

## Alterações bioquímicas em folhas de milho expostas a herbivoria de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) e tratadas com altas diluições dinamizadas

Biochemical changes in corn leaves exposed to herbivory by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and treated with dynamized high dilutions

Alteraciones bioquímicas en hojas de maíz expuestas a herbivoría de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) y tratadas con diluciones altamente dinamizadas

Kathleen Tesser Carra<sup>1</sup>, Lucas Airam Ramos Lima<sup>2</sup>, Marieli Nandra Perkuhn<sup>3</sup>, Denise Cargnelutti<sup>4</sup>, Tarita Cira Deboni<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Estudante do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim - RS, Brasil. Orcid: 0009-0006-0521-0981. E-mail: [kathleen.carratsr@gmail.com](mailto:kathleen.carratsr@gmail.com)

<sup>2</sup> Estudante do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim - RS, Brasil. Orcid: 0009-0007-2612-8829. E-mail: [lucas.airam.amos@gmail.com](mailto:lucas.airam.amos@gmail.com)

<sup>3</sup> Estudante do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim - RS, Brasil. Orcid: 0009-0001-9126-4524. E-mail: [marielinperkuhn@gmail.com](mailto:marielinperkuhn@gmail.com)

<sup>4</sup> Docente do Curso de Ciências Biológicas e do Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim - RS. Doutora em Bioquímica Toxicológica pela Universidade Federal de Santa Maria, Erechim - RS, Brasil. Orcid: 0000-0002-7307-1024. E-mail: [denise.cargnelutti@uffs.edu.br](mailto:denise.cargnelutti@uffs.edu.br)

<sup>5</sup> Docente do Curso de Ciências Biológicas e do Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim - RS. Doutora em Agronomia pela Universidade de Passo Fundo - RS, Brasil. Orcid: 0000-0001-9243-5877. E-mail: [tarita.deboni@uffs.edu.br](mailto:tarita.deboni@uffs.edu.br)

Recebido em: 14 jul 2025 - Aceito em: 31 out 2025 - Publicado em: 01 jan 2026

### Resumo

A lagarta *Spodoptera frugiperda* causa perdas significativas na produção de biomassa e grãos de milho. Altas diluições dinamizadas podem atuar como substâncias indutoras de resistência das plantas aos insetos. Este estudo avaliou as alterações bioquímicas em folhas de milho tratadas com altas diluições dinamizadas preparadas com a lagarta *S. frugiperda* nas potências: 6, 12, 15 e 18 CH (Centesimal Hahnemanniana) e expostas à herbivoria de *S. frugiperda*. As plantas de milho receberam os tratamentos via irrigação e, no estágio V3 (três folhas), foram infestadas com lagartas de 4º instar. As folhas foram coletadas antes e depois da herbivoria para avaliação de proteína, enzima guaiacol peroxidase (POD) e fenilalanina amônia-liase (FAL). Sete dias após o início da herbivoria, as plantas que receberam os tratamentos mostraram aumento na concentração de proteínas e, na atividade da POD, após 7 dias de herbivoria. Assim, observou-se que as diluições dinamizadas de lagartas *S. frugiperda* auxiliam na indução da resistência das plantas de milho e, consequentemente, na redução dos danos causados pela *S. frugiperda*.

**Palavras-chave:** Homeopatia, Lagarta-do-cartucho, Indução de resistência, Nosódio.

### Abstract

The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, causes significant losses in maize biomass and grain production. High dynamized dilutions can act as substances that induce plant resistance to insects. This study evaluated the biochemical changes in maize leaves treated with high dynamized dilutions prepared from *S. frugiperda* larvae at 6, 12, 15, and 18 CH (Centesimal Hahnemannian) potencies and exposed to *S. frugiperda* herbivory. Maize plants received the treatments via irrigation and, at the V3 stage (three leaves), were infested with 4th-instar larvae. Leaves were collected before and after herbivory to assess protein content, guaiacol peroxidase (POD) activity, and phenylalanine ammonia-lyase (PAL). Seven days after the onset of herbivory, the treated plants showed increased protein concentrations and POD activity. Thus, it was observed that the dynamized dilutions prepared from *S. frugiperda* larvae aid in inducing resistance in maize plants and, consequently, in reducing the damage caused by *S. frugiperda*.

**Keywords:** Homeopathy, Fall armyworm, Resistance induction, Nosode.

### Resumen

La oruga *Spodoptera frugiperda* provoca pérdidas significativas en la producción de biomasa y de granos de maíz. Altas diluciones dinamizadas pueden actuar como sustancias inductoras de resistencia de las plantas a los insectos. Este estudio evaluó las alteraciones bioquímicas en hojas de maíz tratadas con altas diluciones dinamizadas preparadas con la oruga *S. frugiperda* en las potencias 6, 12, 15 y 18 CH (Centesimal Hahnemanniana) y expuestas a la herbivoría de *S. frugiperda*. Las plantas de maíz recibieron los

tratamientos vía riego y, en el estadio V3 (tres hojas), fueron infestadas con orugas de 4º instar. Las hojas se recolectaron antes y después de la herbivoría para la evaluación de proteína, de la enzima guaiacol peroxidasa (POD) y de la fenilalanina amonio-liasa (FAL). A los siete días tras el inicio de la herbivoría, las plantas que recibieron los tratamientos mostraron aumento en la concentración de proteínas y en la actividad de la POD. Así, se observó que las diluciones dinamizadas de orugas de *S. frugiperda* contribuyen a la inducción de la resistencia de las plantas de maíz y, en consecuencia, a la reducción de los daños causados por *S. frugiperda*.

**Palabras-clave:** Homeopatía, Cogollero, Inducción de resistencia, Nosode.

## INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie originária da América Central, e é um dos cereais mais cultivados no Brasil. Os grãos de milho são largamente utilizados no preparo de rações para a alimentação animal e são amplamente utilizados como matéria-prima para a indústria, no preparo de alimentos processados, bebidas, bioenergia e derivados. O amido, a proteína, o óleo e a fibra representam os principais componentes nutricionais e de valor econômico da cultura (Pinheiro *et al.*, 2021).

O Brasil possui condições edafoclimáticas que possibilitam o cultivo do milho em diversas regiões durante todo o ano. Entretanto, a cultura é suscetível a problemas fitossanitários, especialmente o ataque de insetos, que, quando não são manejados de forma adequada, podem causar perdas qualitativas e quantitativas de produção. Na região Sul do Brasil, as principais pragas que coabitam à cultura do milho são a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*), o percevejo barriga-verde (*Diceraeus* spp.), a larva alfinete (*Diabrotica speciosa*) e a cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*) (Costa *et al.*, 2022).

