

ROYNER JOSUE ORTIZ ROJAS

**EFEITOS INTENCIONAIS E NÃO-INTENCIONAIS DE TRATAMENTOS DE
SEMENTE COM INSETICIDA EM FEIJOEIRO**

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

Orientador: Eliseu José Guedes Pereira

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

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

| | |
|--------------|--|
| T | Ortiz Rojas, Royner Josue, 1992- |
| O77e 2022 | Efeitos intencionais e não-intencionais de tratamentos de semente com inseticida em feijoeiro: / Royner Josue Ortiz Rojas. - Viçosa, MG, 2022. 1 dissertação eletrônica (51 f.): il. (algumas color.). Orientador: Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, 2022. Referências bibliográficas: . DOI: https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.462 Modo de acesso: World Wide Web. 1. Inseticidas; 2. Feijão - Efeito dos inseticidas; 3. Feijão - Doenças e pragas - Controle; 4. Thysanoptera; 5. Collembola; 6. Formicidae; I. II. Universidade Federal de Viçosa.. Departamento de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Entomologia III. Título |
| | CDD 22. ed. 632.9517 |

ROYNER JOSUE ORTIZ ROJAS

**EFEITOS INTENCIONAIS E NÃO-INTENCIONAIS DE TRATAMENTOS DE
SEMENTE COM INSETICIDA EM FEIJOEIRO**

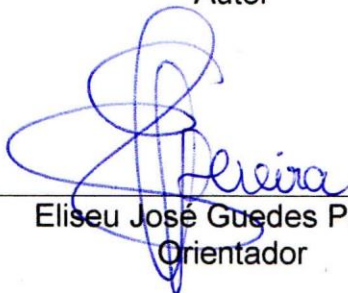
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de maio de 2022.

Assentimento:



Royner Josue Ortiz Rojas
Autor



Eliseu José Guedes Pereira
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus por me permitir as condições físicas e espirituais para concluir com sucesso esta etapa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao departamento de Pós-Graduação em Entomologia e ao Laboratório de Interação Inseto Planta.

Ao professor Eliseu José Guedes Pereira por me orientar e aceitar trabalhar no seu laboratório.

Ao pessoal do laboratório de Interação Inseto Planta, por toda aprendizagem, parceria e amizade.

A minha namorada: Julia, a meus irmãos, Wainer e Armando Yardany, Antony e Jeisel, a minha mãe: Juanita, a meus amigos: Beatriz, Omar, Jefri, , Marquito, Carol, Manfred, Marcos, Adelson, Manuel, Eduardo Thadeu, Camila, João, Lorrana, Matheus, PH, obrigado pelo apoio de sempre.

A Organização de Estados Americanos (OEA), Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB) Para Programas de Maestria em Brasil e a CAPES pela bolsa.

Dedico este trabalho a meu pai que sempre me apoia (agora desde o céu). A minha tia Mary que desde minha infância me ajudou e foi um pilar que plantou as bases para as minhas conquistas acadêmicas.

RESUMO

ORTIZ ROJAS, Royner Josue, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2022. **Efeitos intencionais e não-intencionais de tratamentos de semente com inseticida em feijoeiro.** Orientador: Eliseu José Guedes Pereira.

Para proteção de plantas usando tratamento de sementes, a essas são aplicados agentes químicos ou biológicos antes de semear, visando repelir, suprimir ou controlar pragas e doenças das sementes, mudas ou plantas. É crescente o uso dessa técnica na agricultura e ela pode ser vantajosa na fase inicial dos cultivos, com menor exposição de organismos não-alvos e baixo custo financeiro ao agricultor. Pouco se conhece sobre o impacto não-alvo e a eficácia do tratamento das sementes com inseticidas sistêmicos, cujos alvos são insetos sugadores e mastigadores em diversos tecidos da parte aérea vegetal. A relação custo-benefício do tratamento de semente pode depender da classe dos inseticidas usados e a mistura formulada deles. Neste estudo, avaliamos os efeitos desejados e indesejados do tratamento de sementes com os inseticidas ciantraniliprole, tiametoxam, imidaclopride, tiodicarbe e imidaclopride+tiodicarbe em sistema de plantio convencional e direto para entender a interação deles. As variáveis estudadas foram abundância e diversidade da artropodofauna do dossel das plantas e do solo, injúria dos insetos fitófagos e a produtividade de grãos de feijão. O número total de artrópodes contabilizados foi 24222 na parte aérea e 4302 no solo, incluindo Acarina e Hexapoda fitófagos, carnívoros e detritívoros. O tratamento de sementes com qualquer dos inseticidas estudados permitiu obter produção de feijão em média 400 kg/ha a mais que na testemunha sem inseticida, convertendo em aumento na receita de 3100,00 R\$/ha (645 US\$/ha). A densidade populacional de insetos sugadores (tripes principalmente, pragas-chave) nas plantas com tratamento de semente foi cerca de 3× menor que nas plantas controle, durante quase todo o ciclo de crescimento. O menor nível populacional de insetos sugadores (Thysanoptera) coincidiu com a maior produtividade de feijão, mas não no caso dos insetos fitófagos desfolhadores e minadores (*Liriomyza*, Chrysomelidae e Plusiinae), cuja densidade populacional não foi afetada pelos tratamentos de semente. Desses, só aquele com tiodicarbe (carbamato) reduziu em 25% as injúrias foliares de minadores e desfolhadores. O tratamento semente afetou variavelmente a artropodofauna benéfica (detritívoros,

predadores e parasitoides) da parte aérea das plantas, com alguns tratamentos não afetando e outros reduzindo a abundância. A maioria dos tratamentos afetaram pouco ou nada a artropodofauna do solo, exceto a mistura comercial de imidaclopride+tiodicarbe, que reduziu em aproximadamente 50% a abundância de Formicidae. Essa também foi 25% maior no solo de plantio direto em relação ao convencional em todos os tratamentos. Esses resultados permitem concluir que o tratamento de sementes com inseticidas sistêmicos: 1) levou a maior colheita de feijão (400 kg/ha) e nela pouco interagiu com o sistema de cultivo; 2) reduziu em 3 vezes a população de tripes (praga-chave em cultivos de feijão); 3) afetou variavelmente a artropodofauna benéfica da parte aérea das plantas, com alguns tratamentos não afetando e outros reduzindo a abundância; 4) pouco impactou a artropodofauna edáfica, exceto pela mistura comercial imidaclopride + tiodicarbe, que reduziu significativamente Formicidae no solo da rizosfera.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*. Manejo de pragas. Thysanoptera. Collembola. Formicidae. Diamida. Mistura carbamato–neonicotinoide.

ABSTRACT

ORTIZ ROJAS, Royner Josue, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2022. **Intended and unintended effects of insecticide seed treatments in common beans.** Advisor: Eliseu José Guedes Pereira.

For crop protection using seed treatments, chemical or biological agents are applied to the seed before sowing, in order to repel, suppress or control pests and diseases of seeds, seedlings or plants. This technique is increasingly used in agriculture and can be advantageous in the initial crop growth stages, with less exposure of non-target organisms and lower financial cost to the grower. Little is known about the non-target impact and efficacy of seed treatment with systemic insecticides, which the targets are sucking, chewing, and leafmining insects in different aerial plant tissues. The cost-benefit of seed treatment may depend on the insecticide class and the formulated mixture used. In this study, we assessed the intended and unintended effects of seed treatment with the insecticides cyantraniliprole, thiamethoxam, imidacloprid, thiodicarb and imidacloprid+thiodicarb in conventional and no-tillage systems to understand their interaction. The variables studied were the abundance and diversity of the arthropod fauna of the plant canopy and soil, injury from phytophagous insects and the bean yield. The total number of arthropods recorded was 24222 on the plant canopy and 4302 in the rhizosphere soil, including Acarina and Hexapoda herbivores, carnivores and detritivores. Seed treatment with any of the insecticides allowed obtaining on average 400 kg/ha more bean yield than in the control without insecticide, resulting in an increase in revenue of 3100.00 R\$/ha (645 US\$/ha). The population density of sucking insects (mainly thrips, key pests in common beans) in the seed-treated plants was about 3× lower than in control plants, during almost the entire growing season. The lower population level of sucking insects (Thysanoptera) coincided with the higher yield of beans, but not in the case of phytophagous defoliator and leafminer insects (*Liriomyza*, Chrysomelidae, and Plusiinae), of which population density was not affected by the seed treatments. Of these, only the one with thiodicarb (carbamate) reduced the foliar injury by the leafminers and defoliators in 25%. The effect of seed treatment was variable for the beneficial arthropod fauna (detritivores, predators and parasitoids) of the plant canopy, with some treatments not affecting and others reducing the abundance. Most treatments had little or no effect on the arthropod fauna

of rhizosphere soil, except for the commercial mixture of imidacloprid+thiodicarb, which reduced the abundance of Formicidae by approximately 50%. This taxon was also 25% more abundant in no-tillage soil compared to conventional tillage in all treatments. These results allow us to conclude that the seed treatment with systemic insecticides: 1) led to the highest bean yield (400 kg/ha) and in it had little interaction effect with the tillage system; 2) reduced the thrips population by 3 times (key pest in common beans); 3) affected variably the beneficial arthropod fauna of the plant canopy, with some treatments not affecting it and others reducing the abundance; 4) had little impact on the edaphic arthropod fauna, except for the commercial mixture imidacloprid+thiodicarb, which reduced Formicidae abundance in the rhizosphere soil.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*. Pest management. Thysanoptera. Collembola. Formicidae. Diamide. Carbamate–neonicotinoid mixture.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 13 |
| 2.1 Instalação do experimento..... | 13 |
| 2.2 Plantio convencional e direto..... | 14 |
| 2.3 Tratamento de sementes..... | 14 |
| 2.4 Semeadura e manejo agrônômico..... | 14 |
| 2.5 Atropodofauna da parte aérea e eficácia dos tratamentos | 15 |
| 2.6 Impacto na atropodofauna do solo | 15 |
| 2.7 Estimativa da colheita | 16 |
| 2.8 Análises estatísticas..... | 16 |
| 3 RESULTADOS | 17 |
| 3.1 Produtividade de grãos | 17 |
| 3.2 Impacto nos artrópodes da parte aérea | 18 |
| 3.2.1 Insetos sugadores: Injúria..... | 18 |
| 3.2.2 Consumidores de tecido foliar: Injúria nas plantas | 19 |
| 3.2.3 Insetos fitófagos: Densidade populacional..... | 20 |
| 3.2.4 Artropodofauna benéfica: Abundância | 20 |
| 3.3 Impacto na artropodofauna do solo da rizosfera | 21 |
| 3.3.1 Formicidae | 21 |
| 3.3.2 Collembola..... | 22 |
| 3.3.3 Acarina e Psocoptera..... | 22 |
| 3.3.4 Larvas de Coleoptera..... | 22 |
| 4 DISCUSSÃO | 23 |
| 5 CONCLUSÕES | 28 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 29 |
| TABELAS E FIGURAS | 35 |
| Tabela 1 Teste <i>F</i> para efeitos do sistema de cultivo e tratamento de sementes na produtividade de grãos de feijão. | 35 |
| Tabela 2 Frequência e abundância de artrópodes da parte aérea. | 35 |
| Tabela 3 Resultados da análise de variância multivariada para a artropodofauna da parte aérea do feijoeiro. | 36 |
| Tabela 4 Resultados do teste <i>F</i> para os efeitos dos fatores estudados em cinco variáveis-resposta..... | 37 |
| Tabela 5 Frequência e abundância de artrópodes por cada 1000 cm ³ de solo da rizosfera..... | 38 |

