

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LUCAS SILVA DE FARIA

EFEITO DA TERRA DE DIATOMÁCEAS EM SUSPENSÃO NO CONTROLE DE
Sitophilus zeamais (Mots., 1855) E NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO

Monte Carmelo

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LUCAS SILVA DE FARIA

EFEITO DA TERRA DE DIATOMÁCEAS EM SUSPENSÃO NO CONTROLE DE
Sitophilus zeamais (Mots., 1855) E NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO

Trabalho de Conclusão apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade
Federal de Uberlândia, Campus Monte
Carmelo, como requisito necessário para a
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Orientadora: Profa. Dra. Vanessa Andaló

Monte Carmelo

2026

LUCAS SILVA DE FARIA

EFEITO DA TERRA DE DIATOMÁCEAS EM SUSPENSÃO NO CONTROLE DE
Sitophilus zeamais (Mots., 1855) E NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO

Trabalho de Conclusão apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade
Federal de Uberlândia, Campus Monte
Carmelo, como requisito necessário para a
obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Monte Carmelo, 04 de março de 2026

Profa. Dra. Vanessa Andaló
Orientadora

Prof. Dr. André Luiz Firmino

Prof. Dr. Jardel Boscardin

Monte Carmelo

2026

SUMÁRIO

RESUMO.....	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. JUSTIFICATIVA	6
3. OBJETIVOS	7
3.1. Objetivos Específicos.....	7
4. REVISÃO DA LITERATURA	8
4.1. Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenados	8
4.2. <i>Sitophilus zeamais</i>	9
4.3. Terra de diatomáceas no controle de pragas de grãos e sementes armazenados	
5. MATERIAL E MÉTODOS	13
5.1. Local do experimento.....	13
5.2. Criação de <i>Sitophilus zeamais</i>	13
5.3. Eficiência da terra de diatomáceas em suspensão para o controle de <i>Sitophilus zeamais</i>	13
5.4. Efeito dos tratamentos com terra de diatomáceas na germinação das sementes de milho de polinização aberta	14
5.5. Análise estatística.....	16
6. RESULTADOS	17
6.1. Mortalidade de <i>Sitophilus zeamais</i> em sementes de milho tratadas com diferentes concentrações de terra de diatomáceas.	17
6.2. Testes de germinação de sementes de milho tratadas com TD e infestadas artificialmente com <i>Sitophilus zeamais</i>	23
7. DISCUSSÃO	26
8. CONCLUSÕES.....	29
9. REFERÊNCIAS	30

RESUMO

Sitophilus zeamais Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae), conhecido popularmente como gorgulho-do-milho é considerada uma espécie potencial causadora de injúrias em grãos e sementes armazenadas. O controle da praga mais utilizado é baseado em inseticidas químicos com elevada toxicidade e efeito residual. A terra de diatomáceas (TD) é um pó inerte de origem natural, composto principalmente por dióxido de sílica, com efeito inseticida contra diversas pragas de grãos e sementes armazenadas, bem como do gorgulho-do-milho. A forma convencional de aplicação da TD consiste no polvilhamento das sementes; entretanto, este trabalho teve como objetivo avaliar o uso da terra de diatomáceas em suspensão aquosa no tratamento de sementes de milho de polinização aberta, visando determinar sua eficiência na mortalidade de *Sitophilus zeamais* e seus efeitos sobre a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas. O estudo foi conduzido utilizando diferentes concentrações de terra de diatomáceas em suspensão (doses equivalentes de 250, 500, 750, 1000 e 1250 g·ton⁻¹). A mortalidade acumulada de *S. zeamais* foi avaliada ao longo de oito períodos, com intervalos de três dias, permitindo a estimativa da concentração letal média (CL50) em diferentes tempos de exposição. Observou-se aumento progressivo da mortalidade dos insetos com o incremento das doses e do tempo de exposição, com redução dos valores de CL50 ao longo das avaliações, indicando efeito cumulativo do tratamento. A aplicação da TD, independentemente da dose ou forma de aplicação, não afetou significativamente a porcentagem de germinação das sementes, que se manteve entre 87,0% e 95,5%, nem a proporção de plântulas normais. O índice de velocidade de germinação (IVG) apresentou variações pontuais entre os tratamentos, sem relação direta com o aumento das doses. Os comprimentos de radícula e de coleótilo + plúmula foram influenciados principalmente pela infestação por *S. zeamais*, enquanto a massa verde e a massa seca das plântulas não foram afetadas pelo tratamento com TD. Conclui-se que a aplicação da terra de diatomáceas em suspensão aquosa é eficiente no controle de *S. zeamais* e não compromete a qualidade fisiológica das sementes de milho, configurando-se como uma alternativa viável e inovadora para o tratamento de sementes *on farm* e em sistemas industriais.

Palavras-chave: carunchos, grãos armazenados, pós inertes, tratamento de sementes.

1. INTRODUÇÃO

A produção de grãos estocadas em armazéns e silos pode sofrer perdas quantitativas e qualitativas significativas em detrimento de diversos fatores abióticos e bióticos como insetos, bactérias e fungos, acarretando perdas que podem atingir de 10 a 20% da produção (Lorini, 2008; Mason; McDonough, 2012). As sementes são ainda mais sensíveis e requerem cuidados rigorosos para a manutenção do potencial germinativo e vigor. Além do controle de temperatura e umidade, as pragas devem ser efetivamente controladas. Neste contexto, dentre os insetos, os carunchos (Coleoptera) e as traças (Lepidoptera) representam os grupos de maior importância (Lorini *et al.*, 2015).

Sitophilus zeamais (Motschulsky, 1855) (Coleoptera: Curculionidae) é considerada uma praga primária que ataca grãos e sementes durante todo o seu ciclo de desenvolvimento, consumindo o interior dessas estruturas, contaminando os lotes com fezes e excretas e podendo ainda servir como porta de entrada de microrganismos que contribuem para a deterioração. Podem infestar os grãos e sementes ainda no campo e também em armazéns, de diferentes espécies vegetais como o arroz, trigo, tritcale, cevada e especialmente o milho (Alencar *et al.*, 2011; Faroni, 1992; Lorini, 2008).

Para o controle das pragas que afetam grãos e sementes armazenadas são recomendadas técnicas integradas de manejo, como: a limpeza e a higienização das unidades armazenadoras; os métodos físicos, como o controle de temperatura, umidade, atmosfera, radiação, luz e adição de pós inertes; os métodos biológicos, como a soltura de parasitoides; e o mais utilizado, baseado no controle químico, seja preventivo ou curativo pela facilidade e eficiência de aplicação. No entanto, o controle químico apresenta limitações de uso, como o desenvolvimento de resistência dos insetos, por possíveis contaminações residuais, riscos aos aplicadores e ainda em relação a pequenos produtores que não possuem estrutura física adequada para tal administração (Cemin; Spazzin; Bellon, 2023; Fragoso; Guedes; Peternelli, 2005; Lorini *et al.*, 2015; Ortega *et al.*, 2021).

Dentro dos métodos físicos de controle de pragas, o uso do pó inerte a base de terra de diatomáceas (TD), é uma técnica antiga que vem sendo estudada e novamente recomendada como alternativa ou até mesmo em concomitância com o controle químico. A terra de diatomáceas é um composto formado especialmente por dióxido de sílica, que se adere a epicutícula dos insetos provocando um efeito abrasivo e de desidratação, levando-os à morte.

Diversos estudos tem avaliado dosagens e diferentes formulações em uma grande variedade de espécies pragas de grãos e sementes armazenadas, demonstrando sua eficiência e segurança para o consumo humano e animal (Agrafioti *et al.*, 2023; Arthur; Throne, 2009; Banks; Fields, 1995; Romei; Schilman, 2024; Sousa *et al.*, 2013). No entanto, tratam da administração do produto em pó apenas em polvilhamento, e não consideram a aplicação do produto diluído formando uma suspensão, técnica essa que é usual no tratamento de sementes *on farm* e/ou industrial com produtos químicos e biológicos. Vale ressaltar que a utilização da TD em suspensões aquosas já foi avaliada em pesquisas, no entanto, em contextos diferentes do presente estudo (Athanassiou; Zorunic, 2007; Bozkurt, 2025; Johnson; Valero; Wang, 2014). Consequentemente, este trabalho visa avaliar a eficiência de produto a base de terra de diatomáceas em suspensão para o controle de *S. zeamais* e se existe interferência dessa administração no potencial germinativo e desenvolvimento de plântulas de milho.

2. JUSTIFICATIVA

O processo de armazenamento de grãos e sementes é uma etapa crucial da cadeia produtiva agrícola mundial. Durante este processo, as sementes podem ser expostas a diversos fatores abióticos e bióticos que podem contribuir com a danificação do material de propagação ou perdas qualitativas ou quantitativas das safras colhidas. O ataque de pragas ocorre de maneira frequente em grandes armazéns ou em pequenas propriedades rurais de subsistência. Dentre as pragas que costumam afetar o milho armazenado, destacam-se as traças e os carunchos, muitas vezes representados pelo gorgulho-do-milho (*Sitophilus zeamais*).

Destacada a importância de se realizar um controle eficaz das pragas que afetam estes produtos agrícolas, o uso de inseticidas químicos fumigantes e de formulações líquidas para o tratamento de sementes são costumeiramente empregados (AGROFIT, 2026). Os produtos químicos possuem alta periculosidade aos aplicadores e regulações específicas de intervalos de carência para a disponibilização aos consumidores. Dessa forma, a utilização de técnicas alternativas de controle de pragas de grãos e sementes armazenadas, que sejam inofensivas à saúde humana e animal, são de extrema importância.

Como alternativa aos inseticidas químicos, a terra de diatomáceas vem sendo amplamente estudada e aplicada no controle de traças e carunchos em armazéns. Trata-se de um produto de

origem natural, composta principalmente por dióxido de sílica e que promove desidratação e micro lesões por atrito nos insetos expostos. Neste sentido, o presente estudo visa avaliar uma metodologia pouco explorada de aplicação, em diferentes dosagens de terra de diatomáceas em sementes de milho de polinização aberta e seu efeito na proteção contra *S. zeamais* e se existe interferências no processo germinativo destas sementes. A aplicação na forma líquida pode ser uma alternativa interessante para o tratamento industrial de sementes que utilizam caldas para a pulverização de sementes em larga escala, mas também aplicável para pequenos produtores.