A espécie *Spodoptera frugiperda* pertence a ordem Lepidoptera e a família Noctuidae, denominada popularmente como lagarta-do-cartucho, é classificada como praga generalista por se alimentar de uma grande diversidade de plantas cultivadas (Nagoshi *et al.*, 2007). Há um consenso mundial sobre a existência de duas linhagens da espécie, uma tendo o milho, e outra tendo o arroz como hospedeiro preferencial (Juárez *et al.*, 2014; Dumas *et al.*, 2015;).

Estudos recentes demonstram que a infestação de *S. frugiperda* pode causar perdas médias de produtividade no cultivo de milho em torno de 22%, com variações

dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura e do genótipo utilizado. Em situações de alta infestação e ausência de manejo, estas perdas podem chegar a 73%. Esses dados evidenciam o impacto significativo da praga ao longo de todo o ciclo do milho (Yaméogo *et al.*, 2024). A magnitude das perdas causadas por *S. frugiperda* no milho reforça a necessidade de compreender e explorar os mecanismos de resistência de plantas aos insetos herbívoros.

Os componentes do sistema de defesa constitutiva das plantas são compostos químicos e estruturas morfológicas que dificultam o acesso dos herbívoros às plantas, podendo afetar alguns parâmetros do ciclo biológico, como o desenvolvimento e a reprodução dos insetos (antibiose) (Vendramim; Guzzo; Ribeiro, 2019). Já a defesa induzida pode se apresentar como qualquer mudança morfológica ou fisiológica, podendo estar relacionada com a diminuição da qualidade nutritiva que as plantas apresentam para os herbívoros (Karban, 2011).

As avaliações de atributos de defesa das plantas são importantes, já que, de posse destes dados, será possível reconhecer na planta sua capacidade inata de defesa aos insetos herbívoros, propiciando um bom desenvolvimento produtivo (Ojha; Naidu; Bagchi, 2022).

As altas diluições dinamizadas têm sido empregadas em sistemas agrícolas, especialmente em práticas agroecológicas, podendo induzir resistência nas plantas aos danos de insetos, sem deixar resíduos tóxicos no ambiente. Por esse motivo, são consideradas seguras tanto para o meio ambiente quanto para os aplicadores (Andrade; CASALI, 2011; Cordoba Correoso *et al.*, 2022). As altas diluições dinamizadas são preparações resultantes de um processo sequencial de diluição e agitação vigorosa (sucussão) de uma substância ativa em um solvente, geralmente água ou álcool. A escala de diluição mais utilizada é a Centesimal Hahnemanniana (CH). Esse método é característico da homeopatia, sendo o produto final conhecido também como preparado homeopático (Boff; Verdi; Faedo, 2021; Brasil, 2011).

As bases científicas da homeopatia foram estabelecidas pelo médico alemão Samuel Hahnemann (1755-1843), tendo como pilares científicos: a cura pelo semelhante, a

experimentação patogenética no indivíduo sadio, doses mínimas e dinamizadas do medicamento e uso de medicamento único (Lorenzo *et al.*, 2021).

Trabalhos científicos demonstram a eficiência da homeopatia em modular processos fisiológicos e metabólicos em plantas, podendo atuar como indutores de resistência aos insetos e doenças e elevando a produção de metabólitos secundários (Prieto Méndez *et al.*, 2021). Resultados em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) demonstraram aumento na atividade das enzimas guaiacol peroxidase (POD) e ascorbato peroxidase (APX) após a aplicação de *Sulphur* em todas as potências testadas (6, 12 e 18 CH). Também foi verificado um aumento da concentração de proteínas das folhas utilizando-se *Staphisagria* 12 CH (Deboni *et al.*, 2021).

As altas diluições dinamizadas também podem agir como bioestimulantes em plantas, com resultados significativos já verificados no cultivo do morangueiro. Os tratamentos *Sulphur* 12 CH, *Kali carbonicum* 12 CH e *Phosphorus* 12 CH se destacaram por promover aumentos no crescimento das plantas, produtividade e redução da incidência de doenças foliares. Enquanto *Silicea terra* 12 CH e *Calcarea carbônica* 12 CH, favoreceram o desenvolvimento do sistema radicular (Faedo *et al.*, 2024).

Além disso, quando a homeopatia é aplicada sobre as plantas, pode também provocar resultados sobre os insetos fitófagos, como, por exemplo, o efeito de antibiose, isto é, provocando respostas negativas na biologia dos insetos-praga. No experimento com a lagarta *S. frugiperda* verificou-se diferença entre a digestibilidade das lagartas alimentadas com as folhas de milho tratadas com altas diluições dinamizadas dela mesma (também conhecidas como preparados isoterápicos), nas potências de 9 CH e 15 CH (Zukowski *et al.*, 2023).

A indução de resistência de plantas aos insetos é um fator essencial para a agricultura moderna, pois contribui para a redução do uso de agrotóxicos, minimizando impactos ambientais e preservando a saúde das pessoas e dos ecossistemas. Essa característica também favorece a segurança alimentar ao possibilitar colheitas mais abundantes e de melhor qualidade, mesmo sob condições adversas. Nesse contexto, a adoção de métodos

agroecológicos para o manejo de insetos na cultura do milho torna-se indispensável, especialmente diante do desafio de conservar a saúde do ambiente.

Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações bioquímicas causadas em folhas de milho tratadas com altas diluições dinamizadas da lagarta *S. frugiperda* e expostas a herbivoria desta mesma espécie de lagarta.

## METODOLOGIA

### Local de condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em estufa climatizada e no laboratório de Entomologia e Bioquímica da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Erechim.

### Obtenção das sementes e cultivo das plantas de milho (*Zea mays* L)

As sementes de milho utilizadas em todos os experimentos foram de variedade de polinização aberta (VPA) SCS156 Colorado, proveniente da Epagri/SC.

As plantas de milho foram cultivadas em casa de vegetação em vasos de polietileno com volume de 3 L até o estágio V3 (três folhas completamente desenvolvidas), utilizando como substrato uma mistura de solo tipo Latossolo, composto orgânico e areia na proporção 1:1:1, não esterilizados. Foram semeadas três sementes por vaso.