| | |
|---|----|
| Tabela 6 Análise multivariada e multifatorial de efeitos fixos para a abundância da atropodofauna do solo da rizosfera..... | 38 |
| Tabela 7 Resultados dos testes de efeitos fixos para a abundância de táxons da atropodofauna do solo da rizosfera..... | 39 |
| Figura 1. Produtividade de feijão afetada por tratamento de semente e sistemas de preparo do solo..... | 40 |
| Figura 2. Injúria por insetos sugadores (tripes).. | 41 |
| Figura 3. Injúria por insetos desfolhadores e minadores..... | 42 |
| Figura 4. Insetos sugadores e consumidores de tecido foliar | 43 |
| Figura 5. Artrópodes benéficos (detritívoros, predadores e parasitoides) no dossel..... | 44 |
| Figura 6. Abundância de Formicidae no solo da rizosfera. | 45 |
| Figura 7. Abundância de Collembola no solo da rizosfera | 46 |
| Figura 8. Abundância de Acarina e Psocoptera no solo da rizosfera..... | 47 |
| Figura 9. Abundância de larvas de Coleoptera no solo da rizosfera | 48 |
| Informação suplementar | 49 |
| Tabela S1. Valores dos coeficientes de correlação Pearson e seus <i>P</i> -valores entre elementos do clima e injúria ou abundância de artrópodes no dossel..... | 49 |
| Figura S1. Imagem de satélite mostrando a localidade do experimento..... | 50 |
| Figura S2. Ilustrações de algumas etapas da pesquisa..... | 50 |
| Figura S3 Dados meteorológicos do período de avaliação. | 51 |

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de sementes consiste em expor as sementes a agentes químicos ou biológicos antes de semear. Na proteção de plantas, o tratamento de semente cumpre a função de repelir, suprimir ou controlar pragas e doenças que atacam sementes, mudas ou as plantas (Pedrini et al., 2017). O método de tratamento de sementes existe há muito tempo para o controle de pragas na agricultura (Lange, 1959), mas a partir da década de 1990, alguns fabricantes de inseticidas passaram a posicionar produtos para o tratamento de sementes visando controle de insetos na parte aérea das plantas (Kaufman, 1991; Oliveira et al., 2022). Considera-se que existam algumas das vantagens do tratamento como: proteção das sementes contra fitopatógenos, redução da dose utilizada e da área de exposição do solo a deriva de ingredientes ativos, assim reduzindo a exposição de organismos não-alvo e o custo do manejo de pragas e doenças. Acredita-se geralmente que é mais economicamente viável aplicar o inseticida direto nas sementes que fazer pulverização (Sharma et al., 2015).

A característica fundamental que um inseticida deve ter para ser usado no tratamento de sementes visando alvos na parte aérea é ser sistêmico, ou seja, ter a capacidade de ser absorvido pela semente e translocado até os diferentes órgãos da planta a uma concentração que tenha efeito inseticida sobre eventuais fitófagos-pragas (Simon-Delso et al., 2015). Ao se translocar pelo sistema vascular os inseticidas sistêmicos atingem os insetos sugadores de seiva (Smith et al., 2020; Tomizawa e Casida, 2005), mas também pode causar efeitos em mastigadores (Villegas et al., 2019; Oliveira et al., 2022) e em outros insetos como minadores e sugadores de outros tecidos como mesófilo foliar e células epidérmicas (Ding et al., 2018; Reisig et al., 2012)

Entre os inseticidas mais usados no tratamento de sementes estão o grupo dos neonicotinoídeos, conhecidos pela ação sistêmica, rápida e eficiente em baixas doses (Kundoo et al., 2018). Esse grupo de compostos atua no sistema nervoso dos insetos como moduladores competitivos do receptor nicotínico de acetilcolina (Tomizawa e Casida, 2005). Outro grupo é o dos carbamatos, que também são sistêmicos e atuam sobre o sistema nervoso, inibindo a acetilcolinesterase (AChE) (Sparks e Nauen, 2015). Por último, o grupo de inseticidas diamidas atuam no sistema neuromuscular

dos insetos, atuando como moduladores dos canais intracelulares de cálcio, denominados receptores de rianodina (RyRs) (Cordova et al., 2006)

As misturas de inseticidas tanto comerciais como misturas de tanque, são um tema contemporâneo e fundamental na agricultura. No Brasil, 97% dos produtores utilizam misturas de praguicidas com a finalidade de reduzir o custo de produção, a partir da redução do número de aplicação e consumo de água (Gazziero, 2015). Os componentes das misturas de inseticidas podem interagir de três maneiras contra pragas ou organismos não-alvo, causando: 1) sinergismo, que acontece quando o resultado da soma dos efeitos dos ingredientes ativos é superior a soma deles isoladamente (i.e., $1+1=4$); 2) antagonismo, que ocorre quando o resultado da soma dos efeitos dos ingredientes ativos é menor que a soma deles individualmente (i.e., $1+1=0$), e 3) efeito positivo, sucede quando o resultado da soma dos efeitos dos ingredientes ativos é igual a soma deles separadamente ($1+1=2$) (Lopes et al., 2022; Shaon, 2014). No entanto, as informações sobre esses efeitos não estão disponíveis nas bulas dos inseticidas, sendo, portanto, necessárias pesquisa e publicação de informações sobre esse tema.

Na agricultura, a artropodofauna do solo e de parte aérea das plantas pode variar com o tipo preparo do solo e com a quantidade e qualidade da palhada e dos restos culturais (Pereira et al., 2010). Em geral, a adoção do sistema de plantio direto nos cultivos aumentou nas últimas décadas (Silva e Carvalho, 2000) e deve continuar nesse ritmo, dado o valor das práticas conservacionistas no paradigma da sustentabilidade (United Nations Organization, 2015). O sistema de plantio direto, diferentemente do plantio convencional com revolvimento do solo, pode diminuir a erosão e a perda de nutrientes, auxiliar na conservação da água e manter estável a temperatura do solo (Gebhardt et al., 1985). O não-revolvimento do solo parece favorecer a abundância e diversidade da comunidade de artrópodes (insetos, colêmbolas e ácaros) presentes no solo pela condição microclimática e teor de matéria orgânica benéfica para o desenvolvimento desses organismos (Pereira et al., 2010).

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é colonizado por várias espécies de artrópodes fitófagos. Dentre as mais comuns da parte aérea, estão a cigarrinha-verde (*Empoasca kraemeri*, Hemiptera: Cicadellidae), os tripes (*Thrips palmi*, *Caliothrips brasiliensis*, *Thrips tabaci*, Thysanoptera: Thripidae), e a mosca branca (*Bemisia tabaci*, Hemiptera: Aleyrodidae), que são insetos sugadores (Picanço et al., 2003). Sabe-se que a mosca branca é sugadora de floema, tecido que a cigarrinha pode

também sugar além de mesófilo (Jin et al., 2012), enquanto os tripes são tipicamente sugadores de células epidérmicas dado o curto aparelho bucal (Mound, 2005). Além desses, estão as moscas-minadoras (*Liriomyza huidobrensis*, Diptera: Agromyzidae), vaquinhas (*Cerotoma* spp. *Diabrotica* spp. Coleoptera: Chrysomelidae) e lagartas Plusinae, que são minadores e mastigadores, respectivamente (Dias Quintela, 2005). A abundância de fitófagos de várias guildas nessa cultura a qualifica como modelo para testar a eficácia e impacto não-alvo de inseticidas de tratamento de sementes. Esse esforço é pertinente, pois atualmente buscam-se programas de manejo de pragas com o mínimo impacto ao meio ambiente e na saúde humana e animal (United Nations Organization, 2015). Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a resposta do tratamento de sementes contra fitófagos em feijão em termos de eficácia e impacto na artropodofauna e na produtividade de feijão em sistema de cultivo convencional e conservacionista.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Instalação do experimento

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Viçosa, localizada próximo ao Aeródromo (20°44'51" S 42°50'32" O), Viçosa, Minas Gerais (Google EARTH, 2020) (Figura S1, S2). As condições climáticas durante o período da pesquisa foram temperatura e umidade relativa do ar média de 19°C e 83%, respectivamente (INMET, 2022), com precipitação acumulada de 77 mm (Figura S3).

A coleta de dados iniciou-se uma semana antes do plantio do feijão com o término na colheita (período de 2ª safra, março-junho de 2021). O experimento foi conduzido em parcelas subdivididas com delineamento de blocos ao acaso, contendo uma área com o preparo do solo convencional e outra de plantio direto. Cada uma foi devidamente dividida em subparcelas com os tratamentos de diferentes inseticidas. Cada tratamento foi composto por 10 linhas (com um espaçamento de 50 cm) de plantio de feijão com 80 m de comprimento.

2.2 Plantio convencional e direto

Para considerar o efeito do plantio sobre as populações de artrópodes na cultura do feijão, separaram-se duas áreas antes cultivadas com do milho grão (*Zea mays* L.) consorciado com braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*). Nas parcelas com preparo convencional, logo após a colheita do milho, foi realizada uma aração sucedida de duas gradagens. Nas parcelas com plantio direto, cinco dias antes da colheita do milho foi realizada dessecação da braquiária com aplicação do herbicida glifosato, na dose de 1.080 l/ha do ingrediente ativo, utilizando pulverizador costal manual a vazão adequada. Anteriormente, há três-quatro safras toda a área era cultivada sob plantio direto com milho para produção de grãos há mais de 10 anos.