3. OBJETIVOS

Avaliar o efeito inseticida da terra de diatomáceas em suspensão aplicadas em sementes de milho infestadas artificialmente com *Sitophilus zeamais*, bem como o efeito do tratamento no processo de germinação e desenvolvimento de plântulas de milho.

3.1. Objetivos Específicos

- Utilizar a terra de diatomáceas em suspensão para o tratamento de sementes de milho de polinização aberta.
- Avaliar o efeito inseticida de diferentes dosagens de terra de diatomáceas em suspensão no tratamento de sementes de milho infestadas artificialmente com *S. zeamais*.
- Mensurar a influência do tratamento de sementes com terra de diatomáceas em suspensão, no processo germinativo e desenvolvimento de plântulas de milho.

4. REVISÃO DA LITERATURA

4.1. Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenados

A produção brasileira de grãos para a safra de 2025/2026 está estimada em 354,4 milhões de toneladas, enquanto a produção de milho é estimada em 138,45 milhões de toneladas (CONAB, 2026). Essa importante produção de *commodities*, assim como as sementes, precisam ser armazenadas por diferentes intervalos de tempo, em condições de elevada sanidade e controle ambiental para a manutenção da qualidade físico-química, o valor nutricional e a viabilidade germinativa destes produtos, até o momento de melhores valores comerciais ou de uso prático (Lorini *et al.*, 2015).

Existem diversos problemas relacionados com o armazenamento de grãos e sementes, e dentre eles, os causados por fatores bióticos como fungos, bactérias, roedores e insetos podem acarretar perdas significativas que podem chegar de 10 a 20% da produção. Sobre os insetos, os besouros, popularmente conhecidos como carunchos, e as traças, são os principais grupos de importância nestas condições. Entre os besouros destacam-se as espécies: *Rhyzopertha dominica* (Fabricius, 1792), *Sitophilus oryzae* (Linnaeus, 1763), *S. zeamais* (Motschulsky, 1855), *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797), *Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792), *Oryzaephilus surinamensis* (Linnaeus, 1758), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens, 1831) e *Acanthoscelides obtectus* (Say, 1831). Entre as traças, as principais espécies são: *Plodia interpunctella* (Hübner, 1813), *Sitotroga cerealella* (Olivier, 1789) e *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) (Carvalho *et al.*, 2017; Lorini *et al.*, 2015, Mason; McDonough, 2012).

Esses problemas podem estar associados com a falta de tecnologias apropriadas, umidade e temperatura inadequadas, contaminações diversas, higiene deficiente, ausência na adoção de medidas integradas de controle ou até mesmo em casos de resistência de insetos praga a inseticidas amplamente utilizados. (Daglish *et al.*, 2018; Lorini *et al.*, 2015).

O controle químico com inseticidas continua a ser a principal medida implementada para o controle dos insetos de grãos e sementes armazenados, tanto de forma preventiva quanto curativa. Os tratamentos utilizam principalmente a fosfina e o brometo de metila aplicados em fumigação, ou via pulverização em esteira quando o tempo de armazenamento for superior a 60-90 dias, podendo ser usados inseticidas dos grupos químicos dos piretroides,

organofosforados e espinosinas (Daglish *et al.*, 2018; Lorini *et al.*, 2015; Nayak *et al.*, 2020). Entretanto, os casos de resistências de insetos aos químicos vêm sendo relatada nos últimos anos, principalmente à fosfina, considerada a mais utilizada pela eficiência, baixo custo e facilidade de aplicação. Esses casos enaltecem a necessidade da utilização de técnicas de manejo integradas para garantir o sucesso de controle das pragas de grãos e sementes armazenados (Daglish *et al.*, 2018; Lorini *et al.*, 2015; Machuca-Mesa; Turchen; Guedes, 2024; Nayak *et al.*, 2020; Ortega *et al.*, 2021).

Entre as técnicas alternativas ao controle químico destas pragas destacam-se os métodos físicos, com destaque para os mais usados como o controle de temperatura e umidade, além da aplicação de pós inertes. A manipulação da concentração de gases atmosféricos, o uso de radiação, luz e som são métodos físicos que podem produzir resultados positivos, mas são de uso restrito e pouco difundido nos armazéns. Existem ainda o emprego do controle biológico, utilizando parasitoides, porém sendo estudado para casos específicos e com baixa aplicabilidade, além da aplicação de extratos e cinzas botânicas (Cemin; Spazzin; Bellon, 2023; Daglish *et al.*, 2018; Lorini *et al.*, 2015; Stejskal *et al.*, 2021).

Em relação aos pós inertes, existem quatro tipos básicos: as argilas e areias, a sílica aerogel, produzida pela desidratação do silicato de sódio, os não derivados de sílica como derivados de rochas fosfatadas, e por fim, a terra de diatomáceas, um composto derivado de algas diatomáceas formado principalmente por dióxido de silício e amplamente estudado para o controle de muitas pragas de armazéns em diversas culturas agrícolas (Agrafioti *et al.*, 2023; Banks; Fields, 1995; Lorini *et al.*, 2015; Romei; Schilman, 2024; Sousa *et al.*, 2013; Stejskal *et al.*, 2021).

4.2. *Sitophilus zeamais*

O gorgulho-do-milho *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) é uma espécie de ampla distribuição, concentrada em áreas tropicais e temperadas onde o milho é cultivado. Possui ciclo de vida de ovo até a emergência dos adultos variável de acordo principalmente com a temperatura, podendo ser de aproximadamente 26 dias a 30°C, 35 dias a 27°C e no limite de 110 dias a 18°C. Apesar da preferência pelo milho, também é encontrado no arroz, trigo, sorgo, cevada e centeio (Mason; McDonough, 2012).

Os adultos possuem de 2,5 a 4 mm de comprimento, são de coloração castanho-escuro, com manchas mais claras nos élitros e punturas circulares na parte dorsal do tórax. Apresentam longevidade que varia de quatro a oito meses e elevado potencial reprodutivo. As oviposturas são realizadas dentro dos grãos e sementes, onde todo o desenvolvimento larval, por quatro instares, e pupal ocorre. As fêmeas tendem a cessar as oviposturas se a umidade relativa for inferior a 60%. As infestações podem acontecer tanto nos campos de produção quanto em armazéns. Os danos provocados são decorrentes da redução da massa e da qualidade dos grãos, bem como da inviabilização de sementes, além de facilitarem a disseminação de fungos oportunistas produtores de micotoxinas. O armazenamento de milho em grãos sem nenhum tipo de proteção pode acarretar perdas de 20 a 90% pela praga, que pode ser uma ameaça à segurança alimentar sem a aplicação eficaz de técnicas de controle (Lorini *et al.*, 2015; Mason; McDonough, 2012; Nwosu *et al.*, 2020).

O controle da praga pode ser efetuado de muitas formas, porém o controle químico é o mais utilizado mundialmente. Para o milho armazenado, existem atualmente no Brasil, 13 marcas comerciais de inseticidas registradas, formuladas com os ingredientes ativos pirimifós-metílico, deltametrina, fosfeto de magnésio, fosfeto de alumínio, permetrina e bifentrina (AGROFIT, 2024). Os inseticidas normalmente são usados de maneira generalista para a proteção dos grãos e sementes ou para a eliminação das pragas existentes, de forma curativa, sem levar em consideração as espécies existentes e os níveis de infestação. Muitas vezes são aplicados de forma negligenciada e sem critérios técnicos, acarretando vários problemas como surgimento de resistências, contaminações ambientais e acúmulo de resíduos que podem afetar a alimentação humana e animal. (Lorini *et al.*, 2015; Machuca-Mesa; Turchen; Guedes, 2024; Magano *et al.*, 2021; Stejskal *et al.*, 2021).

Existe um crescimento substancial de novos estudos avaliando o efeito de diferentes óleos e extratos botânicos (Peschiutta *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2021), e também a ação de microrganismos para o controle biológico, como o fungo *Beauveria bassiana* (Saed; Laing, 2023). Outras alternativas de controle físico vêm sendo estudadas, como o uso da atmosfera controlada (Mancera-Rico *et al.*, 2023), através do controle de temperatura (Lorini *et al.*, 2015; Marpaung, 2021), radiação eletromagnética associada a temperatura (Ramírez-Rojas *et al.*, 2020), com o destaque para uma grande diversidade de formulações de pós inertes, especialmente para a terra de diatomáceas (Agrafioti *et al.*, 2023; Antunes *et al.*, 2014; Arthur; Throne, 2009; Ziaee; Ebadollahi; Wakil, 2021).

4.3. Terra de diatomáceas no controle de pragas de grãos e sementes armazenados

A terra de diatomáceas é um tipo de pó inerte de origem natural, formada por fósseis de algas microscópicas chamadas de diatomáceas, que podem ser de origem marinha ou de água doce. Sua composição química é de minerais, sendo a sílica o principal, além de alumínio, ferro, magnésio e sódio, em menores proporções. Os produtos à base de terra de diatomáceas que são utilizados no controle de pragas de grãos e sementes armazenadas, possuem granulometria fina e são obtidos através da extração, secagem e moagem dos fósseis dessas algas. A sílica amorfa ou dióxido de sílica (SiO_2), componente principal da terra de diatomáceas, possui uma estrutura altamente abrasiva e porosa e atua tanto de forma física e mecânica quando expostas aos insetos. Em contato com o inseto, adere à epicutícula por carga eletrostática, provoca fissuras e adsorve as ceras da camada lipídica que recobre o exoesqueleto. Os danos provocados à cutícula promovem desidratação severa, levando-os insetos à morte (Lorini *et al.*, 2015; Romei; Schilman, 2024).

A TD é considerada um produto natural e atóxico para os seres humanos e animais, totalmente compatível como técnica a ser utilizada no manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenados tanto em sistemas convencionais com uso de produtos químicos, quanto em condições de produção orgânica. Grãos e sementes tratados com o produto apresentam vantagens como o controle eficaz e diversificado de espécies pragas, longo efeito residual, segurança para os operadores envolvidos em todo o processo laboral, além da ausência de risco de desenvolvimento de resistências e do efeito positivo contra pragas resistentes a ingredientes químicos amplamente usados (Agrafioti *et al.*, 2023; Banks; Fields, 1995; Lorini *et al.*, 2015).