### Obtenção e manutenção da criação da lagarta *Spodoptera frugiperda*

Para o início da criação de *S. frugiperda*, foram coletadas lagartas de idades desconhecidas, em áreas de plantio comercial de milho da região de Áurea/RS e transferidas ao Laboratório de Entomologia e Bioquímica da UFFS. No laboratório, em sala climatizada, com temperatura de  $25 \pm 3$  °C e fotoperíodo de 12 horas, as lagartas foram alimentadas com dieta artificial adaptada (Greene; Leppla; Dickerson, 1976) (**Quadro 1**), trocada sempre que necessário, até a formação das pupas.

**Quadro 1.** Componentes da dieta artificial utilizada para alimentação das lagartas de *Spodoptera frugiperda* em laboratório. Erechim, 2024.

Componentes	Quantidade
Feijão carioca cozido	75 g
Germe de trigo	60 g
Farelo de soja	30 g
Caseína (leite em pó)	30 g
Levedura de cerveja	37,5 g
Solução vitamínica	9,9 ml
Ácido ascórbico	3,6 g
Ácido sórbico	1,8 g
Metilparabeno	3,3 g
Formaldeído 40%	4 ml
Ágar-ágar	18 g
Água destilada	1200 ml

**Fonte:** Adaptado de Greene; Leppla; Dickerson (1976).

As pupas obtidas foram separadas em lotes de 20 indivíduos, mantidas em papel germitest dentro de gaiolas confeccionadas com tubos de PVC de 25 cm de diâmetro e 25 cm de altura e forradas internamente com papel branco para oviposição. Durante o período de postura, os adultos de *S. frugiperda* foram alimentados com solução de mel (6%), açúcar (1%), ácido ascórbico (1%) e metilparabeno (Nipagin®) (1%), disposta em um recipiente no interior de cada gaiola, repostada diariamente.

A coleta dos ovos foi realizada a cada quatro dias por meio da retirada e substituição da folha de papel das gaiolas. As massas de ovos foram recortadas e acondicionadas em recipientes plásticos transparentes (14 cm de diâmetro × 9 cm de altura) contendo cubos de 2 cm de dieta artificial. Ao atingirem o 2º instar, as lagartas eram individualizadas em potes plásticos com 6 cm de diâmetro e 5 cm de altura, contendo um cubo de 1 cm de dieta artificial. O alimento era trocado ou repostado sempre que necessário. As pupas obtidas eram separadas para recomençar todo o ciclo em laboratório.



### Obtenção das altas diluições dinamizadas e composição dos tratamentos

As altas diluições dinamizadas foram obtidas por trituração conforme as técnicas descritas na Farmacopéia Homeopática Brasileira (Brasil, 2011). As lagartas de *S. frugiperda* utilizadas no preparo foram provenientes da criação massal do laboratório, conforme metodologia já descrita.

Foram utilizadas 20 lagartas vivas de primeiro e segundo ínstares. Em seguida, foi feita a homogeneização, por meio da pré-trituração em almofariz. Posteriormente, realizou-se a desconcentração e trituração com auxílio de almofariz e pistilo até a potência 3 CH trit, em meio sólido, utilizando lactose. Após, procedeu-se à desconcentração em álcool 70% e posterior sucussão com auxílio de braço mecânico até as potências desejadas na escala Centesimal Hahnemanniana (CH).

Os cinco tratamentos foram compostos pelas altas diluições dinamizadas nas potências: 6 CH, 12 CH, 15 CH e 18 CH oriundas de lagartas de *S. frugiperda*, e água destilada como controle.

### Tratamento das plantas de milho e danos por herbivoria da lagarta

Os tratamentos foram aplicados semanalmente na dose de 1 mL L<sup>-1</sup> em água destilada, via irrigação e na proporção de 100 mL da solução no solo para cada vaso contendo plantas de milho. A aplicação dos tratamentos iniciou-se após uma semana do plantio e se estenderam até as plantas atingirem estágio V3 (três folhas completamente desenvolvidas).

Para os testes de herbivoria de *S. frugiperda*, os vasos com as plantas de milho tratadas com as altas diluições dinamizadas foram individualizadas e colocadas em telados de 1 m<sup>3</sup> cobertos com tecido voil branco, dentro dos quais foram liberadas três lagartas *S. frugiperda* de 4º instar por planta, por um período de 7 dias. Cada vaso com 3 plantas constituiu uma unidade experimental, sendo, portanto, 5 repetições e o delineamento experimental de blocos casualizado (DBC).

Imediatamente antes da liberação das lagartas, foi coletada toda a parte aérea de uma planta de milho de cada vaso para análises bioquímicas posteriores, com o objetivo de comparar as condições antes e depois da infestação.

Sete dias após a liberação as lagartas foram retiradas e as duas plantas de milho restantes no vaso foram cortadas rente ao solo (parte aérea), acondicionadas em nitrogênio líquido e imediatamente armazenadas em ultrafreezer a temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  até a data da condução dos testes bioquímicos.

### Preparo das amostras para análises bioquímicas

A parte aérea das plantas coletadas e congeladas (chamado aqui de amostras foliares) foram maceradas em nitrogênio líquido e homogeneizadas em 3 mL de tampão fosfato de sódio 0,05 M (pH 7,8), contendo 0,1 mM EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) e 2% de PVP (poli-vinil-pirrolidona).

### Análise de proteínas

O homogeneizado das amostras foliares foi centrifugado a 9.500 rpm por 20 minutos a  $4^{\circ}\text{C}$ , sendo o sobrenadante coletado e utilizado posteriormente para as avaliações, realizadas em duplicata. Para a quantificação de proteínas foi utilizado o método de Bradford (1976). O extrato proteico foi diluído (1:4) em tampão de extração.

Para avaliar o teor de proteínas foi utilizado 50  $\mu\text{L}$  da amostra mais 2,5 mL do reagente de Bradford. Após cinco minutos, foi realizada a leitura a 595 nm no espectrofotômetro. Os valores de absorbância obtidos para as amostras foram comparados com uma curva padrão com concentrações conhecidas de albumina de soro bovina (ASB). Os resultados obtidos para os níveis de proteínas foram expressos em  $\text{mg proteína L}^{-1}$ .

