 15 µL de água deionizada autoclavada em cada *ependorf*.

O meio de cultura utilizado para o processo de inoculação e crescimento microbiano do material macerado em placa de Petri foi o Luria-Bertani (LB) com adição de sais (MgSO_4 , FeSO_4 , MnSO_4 e ZnSO_4) e ágar. O material macerado foi plaqueado por espalhamento em superfície e, posteriormente, mantido em estufa bacteriológica a $29 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ durante o período de 72 horas. Após esse período, observou-se visualmente a morfologia das colônias formadas e avaliou-se o seu conteúdo em microscópio. Posteriormente, as placas contendo as colônias foram mais uma vez mantidas na estufa bacteriológica, sob as mesmas condições, por mais 48 horas e, após o total de 120 horas de incubação, as colônias foram novamente observadas em microscópio.

2.6 Observação microscópica

As colônias formadas foram submetidas a observação microscópica, com o intuito de se verificar a presença de esporos e cristais do Bt através da microscopia de contraste de fase. A

observação em microscópio foi realizada após 72 horas de incubação e, posteriormente, realizada novamente após 120 horas de incubação.

2.7 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas no *software* SISVAR. Os dados referentes a mortalidade foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas para Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a coleta e análise dos dados obtidos, verificou-se a potencialização da atividade do *B. thuringiensis* (Bt) quando associado ao ácido bórico na promoção da mortalidade de *S. frugiperda*. Considerando a mortalidade acumulada durante o período de avaliação, o tratamento com ácido bórico na concentração de 2%, associado ao Bt na concentração de 5×10^6 esporos/mL, apresentou as maiores médias de mortalidade, superando os demais tratamentos avaliados, conforme ilustrado na Figura 2.

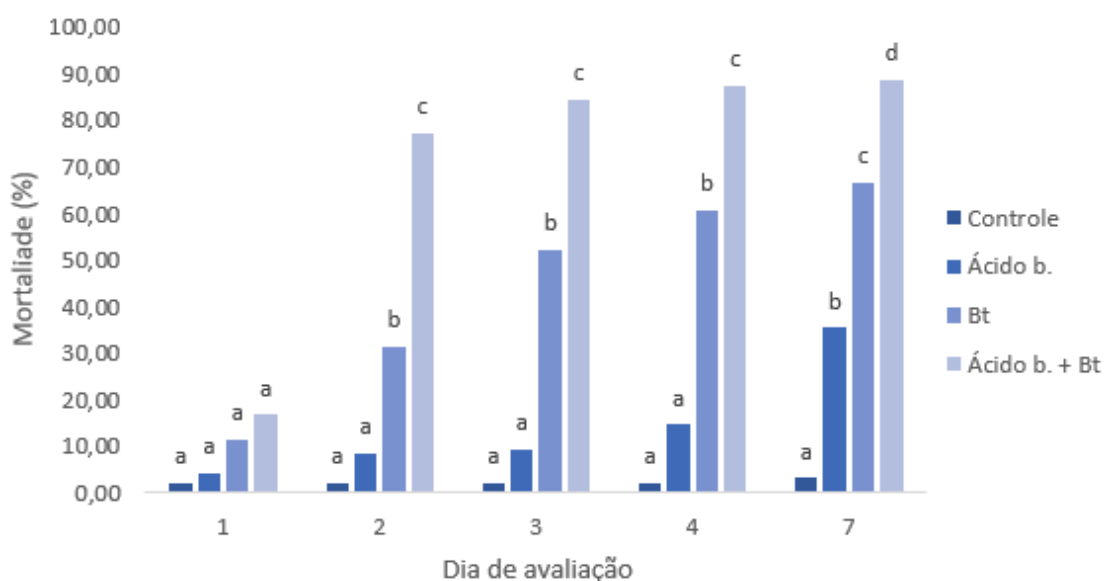


Figura 2. Mortalidade acumulada de lagartas *Spodoptera frugiperda* ao longo dos dias de avaliação. As barras representam as médias da mortalidade de lagartas. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para a mortalidade não diferem estatisticamente, para o teste de Scott e Knott ($p < 0,05$).