Muitos trabalhos evidenciaram a eficácia e segurança da terra de diatomáceas para o controle de muitas pragas como *S. zeamais*, *S. oryzae*, *R. dominica*, *T. castaneum*, *L. serricorne*, entre outras, em diversas culturas agrícolas como o milho, trigo, arroz, cevada, sorgo, etc (Agrafioti *et al.*, 2023; Banks; Fields, 1995; Lorini *et al.*, 2015; Romei; Schilman, 2024; Sousa *et al.*, 2013; Stejskal *et al.*, 2021). As diferentes formulações testadas, normalmente registram a eficácia dos produtos em doses que variam de 1 a 2 kg de terra de diatomáceas por tonelada de grãos ou sementes. No Brasil existem seis produtos comerciais registrados a base de terra de diatomáceas, ambos na formulação de pó seco – DP, recomendados para aplicação durante a passagem pela correia transportadora no momento do armazenamento. As aplicações devem ser

feitas através de polvilhadeiras ou através do sistema de aeração quando disponível nos armazéns (AGROFIT, 2026; Lorini; Morás; Beckel, 2003; Lorini *et al.*, 2015). Entretanto, a aplicação em via líquida sobre sementes de milho, formando uma suspensão, ainda não foi claramente evidenciada nas pesquisas e pode ser mais uma alternativa para o uso do produto em escala industrial, para o tratamento de sementes, avaliando diferentes dosagens que são amplamente conhecidas quando se trata da aplicação em pó. O tratamento de sementes com produtos líquidos (inseticidas, fungicidas, inoculantes) é a maneira mais utilizada, eficaz e de fácil logística, possibilitando inclusive as misturas de diferentes agroquímicos e biológicos. É necessário verificar além da mortalidade aos insetos de grãos e sementes armazenados, se a pulverização com terra de diatomáceas em suspensão afetaria a germinação das sementes e o desenvolvimento das plântulas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido de forma integral nas dependências do Laboratório de Entomologia (LABEN), pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia.

5.2. Criação de *Sitophilus zeamais*

Os espécimes de *S. zeamais* foram mantidos em garradas de polietileno tereftalato (PET) de 1 L, fechadas com tampas plásticas com aberturas para circulação de ar e revestidas com tecido *voil*. A criação foi realizada em grãos de milho-pipoca (*Zea mays everta*) como fonte de substrato. Os recipientes com os insetos foram mantidos em estufa incubadora tipo BOD, com temperatura controlada de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $75 \pm 5\%$ e fotoperíodo de 12 horas, seguindo metodologia de Moraes *et al.* (2011). Os insetos utilizados nos experimentos foram indivíduos adultos, recém emergidos e sem padronização de sexo.

5.3. Eficiência da terra de diatomáceas em suspensão para o controle de *Sitophilus zeamais*

O efeito inseticida da terra de diatomáceas (TD) contra *S. zeamais* foi avaliado em suspensão, utilizando o produto em pó (90% de SiO_2) e diluído em água deionizada, para o tratamento de sementes de milho infestadas artificialmente com os insetos. As sementes de milho utilizadas são provenientes de uma variedade de polinização aberta (OP – *open pollinated*), denominada BRS 4107. Após a mistura, a suspensão foi administrada às sementes de milho em sacos plásticos, seguidas de agitação vigorosa por dois minutos para completa homogeneização, perfazendo um volume de calda de 600 mL/100 kg de sementes. Cada unidade experimental foi representada por uma garrafa PET de 1 L, preenchida com 300 g de sementes de milho e adicionadas de 30 insetos adultos do gorgulho-do-milho. O experimento foi realizado através do delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por sete tratamentos e quatro repetições (7 x 4), utilizando a terra de diatomáceas, dispostos da seguinte forma:

T0 – sementes de milho sem tratamento com terra de diatomáceas e infestadas com *S. zeamais*.

T1 – sementes de milho tratadas com suspensão de terra de diatomáceas a 4,18% (equivalente a 250 g de TD/ton de sementes) e infestadas com *S. zeamais*.

T2 – sementes de milho tratadas com suspensão de terra de diatomáceas a 8,35% (equivalente a 500 g de TD/ton de sementes) e infestadas com *S. zeamais*.

T3 – sementes de milho tratadas com suspensão de terra de diatomáceas a 12,53% (equivalente a 750 g de TD/ton de sementes) e infestadas com *S. zeamais*.

T4 – sementes de milho tratadas com suspensão de terra de diatomáceas a 16,70% (equivalente a 1000 g de TD/ton de sementes) e infestadas com *S. zeamais*.

T5 – sementes de milho tratadas com suspensão de terra de diatomáceas a 25,05% (equivalente a 1250 g de TD/ton de sementes) e infestadas com *S. zeamais*.

T6 – sementes de milho polvilhadas com 1000 g de TD/ton de sementes e infestadas com *S. zeamais*. Este tratamento trata-se de dose recomendada e eficaz para o controle de pragas em grãos armazenados com a terra de diatomáceas.

Os recipientes com os insetos foram mantidos em estufa incubadora tipo BOD, com temperatura controlada de $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $75 \pm 5\%$ e fotoperíodo de 12 horas. Os experimentos foram avaliados a cada 3 dias durante o período de 25 dias, totalizando 8 avaliações, ou até o momento da mortalidade total dos insetos em cada tratamento. Cada avaliação consistiu da contagem do número de insetos adultos mortos em cada repetição.

5.4. Efeito dos tratamentos com terra de diatomáceas na germinação das sementes de milho

Após o período de incubação dos tratamentos descritos no item 5.3., as sementes utilizadas em cada tratamento foram submetidas a testes de germinação. As variáveis analisadas foram as porcentagens de sementes germinadas, não germinadas, plântulas normais, anormais e enroladas, incluso o Índice de Velocidade de Germinação (IVG). As plântulas germinadas foram avaliadas em relação aos comprimentos (cm) de radícula e coleóptilo + plúmula, massa verde (g) e massa seca (g). Além dos tratamentos explicados no item 5.3., este experimento possui

um tratamento adicional, representado por sementes de milho puras, não expostas aos carunchos e sem adição de TD, a fim de se representar o padrão de germinação destas sementes sem a influência dos tratamentos. Dessa forma, este experimento foi formado por 8 tratamentos e 4 repetições (8 x 4), em DIC, com 50 sementes em cada repetição, dimensionados da seguinte maneira:

T0 – sementes de milho sem tratamento com terra de diatomáceas e sem infestação com *S. zeamais*.

T1 – sementes de milho sem tratamento com terra de diatomáceas e infestadas com *S. zeamais*.

T2 – sementes de milho tratadas com suspensão de terra de diatomáceas a 4,18% (equivalente a 250 g de TD/ton de sementes) e infestadas com *S. zeamais*.

T3 – sementes de milho tratadas com suspensão de terra de diatomáceas a 8,35% (equivalente a 500 g de TD/ton de sementes) e infestadas com *S. zeamais*.

T4 – sementes de milho tratadas com suspensão de terra de diatomáceas a 12,53% (equivalente a 750 g de TD/ton de sementes) e infestadas com *S. zeamais*.

T5 – sementes de milho tratadas com suspensão de terra de diatomáceas a 16,70% (equivalente a 1000 g de TD/ton de sementes) e infestadas com *S. zeamais*.

T6 – sementes de milho tratadas com suspensão de terra de diatomáceas a 25,05% (equivalente a 1250 g de TD/ton de sementes) e infestadas com *S. zeamais*.

T7 – sementes de milho polvilhadas com 1000 g de TD/ton de sementes e infestadas com *S. zeamais*. Este tratamento trata-se de dose recomendada e eficaz para o controle de pragas em grãos armazenados com a terra de diatomáceas.

O teste de germinação foi realizado seguindo as Regras de Análises de Sementes (RAS) em rolos de papel filtro, com 50 sementes em cada rolo, representando cada repetição e totalizando 200 sementes em cada tratamento. Cada rolo foi formado por 3 folhas de papel umedecidas com água deionizada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso das folhas de papel filtro. Após a montagem, os rolos de papel contendo as sementes foram incubados por 7 dias, em câmara de germinação tipo B.O.D a $25 \pm 2^\circ\text{C}$, umidade relativa de $75 \pm 5\%$ e fotoperíodo de 12 horas (Brasil, 2009).

As análises das plântulas foram realizadas aos 7 dias após a semeadura considerando a porcentagem de plântulas normais e anormais, conforme as RAS (Brasil, 2009). Para o índice de velocidade de germinação (IVG) foram realizadas contagens diárias das sementes

germinadas durante 7 dias, adotando-se a constante: $IVG = E1/N1 + E2/N2 + \dots En/Nn$ Onde: IVG = índice de velocidade de germinação. E1, E2, En = número de plântulas normais computadas na primeira contagem, na segunda contagem e na última contagem. N1, N2,... Nn = número de dias da semeadura à primeira (Maguire, 1962).

O desenvolvimento das plântulas foi avaliado através de medições do comprimento de radículas e coleótilos + plúmula, com auxílio de paquímetro digital. Posteriormente, as plântulas foram pesadas em balança analítica para o conhecimento da massa verde. Após a pesagem, as sementes germinadas de cada repetição foram acondicionadas em placas de Petri de vidro de 15 cm de diâmetro e levadas para estufa de esterilização e secagem a 105 °C por um período de 24 horas. Decorrido este tempo, os recipientes foram fechados e levados para dessecadores para o resfriamento, depois foram novamente pesadas para a determinação da massa seca (Brasil, 2009).

5.5. Análise estatística

A taxa de mortalidade dos insetos em função dos diferentes tratamentos, bem como os dados do teste de germinação de sementes foram submetidos ao teste de análise de variância (ANOVA) com 95% de intervalo de confiança, seguidos pelo pós-teste de Tukey, para comparações múltiplas entre os tratamentos. O efeito das diferentes doses das suspensões de terra de diatomáceas na mortalidade de *S. zeamais* foi analisado por regressão linear, além da determinação da concentração letal mediana (CL50), por regressão logística com transformação logarítmica da dose. Os testes foram realizados com auxílio do pacote estatístico GraphPad Prism 6.0.

6. RESULTADOS

6.1. Mortalidade de *Sitophilus zeamais* em sementes de milho tratadas com diferentes concentrações de terra de diatomáceas.