### Análise da atividade da enzima Guaiacol Peroxidase (POD)

A atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) foi determinada de acordo com Zeraik *et al.* (2008), utilizando-se o guaiacol como substrato. Em uma alíquota de 1,0 mL de solução tampão fosfato 0,1  $\text{mol L}^{-1}$  (pH 6,5) foram adicionados 1,0 mL de guaiacol 15,0  $\text{mmol L}^{-1}$  e 1,0 mL de peróxido de hidrogênio 3  $\text{mmol L}^{-1}$ . Após a homogeneização dessa



solução, foram adicionados 50 L de extrato enzimático. Depois de 1 minuto de reação, a absorbância do tetraguaiacol formado foi medida em 470 nM.

### Análise da atividade da fenilalanina amônia-liase (FAL)

A atividade da fenilalanina amônia-liase (FAL) foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Umesha (2006), e modificada por Mioranza *et al.* (2017), na qual 100 L do extrato proteico serão adicionados a 400 L de tampão Tris-HCl 0,025 M (pH 8,8) e 500 L de uma solução de 0,05 M de L-fenilalanina. Esta mistura foi incubada a 40 °C por 2 horas. Após 2 horas, 60 L de 5 M HCl foram adicionados para parar a reação, seguidos pelo registro da absorbância em espectrofotômetro a 290 nm.

### Análise estatística

As análises dos dados foram realizadas de acordo com o delineamento experimental do experimento. Os pressupostos de normalidade (teste de Shapiro-Wilk) foram conferidos. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) utilizando o *software* estatístico Genes.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do conteúdo de proteína da parte aérea do milho mostrou que todos as altas diluições de lagartas de *S. frugiperda* testadas (6, 12, 15 e 18 CH) aumentaram a concentração de proteínas nas folhas de milho, ao comparar o antes e o depois da herbivoria causada pelas lagartas de *S. frugiperda*. O tratamento controle apresentou um aumento significativo na concentração de proteína da folha após a herbivoria, quando comparado aos preparados homeopáticos, indicando que as plantas reagiram ao serem danificadas pelas lagartas (**Tabela 1**).

Segundo a teoria da trofobiose, um aumento na concentração de proteínas nas plantas, em relação inversa à dos aminoácidos, é observado em tecidos resistentes a pragas e doenças (Chaboussou, 2006).

**Tabela 1.** Concentração de proteína solúvel ( $\text{mg mL}^{-1}$ ) da parte aérea de milho (*Zea mays*) tratadas com altas diluições dinamizadas de lagartas de *Spodoptera frugiperda* nas potências 6 CH, 12 CH, 15 CH e 18 CH (Centesimal Hahnemanniana) antes e depois de serem expostas a herbivoria da lagarta *S. frugiperda*. Erechim, 2024.

Tratamentos	Proteína ( $\text{mg mL}^{-1}$ )					
	Antes			Depois		
Controle	8.981	a	B	20.438	a	A
6 CH	7.026	a	B	13.968	b	A
12 CH	7.824	a	B	13.849	b	A
15 CH	8.593	a	B	17.616	ab	A
18 CH	9.065	a	B	16.041	ab	A
CV (%)	27.48					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal dentro de cada linha comparam os períodos antes e depois, e a minúscula dentro de cada coluna compara os tratamentos. Não se diferem entre si pelo teste Tukey a 95% de confiança ( $p \leq 0.05$ ).

**Fonte:** Autores, 2024.

O teor de proteínas pode ser influenciado por estresses ambientais, como seca, salinidade, altas temperaturas, entre outros. Essas condições adversas podem levar a alterações na expressão gênica e na síntese de proteínas específicas, que desempenham papéis importantes na resposta adaptativa das plantas ao ambiente (Zahra *et al.*, 2023). Além disso, a avaliação do teor de proteínas também é utilizada para monitorar a nutrição das plantas. A deficiência ou o excesso de certos nutrientes pode afetar a síntese de proteínas, influenciando o próprio crescimento e o desenvolvimento das plantas (Malta *et al.*, 2002; Ram; Raj; Patel, 2023; Zahra *et al.*, 2023).

Os estudos mostraram que a deficiência ou o excesso de certos nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, podem ter impactos variados na síntese de proteínas (Ram; Raj; Patel, 2023). A falta de nitrogênio pode resultar em uma diminuição geral no teor de proteínas, afetando negativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Por outro lado, um suprimento adequado de nitrogênio pode aumentar a produção de proteínas específicas envolvidas na fotossíntese e na resposta ao estresse.

Observou-se que a concentração de proteínas nas plantas de milho tratadas com altas diluições dinamizadas de *S. frugiperda* (6, 12, 15 e 18 CH) apresentou um leve aumento quando comparado o antes e o depois da herbivoria provocada por lagartas de *S. frugiperda*. Em contraste, no tratamento controle, houve um aumento significativo nas

proteínas após a herbivoria da lagarta *S. frugiperda*. Esse aumento no teor de proteínas observado no tratamento controle pode ser interpretado como uma resposta da planta a um ataque ou estresse, possivelmente um mecanismo de defesa como a sobrecompensação, em que a planta intensifica a produção de proteínas específicas para resistir a patógenos ou estresses como a seca e o ataque de pragas. Nas plantas de milho tratadas com as altas diluições dinamizadas, o aumento equilibrado na concentração de proteínas sugere que esses tratamentos foram eficazes em prevenir ou mitigar o estresse, de modo que os mecanismos de defesa não requerem uma produção excessiva de proteínas.

A análise da atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) da parte aérea das plantas de milho mostrou que o tratamento controle não apresentou aumento significativo da atividade desta enzima antes e depois da herbivoria de *S. frugiperda*. Porém, verificou-se que nas plantas que foram tratadas com altas diluições dinamizadas (6, 12, 15 e 18 CH) houve um aumento significativo da enzima guaiacol peroxidase (POD) após a herbivoria (Tabela 2).

**Tabela 2.** Atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) da parte aérea de plantas de milho (*Zea mays*) tratadas com altas diluições dinamizadas de *Spodoptera frugiperda* nas potências 6 CH, 12 CH, 15 CH e 18 CH, antes e depois da exposição a herbivoria da lagarta *S. frugiperda*. Erechim, 2024.

Tratamentos	POD (umol de tetraguaiacol min <sup>-1</sup> mg <sup>-1</sup> proteína)					
	Antes			Depois		
Controle	32.612	ab	A	35.200	b	A
6 CH	12.831	b	B	83.896	a	A
12 CH	42.153	a	B	73.482	a	A
15 CH	26.660	ab	B	72.000	a	A
18 CH	24.669	ab	B	71.380	a	A
CV (%)	24,099					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal dentro de cada linha comparam os períodos antes e depois, e a minúscula dentro de cada coluna comparam os tratamentos. Não se diferem entre si pelo teste Tukey a 95% de confiança ( $p \leq 0.05$ ).