A mortalidade das lagartas no tratamento com Bt está relacionada ao mecanismo de ação da bactéria, no qual, após a ingestão oral, as inclusões proteicas atuam sobre as células epiteliais do intestino médio das larvas, causando sua ruptura e levando o inseto à morte (Estruch et al.,

1996). Segundo Almeida (2006), o ácido bórico ao ser ingerido por formigas, promove a desregulação do metabolismo do sistema digestório dos insetos, além de danificar o revestimento intestinal, o que resulta em morte. Apesar da comprovada ação inseticida do ácido bórico, não há registros sobre sua atividade no controle de *S. frugiperda*.

O tratamento contendo ácido bórico em combinação com Bt associou os mecanismos de ação de ambos os componentes no trato digestivo, sugerindo que as lagartas tratadas possivelmente foram submetidas a maior desregulação fisiológica no trato digestivo, causada tanto pela ação das proteínas parasporais do Bt quanto pela atividade do ácido bórico. Dessa forma, o efeito letal manifestou-se de forma mais pronunciada, resultando em maiores médias de mortalidade acumulada ao longo do período de avaliação. Portanto, os resultados indicam que a aplicação conjunta desses materiais aumenta a eficiência de controle de *S. frugiperda*.

Quanto aos sintomas observados, o Bt ocasiona alteração na coloração de *S. frugiperda*, de forma que, após a morte, o tegumento perde o brilho e apresenta coloração preta, com aspecto de rápida decomposição (Habib & Andrade, 1998) (Figura 3A). Esse sintoma pode estar associado à degradação tecidual, em função da ruptura das células intestinais, e à melanização decorrente da infecção (Polanczyk & Alves, 2005 b). Além disso, a capacidade de persistência e multiplicação bacteriana no interior do hospedeiro após a morte pode intensificar o escurecimento corporal observado (Dubois et al., 2012).

O ácido bórico também provoca alterações na coloração das lagartas, contudo, após a morte, observou-se que o tegumento apresenta coloração mais clara e desbotada, com aspecto aquoso (Figura 3B).

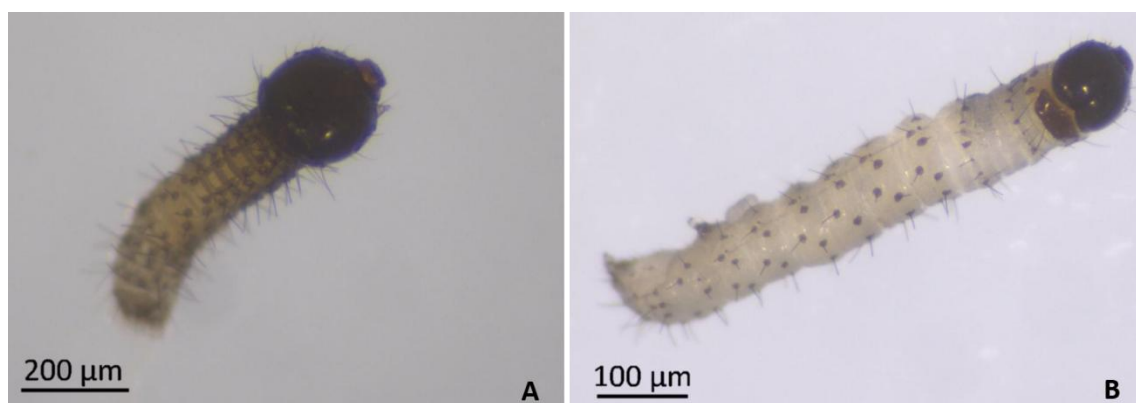


Figura 3. Lagarta *Spodoptera frugiperda* morta no segundo após a infecção por tratamento com *Bacillus thuringiensis* na concentração 5×10^6 esporos/mL (A). Lagarta *Spodoptera frugiperda* morta no segundo após a infecção por tratamento com ácido bórico na concentração 2% (B). Fonte: Autora.

Em função da ação combinada dos agentes de controle no tratamento com ácido bórico associado ao Bt, os sintomas observados nas lagartas mortas foram variados. Algumas lagartas apresentaram características típicas da ação do Bt, enquanto outras exibiram sintomas associados ao ácido bórico, sugerindo a atuação simultânea dos dois componentes no tratamento (Figura 4).



Figura 4. Lagarta *Spodoptera frugiperda* morta no terceiro dia após a infecção pelo tratamento conjunto do *Bacillus thuringiensis* na concentração 5×10^6 esporos/mL com o ácido bórico na concentração 2%. Fonte: Autora.