O experimento foi acompanhado por 25 dias, totalizando oito avaliações realizadas a cada três dias. Foram anotados os dados de mortalidade em cada avaliação (Tabela 1) e da mortalidade acumulada no decorrer do experimento (Tabela 2; Figura 1), em função das doses de suspensões de terra de diatomáceas aplicadas. A mortalidade de *Sitophilus zeamais* foi significativamente influenciada pelas doses de TD e pelo tempo de exposição, em todas as avaliações realizadas ($p < 0,0001$) (Tabelas 1 e 2). Nas avaliações iniciais (3 e 6 dias após a infestação – DAI), observou-se baixa mortalidade em todos os tratamentos, com exceção do tratamento T5 (25,05% – eq. 1250 g·ton⁻¹), considerado de dose superior ao convencional, de 1000 g·ton⁻¹ e aplicado em pó (T6), que apresentou valores significativamente superiores aos demais tratamentos. Na quarta avaliação (12ºDAI), este tratamento foi observado com mortalidade total dos insetos (Tabela 2).

A partir do 9º DAI, verificou-se aumento progressivo da mortalidade acumulada em função do incremento das doses aplicadas, com diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 2; Figura 1). Esse padrão tornou-se mais evidente aos 12º e 15º DAI, quando os tratamentos T4 (eq. 1000 g·ton⁻¹), T5 (eq. 1250 g·ton⁻¹) e T6 (1000 g·ton⁻¹ em pó) apresentaram mortalidade significativamente superior aos tratamentos de menor dose e ao controle. Na sexta avaliação (18º DAI), os tratamentos T4 (suspensão) e T6 (pó), considerados equivalentes em dose e diferentes na aplicação de TD, foram observados com mortalidade total dos indivíduos (Tabela 2; Figura 1). Na última avaliação (24º DAI), o tratamento T3 (eq. 750 g·ton⁻¹), de dosagem inferior ao tratamento padrão (T6 – 1000 g·ton⁻¹), apresentou mortalidade acumulada semelhante aos tratamentos de maior dose pelo teste de Tukey. Os tratamentos com doses menores (T1 e T2) provocaram as menores taxas de mortalidade durante o experimento (Tabela 2; Figura 1). O tratamento controle (T0) manteve baixos níveis de mortalidade durante todo o período experimental.

A regressão linear revelou relação positiva entre o aumento das doses de TD em suspensão (T1, T2, T3, T4 e T5) e a mortalidade acumulada dos insetos a partir do 9º DAI, com coeficientes de determinação (R^2) variando entre 0,71 e 0,87, dependendo da data de avaliação (Figura 2). O ajuste das regressões indicou incremento consistente da mortalidade com o

aumento da dose e do tempo de exposição, evidenciando o efeito cumulativo do produto. Os maiores valores de R^2 foram observados entre o 15º e o 18º DAI, indicando maior estabilidade da relação dose–resposta nesses períodos, os quais foram considerados mais adequados para análises toxicológicas subsequentes (Figura 2).

As curvas dose–resposta ajustadas por regressão não linear permitiram a estimativa da concentração letal mediana (CL50) da terra de diatomáceas em suspensão (T1, T2, T3, T4 e T5) aos 15, 18, 21 e 24 DAI (Figura 3). Observou-se redução progressiva dos valores de CL50 com o aumento do tempo de exposição, indicando maior eficiência do produto ao longo do período experimental. Aos 15 DAI, a CL50 estimada foi de $855,5 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$, reduzindo para $772,2 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ aos 18 DAI, $720,8 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ aos 21 DAI e $657,0 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ aos 24 DAI (Figura 3). Esse comportamento evidencia que períodos mais longos de contato entre o inseto e a TD, reduzem a dose necessária para provocar mortalidade em 50% da população de insetos testada.

Tabela 1 – Mortalidade em cada avaliação de *Sitophilus zeamais* em sementes de milho tratadas com diferentes concentrações de suspensões de terra de diatomáceas.

Avaliações	Repetições	Tratamentos							F	p
		T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
1 - (3° DAI)	1	0	1	0	0	0	12	0	12,26	<0,0001
	2	0	0	0	0	0	7	1		
	3	0	1	0	0	1	5	0		
	4	0	0	2	1	0	4	0		
	Total	0	2	2	1	1	28	1		
2 - (6° DAI)	1	0	1	0	0	2	16	1	45,42	<0,0001
	2	1	0	0	0	0	19	2		
	3	0	1	1	2	0	11	3		
	4	1	0	3	1	1	20	2		
	Total	2	2	4	3	3	66	8		
3 - (9° DAI)	1	0	0	1	0	8	2	2	9,995	<0,0001
	2	0	0	0	3	11	4	6		
	3	0	0	0	0	6	10	9		
	4	0	0	2	4	12	6	3		
	Total	0	0	3	7	37	22	20		
4 - (12° DAI)	1	2	0	1	2	5	0	6	12,98	<0,0001
	2	1	1	0	7	6	0	6		
	3	1	2	0	2	7	4	7		
	4	0	2	2	3	9	0	8		
	Total	4	5	3	15	27	4	27		
5 - (15° DAI)	1	1	3	1	4	10	0	8	11,71	<0,0001
	2	1	0	2	3	5	0	6		
	3	0	1	0	4	6	0	4		
	4	0	1	1	7	4	0	4		
	Total	2	5	4	18	20	0	22		
6 - (18° DAI)	1	0	0	0	4	5	0	13	13,79	<0,0001
	2	0	1	0	6	8	0	9		
	3	0	0	2	15	10	0	7		
	4	0	1	0	7	4	0	13		
	Total	0	2	2	32	27	0	42		
7 - (21° DAI)	1	0	0	1	6	0	0	0	17,45	<0,0001
	2	0	0	0	4	0	0	0		
	3	0	0	0	3	0	0	0		
	4	0	0	0	2	0	0	0		
	Total	0	0	1	15	0	0	0		
8 - (24° DAI)	1	0	0	1	6	0	0	0	35,65	<0,0001
	2	0	1	0	4	0	0	0		
	3	0	1	0	3	0	0	0		
	4	0	1	0	5	0	0	0		
	Total	0	3	1	18	0	0	0		

* **T0**: sem tratamento; **T1**: 4,18% - eq. 250 g·ton⁻¹; **T2**: 8,35% - eq. 500 g·ton⁻¹; **T3**: 12,53% - eq. 750 g·ton⁻¹; **T4**: 16,70% - eq. 1000 g·ton⁻¹; **T5**: 25,05% - eq. 1250 g·ton⁻¹; **T6**: 1000 g·ton⁻¹ em pó; **F** – Valores do teste de Análise de Variância (ANOVA); **p** – valores de probabilidade; **DAI** – dia após a infestação.

Tabela 2 – Mortalidade acumulada de *Sitophilus zeamais* em sementes de milho tratadas com diferentes concentrações de suspensões de terra de diatomáceas.

Avaliações	Repetições	Tratamentos							F	p
		T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6		
1 - (3°DAI)	1	0	1	0	0	0	12	0	12,26	<0,0001
	2	0	0	0	0	0	7	1		
	3	0	1	0	0	1	5	0		
	4	0	0	2	1	0	4	0		
	Total	0	2	2	1	1	28	1		
2 - (6°DAI)	1	0	2	0	0	2	28	1	52,64	<0,0001
	2	1	0	0	0	0	26	3		
	3	0	2	1	2	1	16	3		
	4	1	0	5	2	1	24	2		
	Total	2	4	6	4	4	94	9		
3 - (9°DAI)	1	0	2	1	0	10	30	3	63,86	<0,0001
	2	1	0	0	3	11	30	9		
	3	0	2	1	2	7	26	12		
	4	1	0	7	6	13	30	5		
	Total	2	4	9	11	41	116	29		
4 - (12°DAI)	1	2	2	2	2	15	30	9	48,36	<0,0001
	2	2	1	0	10	17	30	15		
	3	1	4	1	4	14	30	19		
	4	1	2	9	9	22	30	13		
	Total	6	9	12	25	68	120	56		
5 - (15°DAI)	1	3	5	3	6	25	30	17	57,82	<0,0001
	2	3	1	2	13	22	30	21		
	3	1	5	1	8	20	30	23		
	4	1	3	10	16	26	30	17		
	Total	8	14	16	43	93	120	78		
6 - (18°DAI)	1	3	5	3	10	30	30	30	90,65	<0,0001
	2	3	2	2	19	30	30	30		
	3	1	5	3	23	30	30	30		
	4	1	4	10	23	30	30	30		
	Total	8	16	18	75	120	120	120		
7 - (21°DAI)	1	3	5	4	16	30	30	30	321,1	<0,0001
	2	3	2	2	23	30	30	30		
	3	1	5	3	26	30	30	30		
	4	1	4	10	25	30	30	30		
	Total	8	16	19	90	120	120	120		
8 - (24°DAI)	1	3	5	5	20	30	30	30	143,5	<0,0001
	2	3	3	2	27	30	30	30		
	3	1	6	3	29	30	30	30		
	4	1	5	10	30	30	30	30		
	Total	8	19	20	106	120	120	120		

* **T0**: sem tratamento; **T1**: 4,18% - eq. 250 g·ton⁻¹; **T2**: 8,35% - eq. 500 g·ton⁻¹; **T3**: 12,53% - eq. 750 g·ton⁻¹; **T4**: 16,70% - eq. 1000 g·ton⁻¹; **T5**: 25,05% - eq. 1250 g·ton⁻¹; **T6**: 1000 g·ton⁻¹ em pó; **F** – Valores do teste de Análise de Variância (ANOVA); **p** – valores de probabilidade; **DAI** – dia após a infestação.