**Fonte:** Autores, 2024.

A enzima guaiacol peroxidase (POD) é encontrada no citoplasma e apoplasma da célula e está envolvida tanto no crescimento quanto no desenvolvimento vegetal, além de catalisar a oxidação de compostos orgânicos como fenóis e aminas aromáticas, utilizando o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) como oxidante (Ali *et al.*, 2024). Estudos demonstram que a atividade da POD é significativamente modulada em resposta ao ataque de insetos em culturas agrícolas, como o milho. A herbivoria causada pela broca do milho, *Ostrinia*

*furnacalis*, por exemplo, induz o aumento expressivo da POD, que está associada a ativação de vias de sinalização de defesa mediadas por hormônios, como o jasmonato e etileno, fortalecendo a resistência da planta ao estresse biótico (Batool *et al.*, 2022).

Além disso, a expressão e atividade da POD também são elevadas em grãos de milho resistentes após danos mecânicos e ataques de insetos como *Sitophilus zeamais* e *Prostephanus truncatus*, indicando o papel crucial dessa enzima na defesa antioxidante e na mitigação dos efeitos da fitofagia (López-Castillo *et al.*, 2020). Esses achados ressaltam a importância da enzima guaiacol peroxidase como componente-chave na resposta adaptativa do milho frente a estresses causados pela herbivoria de insetos.

Os resultados deste estudo demonstraram que as altas diluições dinamizadas testadas promoveram um aumento significativo na atividade da enzima guaiacol peroxidase (POD) em plantas de milho submetidas a herbivoria por *S. frugiperda*. Este incremento na atividade enzimática indica que os tratamentos estimularam uma resposta antioxidante mais eficiente, potencializando a capacidade das plantas em mitigar o estresse oxidativo causado pela herbivoria e, consequentemente, reforçando sua resistência e adaptabilidade frente às condições adversas do ambiente.

O tratamento de figueiras, *Ficus carica*, com altas diluições dinamizadas de *Thuya occidentalis* e *Belladonna*, ambas na potência 30 CH, reduziram a severidade e incidência da ferrugem nas folhas e ativaram enzimas de defesa, incluindo a guaiacol peroxidase. Tanto *Thuya occidentalis* quanto *Belladonna* aumentaram a atividade da POD, indicando o potencial destes tratamentos em induzir mecanismos antioxidantes e resistência em plantas (Mattos *et al.*, 2025).

Da mesma forma, os preparados homeopáticos de *Corymbia citriodora*, *Calcarea carbônica*, *Silicea* e *Sulphur*, nas potências 12, 24 30 e 60 CH, quando aplicadas em feijoeiro, induziram a ativação de peroxidases, incluindo a POD, em diferentes intervalos após o tratamento, sugerindo que a homeopatia pode atuar como elicitor de respostas antioxidantes em plantas (Oliveira *et al.*, 2014).

A análise da atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (FAL) na parte aérea das plantas de milho tratadas com as potências 6, 12, 15 e 18 CH de altas diluições

dinamizadas da lagarta *S. frugiperda* revelou a redução considerável nos tratamentos controle, 6 CH e 12 CH, ao comparar os valores antes e depois da herbivoria causada por lagartas de *S. frugiperda*. No entanto, a redução da atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (FAL) não foi significativa nos tratamentos com 15 CH e 18 CH (**Tabela 3**).

**Tabela 3.** Atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (FAL) da parte aérea de plantas de milho tratadas com altas diluições dinamizadas de *Spodoptera frugiperda* nas potências 6 CH, 12 CH, 15 CH e 18 CH, antes e depois de serem expostas a herbivoria da lagarta *S. frugiperda*. Erechim, 2024.

Tratamentos	Fenilalanina amônia-liase ( $\mu\text{mol}$ ácido trans-cinâmico $\text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$ massa fresca)					
	Antes			Depois		
Controle	6.393	b	A	1.572	a	B
6 CH	8.989	a	A	1.020	a	B
12 CH	2.189	c	A	0.941	a	B
15 CH	0.800	c	A	0.529	a	A
18 CH	1.450	c	A	0.675	a	A
CV (%)	27.48					

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal dentro de cada linha comparam os períodos antes e depois, e a minúscula dentro de cada coluna comparam os tratamentos. Não se diferem entre si pelo teste Tukey a 95% de confiança ( $p \leq 0.05$ ).

**Fonte:** Autores, 2024.

A fenilalanina amônia-liase (FAL) é a enzima responsável pela conversão inicial do aminoácido fenilalanina em ácido cinâmico, etapa determinante para o início da via dos fenilpropanoides em plantas. Essa reação desencadeia uma cascata metabólica que resulta na formação de diversos compostos fenólicos, como lignina, flavonoides, pigmentos e agentes protetores contra radiação ultravioleta. Esses metabólitos desempenham funções essenciais na defesa das plantas contra os danos de insetos e patógenos, além de contribuírem para a integralidade estrutural e adaptabilidade frente a diferentes estresses ambientais (Yadav *et al.*, 2020).

Diversos estudos demonstram que a produção de FAL é regulada durante o desenvolvimento vegetal e pode ser induzida por diferentes estímulos ambientais, como infecção por patógenos, ferimentos, exposição a metais pesados, luz e reguladores de crescimento. Em especial, a indução de FAL em tecidos próximos ao local de infecção resulta em aumento da síntese de compostos fenólicos, fundamentais para a defesa e

adaptação das plantas a condições adversas (Latef *et al.*, 2020; Pant; Huang, 2022; Chai *et al.*, 2024).