As médias diferiram estatisticamente entre todos os tratamentos avaliados, evidenciando que tanto o ácido bórico quanto o Bt contribuíram de maneira distinta para a resposta observada, sendo que a aplicação combinada proporcionou uma maior taxa de mortalidade (Tabela 1).

Mortalidade acumulada (%) dos tratamentos					
Tratamento	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 7
Controle	2,09 a	2,09 a	2,09 a	2,09 a	3,13 a
Ácido bórico	4,17 a	8,33 a	9,38 a	14,59 a	35,42 b
Bt	11,46 a	31,35 b	52,09 b	60,54 b	66,67 c
Ácido bórico + Bt	16,67 a	77,08 c	84,38 c	87,50 c	88,54 d

Tabela 1. Mortalidade média acumulada de *Spodoptera frugiperda* a partir dos tratamentos, assumindo-se um erro padrão de $\pm 4,37$.

Embora o ácido bórico tenha apresentado atividade inseticida inferior quando utilizado isoladamente, sua associação com o Bt resultou em mortalidade acumulada de 88,54%, valor significativamente superior às médias observadas para os tratamentos contendo apenas ácido bórico (35,42%) e apenas Bt (66,67%).

A mortalidade acumulada observada no tratamento com o Bt na concentração de 5×10^6 esporos/mL condiz com os resultados relatados por Santos et al. (2021), que avaliou a compatibilidade de biopesticidas Bt e adjuvantes para o controle de *S. frugiperda* em concentrações na ordem de 10^6 esporos/mL. Concentrações nessa ordem são capazes de promover mortalidade em *S. frugiperda*, embora geralmente apresentem eficiência inferior às concentrações mais elevadas frequentemente utilizadas em bioensaios laboratoriais. De acordo com Atta et al. (2024), há um aumento expressivo da mortalidade de *S. frugiperda* quando concentrações superiores a 10^7 – 10^8 esporos/mL de Bt são aplicadas.

Os resultados indicam que a interação entre os compostos potencializou a ação inseticida sobre as lagartas. Essa potencialização, possivelmente relacionada a alterações fisiológicas no trato digestivo das lagartas, é compatível com a hipótese de que o ácido bórico possa atuar como fator de estresse fisiológico, aumentando a eficiência do biocontrole promovido pelo Bt. Contudo, apesar do incremento observado no tratamento combinado, a interação foi caracterizada como sinergismo subaditivo, indicando que a resposta obtida foi superior à promovida pelos tratamentos isolados, porém inferior à soma teórica esperada dos efeitos individuais (Tabela 1).

O comportamento subaditivo indica que, embora a associação entre os compostos tenha promovido incremento significativo da mortalidade, os mecanismos de ação de ambos possivelmente não atuam de forma completamente independente ou cumulativa. É possível que parte dos efeitos fisiológicos desencadeados pelo ácido bórico e pelo Bt ocorra sobre processos biológicos semelhantes, resultando em sobreposição parcial de seus efeitos inseticidas e, conseqüentemente, em uma resposta inferior à soma teórica das mortalidades individuais. Além disso, respostas fisiológicas do hospedeiro, como alterações na ingestão alimentar, na suscetibilidade individual ou na velocidade de progressão dos danos intestinais, também podem influenciar a magnitude da interação observada. Essas hipóteses, entretanto, necessitam de investigação experimental específica para confirmação dos mecanismos envolvidos.

Além do aumento da mortalidade acumulada, no tratamento combinado do ácido bórico com Bt a dinâmica temporal de ação dos agentes também foi influenciada. A associação apresentou menor tempo de ação em comparação aos demais tratamentos, com uma redução expressiva do período necessário para ocorrência da mortalidade das lagartas, indicando aceleração do efeito inseticida promovido pela interação entre os compostos. Sob o ponto de vista do manejo de *S. frugiperda*, esse resultado apresenta elevada relevância prática, pois a

antecipação da mortalidade reduz o período de alimentação das lagartas e, conseqüentemente, o potencial de danos à cultura.