2.3 Tratamento de sementes

As sementes utilizadas foram de feijão vermelho, cultivar BRS Marte, gentilmente cedidas pelo Prof. José Eustáquio Carneiro do Departamento de Agronomia. O cultivar se destaca pela resistência à maioria das raças dos patógenos de antracnose e à murcha de fusário, dois dos principais fungos que causam danos à cultura. Os tratamentos foram quatro ingredientes ativos (i.a.) separadamente, uma mistura comercial e o controle (sem tratamento com inseticida). Os inseticidas foram os seguintes (quantidade de i.a./kg de semente): ciantraniliprole (diamida) 1,2 ml/kg; tiametoxam 1,05 ml/kg e imidaclopride 1,5 g/kg (ambos neonicotinoides); tiodicarbe (carbamato) 4,5 g/kg e a mistura comercial de imidaclopride e tiodicarbe (neonicotinoide + carbamato) 1,5 g/kg e 4,5 g/kg respectivamente. No caso de imidaclopride e tiodicarbe, as doses foram as mesmas para a mistura comercial e componentes separados, para medir o efeito dos componentes isolados e em mistura. O volume total da calda (inseticida comercial + água) usado para tratar as sementes foi de 12,5 ml/kg sementes. Essa calda foi misturada com as sementes dentro de um saco, depois foram colocadas por aproximadamente 2 h no pátio, em pleno sol, até secar.

2.4 Semeadura e manejo agrônômico

As sementes foram semeadas imediatamente após a secagem. A elas foi adicionado grafite para facilitar o fluxo durante o semeio. Utilizou-se uma semeadora tratorizada Semeato 1113, com 13 sementes por metro linear a uma distância entre linhas de 50 cm. Na adubação de plantio, foi utilizado 200 kg/ha N-P-K (08-28-16). Não se realizou irrigações durante o cultivo, a cultura foi mantida no sistema de agricultura de sequeiro. A medida para o controle de pragas foi somente o tratamento de sementes.

2.5 Atropodofauna da parte aérea e eficácia dos tratamentos

Realizou-se a contagem dos artrópodes por meio da técnica de batida de bandeja, semanalmente até próximo à colheita (Marquini et al., 2002). Em cada parcela foram tomadas seis amostras (repetições), cada uma sendo um metro linear de plantas de feijão (13 plantas por metro). Além disso, em cada repetição foram avaliadas as injúrias causadas (número de folíolos com injúria/metro linear) por vaquinhas, tripes e mosca minadora.

2.6 Impacto na atropodofauna do solo

Considerando que os inseticidas usados para o tratamento de sementes em feijão são translocados pelos vasos da planta (Simon-Delso et al., 2015) e que parte do inseticida é solubilizada na água do solo, hipotetizou-se que as populações de artrópodes que habitam no solo da rizosfera da planta podem ser impactadas naquele microcosmo. Para avaliar esse possível impacto, no dia do plantio, tomou-se amostras do solo e posteriormente à emergência das plantas, durante 11 semanas. Realizou-se a amostragem do solo na rizosfera da planta nas parcelas experimentais, tomando-se três repetições, cada uma de 1 litro de solo a um raio de 6 cm da haste da planta. Cada amostra foi colocada numa sacola plástica de 15 cm × 17 cm, identificada, levada a uma casa de vegetação e disposta em um Funil de “Berlese-Tüllgren”. No fundo funil havia uma malha plástica (0,2 × 0,2 cm), que permitiu a passagem dos artrópodes contidos na amostra e o bloqueio do solo. O funil foi pendurado a 8,0 cm do piso, dessa forma, à medida que a amostra de solo perdia a umidade (de cima para abaixo) os artrópodes moviam em direção ao solo mais úmido até o final do funil. Na

parte de baixo do funil foi colocado um recipiente de plástico de 9,0 cm de diâmetro e 7,0 cm de altura com 150 ml de etanol 90% (v/v) para coletar os artrópodes. Para secagem, as amostras de solo permaneceram na casa de vegetação durante uma semana. Os recipientes com álcool contendo os artrópodes coletados foram levados ao laboratório e analisados em microscópio estereomicroscópio (ECZ-trl-50-BI-NM), onde foram classificados por morfoespécie. Estas foram separadas por família e contabilizadas para estimar o impacto dos tratamentos na artropofauna.

2.7 Estimativa da colheita

Foram colhidas plantas em seis amostras por tratamento, cada uma composta por quatro metros de linha de plantio do feijão. As amostras foram dispostas em bancadas em uma casa de vegetação, onde permaneceram por uma semana para secarem. O feijão foi trilhado, retirando-se todas as impurezas e a massa de cada amostra foi mensurada para estimativa da produtividade. A umidade dos grãos foi corrigida para 13% e os dados foram processados e representados em quilogramas e sacas de feijão por hectare.

2.8 Análises estatísticas

Para os dados de produção de feijão, utilizou-se no modelo linear os fatores fixos tratamento de semente e sistema de cultivo (fatorial 6×2) com seis repetições no delineamento de blocos casualizados e com distribuição normal da variável-resposta. O efeito de bloco foi considerado aleatório. Realizou-se desdobramento da interação e separação das médias pelo teste da diferença mínima de Fisher ($P < 0,05$).

Para os dados de contagem dos artrópodes no dossel do feijoeiro, utilizou-se modelos lineares mistos (análise de variância de medidas repetidas), considerando que as observações obtidas nas parcelas experimentais durante os estágios de crescimento das plantas eram potencialmente autocorrelacionadas. No modelo estatístico, o delineamento foi em blocos casualizados com seis repetições e com restrição na casualização do fator sistema de cultivo (convencional e plantio direto). Isso porque na montagem do experimento, primeiramente alocou-se esse fator e em seguida os tratamentos de semente (seis níveis), resultando em um arranjo de blocos

em faixas (Gbur et al., 2012) em medidas repetidas ao longo de 11 semanas após a emergência (2×11). A distribuição de Poisson ou a binomial negativa são sugeridas para dados de contagem, mas talvez pelo grande número de observações deste trabalho, a distribuição normal ou lognormal foi adequada, por apresentar satisfatório ajuste na análise dos resíduos do modelo em questão. Essas distribuições, por usarem a função de ligação identidade para linearização, facilitam a computação das estimativas no modelo condicional de covariância das observações (Gbur et al., 2012). A estrutura de covariância utilizada para cada variável-resposta foi aquela que apresentou o menor valor do critério de informação de Akaike corrigido para o tamanho da amostra (AICC) (Gbur et al. 2012). A correção no número de graus de liberdade, de acordo com a estrutura de covariância utilizada, foi realizada como recomendado (Kenward e Roger, 1997). Quando houve efeito significativo ($P < 0.05$) dos fatores ou suas interações, a essas realizou-se desdobramento e comparações, utilizando-se o erro padrão das médias de quadrado mínimo no procedimento da diferença mínima de Fisher ($P < 0.05$). Procedimento semelhante foi utilizado para os dados da artropofauna do solo.

Além disso, analisamos a relação de elementos do clima durante o crescimento das plantas com a abundância e ação da artropodofauna no dossel das plantas sem tratamento de semente. Para isso, tomamos dados climáticos fornecidos pela estação climática da Universidade Federal de Viçosa e realizamos análise de correlação de Pearson deles com os dados das plantas do controle.

3 RESULTADOS

3.1 Produtividade de grãos

O tratamento de semente interagiu significativamente ($P < 0,05$) com o sistema de cultivo na produtividade de feijão (Tabela 1). No plantio convencional, as plantas tratadas com tiametoxam, imidaclopride, tiodicarbe ou imidaclopride+tiodicarbe tiveram uma diferença de produtividade de aproximadamente 300 kg/ha ou 5 sacas/ha a mais que as plantas dos tratamentos controle (testemunha) e com ciantraniliprole. No plantio direto, observou-se uma diferença de produtividade maior que 10 sacas/ha ou 600 kg/ha aproximadamente para as plantas dos tratamentos com ciantraniliprole,

tiametoxam, tiodicarbe e imidaclopride+tiodicarbe em comparação ao controle e imidaclopride (Figura 1A). A produtividade das plantas de sementes tratadas com inseticidas independentemente do sistema de cultivo, foi superior à produtividade das plantas do tratamento sem inseticidas em aproximadamente 400 kg por hectare, o que equivale a 6,6 sacos de feijão por hectare (Figura 1B).

3.2 Impacto nos artrópodes da parte aérea

Durante 11 semanas de coleta de dados, 24222 artrópodes foram contabilizados no dossel das plantas. Foram observados artrópodes de várias guildas alimentares, incluindo fitófagos sugadores, minadores e desfolhadores; detritívoros e carnívoros, entre esses predadores e parasitoides (Tabela 2). Collembola foi o único táxon com maior abundância nas plantas do plantio direto e aquele mais frequente, com 81 % do total, seguido de Formicidae e tripes (adultos) (Tabela 2). A abundância dos artrópodes avaliados nas plantas sem tratamento de semente não apresentou correlação significativa ($P > 0,05$) com a precipitação e a temperatura média do ar (Tabela S1). A densidade populacional e injúria de desfolhadores e minadores correlacionaram positivamente com a umidade relativa do ar e negativamente com a temperatura máxima do ar (Tabela S1). A injúria dos fitófagos (sugadores e outros) correlacionou-se com a densidade de insetos detritívoros e carnívoros (Tabela S1). Portanto, poucas foram as correlações significativas da abundância artropodofauna com os elementos climáticos, fonte de variação que pouco influenciou nos efeitos dos tratamentos. Esses interagiram triplamente ($P < 0,05$) com o sistema de cultivo e estágio fenológico das plantas, bem como houve efeito das interações duplas e dos fatores independentemente, como indicou a análise fatorial multivariada (Tabela 3).