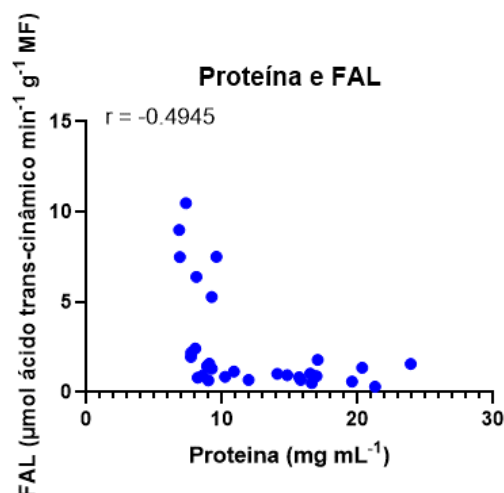
A atividade da FAL em milho é intensamente modulada pelo ataque de insetos herbívoros. Em um experimento com a lagarta *Sesamia inferens* (broca-rosa-do-colmo) observou-se um aumento significativo de FAL nos tecidos de milho danificados, indicando sua participação direta na resposta antioxidante e na síntese de compostos fenólicos de defesa (Sau; Dhillon; Trivedi, 2022). Resultados semelhantes foram relatados por pesquisadores que verificaram a indução da FAL em plantas de milho danificadas por pulgões e pela broca do milho. A atividade enzimática foi verificada não apenas nos tecidos lesionados por insetos, mas também em regiões vizinhas não danificadas, sugerindo uma resposta sistêmica de defesa mediada por esta enzima (Lv *et al.*, 2017).

A redução significativa na atividade da FAL, verificada neste trabalho, nas plantas de milho dos tratamentos controle, e aquelas tratadas com altas diluições dinamizadas nas potências 6 CH e 12 CH sugere que, ao ser danificadas pela alimentação das lagartas, a planta afetada entrou em estado de alerta e passou a enviar uma mensagem química às plantas próximas, por meio da produção de compostos voláteis. Como resultado, as demais plantas receberam esse sinal de alerta e ajustaram suas respostas defensivas, produzindo teores da enzima FAL em grau semelhante. Esse fenômeno evidencia a capacidade das plantas de se comunicarem como uma estratégia coletiva de defesa contra situações adversas, como a herbivoria e/ou danos causados por insetos, por exemplo.

Diversos trabalhos evidenciam a existência de comunicação química entre plantas mediada por voláteis (Mezzomo *et al.*, 2023; Waterman *et al.*, 2024). No milho foi verificado que a exposição de plantas sadias atacadas por insetos herbívoros ativa respostas de defesa e altera a atração e alimentação destes insetos, evidenciando um papel sistêmico dos compostos voláteis induzidos nas interações planta-planta (Mérey *et al.*, 2013).



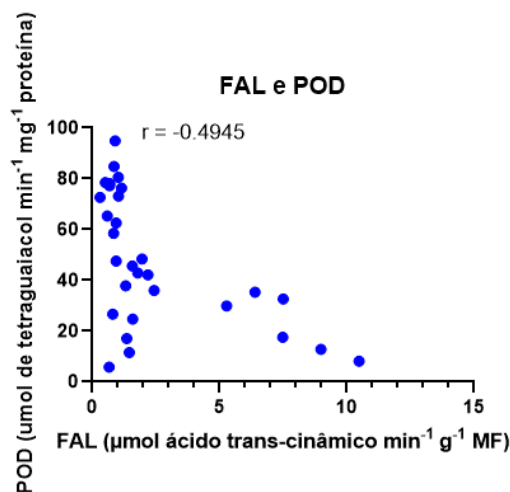
Os resultados deste trabalho mostraram que a correlação entre a concentração de proteína e a atividade da enzima FAL foi inversamente proporcional, ou seja, quando o teor da proteína aumentou, a atividade da FAL diminuiu (**Figura 1**).



**Figura 1.** Correlação entre concentração de proteínas e atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (FAL) na parte aérea de milho tratado com os altas diluições dinamizadas de *S. frugiperda* e submetidas à herbivoria da lagarta *S. frugiperda*. Erechim, 2024.  
**Fonte:** Autores, 2024.

A correlação inversa dos teores de FAL e da proteína evidenciada pelo valor negativo de  $r$  (-0.4945) (**Figura 1**) mostraram que, nas análises realizadas da proteína e da enzima FAL antes e depois da herbivoria causada pela lagarta *S. frugiperda*, as concentrações de proteína no tratamento controle e nos demais tratamentos aumentaram após a infestação, já a atividade na enzima FAL mostrou redução quando as plantas de milho foram submetidas aos danos das lagartas de *S. frugiperda*. Portanto, à medida que a concentração de proteína aumentou após a infestação, a concentração da enzima FAL diminuiu em todos os tratamentos.

A correlação entre a atividade da guaiacol peroxidase, POD, e a enzima fenilalanina amônia-liase (FAL) mostrou-se inversamente proporcional. Isso significa que quando a atividade de POD aumenta, a atividade da enzima FAL tende a diminuir (**Figura 2**).



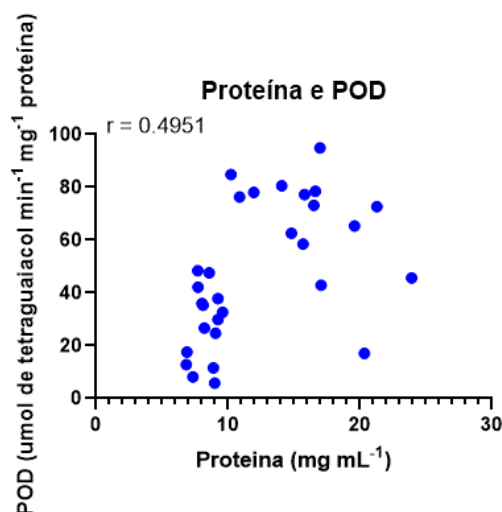
**Figura 2.** Correlação entre atividade de guaiacol peroxidase (POD) e fenilalanina amônia-liase (FAL) na parte aérea de milho tratado com altas diluições dinamizadas de *Spodoptera frugiperda* e submetidas à herbivoria de *S. frugiperda*. Erechim, 2024.

**Fonte:** Autores, 2024.

Os teores de FAL e da POD mostraram correlação inversa evidenciada pelo valor negativo de  $r$  (-0.4945) (**Figura 2**). Isso significa que nas análises realizadas da POD e da enzima FAL, o antes e depois da herbivoria causada pela lagarta *S. frugiperda*, a atividade da POD no tratamento controle e nos demais tratamentos aumentaram após a infestação, já a atividade da enzima FAL mostrou redução quando as plantas de milho foram submetidas aos danos das lagartas de *S. frugiperda*. Portanto, à medida que a concentração de POD aumentou após a infestação, a concentração da enzima FAL diminuiu em todos os tratamentos.