As curvas de mortalidade evidenciam que a associação entre Bt e ácido bórico reduziu o tempo necessário para ocorrência da mortalidade em relação à atividade isolada de cada componente (Figura 5). No segundo dia de avaliação, a mortalidade acumulada no tratamento combinado já atingia 77,08%, valor superior à mortalidade máxima observada no tratamento com Bt isolado (66,67%), ao final do período experimental. Esse é um aspecto importante para a aplicação dessa combinação de produtos no manejo de *S. frugiperda* em campo.

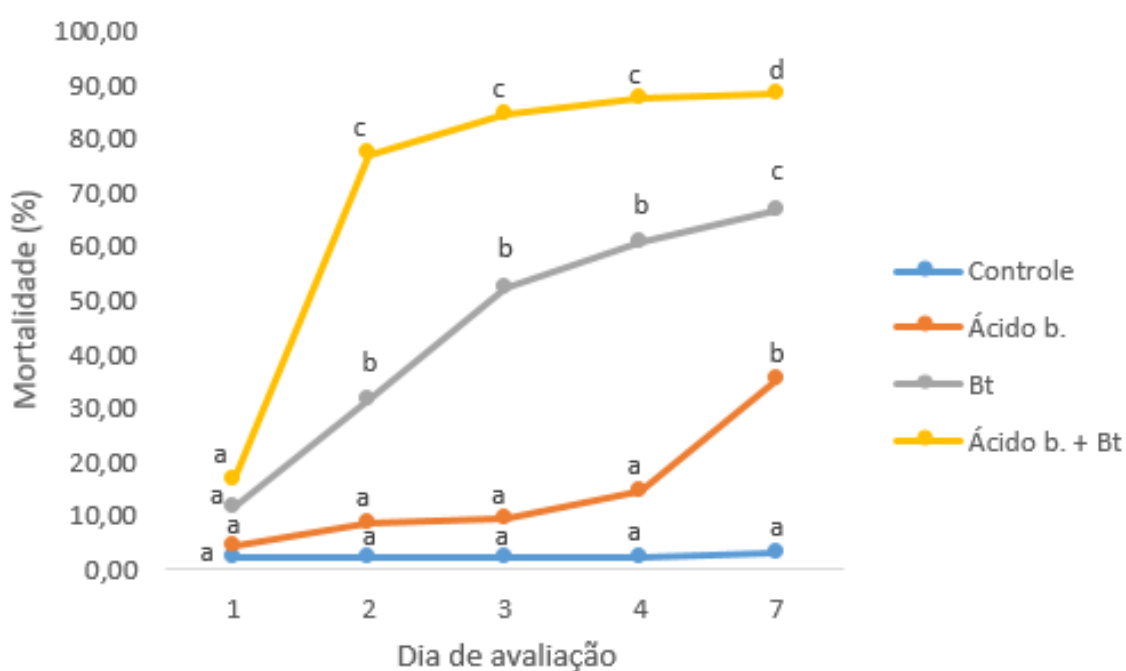


Figura 5. Curvas de mortalidade acumulada de lagartas *Spodoptera frugiperda* ao longo dos dias de avaliação. Os pontos representam as médias da mortalidade de lagartas. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para a mortalidade não diferem estatisticamente, para o teste de Scott e Knott ($p < 0,05$). Fonte: Autora.

Os resultados referentes à mortalidade diária demonstram diferenças importantes na dinâmica temporal de ação dos tratamentos avaliados. O tratamento combinado de ácido bórico e Bt apresentou pico de mortalidade no segundo dia após a infecção, atingindo média de 60,42%, valor substancialmente superior às maiores médias observadas nos tratamentos isolados (Tabela 2). Após esse período, observou-se tendência de estabilização da mortalidade diária no tratamento combinado, sugerindo que grande parte das lagartas suscetíveis foi afetada logo nos primeiros dias de exposição (Figura 6).

Mortalidade média diária (%) dos tratamentos					
Tratamento	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 7
Controle	2,09 a	0 a	0 a	0 a	1,04 a
Ácido bórico	5,21 a	1,13 a	1,04 a	5,21 a	20,86 b
Bt	11,46 a	19,79 b	20,84 b	8,34 a	6,25 a
Ácido bórico + Bt	16,67 b	60,42 c	7,29 a	3,13 a	1,04 a

Tabela 2. Mortalidade média diária de *Spodoptera frugiperda* a partir dos tratamentos, assumindo-se um erro padrão de $\pm 3,28$.