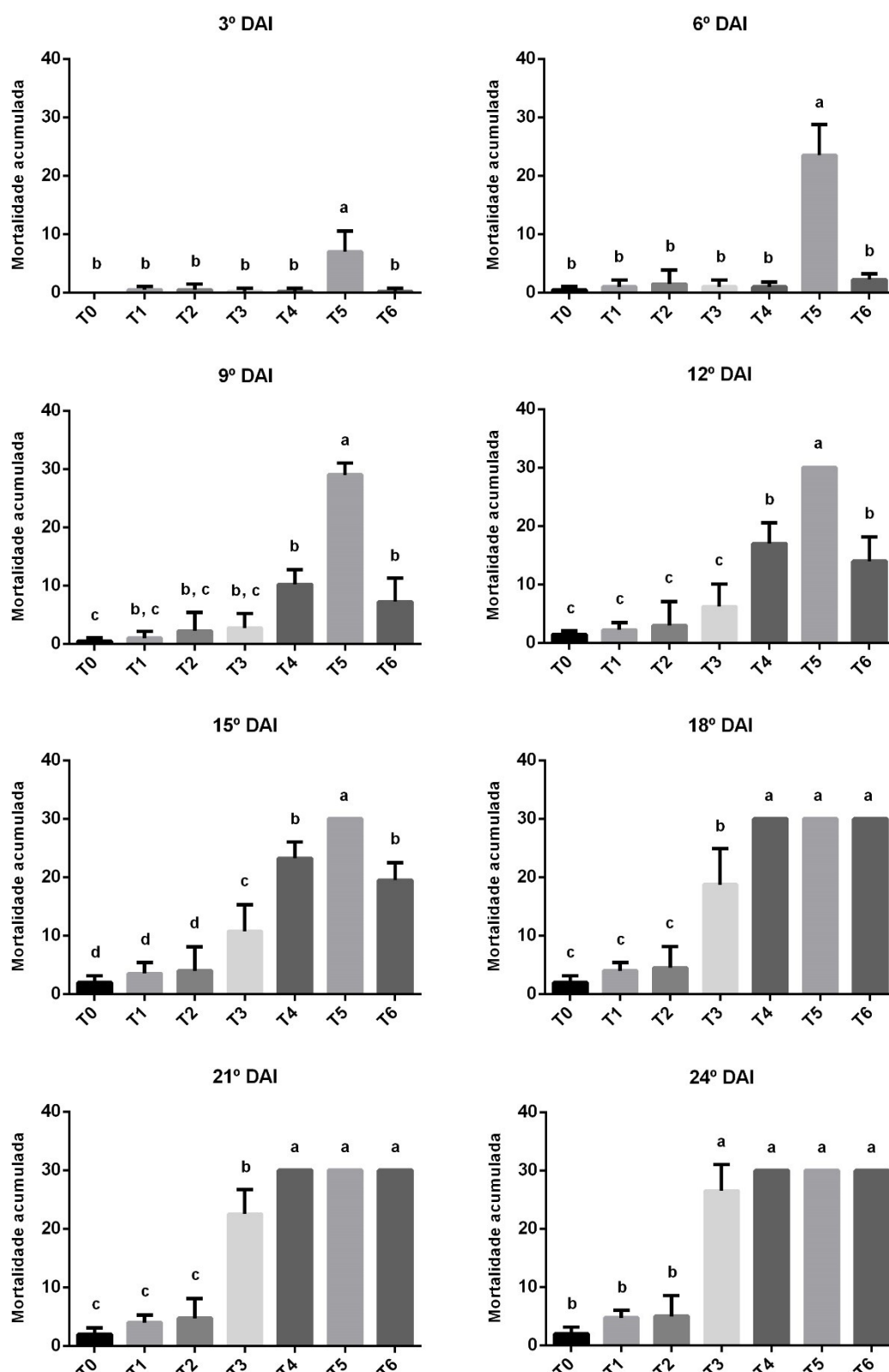


Figura 1 – Mortalidade média acumulada de *Sitophilus zeamais* em milho tratado com diferentes concentrações de suspensões de terra de diatomáceas (T0: sem tratamento com TD; T1: 4,18% - eq. 250 g·ton⁻¹; T2: 8,35% - eq. 500 g·ton⁻¹; T3: 12,53% - eq. 750 g·ton⁻¹; T4: 16,70% - eq. 1000 g·ton⁻¹; T5: 25,05% - eq. 1250 g·ton⁻¹; T6: 1000 g·ton⁻¹ em pó). As avaliações foram realizadas a cada três dias - **DAI** (dia após a infestação). Tratamentos com letras diferentes diferem de acordo com o teste de Tukey a 0,05 de significância.

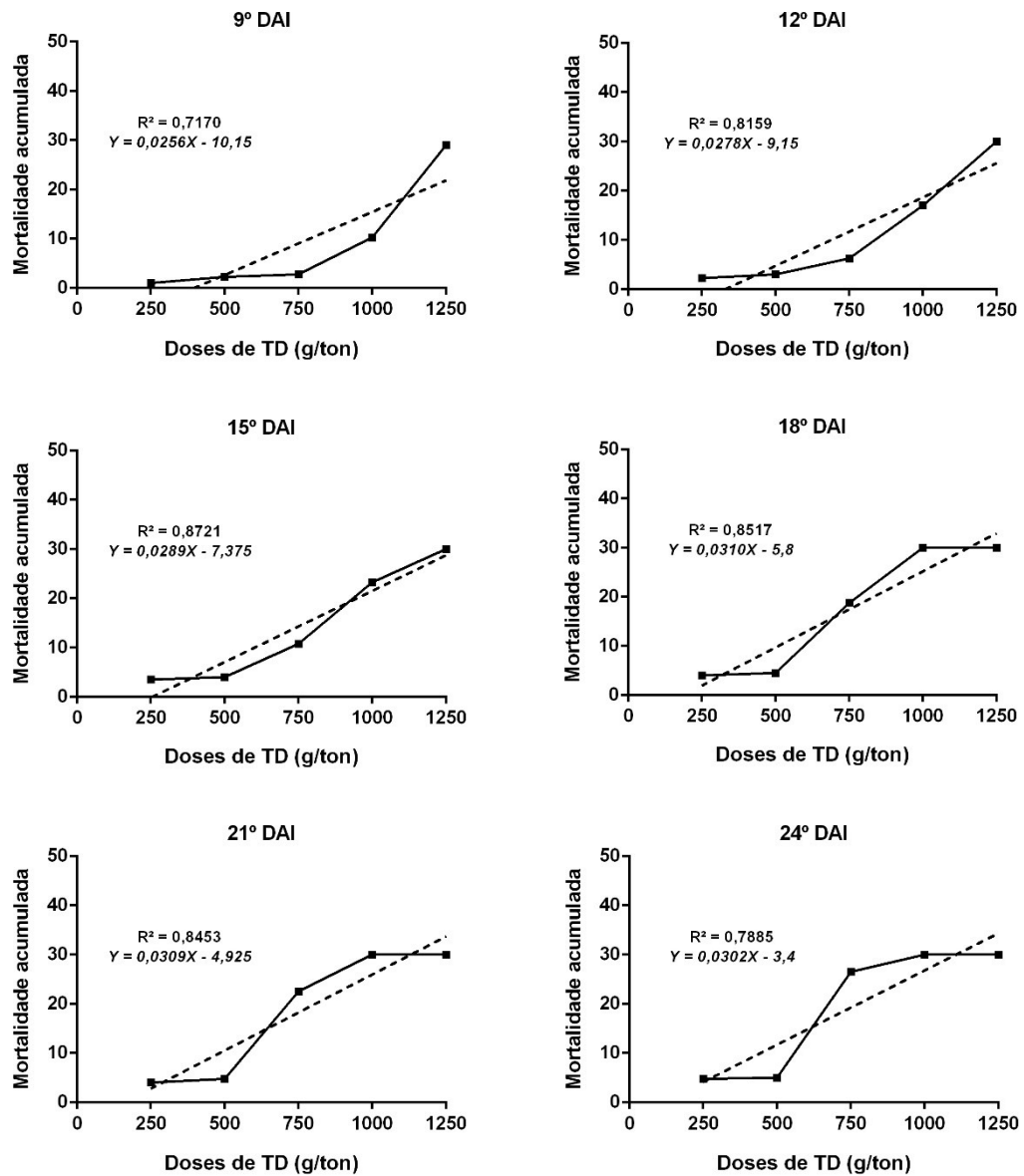


Figura 2 – Mortalidade acumulada de *Sitophilus zeamais* em função das doses equivalentes das suspensões de terra de diatomáceas (TD) aplicadas em sementes de milho, avaliada aos 9, 12, 15, 18, 21 e 24 dias após a infestação (DAI). Os pontos representam as médias de mortalidade acumulada (%) para cada dose, e as linhas contínuas indicam os valores observados. As linhas tracejadas correspondem às equações de regressão linear ajustadas para cada data de avaliação.

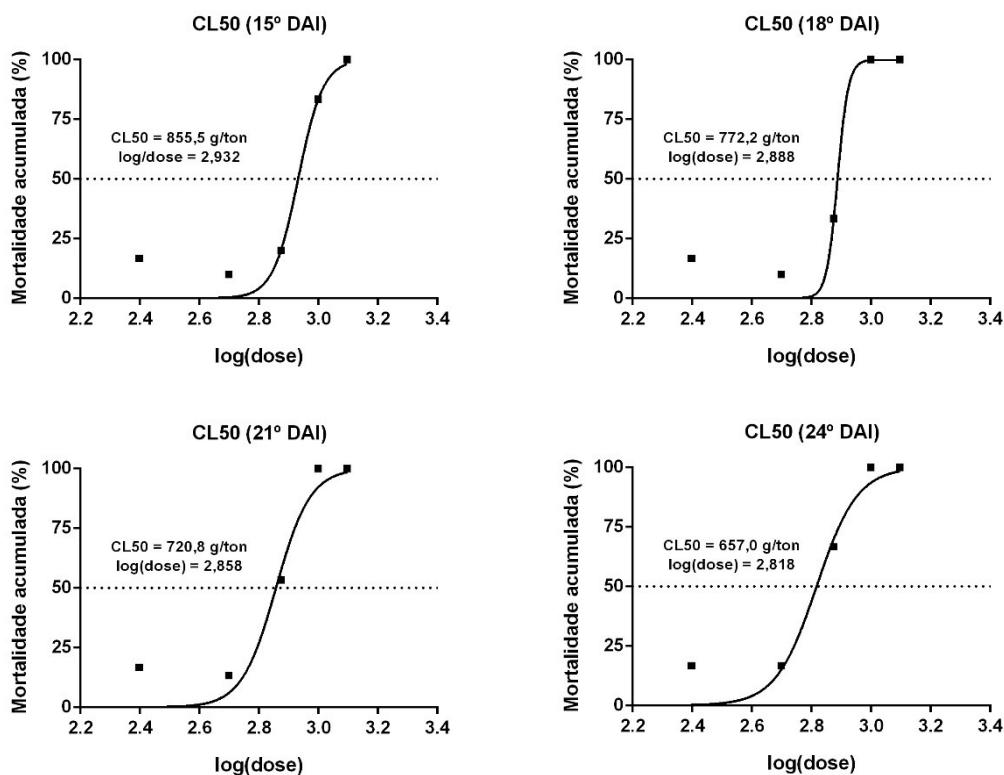


Figura 3 - Curvas dose–resposta para a mortalidade média acumulada (%) de *Sitophilus zeamais* exposto a diferentes doses de suspensões de terra de diatomáceas em sementes de milho, utilizadas para a estimativa da concentração letal mediana (CL50) aos 15, 18, 21 e 24 dias após a infestação (DAI). Os dados foram ajustados por regressão não linear do tipo logístico com inclinação variável, após transformação logarítmica ($\log_{10}$) das doses. As linhas tracejadas horizontais indicam o nível de 50% de mortalidade.