3.2.1 Insetos sugadores: Injúria

O número de folíolos com injúria de tripes (que foram 98% dos insetos sugadores) foi afetado pela interação tripla entre sistema de cultivo × tratamento de sementes × data após emergência das plantas (Tabela 4). As duplas interações do tratamento de semente com o estágio de crescimento das plantas (tempo após a emergência) ou com o sistema de cultivo também afetaram a injúria de tripes (Tabela

4). A injúria nas plantas do plantio convencional aumentou aos 28 dias após emergência em todos os tratamentos, principalmente as tratadas com imidaclopride, tiodicarbe e imidaclopride+tiodicarbe, onde o pico foi o dobro dos demais tratamentos (Figura 2A). Padrão semelhante ocorreu no plantio direto, mas o pico ocorreu uma semana depois e foi três vezes menor (Figura 2A, B). Se desconsiderado o sistema de cultivo, o pico no número de folíolos atacados ocorreu aos 28 dias após emergência das plantas, e foi três vezes maior que o controle para imidaclopride, tiodicarbe e imidaclopride+tiodicarbe (Figura 2C). Nas plantas controle do plantio convencional, o número de folíolos com injúria foi 75 % menor ($P < 0,05$) que naquelas dos tratamentos imidaclopride, tiodicarbe e imidaclopride+tiodicarbe. No plantio direto, esse número nas plantas de sementes tratadas com imidaclopride, ciantraniliprole e imidaclopride+tiodicarbe foi 50 % menor que nas plantas dos tratamentos controle e com tiametoxam (Figura 2D).

3.2.2 Consumidores de tecido foliar: Injúria nas plantas

A injúria de desfolhadores e minadores (predominantemente os últimos, Tabela 2) foi afetada pela interação tripla entre sistema de cultivo × tratamento de sementes × data após emergência das plantas (Tabela 4) e pelos efeitos principais das fontes de variação (Figura 3). A injúria foliar nas plantas do plantio convencional apresentou um pico aos 28 dias após a emergência, o qual foi 75% menor nas plantas controle que aquelas de tiodicarbe+imidaclopride, tiodicarbe e imidaclopride. No plantio direto, houve mais variação e, ocorreu aos 49 dias após emergência, um pico 50% menor nas plantas controle do que naquelas de sementes tratadas com tiodicarbe+imidaclopride e ciantraniliprole (Figura 3A, B). Independente do sistema de cultivo, o número de folíolos atacados tendeu a aumentar de 28–49 dias após a emergência das plantas, com um pico 50% maior que no controle nos tratamentos com ciantraniliprole e tiodicarbe+imidaclopride (Figura 2C). No geral, a média através do tempo e sistema de cultivo foi 30 % menor ($P < 0,05$) no tratamento com tiodicarbe, comparado aos tratamentos controle, ciantraniliprole, tiametoxam e imidaclopride+tiodicarbe (Figura 3D).

3.2.3 Insetos fitófagos: Densidade populacional

Essa variável foi afetada pelo efeito das interações duplas do sistema de cultivo com estágio de crescimento das plantas ou deste com o tratamento de sementes e, ainda, pelo efeito desses fatores isoladamente. As plantas do sistema de plantio direto tiveram densidade populacional de sugadores inferior às do sistema convencional aos 35 e superior a elas aos 42 dias após emergência, estágio em que houve o triplo do número (6 insetos/amostra) nas plantas do plantio convencional (Figura 4A). As plantas controle apresentaram mais do dobro de insetos sugadores por metro de fileira que as dos tratamentos de semente nos estágios fenológicos R5-R8, de 28 até 63 dias após emergência (Figura 4B). Uma densidade média de sugadores 50 % maior foi observada nas plantas do controle em relação às dos tratamentos de semente (Figura 4C), indicando que esses reduziram à metade a população de sugadores (tripes). Por outro lado, a população de insetos consumidores de área foliar foi afetada somente pelo estágio fenológico das plantas (Tabela 4). A população desses insetos em média ficou abaixo de 5 insetos/m de fileira de plantas até 49 dias após emergência, dobrou aos 56 dias e depois se estabilizou tendendo a reduzir (Figura 4D).

3.2.4 Artropodofauna benéfica: Abundância

Neste grupo, Collembola foi o táxon dominante, seguido de Coccinellidae (larva e adulto), Formicidae e Hymenoptera parasitoides (Tabela 2). Na população deles houve efeito da interação tripla entre sistema de cultivo × tratamento de sementes × estágio fenológico das plantas (Tabela 4). Por isso, desdobramos os efeitos para melhor entendê-los (Figura 5). As plantas sob plantio convencional tiveram uma quantidade menor de artrópodes benéficos que as do plantio direto, com cerca de 50 e 180 indivíduos por metro de fileira, respectivamente, o tratamento tiodicarbe+imidaclopride apresentou um pico de aproximadamente 110 aos 49 dias após emergência (Figura 5A, B Tabela 4). A abundância de artrópodes benéficos nos tratamentos de semente foi aproximadamente 25 % menor que no controle aos 23-40 dias após a emergência das plantas. No tratamento com imidaclopride+tiodicarbe a população desses artrópodes foi aproximadamente 40 % maior que nos outros tratamentos aos 49 dias após a emergência das plantas (Figura 5C). Em geral, a

abundância nas plantas dos tratamentos com ciantranilprole, imidaclopride e tiodicarbe foi 30 % menor ($P < 0,05$) que naquelas do controle, tiametoxam e imidaclopride+tiodicarbe (Figura 5D).

3.3 Impacto na artropodofauna do solo da rizosfera

Durante 12 semanas de avaliação (considerando uma anterior à sementeira), 4302 artrópodes foram coletados e contabilizados. Foram observados artrópodes de várias guildas tróficas, incluindo carnívoros, detritívoros e fitófagos (Tabela 5). O táxon mais frequente foi Formicidae com 70 % do total, seguido de Collembola e Acarina (Tabela 5).

A análise multivariada e multifatorial de efeitos fixos indicou que, entre as interações dos fatores, somente sistema de cultivo × estágio fenológico foi significativa ($P < 0,05$), assim como foram os efeitos principais dos fatores tratamento de semente, sistema de cultivo e estágio fenológico (Tabela 6). Dado a desigualdade na abundância de alguns táxons no conjunto de dados, decidiu-se testar os efeitos do modelo estatístico adotado para cada um deles como se segue.

3.3.1 Formicidae

A abundância de formigas no solo da rizosfera dependeu da interação dupla sistema de cultivo × tratamento de semente e pelos efeitos principais dos três isoladamente (Tabela 7). A rizosfera das plantas no sistema de plantio direto apresentou cerca do dobro do número de formigas que a das plantas no sistema de plantio convencional (Figura 6A). Em geral, a resposta aos tratamentos de semente foi variável nos dois sistemas de cultivo, porém em ambos a rizosfera das plantas de sementes tratadas com a mistura comercial imidaclopride+tiodicarbe apresentou a metade do número de formigas do tratamento controle (testemunha) (Figura 6A, B). A abundância de formigas no solo ao longo do tempo durante os estágios fenológicos foi variável, variando entre 9 e 3 indivíduos por 1000 cm³ de solo da rizosfera da planta (Figura 6C).

3.3.2 Collembola

A abundância de Collembola no solo da rizosfera da planta dependeu das interações duplas sistema de cultivo × estágio fenológico das plantas e tratamento de semente × data após a emergência das plantas (Tabela 7). No controle, a abundância permaneceu 20% menor que nos tratamentos de semente para a maioria dos estágios do cultivo (Figura 7A). Isto levou a valores médios maiores no solo do tratamento com tiametoxam, que alcançaram o dobro dos valores do controle (Figura 7B). Independente do tratamento de semente, a densidade populacional de Collembola foi similar nos sistemas de cultivo apesar de inicialmente ter mais indivíduos no plantio direto e posteriormente inverter o padrão, com um pico de 3 vezes mais indivíduos no plantio convencional aos 52 dias após a emergência das plantas (Figura 7C). De forma geral, a abundância de Collembola nos cultivos aumentou ao longo do tempo, alcançando patamar 5 vezes maior aos 52 dias após a emergência das plantas (Figura 7D).

3.3.3 Acarina e Psocoptera

A abundância de Acarina dependeu da interação sistema de cultivo × estágio de crescimento das plantas, com efeito principal deste fator (Tabela 7). A abundância de Acarina variou nos dois sistemas de cultivo, sem embargo o plantio direto apresentou 50 % a mais de indivíduos aos 7 e 15 dias de crescimento das plantas, mas o plantio convencional teve 50 % mais indivíduos aos 56 e 63 dias após a emergência das plantas (Figura 8A). Independentemente do sistema de cultivo, a abundância de acarina se manteve baixa, com 0 e 1 indivíduos por 1000 cm³ de solo ao longo do tempo (Figura 8 B).

A abundância de Psocoptera dependeu somente do estágio de crescimento das plantas (Tabela 7). A maior abundância foi de aproximadamente 1,5 indivíduos por 1000 cm³ de solo na emergência das plantas, depois caindo a zero e assim mantendo até o final das avaliações (Figura 8 C).

3.3.4 Larvas de Coleoptera

As larvas de besouros fitófagas do solo tiveram a abundância afetada pelas interações do sistema de cultivo com o tratamento de sementes, ou com o estágio fenológico das plantas, e pelos efeitos principais do tratamento de semente e estágio de crescimento das plantas (Tabela 7). A população de larvas Chrysomelidae foi quase seis vezes maior no plantio direto (Tabela 5), mas considerando-as junto com as Elateridae, a média de larvas fitófagas tendeu a ser maior no plantio convencional (Figura 9A, C). Contudo, os valores não foram grandes e nenhum resultado tão impactante foi observado associado aos tratamentos de semente (Figura 9A, B). Somente nas plantas tratadas com a mistura comercial imidaclopride+tiodicarbe que o solo da rizosfera apresentou diferença do significativo do controle, com 50% a mais de indivíduos (Figura 9B), o que indica um efeito indesejável da mistura.

4 DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho mostram que a produtividade das plantas dos tratamentos de semente com inseticidas neonicotinoides, carbamatos e diamidas foi maior que no tratamento controle (sem inseticida). A magnitude da diferença foi de aproximadamente 6,6 sacas/ha de feijão a mais que nas plantas controle. Considerando que o valor médio de uma saca de feijão está em R\$ 470,00 (CEASA, 2022), essa diferença representa uma receita de 3102,00 R\$/ha, valor muito acima do custo do tratamento de sementes, que normalmente é 3% do custo de produção total, aproximadamente R\$ 65,00/ha (Richetti et al., 2013). Os valores de produtividade obtidos (1800–2100 kg/ha) são altos em comparação com 1369 kg/ha, a média de produtividade 2017–2021 do feijão de segundo cultivo (março–junho) em Minas Gerais (CONAB, 2022). Um importante fator que provavelmente contribuiu para obter esses altos valores foi que as precipitações aconteceram em quantidade suficiente e nos momentos adequados para o desenvolvimento da cultura (Figura S3). Não houve efeito principal significativo do sistema de cultivo na produtividade obtida. As diferenças edáficas entre as áreas dos dois sistemas de cultivo podem não ser muito grandes porque no solo da área atualmente em plantio convencional talvez ainda tenha o efeito do sistema de plantio direto que era usado na área há cerca de 3–4 safras antes. Ainda na produtividade, o tratamento com a mistura comercial imidaclopride+tiodicarbe apresentou um efeito positivo, porque o efeito de cada

componente separado não foi estatisticamente diferente da mistura deles (Lopes et al., 2022; Shaon, 2014). Esse resultado é útil ao usuário desses inseticidas para tratamento de sementes de feijão. Considerando-se somente a produtividade do cultivo, a escolha do inseticida pode ser feita a depender de qual é mais barato se houver disponibilidade no mercado. O usuário, além disso, poderá rotacionar modos de ação para diminuir pressão de seleção de populações resistentes (Robertson et al., 2007).