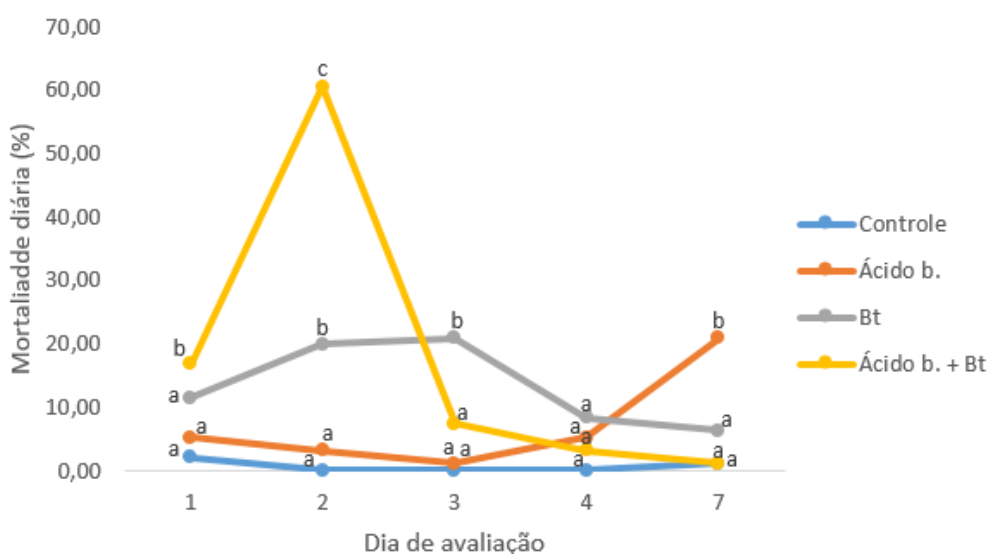


Figura 6. Mortalidade diária de lagartas *Spodoptera frugiperda* ao longo dos dias de avaliação. As barras representam as médias ($\pm$ erro padrão da média) da mortalidade de lagartas. Médias seguidas pela mesma letra minúscula para a mortalidade não diferem estatisticamente, para o teste de Scott e Knott ($p < 0,05$). Fonte: Autora.

Em contraste, o tratamento contendo apenas Bt apresentou maior mortalidade diária no terceiro dia após a infecção, enquanto o ácido bórico isolado atingiu sua maior média apenas no sétimo dia de avaliação. Esses resultados indicam que os compostos avaliados, quando utilizados separadamente, apresentam ação inseticida mais lenta em comparação ao tratamento combinado, cuja atuação simultânea dos mecanismos de ação possivelmente acelerou o desenvolvimento dos sintomas letais, reduzindo o tempo necessário para ocorrência da mortalidade.

O *B. thuringiensis* apresenta persistência no interior de insetos hospedeiros, havendo relatos de capacidade de multiplicação antes da morte do hospedeiro e manutenção da atividade metabólica mesmo após o óbito (Dubois et al., 2012). Foi observado crescimento bacteriano a

partir das lagartas mortas provenientes dos tratamentos com Bt, com identificação de esporos e cristais proteicos (Figura 7). A presença dessas estruturas está associada ao ciclo de vida da bactéria, sendo produzidas durante a fase de esporulação e podendo ser reisoladas após a interação com o hospedeiro (Nascimento et al., 2025). Dessa forma, a observação de esporos e cristais confirma a persistência do Bt nas lagartas analisadas, o que sugere que a bactéria completou seu ciclo biológico e corrobora sua participação no processo infeccioso.