6.2. Testes de germinação de sementes de milho de polinização aberta tratadas com TD e infestadas artificialmente com *Sitophilus zeamais*.

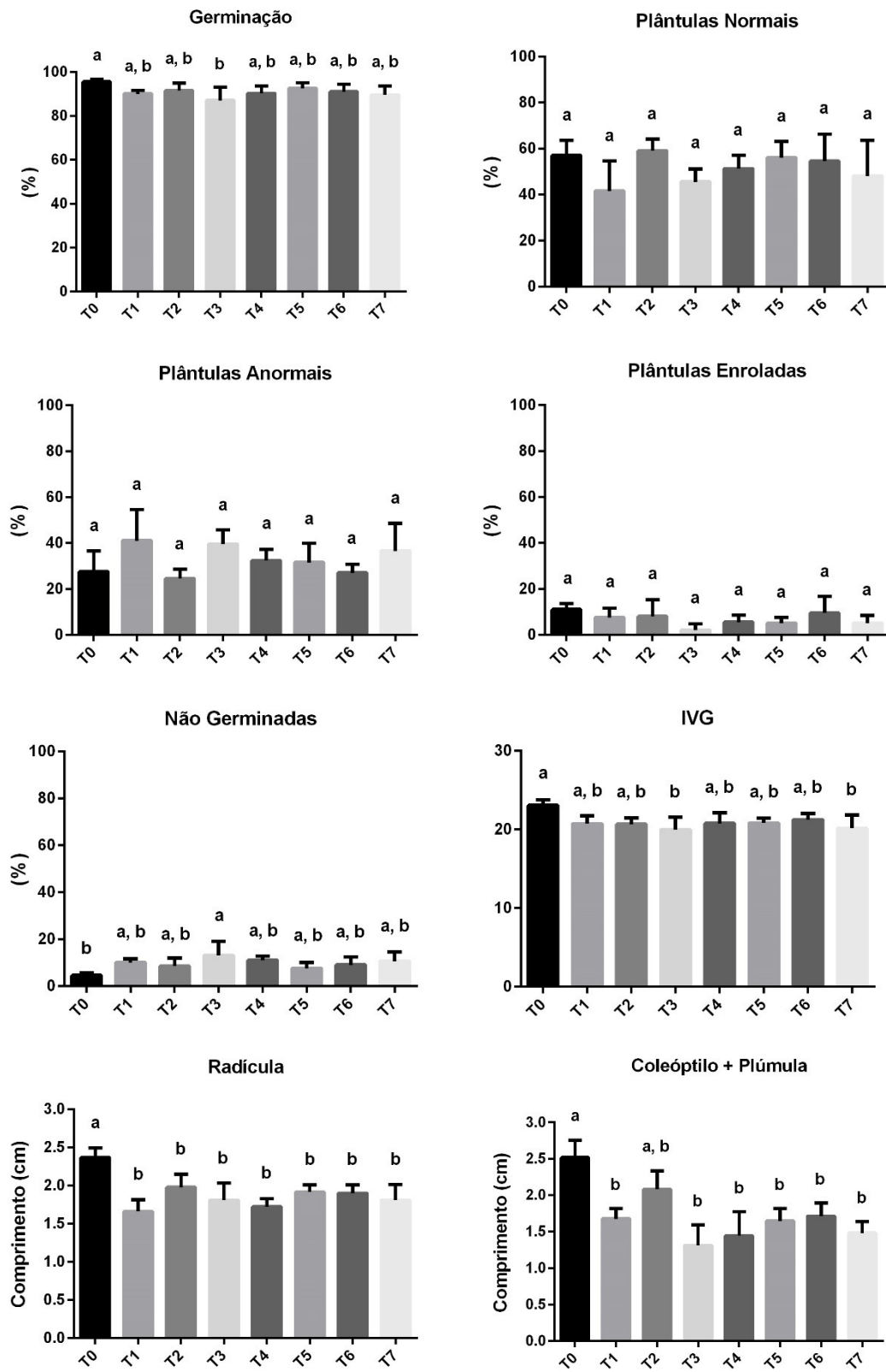
A germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plântulas após os tratamentos com TD e infestação com *S. zeamais*, foram avaliados pelas porcentagens de sementes germinadas, não germinadas; plântulas normais, anormais e enroladas; cálculo de IVG, comprimentos (cm) de radículas e de coleóptilo + plúmula; e os valores de massa verde (g) e massa seca(g). Os tratamentos com TD não afetaram significativamente a porcentagem de germinação das sementes de milho ($F = 1,991$; $p = 0,0987$), bem como a proporção de plântulas normais ($F = 1,635$; $p = 0,1735$), anormais ($F = 2,035$; $p = 0,0920$), enroladas ($F = 1,606$; $p = 0,1817$) ou sementes não germinadas ($F = 2,311$; $p = 0,0595$) (Figura 4). De modo geral, os

valores de germinação permaneceram elevados em todos os tratamentos, variando entre 87,0% e 95,5%. Houve apenas uma diferença estatística entre as porcentagens de germinação e de sementes não germinadas do tratamento controle (T0) e o tratamento com suspensão eq. 500 g/ton⁻¹ (T3) pelo teste de Tukey a 0,05% de significância (Figura 4).

O índice de velocidade de germinação (IVG) apresentou diferença significativa entre os tratamentos ($F = 2,779$; $p = 0,0289$), embora sem padrão consistente de redução associado ao aumento das doses, indicando que a aplicação do produto não comprometeu o vigor inicial das sementes. Os únicos tratamentos discrepantes do controle (T0), foram os tratamentos T3 (eq. 500 g/ton⁻¹) e T7 (1000 g·ton⁻¹ em pó), no entanto, em relação aos demais tratamentos não foi constatada diferença estatística pelo teste de Tukey (Figura 4).

Os comprimentos de radícula ($F = 7,834$; $p < 0,0001$) e do coleótilo + plúmula ($F = 11,93$; $p < 0,0001$) foram afetados nos tratamentos que receberam tratamento com TD e infestados artificialmente com *S. zeamais*, nas diferentes doses e formas de aplicação (T1 a T7), quando comparados com o tratamento controle (T0) dos testes de germinação, realizado sem a aplicação de TD e o único sem a infestação por insetos.

Apesar das diferenças observadas nos parâmetros de comprimento, a avaliação da massa verde ($F = 3,805$; $p = 0,0065$) e da massa seca ($F = 3,095$; $p = 0,0180$) não indicou redução significativa associada à aplicação da terra de diatomáceas. Os valores médios permaneceram estatisticamente semelhantes entre os tratamentos, demonstrando que eventuais alterações morfológicas iniciais não resultaram em prejuízo ao acúmulo de biomassa. As diferenças mais importantes ocorreram no tratamento T1 (sem tratamento com TD e com infestação), em comparação com o tratamento controle T0 (sementes puras e não infestadas). Esta discrepância não se mantém ao longo dos demais tratamentos, impossibilitando afirmar que o acúmulo de biomassa tenha sido afetado de forma separada pela infestação com *S. zeamais* ou pelo tratamento com TD.



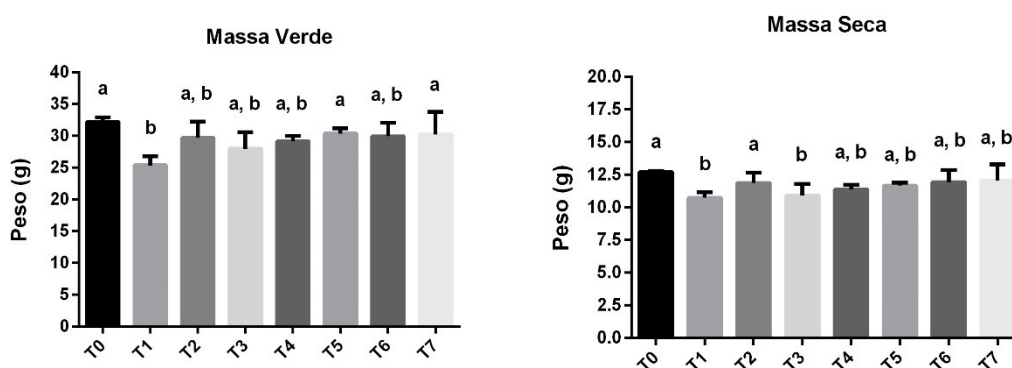


Figura 4 – Valores médios dos testes de germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de milho, após tratamento com diferentes concentrações de suspensões de terra de diatomáceas (TD) e infestação experimental de *Sitophilus zeamais*. (T0: sem tratamento com TD e sem infestação; T1: sem tratamento com TD e com infestação; T2: 4,18% - eq. 250 g·ton⁻¹; T3: 8,35% - eq. 500 g·ton⁻¹; T4: 12,53% - eq. 750 g·ton⁻¹; T5: 16,70% - eq. 1000 g·ton⁻¹; T6: 25,05% - eq. 1250 g·ton⁻¹; T7: 1000 g·ton⁻¹ em pó). As avaliações foram realizadas a cada três dias - DAI (dia após a infestação).

7. DISCUSSÃO

A terra de diatomáceas, constituída de dióxido de silício amorfo (SiO₂), é um material de origem mineral amplamente conhecido pelo efeito inseticida físico e mecânico. Após o beneficiamento, constitui-se de um pó fino altamente poroso e abrasivo, capaz de danificar a cutícula e promover a morte dos insetos por desidratação. Trata-se de um produto que pode ser uma alternativa econômica e ambientalmente viável aos inseticidas químicos convencionais. É considerada segura por não deixar resíduos tóxicos nos grãos, não é volátil, não é solúvel em água e não contamina o solo ou a água subterrânea quando utilizada corretamente. Além disso, pelo mecanismo de ação físico, a TD não exerce pressão de seleção de natureza bioquímica, minimizando o risco do surgimento de populações de insetos resistentes (Athanassiou *et al.*, 2011; Bertke, E. M., 1964; Romei; Schilman, 2024). Outro fator importante é que o produto possui uso aprovado em sistemas orgânicos de produção (Brasil, 2021).