A maior produtividade das plantas dos tratamentos de semente coincidiu com a menor densidade populacional de tripes no dossel dessas plantas (Figuras 1B, 4C). Neste trabalho, os tripes corresponderam a 98 % dos insetos sugadores nas plantas (Tabela 2). Tripes são considerados pragas frequentes e importantes em cultivos de feijão (Marquini et al., 2003, 2002). Eles sugam as células epidérmicas das folhas e órgãos reprodutivos, talvez levando a queda de flores, componente da produção que é um dos principais fatores de perdas do feijoeiro (Della Lucia et al., 1984; Della Lucia e Chandler, 1985; Leite et al., 1996; Marquini et al., 2003, 2002; Quintela, 2004) No futuro, esse efeito do ataque de tripes aos órgãos reprodutivos do feijoeiro e a possível proteção pelo tratamento de semente pode ser testado em estudo de tabela de vida da cultura ou mesmo pela contagem do número de vagens nas plantas colhidas. Outra possível explicação para a maior produtividade associada aos tratamentos de semente com inseticida pode ser que eles causaram um efeito fitotônico nas plantas. Já foi relatado que inseticida sistêmico pode aumentar o crescimento de plantas, incluindo feijoeiro (Barrigossi et al., 1988; Guedes et al., 1996; Pless et al., 1971). Tiametoxam em tratamento de sementes de feijão levou a maior produtividade das plantas, que apresentaram maior número de vagens (Boaz et al., 2022). Em trigo, o inseticida aumentou a massa das espiguetas, o teor de proteína e o desenvolvimento radicular da planta em casa de vegetação (Macedo e Castro, 2011). Contudo, em algumas situações, esse efeito bioestimulador pode ser inconsistente ou mesmo bifásico (Lanka et al., 2017; Leite et al., 2022). Das diamidas e carbamatos, só se tem relatos de efeito fitotônico dos últimos (Pless et al., 1971), tema que talvez mereça ser melhor estudado. Aqui as plantas dos tratamentos de sementes com ciantraniliprole e tiametoxam responderam distintamente nos sistemas de plantio convencional e direto, talvez pelas diferenças entre eles no teor de matéria orgânica na superfície solo, microclima e incidência de luz direta no solo.

Sugadores Aleyrodidae, Cicadellidae e Thysanoptera são considerados pragas-chave no feijoeiro (Della Lucia et al., 1984; Della Lucia e Chandler, 1985; Leite et al., 1996; Picanço et al., 2003). No cultivo, só encontramos tripes e cigarrinhas (*Empoasca kraemeri*), sem embargo 98,5 % dos sugadores foram tripes (Tabela 2). Avaliamos a densidade populacional e a injúria causadas por eles, porém os resultados das duas variáveis foram incoerentes quando se compara os dados de injúria (Figura 2) e densidade populacional (Figura 4). Uma possível explicação seria que os tripes, que foram a maioria dos sugadores neste caso, e que não voam a longas distâncias dado as asas franjadas (Mound, 2005), se movimentaram mais nas folhas das plantas tratadas ao se alimentarem de conteúdo celular com inseticida em concentração subletal. Um folíolo com injúria de tripes visível ao olho humano pode ter na verdade diferentes intensidades de injúria, porém só avaliamos o número de folíolos com injúria por metro de fileira de plantas. A maior produtividade das plantas dos tratamentos de semente não coincidiu com menor número de folíolos com injúria de sugadores, porém essa variável não parece adequada para mostrar o efeito na proteção das plantas contra o ataque de insetos sugadores do feijoeiro.

Na densidade populacional de insetos desfolhadores e minadores (*Liriomyza* e Chrysomelidae), unicamente houve efeito principal do tempo, com aumento da população até certo estágio fenológico, porém todos os fatores interagiram na injúria desses insetos, incluindo o tempo com o tratamento de semente (Figura 3C e 4D). Cerca de 70 % dos insetos do grupo foram *Liriomyza* (larvas em mina ativa), insetos que a literatura reporta boa ocorrência de controle biológico natural por parasitoides (Gao et al., 2017; Murphy e Lasalle, 1999). Embora sejam considerados de importância secundária em feijão, os Chrysomelidae neste estudo foram três vezes menos abundantes que em um estudo anterior em local próximo (Pereira, 2006). Essa diferença deve estar relacionada à época deste cultivo e ocorrência pouca chuva, apenas 77 mm. Os tratamentos com neonicotinoides ou a diamida não apresentaram efeito na redução da injúria Chrysomelidae e *Liriomyza*, principalmente dos últimos, os mais frequentes no cultivo. Via translocação na planta, a maioria dos neonicotinoides tem como alvos os insetos sugadores e, às vezes, minadores (Hauer et al., 2017; Pereira, 2010). Aqui, somente o tratamento com tiodicarbe reduziu a injúria deste grupo de insetos fitófagos em relação ao controle, talvez pelo maior espectro de ação do carbamato. Essa redução não foi observada no tratamento com a mistura do inseticida com imidaclopride, indicando efeito antagônico.

Para os artrópodes benéficos do dossel do feijoeiro (detritívoros e carnívoros), os inseticidas tiveram efeito variável, com menores populações (30 % aproximadamente) ocorrendo nas plantas tratadas com ciantraniliprole (diamida), imidaclopride (neonicotinoide) e tiodicarbe (carbamato) em comparação ao controle. As populações de detritívoros e carnívoros podem diminuir por efeitos indiretos dos inseticidas, porque esses artrópodes são parte de teias alimentares, onde o efeito de um inseticida a um organismo pode significar escassez de alimento para outro (Resende-Silva et al., 2022; Sánchez-Bayo, 2021). Em tratamento de sementes em girassol, diamidas causaram redução na sobrevivência da prole de *Chrysoperla carnea* (Gontijo et al., 2014). Outros autores consideram as diamidas como seletivos e com um baixo potencial de impacto nos inimigos naturais em comparação com os inseticidas mais antigos (Barros et al., 2019; Naranjo et al., 2004; Rolim et al., 2019; Torres e Bueno, 2018). Em algodão, tiodicarbe teve impacto em adultos do besouro *Paederus alfieri* e joaninhas *Scymnus* spp. e *Coccinella undecimpunctata* L., porém não afetou larvas de *Chrysoperla carnea*, aranhas e adultos de *Orius albidipennis* e *Campylomma verbasci* (Sechser et al., 2003). Na literatura, os neonicotinoides são citados como seletivos aos organismos alvos (Kundoo et al., 2018), sem embargo essa seletividade está relacionada aos métodos de aplicação do inseticida (Jeschke e Nauen, 2008). Há pesquisas que colocam os neonicotinoides como não seletivos a organismos não-alvo (Bonmatin et al., 2015; Gibbons et al., 2015), por sua alta capacidade de translocar nas plantas (Cloyd et al., 2011; Willis Chan et al., 2019), sem embargo essa característica é a que faz os neonicotinoides ser eficientes no controle de insetos sugadores (Mikolić e Karačonji, 2018; Shobharani et al., 2019). Na seletividade dos inseticidas em tratamento de semente deve se considerar se há ou não exposição do organismo não-alvo ao inseticida.

Para avaliar o efeito do tratamento de sementes na artropodofauna do solo, tomamos amostras de 1000 cm³ de solo da rizosfera das plantas. Amostrou-se essa zona porque é onde se tem mais probabilidade encontrar algum efeito se houver. O grupo mais abundante observado foi Formicidae com 70 % do total dos artrópodes deste microcosmo (Tabela 6). A população desse grupo foi afetada unicamente pelo tratamento com a mistura comercial imidaclopride+tiodicarbe, que apresentou três vezes menos formigas que o controle sem tratamento de sementes com inseticida (Figura 6B). A mistura comercial teve sinergismo no impacto não-alvo porque o efeito dos componentes misturados foi maior que o deles separadamente (1+1=3) (Lopes et

al., 2022; Shaon, 2014). Em geral, as formigas contribuem no controle biológico natural como predadoras generalistas (Diamé et al., 2018; Santos, 2012) e podem ser úteis contra alguns insetos fitófagos da parte aérea do feijoeiro (Pereira et al., 2010). Impacto negativo na abundância de formigas pode causar incremento nas populações de pragas das quais elas auxiliam no controle (Pereira et al., 2010), o que deve ser considerado. Para outros grupos ou táxons, o tratamento de sementes não apresentou efeito negativo relevante nas populações de artrópodes do solo, tanto organismos benéficos como com fitófagos. Esse resultado é relevante porque essa prática não teve impacto negativo em importantes artrópodes do solo como Collembola, o segundo grupo mais abundante, com 14 % do total da artropodofauna aqui estudada. Collembola são hexápodes detritívoros, alimentando-se de fungos, bactérias e resíduos vegetais, dependendo da disponibilidade (Chahartaghi et al., 2005). Eles desempenham importante papel ecológico, contribuindo para a fragmentação das partículas da matéria orgânica, o que favorece a mineralização dela e melhora a microtextura do solo (Chahartaghi et al., 2005; Joly et al., 2020; Scheu, 2002). Assim, o tratamento de semente com inseticidas sistêmicos não parece ser uma prática antagônica àquelas conservacionistas ou regenerativas como o plantio direto, práticas essas tão valorizadas na atualidade.

No todo, os resultados desta pesquisa indicam que tratamento de semente com inseticida sistêmico pode ser um método útil para manejo de pragas e pode permitir maior produção de feijão sem causar grande impacto na artropodofauna do solo. Para tratamento de semente, não se observou vantagem em usar mistura de inseticidas sistêmicos. Em geral, com o tratamento de semente pode-se reduzir custo, introduzir menos poluente no ambiente e diminuir danos a organismos-não alvo por não haver deriva como aquela causada pela aplicação foliar (Vojvodić e Bažok, 2021). Além disso, estudos demonstraram que o tratamento de sementes pode ser eficiente contra insetos em cultivos tais como milho (Oliveira et al., 2022), arroz (Lanka et al., 2013), algodão (Zhang et al., 2010), protegendo as sementes e as plantas de pragas nas primeiras etapas de desenvolvimento. Aqui, mostramos que o tratamento pode ser também plausível para manejo de pragas em cultivos de feijão.