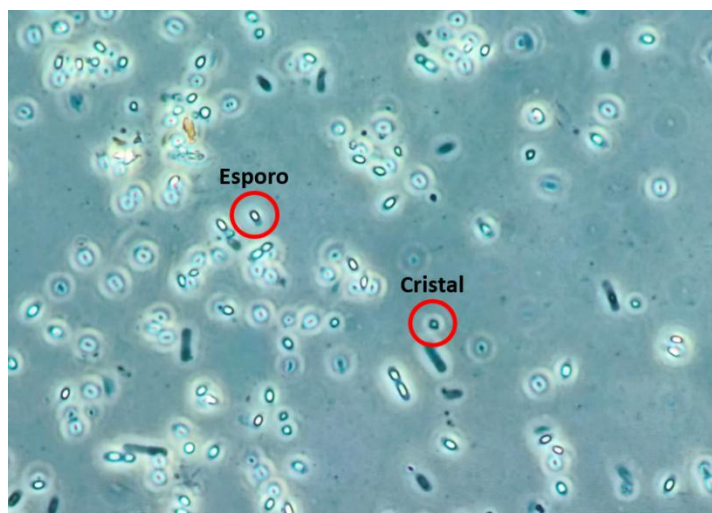


Figura 7. Bastonetes, esporos e cristais observados em microscópio de contraste de fase, a partir de lagartas mortas após a infecção com o Bt. Fonte: Autora.

Os resultados demonstram que a combinação de Bt e ácido bórico promoveu aumento da eficiência de controle e redução do tempo de ação sobre *S. frugiperda*. Ambas as características são relevantes em programas de Manejo Integrado de Pragas (MIP), uma vez que a maior eficiência contribui para a otimização do controle populacional, enquanto a ação mais rápida pode reduzir os danos causados pela alimentação das lagartas na cultura. Dessa forma, os resultados obtidos reforçam o potencial da aplicação conjunta de ácido bórico e Bt como estratégia promissora para o manejo de *S. frugiperda*.

4 CONCLUSÃO

Este estudo apresenta evidências inéditas de que a associação entre ácido bórico e *B. thuringiensis* potencializa o controle de *S. frugiperda*, constituindo uma estratégia promissora para incrementar programas de Manejo Integrado de Pragas. Embora a interação tenha sido caracterizada como sinergismo subaditivo, o tratamento combinado proporcionou mortalidade superior à observada para os agentes utilizados isoladamente.

A combinação entre o Bt e o ácido bórico não somente assegura maior mortalidade e controle, mas, também, viabiliza uma ação de controle mais rápida, uma vez que possui um tempo para ação e mortalidade das lagartas menor. Tais características proporcionam um controle efetivo mais eficiente, o que reafirma o potencial para adoção desta mistura em campo, embora, sejam necessárias pesquisas adicionais, para aprimorar a compreensão acerca das interações entre esses agentes e seus mecanismos de controle, e avaliar os impactos da sua aplicação sobre os tecidos vegetais.

5 AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de São João del-Rei e a EMBRAPA Milho e Sorgo pelo apoio para realização do trabalho

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. de O. **Efeitos do ácido bórico no perfil de expressão protéica em *Camponotus vittatus* (Hymenoptera: Formicinae)**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Bioquímica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15841>. Acesso em: 07 maio 2026.
- ATTA, A. A. M.; AL-AYAT, A. A.; GAD, H. A.; ABDELGALEIL, S. A. M. Comparative effect of biopesticides against the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). **Hellenic Plant Protection Journal**, v. 17, n. 2, p. 75-84, 2024. DOI: <https://doi.org/10.2478/hppj-2024-0007>
- BARCELLOS, E. **Spodopteras na soja: como está o cenário?** Mais agro. 2026. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/dia-a-dia-do-campo/cenario-de-spodopteras-na-soja/>. Acesso em: 14 maio 2026.
- BARE, O. S. Boric acid as a stomach poison for the German Cockroach. **Journal of Economic Entomology**, v. 38, n. 3, p. 407, 1945.
- BERTOLI, C. N. **Revisão sobre o manejo de *Sphenophorus levis* (Vaurie, 1978) em cana-de-açúcar e aplicação de um estudo de caso**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/20766>. Acesso em: 16 abril 2026.
- BORGES JUNIOR, M. F. **Compatibilidade de fungos entomopatogênicos com inseticidas químicos utilizados no manejo integrado em cana-de-açúcar**. 2024. 71 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5506>. Acesso em: 16 abril 2026.
- BRAVO, A., GÓMEZ, I., PORTA, H., GARCIA-GÓMEZ, B.I., RODRIGUEZ-ALMAZAN, C., PARDO, L.; SOBERÓN, M. Evolution of *Bacillus thuringiensis* Cry toxins insecticidal

activity. **Microbial Biotechnology**, v. 6, p. 17-26, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2012.00342.x>

CRICKMORE, N.; ZEIGLER, D. R.; FEITELSON, J.; SCHNEPF, E.; VAN RIE, J.; LERECLUS, D.; BAUM, J.; DEAN, D. H. Revision of the nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* pesticidal crystal proteins. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, Washington, v. 62, n. 3, p. 807-813, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1128/membr.62.3.807-813.1998>

CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 1995. 45 p. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 21).