As concentrações de proteína e POD apresentaram correlação proporcional, indicando que quando o teor de proteína aumenta, a atividade da POD também aumenta (**Figura 3**).

Os resultados mostram que as concentrações da proteína estão diretamente correlacionadas com a atividade da POD, como evidenciado pelo valor de  $r$  (0.4951) (Figura 3). Portanto, à medida que a concentração de proteína aumentou após a infestação, a atividade de POD também obteve esse aumento, tanto no controle quanto em todos os tratamentos avaliados após a infestação.



**Figura 3.** Correlação direta entre concentração de proteínas e atividade de guaiacol peroxidase (POD) na parte aérea de milho tratado com altas diluições dinamizadas de *Spodoptera frugiperda* e submetidas à herbivoria de *S. frugiperda*. Erechim, 2024.  
**Fonte:** Autores, 2024.

## CONCLUSÕES

Altas diluições dinamizadas de lagartas de *Spodoptera frugiperda* nas potências 6, 12, 15 e 18 CH induziram alterações na concentração de proteínas, guaiacol peroxidase (POD) e fenilalanina amônia-liase (FAL) na parte aérea de milho sob estresse de herbivoria causado pela lagarta de *S. frugiperda*.

Plantas de milho tratadas com altas diluições dinamizadas de lagartas de *S. frugiperda* aumentaram a capacidade em mitigar o estresse oxidativo causado pela herbivoria e, consequentemente, a resistência e adaptabilidade frente às condições adversas do ambiente.

Altas diluições dinamizadas de lagartas de *S. frugiperda* podem ser uma ferramenta eficaz na indução de resistência de plantas de milho aos danos causados pela herbivoria de lagartas da própria espécie.

## AGRADECIMENTO

Agradecemos à Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim/RS, pelo suporte institucional e pela infraestrutura disponibilizada, fundamentais para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso no âmbito do curso de Ciências Biológicas.

Copyright (©) 2026 - Kathleen Tesser Carra, Lucas Airam Ramos Lima, Marieli Nandra Perkuhn, Denise Cargnelutti, Tarita Cira Deboni.

## REFERÊNCIAS

ALI, Qurban *et al.* Antioxidant production promotes defense mechanism and different gene expression level in Zeamays under abiotic stress. **Scientific Reports** v. 14, n. 1, p. 1–14 , 1 dez. 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-57939-6> Acesso em: 9 jul. 2025.

ANDRADE, Fernanda M. Coutinho De; CASALI, Vicente W. Dias. Homeopatia, agroecologia e sustentabilidade. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, n. 1, p. 49–56 , 2011.

BATOOL, Raufa *et al.* Myco-Synergism Boosts Herbivory-Induced Maize Defense by Triggering Antioxidants and Phytohormone Signaling. **Frontiers in Plant Science** v. 13, p. 790504 , 17 fev. 2022. Disponível em: [www.frontiersin.org](http://www.frontiersin.org). Acesso em: 9 jul. 2025.

BOFF, Pedro; VERDI, Rovier; FAEDO, Leonardo F. Homeopathy applied to agriculture: theoretical and practical considerations with examples from Brazil. In: WRIGHT, Julia (Org.). **Subtle agroecologies: farming with the hidden half of nature**. 1st ed. ed. London (UK): CRC Press, 2021. p. 145–154.

BRADFORD, M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry** v. 72, n. 1–2, p. 248–254 , 1976.

BRASIL. **Farmacopéia homeopática brasileira**. 3. ed. São Paulo, SP: Atheneu, 2011. 364 p.

CHABOUSSOU, Francis. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: novas bases de uma prevenção contra doenças e parasitas**: a teoria da trofobiose. São Paulo, SP: Expressão Popular, 2006. 320 p.

CHAI, Pengpei *et al.* Genome-Wide Characterization of the Phenylalanine Ammonia-Lyase Gene Family and Their Potential Roles in Response to *Aspergillus flavus* L. Infection in Cultivated Peanut (*Arachis hypogaea* L.). **Genes** v. 15, n. 3 , 1 mar. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38540324/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

CORDOBA CORREOSO, Claudio *et al.* Sustainability Assessment of Family Agricultural Properties: The Importance of Homeopathy. **Sustainability (Switzerland)** v. 14, n. 10, 1º mai. 2022.

COSTA, Eduardo Neves *et al.* Above- and belowground resistance in Brazilian maize varieties under attack of *Spodoptera frugiperda* and *Diabrotica speciosa*. **Entomologia Experimentalis et Applicata** v. 170, n. 8, p. 718–726 , 1 ago. 2022.

DEBONI, Tarita C. *et al.* Actividad peroxidasa y concentración de proteínas en *Phaseolus vulgaris* L. tratado

con preparaciones homeopáticas. **Research, Society and Development** v. 10, n. 9, p. e59110918457, 2 ago. 2021.

DUMAS, Pascaline *et al.* *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) host-plant variants: two host strains or two distinct species? **Genetica** v. 143, n. 3, p. 305–316, 2015.1070901598.

FAEDO, Leonardo *et al.* The use of mineral dynamised high dilutions for natural plant biostimulation; effects on plant growth, crop production, fruit quality, pest and disease incidence in agroecological strawberry cultivation. **Biological Agriculture and Horticulture** v. 40, n. 4, p. 267–287, 2024.

GREENE, G. L.; LEPPLA, N. C.; DICKERSON, W. A. Velvetbean caterpillar: a rearing procedure and artificial medium. **Journal of Economic Entomology** v. 69, n. 4, p. 487–488, 1976.

JUÁREZ, M. L. *et al.* Population structure of *Spodoptera frugiperda* maize and rice host forms in South America: Are they host strains? **Entomologia Experimentalis et Applicata** v. 152, n. 3, p. 182–199, 2014.

KARBAN, Richard. The ecology and evolution of induced resistance against herbivores. **Functional Ecology** v. 25, n. 2, p. 339–347, 2011.

LATEF, Arafat A. H. A. *et al.* Impact of the Static Magnetic Field on Growth, Pigments, Osmolytes, Nitric Oxide, Hydrogen Sulfide, Phenylalanine Ammonia-Lyase Activity, Antioxidant Defense System, and Yield in Lettuce. **Biology** 2020, Vol. 9, Page 172 v. 9, n. 7, p. 172, 17 jul. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-7737/9/7/172/htm>. Acesso em: 9 jul. 2025.