5 CONCLUSÕES

1. A produtividade de feijão foi maior (400 kg/ha aproximadamente) nas plantas de sementes tratadas com qualquer desses inseticidas: ciantraniliprole, tiametoxam, imidaclopride, tiodicarbe e a mistura comercial imidaclopride+tiodicarbe do que nas plantas controle; foi pequeno o efeito do sistema de cultivo em relação ao tratamento de semente.
2. O tratamento de semente com os inseticidas ciantraniliprole, tiametoxam, imidaclopride, tiodicarbe e a mistura comercial imidaclopride+tiodicarbe afetou as populações de insetos fitófagos sugadores (pragas-chave), diminuindo-as em mais da metade em comparação ao tratamento controle.
3. Somente tiodicarbe no tratamento de semente reduziu significativamente as injúrias de *Liriomyza*, Chrysomelidae e Plusiinae (consideradas pragas secundárias) nos cultivos do feijoeiro.
4. O tratamento de semente com os inseticidas ciantraniliprole, imidaclopride e tiodicarbe tiveram efeito negativo na abundância de artrópodes benéficos (detritívoros, predadores e parasitoides) da parte aérea das plantas, talvez via um efeito trófico indireto.
5. O tratamento de semente com inseticida sistêmico não teve grande impacto na artropodofauna do solo; somente a mistura imidaclopride+tiodicarbe que reduziu população de formigas da rizosfera das plantas de feijão. Essa mistura mostrou efeito antagônico na proteção contra desfolhadores e minadores, mas não impactou significativamente a produtividade de feijão nem a artropofauna benéfica da parte aérea das plantas.

REFERÊNCIAS

- Barrigossi, J., Lopes, N., Chandler, L., 1988. Resposta fisiológica do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao forate e suas consequências entomológicas. I. Análise de crescimento e conversão da energia solar. *Ceres* 35, 327–340.
- Barros, E.M., Rodrigues, A.R. dos S., Batista, F.C., Machado, A.V. de A., Torres, J.B., 2019. Susceptibility of boll weevil to ready-to-use insecticide mixtures. *Arquivos do Instituto Biológico* 86, 1–9. <https://doi.org/10.1590/1808-1657001232018>
- Boaz, S.W., Eliezah, K., David, K., Franklin, M., 2022. Response of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to seed treatment in Central Kenya. *African Journal of Agricultural Research* 18, 95–105. <https://doi.org/10.5897/ajar2021.15808>
- Bonmatin, J.M., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreuzweiser, D.P., Krupke, C., Liess, M., Long, E., Marzaro, M., Mitchell, E.A., Noome, D.A., Simon-Delso, N., Tapparo, A., 2015. Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environmental Science and Pollution Research* 22, 35–67. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3332-7>
- CEASA, 2022. Feijão Vermelho preço sc 60 kg Ceasa Belo Horizonte - Precota Agro Brasil [WWW Document]. URL <https://precota.com.br/agro/grafico-preco-tabela-feijao-vermelho-ceasa-belo-horizonte-sc-60-kg/> (acessado 5.18.22).
- Chahartaghi, M., Langel, R., Scheu, S., Ruess, L., 2005. Feeding guilds in Collembola based on nitrogen stable isotope ratios. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 1718–1725. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.02.006>
- Cloyd, R.A., Bethke, J.A., Cowles, R.S., 2011. Systemic insecticides and their use in ornamental plant systems. *Floriculture and Ornamental Biotechnology* 5, 1–9.
- CONAB, 2022. Série Histórica das Safras: Feijão 2ª Safra [WWW Document]. URL <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20> (acessado 5.17.22).
- Cordova, D., Benner, E.A., Sacher, M.D., Rauh, J.J., Sopa, J.S., Lahm, G.P., Selby, T.P., Stevenson, T.M., Flexner, L., Gutteridge, S., Rhoades, D.F., Wu, L., Smith, R.M., Tao, Y., 2006. Anthranilic diamides: A new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 84, 196–214. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2005.07.005>
- Della Lucia, T.M.C., Chandler, L., 1985.) Tabela de vida das culturas aplicada as pragas de *Phaseolus vulgaris* L., sob tratamentos com carbofuram, em quatro níveis de adubação NPK. *Ceres* 32, 227–251.
- Della Lucia, T.M.C., Chandler, L., Casali, V.W., Galvão, J., Freire, J.A., Costa, L., 1984. Aplicação da tabela de vida das culturas às pragas de *Phaseolus vulgaris* L., em quatro níveis de adubação. II. Em áreas de baixa fertilidade. *Ceres* 31, 444–463.
- Diamé, L., Rey, J.Y., Vayssières, J.F., Grechi, I., Chailleux, A., Diarra, K., 2018. Ants: Major functional elements in fruit agro-ecosystems and biological control agents. *Sustainability (Switzerland)* 10, 1–18. <https://doi.org/10.3390/su10010023>

- Dias Quintela, E., 2005. Pragas da parte aérea do feijoeiro [WWW Document]. URL https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/AG01_99_1311200215105.html (acessado 1.31.22).
- Ding, J., Li, H., Zhang, Z., Lin, J., Liu, F., Mu, W., 2018. Thiamethoxam, clothianidin, and imidacloprid seed treatments effectively control thrips on corn under field conditions. *Journal of Insect Science* 18. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iey128>
- Gao, Y., Reitz, S., Xing, Z., Ferguson, S., Lei, Z., 2017. A decade of leafminer invasion in China: lessons learned. *Pest Management Science* 73, 1775–1779. <https://doi.org/10.1002/ps.4591>
- Gazziero, D., 2015. MISTURAS DE AGROTÓXICOS EM TANQUE NAS PROPRIEDADES AGRÍCOLAS DO BRASIL. *Planta Daninha* 33, 83–92.
- Gbur, E.E., Stroup, W.W., McCarter, K.S., Durham, S., Young, L.J., Christman, M., West, M., Kramer, M., 2012. Analysis of Generalized Linear Mixed Models in the Agricultural and Natural Resources Sciences. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Gebhardt, M., Tommy, D., Schweizer, E.E., Allmaras, R.R., 1985. Conservation Tillage. *Encyclopedia of Soils in the Environment* 230, 625–630. <https://doi.org/10.1016/B0-12-348530-4/00270-8>
- Gibbons, D., Morrissey, C., Mineau, P., 2015. A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environmental Science and Pollution Research* 22, 103–118. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3180-5>
- Gontijo, P.C., Moscardini, V.F., Michaud, J.P., Carvalho, G.A., 2014. Non-target effects of chlorantraniliprole and thiamethoxam on *Chrysoperla carnea* when employed as sunflower seed treatments. *Journal of Pest Science* 87, 711–719. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0611-5>
- Google EARTH, 2020. earth.google.com [WWW Document]. URL https://earth.google.com/web/search/aeroporto+de+viçosa+/@-20.7452599,-42.84239771,653.82250853a,812.96217793d,35y,0.00000001h,44.59298139t,-0r/data=CigiJgokCVAsqYSDSTxAEdVX7RswJSjAGWoo2a3BIUhAIUILvjBdRE_A (acessado 2.4.22).
- Guedes, N., Guedes, R., Picanço, M., 1996. Effects of carbofenthiol on pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) growth. *Pesqui Agropecuária Brasileira* 31, 283–286.
- Hauer, M., Hansen, A.L., Manderyck, B., Olsson, Å., Raaijmakers, E., Hanse, B., Stockfisch, N., Märländer, B., 2017. Neonicotinoids in sugar beet cultivation in Central and Northern Europe: Efficacy and environmental impact of neonicotinoid seed treatments and alternative measures. *Crop Protection* 93, 132–142. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2016.11.034>
- INMET, 2022. Portal - Instituto Nacional de Meteorologia [WWW Document]. URL <https://portal.inmet.gov.br/> (acessado 4.27.22).
- Jeschke, P., Nauen, R., 2008. Review Neonicotinoids – from zero to hero in insecticide chemistry. *Pest management science* 64, 1084–1098. <https://doi.org/10.1002/ps>
- Jin, S., Chen, Z.M., Backus, E.A., Sun, X.L., Xiao, B., 2012. Characterization of EPG

- waveforms for the tea green leafhopper, *Empoasca vitis* Göthe (Hemiptera: Cicadellidae), on tea plants and their correlation with stylet activities. *Journal of Insect Physiology* 58, 1235–1244. <https://doi.org/10.1016/J.JINSPHYS.2012.06.008>
- Joly, F.X., Coq, S., Coulis, M., David, J.F., Hättenschwiler, S., Mueller, C.W., Prater, I., Subke, J.A., 2020. Detritivore conversion of litter into faeces accelerates organic matter turnover. *Communications Biology* 3, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01392-4>
- Kaufman, G., 1991. Seed Coating: A Tool for Stand Establishment; a Stimulus to Seed Quality. *Hort Technology* 1, 98–102.
- Kenward, M.G., Roger, J.H., 1997. Small Sample Inference for Fixed Effects from Restricted Maximum Likelihood. *Biometrics* 53, 983–997.
- Kundoo, A.A., Dar, S.A., Mushtaq, M., Bashir, Z., Dar, M.S., Ali, M.T., Gulzar, S., 2018. Role of neonicotinoids in insect pest management: a review. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 6, 333–339.
- Lange, W.H., 1959. Seed Treatment as a Method of Insect Control. *Annual Review of Entomology* 4, 363–388. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.04.010159.002051>
- Lanka, S.K., Ottea, J.A., Davis, J.A., Hernandez, A.B., Stout, M.J., 2013. Systemic effects of thiamethoxam and chlorantraniliprole seed treatments on adult *Lissorhoptrus oryzophilus* (Coleoptera: Curculionidae) in rice. *Pest Management Science* 69, 250–256. <https://doi.org/10.1002/ps.3382>
- Lanka, S.K., Senthil-Nathan, S., Blouin, D.J., Stout, M.J., 2017. Impact of Thiamethoxam Seed Treatment on Growth and Yield of Rice, *Oryza sativa*. *Journal of Economic Entomology* 110, 479–486. <https://doi.org/10.1093/jee/tox043>
- Leite, G.L.D., Picanço, M., Madeira, N.R., Zanuncio, J.C., 1996. Efeito de inseticidas sistêmicos aplicados no solo na produção do feijoeiro. *Bragantia* 55, 279–287. <https://doi.org/10.1590/s0006-87051996000200012>
- Leite, S.A., Guedes, R.N.C., Costa, D.R., Colmenarez, Y.C., Matsumoto, S.N., Santos, M.P., Coelho, B.S., Moreira, A.A., Castellani, M.A., 2022. The effects of thiamethoxam on coffee seedling morphophysiology and Neotropical leaf miner (*Leucoptera coffeella*) infestations . *Pest Management Science*. <https://doi.org/10.1002/PS.6889>
- Lopes, J., Ortiz Rojas, R., Pio, G., Alves netto, A., Picanço, M., 2022. Tópicos de manejo integrado de pragas I, in: Picanço, M.C., Lopes, M.C., Gerson, S. (Orgs.), . *Biblioteca Alice Regina Pinto Pires CRB6 2523, Vicoça, MG*, p. 3–54.
- Macedo, W.R., Castro, P.R. de C. e., 2011. Thiamethoxam: Molecule moderator of growth, metabolism and production of spring wheat. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 100, 299–304. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2011.05.003>
- Marquini, F., Guedes, R.N.C., Picanço, M.C., Regazzi, A.J., 2002. Response of arthropods associated with the canopy of common beans subjected to imidacloprid spraying. *Journal of Applied Entomology* 126, 550–556. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2002.00702.x>