CRUZ, I; VIANA, P. A; WAQUIL, J. M. **Cultivo do milho: pragas da fase vegetativa e reprodutiva**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 8 p. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 49).

DEISS, F.; EDGINGTON, S. ***Bacillus thuringiensis*: como funciona e as pragas que ataca**. CABI Bioprotection. 2024. Disponível em: <https://bioprotectionportal.com/pt/resources/bacillus-thuringiensis-biocontrol-agent/>. Acesso em: 14 maio 2026.

DIBYANTORO, A. L. H.; SISWOJO, S. Approach to integrated control of some vegetable insect-pests by using microbial insecticide *Bacillus thuringiensis* Berl. **Bulletin Penelitian Hortikultura**, Bogor, v. 16, n. 1, p. 67-72, 1988.

DUBOIS, T.; FAEGRI, K.; PERCHAT, S.; LEMY, C.; BUISSON, C.; NIELSEN-LEROUX, C.; GOHAR, M.; JACQUES, P.; RAMARAO, N.; KOLSTØ, A.; LERECLUS, D. Necrotrophism is a quorum-sensing-regulated lifestyle in *Bacillus thuringiensis*. **PLoS Pathogens**, São Francisco, v. 8, n. 4, e1002630, 2012. DOI: 10.1371/journal.ppat.1002629

EBELING, W. Inorganic insecticides and dusts. In: RUST, M. K.; OWENS, J. M.; REIERSON, D. A. (eds.). **Understanding and Controlling the German Cockroach**. New York: Oxford University Press, 1995. p. 193-230.

ESTRUCH, J. J.; WARREN, G. W.; MULLINS, M. A.; NYE, G. J.; CRAIG, J. A.; KOZIEL, M. G. Vip3A, a novel *Bacillus thuringiensis* vegetative insecticidal protein with a wide spectrum of activities against lepidopteran insects. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 93, n. 11, p. 5389-5394, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.93.11.5389>

HABIB, M. E. M.; ANDRADE, C. F. S. Bactérias entomopatogênicas. In: ALVES, S. B. (org.). **Controle microbiano de insetos**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 383-446.

HANNAY, C. L.; FITZ-JAMES, P. The protein crystals of *Bacillus thuringiensis* Berliner. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 1, n. 8, p. 694-710, 1955. DOI: 10.1139/m55-083

LEITE, N. A.; MENDES, S. M.; PEREIRA, E. J. G. **Metodologia para seleção de população resistente de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) a milhos transgênicos Bt em laboratório visando estudo de condições que favorecem o manejo da**

resistência no campo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 7 p. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 216). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1059113>. Acesso em: 10 maio 2026.

NASCIMENTO, T. A.; PAES, M. J.; VALICENTE, F. H.; QUEIROZ, M. M. de C. Bioactive Potential of Some *Bacillus thuringiensis* Strains from Macapá, Amazon, Brazil, Against the Housefly *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) Under Laboratory Conditions. **Insects**, v. 16, n. 1, 27, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects16010027>

OLIVEIRA, C. N.; NEVES, P. M. O. J.; KAWAZOE, L. S. Compatibilidade entre o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* e inseticidas usados na cultura do cafeeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 4, p. 663-667, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000400009>

OMOTO, C.; BERNARDI, O. Estratégias de manejo podem prolongar vida útil das tecnologias de milho Bt. **Visão agrícola**, Piracicaba, n. 13, p. 107-109, 2015. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA_13_Protecao_plantas-artigo3.pdf. Acesso em: 18 maio 2026.

POLANCZYK, R. A.; ALVES, S. B. Interação entre *Bacillus thuringiensis* e outros entomopatógenos no controle de *Spodoptera frugiperda*. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, Turrialba, n. 74, p. 24-33, 2005. Disponível em: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6421>. Acesso em: 22 maio 2026.