No entanto, é importante ressaltar que a utilização convencional do produto, na forma sólida (pó), pode formar poeira e contribuir para perdas por dispersão e/ou provocar riscos ocupacionais pela inalação. A utilização de EPI adequado durante o manuseio da TD é de suma importância. Além disso, pode apresentar problemas em relação a distribuição homogênea e de aderência nas superfícies. Todos os seis produtos registrados no Brasil são de formulação pó seco (DP) e aplicados por polvilhadeiras ou sistemas de aeração (AGROFIT, 2026).

Apesar da forma predominante de aplicação dos produtos comerciais e da imensa maioria de estudos científicos utilizarem TD em pó, existem relatos da aplicação da TD em suspensões aquosas em pesquisas relacionadas ao manejo de pragas de grãos armazenados, em condições diferentes deste trabalho. A TD em suspensão foi avaliada contra *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae) em grão-de-bico (Bozkurt, 2025); foi avaliada como tratamento de superfícies de vidro e plástico contra espécies de carunchos e traças (Collins; Cook, 2004); e também em formulações com inseticidas em trigo contra *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae), *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae), *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae) and *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Cucujidae) (Athanassiou; Zorunic, 2007). Um estudo comparou os efeitos de formulações em pó e aquosas em sementes de trigo, relatando uma melhor aderência da TD em suspensão nas sementes (Johnson; Valero; Wang, 2014).

Os resultados obtidos no presente estudo demonstram que a aplicação de terra de diatomáceas (TD) em suspensão aquosa, mesmo que não usual, constitui uma estratégia viável e eficiente para o controle de *Sitophilus zeamais* em sementes de milho. A mortalidade ocorreu de forma dose-dependente e progressiva ao longo do tempo de exposição, assim como em outros trabalhos que aplicaram a TD para o controle de pragas de armazenamento (Agrafioti *et al.*, 2023; Bozkurt, 2025; Marsaro Júnior *et al.*, 2007; Pinto Júnior *et al.*, 2008). A utilização da TD em suspensão aquosa apresenta vantagens operacionais relevantes, especialmente no contexto do tratamento industrial de sementes, no qual predominam sistemas automatizados de aplicação líquida, já consolidados para fungicidas, inseticidas e bioinsumos. Também pode ser utilizado no tratamento de sementes e grãos *on farm*, em menores escalas, por pequenos e médios produtores.

A partir do 9º DAI, observou-se intensificação da mortalidade acumulada, com clara separação entre os tratamentos de menor e maior dose. Esse comportamento tornou-se ainda mais evidente aos 12º e 15º DAI, indicando que o aumento da concentração de terra de diatomáceas eleva a probabilidade de contato efetivo com os insetos, acelerando o processo de desidratação e levando a maiores taxas de mortalidade. Resultados semelhantes têm sido relatados em estudos com insetos-praga de grãos armazenados, nos quais a eficácia da terra de diatomáceas é maximizada em doses superiores a 750 g·ton⁻¹ (Lorini *et al.*, 2015; Marsaro Júnior *et al.*, 2007; Pinto Júnior *et al.*, 2008).

A estimativa da concentração letal mediana (CL50) por meio de regressão não linear confirmou a influência do tempo de exposição na eficiência da terra de diatomáceas. A redução

progressiva dos valores de CL50 ao longo das avaliações indica que doses menores são necessárias para atingir 50% de mortalidade quando os insetos permanecem por períodos mais prolongados em contato com o produto. Esse comportamento reforça a importância do tempo como fator determinante na eficácia de produtos de ação física (Antunes *et al.*, 2013; Greco *et al.*, 2024; Lorini; Morás; Beckel, 2003), diferentemente de inseticidas neurotóxicos, nos quais a mortalidade ocorre rapidamente após a exposição. De uma forma geral, a aplicação de TD em suspensão aquosa foi eficaz no controle de *S. zeamais* e apresentou números compatíveis com a literatura.

Após a avaliação do efeito inseticida da terra de diatomáceas (TD) aplicada na forma de suspensão aquosa, as sementes provenientes dos diferentes tratamentos, previamente infestadas artificialmente com *Sitophilus zeamais*, foram submetidas a testes de germinação com o objetivo de avaliar sua qualidade fisiológica. Considera-se que um controle inseticida eficiente e rápido pode reduzir significativamente as injúrias causadas pelos insetos às sementes, refletindo positivamente na germinação e no vigor das plântulas. Adicionalmente, a forma de aplicação da TD, distinta do método convencional em pó, uma vez que foi realizada via aplicação líquida, constitui um fator relevante a ser considerado, dado seu potencial efeito sobre o desenvolvimento inicial das plântulas. O volume de calda de 600 mL/100 kg de sementes é considerado usual para o tratamento de sementes de milho e de soja, tanto na pesquisa quando em bulas de agrotóxicos (AGROFIT, 2026; Pereira *et al.*, 2022; Segalin *et al.*, 2013).

A aplicação de TD em suspensão aquosa nas doses testadas (250-1250 g·ton⁻¹) não comprometeu significativamente a qualidade fisiológica das sementes de milho de polinização aberta, mantendo elevados níveis de germinação (87,0-95,5%) comparáveis aos padrões mínimos estabelecidos pelas normas brasileiras (85%; Brasil, 2013). A ausência de diferenças estatísticas significativas nos parâmetros de germinação ($F = 1,991$; $p = 0,0987$), plântulas normais ($F = 1,635$; $p = 0,1735$), anormais ($F = 2,035$; $p = 0,0920$) e sementes não germinadas ($F = 2,311$; $p = 0,0595$) corrobora achados prévios que posicionam a TD como fitossanitário seguro para tratamento de sementes, sem fitotoxicidade associada ao componente dióxido de silício (Aisvarya *et al.*, 2021; Conceição *et al.*, 2024).

O Índice de Velocidade de Germinação (IVG), embora estatisticamente diferente entre tratamentos ($F = 2,779$; $p = 0,0289$), não exibiu padrão dose-dependente de redução, distanciando-se de efeitos fitotóxicos clássicos de agroquímicos sintéticos. Tal comportamento reforça a segurança da TD aquosa, alinhando-se a estudos que demonstraram preservação do vigor fisiológico por 120 dias em sementes de milho tratadas com TD em pó contra a mesma

praga (Conceição *et al.*, 2024). A divergência isolada nos tratamentos T3 e T7 (pó padrão) em relação ao controle provavelmente reflete adaptações compensatórias das sementes frente ao estresse biótico, e não toxicidade do produto.

As reduções significativas nos comprimentos de radícula ($F = 7,834$; $p < 0,0001$) e coleótilo + plúmula ($F = 11,93$; $p < 0,0001$) nos tratamentos infestados (T1-T7) em comparação ao controle não tratado/não infestado (T0) são atribuíveis predominantemente à infestação por *S. zeamais*, cujas larvas consomem endosperma, limitando reservas energéticas para o alongamento inicial. A invariância estatística da massa verde ($F = 3,805$; $p = 0,0065$) e seca ($F = 3,095$; $p = 0,0180$) entre os tratamentos com TD, corrobora a ausência de transtornos metabólicos induzidos pelo produto (Aisvarya *et al.*, 2021; Conceição *et al.*, 2024).

De forma geral, os resultados indicam que a terra de diatomáceas em suspensão é uma alternativa eficiente e segura para o controle de *S. zeamais* em sementes de milho de polinização aberta, promovendo elevada mortalidade dos insetos ao longo do tempo sem prejuízos significativos à qualidade fisiológica das sementes. Esses achados reforçam o potencial do produto para integração em programas de manejo de pragas de grãos armazenados, especialmente em sistemas que buscam reduzir o uso de inseticidas químicos convencionais (Korunic, 2013). Dessa forma, a aplicação líquida da terra de diatomáceas representa uma abordagem promissora, com potencial de integração a sistemas de tratamento *on farm* e industrial de sementes.

8. CONSLUSÕES

- A terra de diatomáceas aplicada na forma de suspensão aquosa apresentou eficiência no controle de *Sitophilus zeamais* em sementes de milho.
- O efeito inseticida da dose usual de 1000 g.ton^{-1} (em pó) foi equivalente à mesma dosagem aplicado em suspensão;
- A dose de TD em suspensão (eq. 750 g.ton^{-1}) foi eficaz no controle, porém depende de maior tempo de exposição para o melhor efeito inseticida.
- A aplicação da TD em suspensão, mesmo em doses equivalentes às tradicionalmente utilizadas na forma seca, não comprometeu a qualidade fisiológica das sementes.

9. REFERÊNCIAS

AGRAFIOTI, P.; VRONTAKI, M.; RIGOPOULOU, M.; LAMPIRI, E.; GRIGORIADOU, K.; IOANNIDIS, P.; RUMBOS, C.; ATHANASSIOU, C. Insecticidal effect of diatomaceous earth formulations for the control of a wide range of stored-product beetle species. **Insects**, v. 14, n. 7, 1 jul. 2023.

AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Brasília: MAPA, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 nov. 2024.

ALENCAR, E. R.; FARONI, L. FERREIRA, L. COSTA, A. PIMENTEL, M. Qualidade de milho armazenado e infestado por *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum*. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 1, p. 9–18, 28 fev. 2011.

ANTUNES, L. E. G.; FERRARI FILHO, E.; GOTTARDI, R.; SANT'ANA, J.; DIONELLO, R. G. Efeito da dose e exposição à terra de diatomácea de diferentes insetos em milho armazenado. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 80, n. 2, p. 169-176, 2013.

ANTUNES, L. E. G.; PETRY, P. A. R.; RIZZOTO-JÚNIOR, P. R. J.; GOTTARDI, R.; DIONELLO, R. G. Eficiência do uso de terra de diatomácea na proteção de grãos de milho. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 6, p. 509-519, dez. 2014.