LÓPEZ-CASTILLO, L. Margarita *et al.* Modulation of Aleurone Peroxidases in Kernels of Insect-Resistant Maize (*Zea mays* L.; P084-C3R) After Mechanical and Insect Damage. **Frontiers in Plant Science** v. 11, 11 jun. 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32595673/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

LORENZO, Francesco Di *et al.* Systemic Agro-Homeopathy: A New Approach to Agriculture. **OBM Integrative and Complementary Medicine** v. 06, n. 03, p. 1–1, 11 de maio de 2021. Disponível em: <http://www.lidsen.com/journals/icm/icm-06-03-020>.

LV, Min *et al.* Induction of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) in insect damaged and neighboring undamaged cotton and maize seedlings. **International Journal of Pest Management** v. 63, n. 2, p. 166–171, 3 abr. 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09670874.2016.1255804>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MALTA, Marcelo R. *et al.* Efeito da aplicação de zinco via foliar na síntese de triptofano, aminoácidos e proteínas solúveis em mudas de caféiro. **Brazilian Journal of Plant Physiology** v. 14, n. 1, p. 31–37, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjpp/a/f4TSgdw9G4PRSkjBcpZQz6t/>. Acesso em: 8 jul. 2025.

MATTOS, Amanda do P. *et al.* Induction resistance of fig plants to rust by dynamised high dilutions. **Biological Agriculture & Horticulture** v. 41, n. 1, p. 1–12, 2 jan. 2025. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01448765.2024.2406793>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MÉREY, Georg E. V. *et al.* Herbivore-induced maize leaf volatiles affect attraction and feeding behavior of *Spodoptera littoralis* caterpillars. **Frontiers in Plant Science** v. 4, n. JUN, p. 209, 28 jun. 2013. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3695448/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MEZZOMO, Priscila *et al.* Leaf volatile and nonvolatile metabolites show different levels of specificity in response to herbivory. **Ecology and Evolution** v. 13, n. 5, p. e10123, 1º mai. 2023. Disponível em: [/doi/pdf/10.1002/ece3.10123](https://doi.org/10.1002/ece3.10123). Acesso em: 9 jul. 2025.

MIORANZA, Thaísa M. *et al.* Control of *Meloidogyne incognita* in tomato plants with highly diluted

solutions of *Thuya occidentalis* and their effects on plant growth and defense metabolism. **Semina: Ciencias Agrarias** v. 38, n. 4, p. 2187–2200, 2017.

NAGOSHI, Rod N. *et al.* Identification and comparison of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) host strains in Brazil, Texas, and Florida. **Annals of the Entomological Society of America** v. 100, n. 3, p. 394–402, 2007.

OJHA, Megha; NAIDU, Dilip G.T.; BAGCHI, Sumanta. Meta-analysis of induced anti-herbivore defence traits in plants from 647 manipulative experiments with natural and simulated herbivory. **Journal of Ecology** v. 110, n. 4, p. 799–816, 1 abr. 2022.

OLIVEIRA, Juliana S. B. *et al.* Activation of biochemical defense mechanisms in bean plants for homeopathic preparations. **African Journal of Agricultural Research** v. 9, n. 11, p. 971–981, 2014.

PANT, Shankar; HUANG, Yinghua. Genome-wide studies of PAL genes in sorghum and their responses to aphid infestation. **Scientific Reports** v. 12, n. 1, p. 22537, 1 dez. 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9800386/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

PINHEIRO, Luana da S. *et al.* Características agro econômicas do milho: uma revisão. **Natural Resources** v. 11, n. 2, p. 13–21, 12 abr. 2021.

PRIETO MÉNDEZ, J.; *et al.* Agrohomeopathy: New tool to improve soils, crops and plant protection against various stress conditions. Review. **Horticultura Argentina** v. 40, n. 101, p. 43–58, 12 abr. 2021.

RAM, K. V.; RAJ, A. D.; PATEL, K. H. Effect of Nitrogen, Phosphorus and Potassium on Yield, Quality, Nutrient Content and Uptake on Hybrid Maize (*Zea mays* L.). **Agricultural Science Digest** v. 43, n. 3, p. 295–300, 1º jun. 2023.

SAU, Ashok K.; DHILLON, Mukesh K.; TRIVEDI, Neha. Activation of antioxidant defense in maize in response to attack by *Sesamia inferens* (Walker). **Phytoparasitica** v. 50, n. 5, p. 1043–1058, 1 nov. 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12600-022-00996-2>. Acesso em: 9 jul. 2025.

UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica** v. 34, n. 1, p. 68–71, 2006.

VENDRAMIM, José D.; GUZZO, Élio C.; RIBEIRO, Leandro do P.. Antibiose. In: BALDIN, Edson Luiz Lopes; VENDRAMIM, José Djair; LOURENÇÃO, André Luiz (Orgs.). **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**. Piracicaba, SP: FEALQ, 2019. p. 185–224.

WATERMAN, Jamie M. *et al.* High-resolution kinetics of herbivore-induced plant volatile transfer reveal clocked response patterns in neighboring plants. **eLife** v. 12, p. RP89855, 22 fev. 2024. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10942584/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

YADAV, Vivek *et al.* Phenylpropanoid pathway engineering: An emerging approach towards plant defense. **Pathogens** v. 9, n.1, p. 312, 2020.

YAMÉOGO, Innocent S. *et al.* Level of damage and yield losses associated with the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) on maize (*Zea mays*), millet (*Pennisetum glaucum*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) on station in Burkina Faso. **Crop Protection** v. 182, p. 106743, 1 ago. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219424001716>. Acesso em: 8 jul. 2025.

ZAHRA, Noreen *et al.* Plant photosynthesis under heat stress: Effects and management. **Environmental and Experimental Botany** v. 206, p. 105178, 1 fev. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847222004002>. Acesso em: 8 jul. 2025.



ZERAIK, NosodeAna E. *et al.* Desenvolvimento de um spot test para o monitoramento da atividade da peroxidase em um procedimento de purificação. **Quimica Nova** v. 31, n. 4, p. 731–734, 2008.

ZUKOWSKI, Samuel V. *et al.* Consumo e digestibilidade de *Spodoptera frugiperda* alimentada com folhas de milho tratadas com preparados isoterápicos. **Revista Latino Americana Ambiente e Saúde**, v. 5, n. 3, 2023. Disponível em: <https://ojs.uniplaclages.edu.br/index.php/rlas/article/view/86/64>. Acesso em: 8 jul. 2025.