_____. Parâmetros biológicos de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) sob efeito de *Bacillus thuringiensis* Berliner. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 5, p. 464-468, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000500009>

REIS, A. C. Utilização de agentes sinergistas no combate da resistência à inseticidas. **PET Agronomia UFSM**. 2022. Disponível em: <https://www.ufsm.br/pet/agronomia/2022/02/21/utilizacao-de-agentes-sinergistas-no-combate-da-resistencia-a-inseticidas>. Acesso em: 21 abril 2026.

SANTOS, C. A. M.; NASCIMENTO, J. do; GONÇALVES, K. C.; SMANIOTTO, G.; ZECHIN, L. De F.; FERREIRA, M. Da C.; POLANCZYK, R. A. Compatibility of Bt biopesticides and adjuvants for *Spodoptera frugiperda* control. **Scientific Reports**, Londres, v. 11, Article 5271, p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84871-w>

SIERRAS, A.; WADA-KATSUMATA, A.; SCHAL, C. Effectiveness of Boric Acid by Ingestion, But Not by Contact, Against the Common Bed Bug (Hemiptera: Cimicidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 111, n. 6, p. 2772-2781, 2018. DOI: 10.1093/jee/toy260

SILVA, J. H. B. da; RODRIGUES, L. S.; GOMES, C. L. S.; TARGINO, V. A.; SILVA, M. de M.; NASCIMENTO, B. M. C; SILVA, J. F. da; SILVA, H. F da; SILVA, S. M. da; SILVA, L. G. da; DEUS, A. S. de; ARAÚJO, P. M. de; BARBOSA, E. da S.; ASSIS, J. C. S. de; GOMES, T. R. V. R.; CARVALHO, K. da S. Control biológico de plagas: el secreto de la agricultura sostenible. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.17, n.4, e6367, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.4-145>

SIMI, L. D. **Controle de *Sphenophorus levis* e *Conotrachelus humeropictus* pelo uso combinado de nematoides e fungos entomopatogenicos**. 2014. xiii,107f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/30a8e814-9744-46ef-8a0c-a2e2b61f8175>. Acesso em: 22 maio 2026.

VALICENTE, F. H., BARRETO, M. R. *Bacillus thuringiensis* survey in Brazil: geographical distribution and insecticidal activity against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 4, p. 639-644, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2003000400014>

VALICENTE, F. H. **Controle biológico da lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*, com *Bacillus thuringiensis***. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 9p. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 105). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/491764>. Acesso em: 13 maio 2026.

_____. **Manejo Integrado de Pragas na Cultura do Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 13p. (Embrapa-CNPMS. Circular Técnica, 208). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1017489>. Acesso em: 19 maio 2026



Universidade Federal
de São João del-Rei

ANEXO A

Termo de autorização para publicação no Repositório Institucional da UFSJ

Eu _____, RG _____
Org. Exp._____, CPF _____, e-mail: _____,
telefone _____, na qualidade de titular dos direitos de autor que
recaem sobre minha produção:

() trabalho de conclusão de curso () dissertação de mestrado () tese de doutorado
() _____ (outro)

Título: _____

_____ ,
defendida em: ____/____/_____, no programa de () Graduação () Pós-Graduação em
_____, com fundamento nas disposições
sobre direitos autorais (Lei nº 9.610 de 19 de fevereiro de 1998), autorizo a Universidade
Federal de São João del-Rei a disponibilizar gratuitamente a obra citada, sem ressarcimento de
direitos autorais, para fins de leitura e impressão, a título de divulgação da produção científica
gerada pela universidade, a partir desta data. Autorizo a liberação:

() Total
() Parcial (serão disponibilizados apenas resumo, palavras-chave, e os dados: autor, título, membros
da banca examinadora, data de defesa, entre outros).
Motivo: _____.

Obs.:

- No caso de liberação parcial, a dissertação/tese impressa não poderá ser consultada no acervo.
- Estou ciente que, em caso de liberação parcial, o documento será mantido nesta opção durante 1 (um) ano a partir da data de autorização da publicação. Para ampliação deste prazo, devo manifestar-me junto a Dibib/UFSJ. Para liberação antes do prazo estipulado, formalizarei a autorização. Se não houver manifestação, o texto completo da dissertação/tese será liberado em sua totalidade e a versão impressa será disponibilizada para consulta.
- O conteúdo disponibilizado é de minha inteira responsabilidade.

Sete Lagoas, MG, ____ de _____ de _____.

Assinatura do Autor