ATHANASSIOU, C. G.; KAVALLIERATOS, N. G.; VAYIAS, B. J.; TOMANOVIĆ, Z.; PETROVIĆ, A.; ROZMAN, V.; ADLER, C.; KORUNIĆ, Z.; MILOVANOVIĆ, D. Laboratory evaluation of diatomaceous earth deposits mined from several locations in central and southeastern Europe as potential protectants against coleopteran grain pests. **Crop Protection**, v. 30, n. 3, p. 329-339, 2011.

ATHANASSIOU, C. G.; KORUNIC, Z. Evaluation of two new diatomaceous earth formulations, enhanced with abamectin and bitterbarkomycin, against four stored-grain beetle species. **Journal of Stored Products Research**, v. 43, n. 4, p. 468-473, 2007.

ARTHUR, F. H.; THRONE, J. E. Efficacy of diatomaceous earth to control internal infestations of rice weevil and maize weevil (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 96, n. 2, p. 510–518, 28 out. 2009.

BANKS, H. J.; FIELDS, P. G. Physical methods for insect control in stored grain ecosystems. In: JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G.; MUIR, W. E. **Stored-grain ecosystems**. New York: Marcell Dekker, p. 353-409, 1995.

BERTKE, E. M. The effect of ingestion of diatomaceous earth in white rats: a subacute toxicity test. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 6, p. 284–291, 1964.

BOZKURT, H. Physicochemical properties of local diatomaceous earths and their effects of water-suspension treatments against *Callosobruchus maculatus* (Fabricius, 1775) (Coleoptera: Chrysomelidae) on chickpeas. **Turkish Journal of Entomology**, v. 49, n. 2, p. 141-158, 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Edição: 183, Seção: 1, Página: 6, Publicado em: 20/09/2013. Disponível em: [<https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-45-de-17-de-setembro-de-2013-31059023>]. Acesso em: [21/02/2026].

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria MAPA nº 52, de 15 de março de 2021. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Seção: 1, Página: 10, Publicado em: 23/03/2021. Disponível em: [<https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-52-de-15-de-marco-de-2021-310003720>]. Acesso em: [21/02/2026].

CARVALHO, A.; LOPES, A. D.; REZENDE, C. N.; CARNEIRO, L. A. V.; MEIRELLES, V.; LARA, V. D. S.; CENDRON, V.; LORINI, I. Manejo integrado de pragas de grãos armazenados: implantação e monitoramento de pragas na unidade armazenadora. **Paraná Cooperativo Técnico e Científico**, v. 13, p. 36-61, 2017.

CEMIN, M. F. R.; SPAZZIN, M. P.; BELLON, P. P. Eficácia de inseticidas alternativos e biológicos sobre *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) em grãos de milho. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 4, p. e18512441155, 11 abr. 2023.

COLLINS, D. A.; COOK, D. A. Laboratory studies evaluating the efficacy of diatomaceous earths, on treated surfaces, against stored-product insect and mite pests. **Journal of Stored Products Research**, v. 42, n. 1, p. 51-60, 2006.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira – Grãos**: Quino levantamento, fevereiro 2026 – Safra 2025/2026.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2026. Disponível em: < <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-na-safra-2025-26-esta-estimada-em-354-4-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em: 22 fev. 2026.

DAGLISH, G. J., NAYAK, M. K., ARTHUR, F. H., ATHANASSIOU, C. G. (2018). **Insect Pest Management in Stored Grain**. In: Athanassiou, C., Arthur, F. (eds) Recent Advances in Stored Product Protection. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56125-6_3

FARONI, L. R. D. A. Manejo das pragas de grãos armazenados e sua influência na qualidade do produto final. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.17, n.1, p.36-43, 1992.

FRAGOSO, D. B.; GUEDES, R. N. C.; PETERNELLI, L. A. Developmental rates and population growth of insecticide-resistant and susceptible populations of *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 41, n. 3, p. 271–281, 2005.

GRECO, M. G. C. E.; JOBIM, K.; PAZINI, J. B.; GARCIA, F. R. M. Effect of inert dust on the mortality of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, e280817, 2024.

JOHNSON, J. A.; VALERO, K. A.; WANG, S. Physical properties of stored grains and insect pests in relation to radio frequency and microwave treatments. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 30, n. 6, p. 949-957, 2014.

KORUNIC, Z. Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. **Journal of Stored Products Research**, v. 34, p. 87-97, 1998.

KORUNIC, Z. Diatomaceous earths – natural insecticides. **Pesticides and Phytomedicine**, v. 28, n. 2, p. 77-95, 2013.

LORINI, I. **Manejo integrado de pragas de grãos de cereais armazenados**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008.

LORINI, I.; MORÁS, A.; BECKEL, H. **Tratamento de sementes armazenadas com pós inertes à base de terra de diatomáceas**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 4 p. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico online, 113). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/co/p_co113.htm>. Acesso em 20 nov 2024.

LORINI, I.; KRZYŻANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A.; HENNING, F. A. **Manejo integrado de pragas de grãos e sementes armazenadas**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2015.

MASON, L. J.; McDONOUGH, M. Biology, Behavior and Ecology of Stored Grain and legume Insects. In: **Stored Product Protection**; HAGSTRUM, D. W., PHILLIPS, T. W., CUPERUS, G., Eds.; Kansas State University S156: Manahattan, KS, USA, 2012; pp. 21–33.

MACHUCA-MESA, L. M.; TURCHEN, L. M.; GUEDES, R. N. C. Phosphine resistance among stored product insect pests: A global meta-analysis-based perspective. **Journal of Pest Science**, v. 97, n. 3, p. 1485–1498, 1 jun. 2024.

MAGANO, D. A.; CARVALHO, I. R.; DOBERSTEIN, A. P.; LOURO, M. V.; BUBANS, V.; DREBES, L.; GUEDES, J. V. C.; LAUTENCHLEGER; FERREIRA, L. L.; BOLLER, W. Efficiency and persistence of insecticides with different action mechanisms applied on wheat stored pest *Sitophilus zeamais*. **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 5, p. 618–621, 2021.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.1, p.176-177, 1962.

MANCERA-RICO, A. VÁSQUEZ-BADILLO, M. E.; CERNA-CHÁVEZ, E.; SÁNCHEZ-VEJA, M.; GONZÁLEZ-ESTRADA, E. *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) activity and germination of corn seeds stored under vacuum pressure. **Agriculture**, v. 13, n. 10, 1 out. 2023.

MARPAUNG, D. S. S. Mortality rate of *Sitophilus zeamais* in low temperatura storage. **Jurnal Teknologi Industri Pertanian**, v. 15, n. 4, p. 1046–1053, 7 dez. 2021.

NAYAK, M. K.; DAGLISH, G.; PHILLIPS, T.; EBERT, P. Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: a global perspective. **Annual Review of Entomology**, v. 65, p. 333-350, 2020.

NWOSU, L. C.; AZEEZ, O. M.; ELUWA, A. N.; PETGRAVE, G. M. Two Stubborn Storage Insect Pests, *Callosobruchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*: Biology, Food Security Problems and Control Strategies. **International Research Journal of Insect Sciences**, v. 5, n. 1, p. 7–13, 2020.

ORTEGA, D. S.; BACCA, T.; NASCIMENTO SILVA, A.; CANAL, N.; HADDI, K. Control failure and insecticides resistance in populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) from Colombia. **Journal of Stored Products Research**, v. 92, 1 maio 2021.

PEREIRA, R. C.; SILVA, B. G.; BRACCINI, A. L.; OLIVEIRA, S. M.; COPPO, C.; BASTIANE, G. G.; PELLOSO, M. F.; BORGES, Y. M. Industrial treatment of soybean seeds subjected to high volumes of fungicides, insecticides, biostimulants and micronutrients during storage. **Australian Journal of Crop Science**, v. 16, n. 4, p. 539-544, 2022.

PESCHIUTTA, M. L. ACHIMÓN, F.; BRITO, V.; PIZZOLITTO, R.; ZYGADIO, J.; ZUNINO, M. Fumigant toxicity of essential oils against *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae): a systematic review and meta-analysis. **Journal of Pest Science**, v. 95, p. 1037-1056, 1 jun. 2022.

PINTO JÚNIOR, A. R.; LAZZARI, F. A.; LAZZARI, S. M. N.; CERUTI, F. C. Response of *Sitophilus oryzae* (L.), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) and *Oryzaephilus surinamensis* (L.)

to different concentrations of diatomaceous earth in bulk stored wheat. **Ciência Rural**, v. 38, n. 8, p. 2103-2108, 2008.

RAMÍREZ-ROJAS, N. Z.; CERÓN-GARCÍA, A.; SALAS-ARAIZA, M. D.; ESTRADA-GARCÍA, H. J.; ROJAS-LAGUNA, R.; SOSA-MORALES, M. E. Radio frequency heating against *Sitophilus zeamais* Motschulsky in white maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 89, 1 dez. 2020.

ROMEI, F.; SCHILMAN, P. E. Diatomaceous earth as insecticide: physiological and morphological evidence of its underlying mechanism. **Pest Management Science**, v. 80, n. 7, p. 3301–3307, 1 jul. 2024.

SAEED, M. B.; LAING, M. D. Biocontrol of maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae), in maize over a six-month storage period. **Microorganisms**, v. 11, n. 5, 1 maio 2023.

SEGALIN, S. R., BARBIERI, A. P. P., HUTH, C., BECHE, M., MATTIONI, N. M., & MERTZ, L. M. Physiological quality of soybean seeds treated with different spray volumes. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 4, p. 501–509, 2013.

SINGH, K. D.; MOBOLADE, A.; BHARALI, R.; SAHOO, D.; RAJASHEKAR, Y. Main plant volatiles as stored grain pest management approach: A review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 4, 1 jun. 2021.

SOUSA, A. H.; FARONI, L.; ANDRADE, G. FREITAS, R. PIMENTEL, M. Bioactivity of diatomaceous earth to *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) in different application conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 982-986, 2013.

STEJSKAL, V.; VENDI, T.; AULICKY, R.; ATHANASSIOU, C. Synthetic and natural insecticides: Gas, liquid, gel and solid formulations for stored-product and food-industry pest control. **Insects**, v. 12, n. 590, p. 1-68, 1 jul. 2021.

ZIAEE, M.; EBADOLLAHI, A.; WAKIL, W. Integrating inert dusts with other technologies in stored products protection. **Toxin Reviews**. 2019.