- Marquini, F., Picanço, M.C., Guedes, R.N.C., Ferreira, P.S.F., 2003. Imidacloprid impact on arthropods associated with canopy of common beans. *Neotropical Entomology* 32, 335–342. <https://doi.org/10.1590/s1519-566x2003000200021>
- Mikolić, A., Karačonji, I.B., 2018. Imidacloprid as reproductive toxicant and endocrine disruptor: Investigations in laboratory animals. *Arhiv za Higijenu Rada i Toksikologiju*. <https://doi.org/10.2478/aiht-2018-69-3144>
- Mound, L.A., 2005. Thysanoptera: Diversity and interactions. *Annual Review of Entomology* 50, 247–269. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.49.061802.123318>
- Murphy, S.T., Lasalle, J., 1999. Balancing biological control strategies in the IPM of New World invasive *Liriomyza* leafminers in field vegetable crops. *Biocontrol News and Information* 20, 91–104.
- Naranjo, S.E., Ellsworth, P.C., Hagler, J.R., 2004. Conservation of natural enemies in cotton: Role of insect growth regulators in management of *Bemisia tabaci*. *Biological Control* 30, 52–72. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2003.09.010>
- Oliveira, C., Orozco-Restrepo, S.M., Alves, A.C.L., Pinto, B.S., Miranda, M.S., Barbosa, M.H.P., Picanço, M.C., Pereira, E.J.G., 2022. Seed treatment for managing fall armyworm as a defoliator and cutworm on maize: plant protection, residuality, and the insect life history. *Pest Management Science* 78, 1240–1250. <https://doi.org/10.1002/ps.6741>
- Pedrini, S., Merritt, D.J., Stevens, J., Dixon, K., 2017. Seed Coating: Science or Marketing Spin? *Trends in Plant Science* 22, 106–116. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.11.002>
- Pereira, J., 2006. Impacto de sistemas e sucessão de cultivos em artrópodes associados à cultura do feijão. Universidade Federal de Viçosa.
- Pereira, J.L., Picanço, M.C., Pereira, E.J.G., Silva, A.A., Jakelaitis, A., Pereira, R.R., Xavier, V.M., 2010. Influence of crop management practices on bean foliage arthropods. *Bulletin of Entomological Research* 100, 679–688. <https://doi.org/10.1017/S0007485310000039>
- Pereira, M.A., 2010. Tiametoxam em plantas de cana-de-açúcar, feijoeiro, soja, laranjeira e cafeeiro: parâmetros de desenvolvimento e aspectos bioquímicos Piracicaba 2010. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Picanço, M.C., Pereira, E.J.G., Pallini, A., 2003. *Entomologia Agrícola (ENT 360), Notas de Aula*. Viçosa.
- Pless, C.D., Cherry, E.T., Morgan, H., 1971. Growth and Yield of Burley Tobacco as Affected by Two Systemic Insecticides. *Journal of Economic Entomology* 64, 172–175. <https://doi.org/10.1093/jee/64.1.172>
- Quintela, E.D., 2004. Manejo integrado dos insetos e outros invertebrados pragas do feijoeiro [WWW Document]. Informe Agropecuário. URL <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/213301/manejo-integrado-dos-insetos-e-outros-invertebrados-pragas-do-feijoeiro>
- Reisig, D.D., Herbert, D.A., Malone, S., 2012. Impact of Neonicotinoid Seed Treatments on Thrips (Thysanoptera: Thripidae) and Soybean Yield in Virginia

- and North Carolina. *Journal of Economic Entomology* 105, 884–889. <https://doi.org/10.1603/EC11429>
- Resende-Silva, G.A., Bravim, J.N., Haro, M.M., Cutler, G.C., Silva, A.A., Guedes, R.N.C., 2022. Imidacloprid seed treatment in soybean-associated arthropod food webs: Reason for concern, or justifiable neglect? *Journal of Pest Science*. <https://doi.org/10.1007/s10340-022-01503-6>
- Richetti, A., Lasaro, C., Melo, P. De, 2013. Análise da viabilidade econômica do cultivo do feijão-comum, safra 2013, em Mato Grosso do Sul, Circular Técnica.
- Robertson, J.L., Russel, R., H.K, P., Savin, E., 2007. *Bioassays with Arthropods*, 2^o ed. CRC Press, Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781420004045>
- Rolim, G.G., Arruda, L.S., Torres, J.B., Barros, E.M., Fernandes, M.G., 2019. Susceptibility of Cotton Boll Weevil (Coleoptera: Curculionidae) to Spinosyns. *Journal of Economic Entomology* 112, 1688–1694. <https://doi.org/10.1093/jee/toz066>
- Sánchez-Bayo, F., 2021. Indirect effect of pesticides on insects and other arthropods. *Toxics* 9. <https://doi.org/10.3390/toxics9080177>
- Santos, L., 2012. Assembléias de formigas predadoras-necrófagas sobre iscas simulando a decomposição de carcaças. UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS (UFGD).
- Scheu, S., 2002. The soil food web: Structure and perspectives. *European Journal of Soil Biology* 38, 11–20. [https://doi.org/10.1016/S1164-5563\(01\)01117-7](https://doi.org/10.1016/S1164-5563(01)01117-7)
- Sechser, B., Monuir, N., Ayoub, S., 2003. Selectivity of emamectin benzoate to predators of sucking pests on cotton Source : Zeitschrift für Pfl. *Journal of Plant Diseases and Protection* 110, 184–194.
- Shaon, D., 2014. Scope and relevance of using pesticide mixtures in crop protection: a critical review. *Journal of Environmental Science and Toxicology Research* 2, 119–123.
- Sharma, K.K., Singh, U.S., Sharma, P., Kumar, A., Sharma, L., 2015. Seed treatments for sustainable agriculture-A review. *Journal of Applied and Natural Science* 7, 521–539. <https://doi.org/10.31018/jans.v7i1.641>
- Shobharani, M., Sunilkumar, M., Sidramappa, Amitabegaum, B., 2019. Field evaluation of imidacloprid and thiamethoxam against sucking insect pests of blackgram. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 8, 1764–1766.
- Silva, R.A. da, Carvalho, G.S., 2000. Ocorrência de insetos na cultura do milho em sistema de plantio direto, coletados com armadilhas-de-solo. *Ciência Rural* 30, 199–203. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782000000200001>
- Simon-Delso, N., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L.P., Bonmatin, J.M., Chagnon, M., Downs, C., Furlan, L., Gibbons, D.W., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreuzweiser, D.P., Krupke, C.H., Liess, M., Long, E., Mcfield, M., Mineau, P., Mitchell, E.A., Morrissey, C.A., Noome, D.A., Pisa, L., Settele, J., Stark, J.D., Tapparo, A., Van Dyck, H., Van Praagh, J., Van Der Sluijs, J.P., Whitehorn, P.R., Wiemers, M., 2015. Systemic insecticides (Neonicotinoids and fipronil): Trends, uses, mode of action and metabolites. *Environmental Science and Pollution*

- Research 22, 5–34. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3470-y>
- Smith, J.L., Baute, T.S., Schaafsma, A.W., 2020. Quantifying Early-Season Pest Injury and Yield Protection of Insecticide Seed Treatments in Corn and Soybean Production in Ontario, Canada. *Journal of Economic Entomology* 113, 2197–2212. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa132>
- Sparks, T.C., Nauen, R., 2015. IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 121, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>
- Tomizawa, M., Casida, J.E., 2005. Neonicotinoid insecticide toxicology: Mechanisms of selective action. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology* 45, 247–268. <https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.45.120403.095930>
- Torres, J.B., Bueno, A. de F., 2018. Conservation biological control using selective insecticides – A valuable tool for IPM. *Biological Control* 126, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.07.012>
- United Nations Organization, O., 2015. The Sustainable Development Agenda - United Nations Sustainable Development [WWW Document]. URL <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/> (acessado 2.1.22).
- Villegas, J.M., Wilson, B.E., Stout, M.J., 2019. Efficacy of reduced rates of chlorantraniliprole seed treatment on insect pests of irrigated drill-seeded rice. *Pest Management Science* 75, 3193–3199. <https://doi.org/10.1002/ps.5437>
- Vojvodić, M., Bažok, R., 2021. Future of insecticide seed treatment. *Sustainability (Switzerland)* 13. <https://doi.org/10.3390/su13168792>
- Willis Chan, D.S., Prosser, R.S., Rodríguez-Gil, J.L., Raine, N.E., 2019. Assessment of risk to hoary squash bees (*Peponapis pruinosa*) and other ground-nesting bees from systemic insecticides in agricultural soil. *Scientific Reports* 9, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47805-1>
- Zhang, L., Greenberg, S.M., Zhang, Y., Liu, T.X., 2010. Effectiveness of thiamethoxam and imidacloprid seed treatments against *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on cotton. *Pest Management Science* 67, 226–232. <https://doi.org/10.1002/ps.2056>

TABELAS E FIGURAS

Tabela 1 Teste *F* para efeitos do sistema de cultivo e tratamento de sementes na produtividade de grãos de feijão.

| Fonte de variação | GL | <i>F</i> | <i>P</i> |
|--|----|----------|----------|
| Sistema de cultivo | 1 | 0,001 | 0,95 |
| Tratamento de semente | 5 | 3,66 | 0,01 |
| Sistema de cultivo × Tratamento de semente | 5 | 2,85 | 0,02 |
| Resíduo | 60 | | |
| Total | 71 | | |

Tabela 2 Frequência e abundância de artrópodes da parte aérea (média ± erro padrão) por cada metro de fileira de plantas de feijão (sem a aplicação de inseticida na semente).

| Guilda do artrópode | Grupo ou táxon | Freq. ¹ | Indivíduos/amostra no Sistema de cultivo | |
|----------------------|--|--------------------|--|---------------------------|
| | | | Convencional | Plantio direto |
| Fitófago sugador | Thysanoptera (ninfas e adultos) ² | 3,35 | 1,05 ± 0,42 | 1,14 ± 0,49 ^{ns} |
| | <i>Empoasca kraemeri</i> (ninfas e adultos) | 0,05 | 0,03 ± 0,02 | 0,00 ± 0,00 ^{ns} |
| Fitófago minador | <i>Liriomyza sp.</i> (larva em mina ativa) | 2,51 | 0,53 ± 0,21 | 0,92 ± 0,36 ^{ns} |
| Fitófago desfolhador | Chrysomelidae | 0,51 | 0,21 ± 0,16 | 0,12 ± 0,10 ^{ns} |
| | Plusiinae (lagarta desfolhadora) | 0,98 | 0,30 ± 0,17 | 0,33 ± 0,15 ^{ns} |
| Detritívoro | Collembola | 80,88 | 17,70 ± 3,04 | 35,00 ± 4,99* |
| Carnívoro | Coccinelidae (larva e adulto) | 0,51 | 0,29 ± 0,20 | 0,05 ± 0,05 ^{ns} |
| | Formicidae e Hymenoptera parasitoide | 11,49 | 3,67 ± 1,84 | 5,09 ± 2,27 ^{ns} |

ns, não significativo ($P > 0,05$); *significativo ($P < 0,05$); teste *t* unilateral para a hipótese de maior abundância no sistema de plantio direto.

¹Frequência relativa de indivíduos coletados (%). ²Inclui tripes dos gêneros *Caliothrips*, *Thrips* e *Flankniella*.

Tabela 3 Resultados da análise de variância multivariada para a abundância da artropodafauna da parte aérea do feijoeiro.

| Efeito | Wilks' λ | GL Num | GL Den | <i>F</i> | <i>P</i> |
|----------------------------|------------------|--------|--------|----------|----------|
| Sistema de cultivo (SC) | 0,69 | 5 | 651 | 58,02 | <0,01 |
| Tratamento de semente (TS) | 0,77 | 25 | 2420 | 6,99 | <0,01 |
| SC \times TS | 0,89 | 25 | 2420 | 3,20 | <0,01 |
| Estágio fenológico (EF) | 0,05 | 50 | 2972 | 55,14 | <0,01 |
| SC \times EF | 0,14 | 50 | 2972 | 31,75 | <0,01 |
| TS \times EF | 0,37 | 250 | 3247 | 2,89 | <0,01 |
| SC \times TS \times EF | 0,39 | 250 | 3247 | 2,72 | <0,01 |

Tabela 4 Resultados do teste F para os efeitos dos fatores estudados em cinco variáveis-resposta medidas no experimento. Para cada variável, está indicada a estrutura de covariância de melhor ajuste às observações autocorrelacionadas nas parcelas experimentais (medidas repetidas no tempo).

| Variável | Efeito | GL Num | GL Den | F | P' |
|---------------------|----------------------------|--------|--------|--------|---------|
| Injúria | Sistema de cultivo (SC) | 1 | 324 | 61,01 | <0,01** |
| Sugadores | Tratamento de semente (TS) | 5 | 324 | 6,83 | <0,01** |
| Cov: <i>arh(1)</i> | SC × TS | 5 | 324 | 14,55 | <0,01** |
| | Estágio fenológico (EF) | 10 | 277 | 128,86 | <0,01** |
| | SC × EF | 10 | 277 | 72,78 | <0,01** |
| | TS × EF | 50 | 447 | 4,23 | <0,01** |
| | SC × TS × EF | 50 | 447 | 4,26 | <0,01** |
| Injúria | Sistema de cultivo (SC) | 1 | 5 | 42,25 | <0,01** |
| Folívoros | Tratamento de semente (TS) | 5 | 25 | 4,85 | <0,01** |
| Cov: <i>csH</i> | SC × TS | 5 | 625 | 1,84 | 0,12 ns |
| | Estágio fenológico (EF) | 10 | 625 | 207,81 | <0,01** |
| | SC × EF | 10 | 625 | 60,83 | <0,01** |
| | TS × EF | 50 | 625 | 2,60 | <0,01** |
| | SC × TS × EF | 50 | 625 | 2,57 | <0,01** |
| Densidade | Sistema de cultivo (SC) | 1 | 67 | 0,82 | 0,37 ns |
| Populacional | Tratamento de semente (TS) | 5 | 98 | 9,34 | <0,01** |
| Sugadores | SC × TS | 5 | 98 | 0,25 | 0,94 ns |
| Cov: <i>ante(1)</i> | Estágio fenológico (EF) | 10 | 161 | 11,98 | <0,01** |
| | SC × EF | 10 | 161 | 2,47 | <0,01** |
| | TS × EF | 50 | 349 | 2,47 | <0,01** |
| | SC × TS × EF | 50 | 349 | 1,23 | 0,15 ns |
| Densidade | Sistema de cultivo (SC) | 1 | 33 | 0,31 | 0,58 ns |
| Populacional | Tratamento de semente (TS) | 5 | 147 | 2 | 0,08 ns |
| Folívoros | SC × TS | 5 | 147 | 1,73 | 0,13 ns |
| Cov: <i>un(1)</i> | Estágio fenológico (EF) | 10 | 250 | 12,03 | <0,01** |
| | SC × EF | 10 | 250 | 0,78 | 0,65 ns |
| | TS × EF | 50 | 440 | 1,35 | 0,06 ns |
| | SC × TS × EF | 50 | 440 | 1,15 | 0,23 ns |
| Densidade | Sistema de cultivo (SC) | 1 | 76 | 101,79 | <0,01** |
| Populacional | Tratamento de semente (TS) | 5 | 77 | 5,74 | <0,01** |
| Hexapoda | SC × TS | 5 | 76 | 1,59 | 0,17 ns |
| Benéficos | Estágio fenológico (EF) | 10 | 232 | 113,77 | <0,01** |
| Cov: <i>csH</i> | SC × EF | 10 | 232 | 15,72 | <0,01** |
| | TS × EF | 50 | 415 | 2,24 | <0,01** |
| | SC × TS × EF | 50 | 415 | 2,49 | <0,01** |

Cov, covariância: *arh(1)*, Heterogeneous First order autoregressive; *ante(1)*, First order ante-dependence; *csH*, Heterogeneous compound symmetry; *un(1)*, Independent, unequal variance.

¹ns, não significativo ($P > 0,05$); *significativo a 5% de probabilidade ($P < 0,05$); significativo a 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

Tabela 5 Frequência e abundância de artrópodes (média \pm erro padrão) por cada 1000 cm³ de solo da rizosfera das plantas de feijão sem aplicação de inseticida na semente.

| Guilda do artrópode | Grupo ou táxon | Freq. ¹ | Indivíduos/m ³ de solo no Sistema de cultivo | |
|---------------------|-----------------------|--------------------|---|--------------------------------|
| | | | Convencional | Plantio direto |
| Carnívoro | Formicidae | 70,49 | 17,36 \pm 2,57 | 31,27 \pm 6,62 ^{ns} |
| Detritívoro | Collembola | 13,97 | 5,36 \pm 0,86 | 4,27 \pm 0,91 ^{ns} |
| | Acarina (Adulto) | 6,46 | 1,00 \pm 0,33 | 0,00 \pm 0,00 ^{ns} |
| | Psocoptera | 2,50 | 0,55 \pm 0,18 | 1,18 \pm 0,35 ^{ns} |
| Fitófago | Chrysomelidae (Larva) | 4,48 | 0,45 \pm 0,15 | 2,64 \pm 0,88* |
| | Elateridae (Larva) | 2,11 | 1,09 \pm 0,36 | 0,36 \pm 0,12 ^{ns} |

ns, não significativo ($P > 0,05$); *significativo ($P < 0,05$); teste *t* unilateral para a hipótese de maior abundância no sistema de plantio direto.

¹Frequência relativa de indivíduos coletados (%).

Tabela 6 Análise multivariada e multifatorial de efeitos fixos para a abundância da atropodofauna do solo da rizosfera em cultivo de feijão sob tratamento de semente.

| Efeito | Wilks' γ | GL Num | GL Den | <i>F</i> | <i>P</i> |
|----------------------------|-----------------|--------|--------|----------|----------|
| Sistema de cultivo (SC) | 0,78 | 5 | 282 | 16,32 | < 0,01 |
| Tratamento de semente (TS) | 0,80 | 25 | 1049 | 2,58 | < 0,01 |
| SC \times TS | 0,88 | 25 | 1049 | 1,43 | 0,08 |
| Estágio fenológico (EF) | 0,30 | 55 | 1309 | 7,01 | < 0,01 |
| SC \times EF | 0,67 | 55 | 1309 | 2,15 | < 0,01 |
| TS \times EF | 0,38 | 275 | 1411 | 1,09 | 0,17 |
| SC \times TS \times EF | 0,45 | 275 | 1411 | 0,89 | 0,88 |

GL, grau de liberdade. Num, numerador. Den, denominador.

Tabela 7 Resultados dos testes de efeitos fixos para a abundância de táxons da atropodofauna do solo da rizosfera em dois sistemas de cultivo de feijão sob tratamento de semente.

| Efeito | GL Num | GL Den | Formicidae | | Collembola | | Acarina | | Pscoptera | | Coleoptera larva | |
|----------------------------|-----------|-----------|------------|----------|------------|----------|----------|----------|-----------|----------|------------------|----------|
| | | | <i>F</i> | <i>P</i> | <i>F</i> | <i>P</i> | <i>F</i> | <i>P</i> | <i>F</i> | <i>P</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
| Sistema de cultivo (SC) | 1 | 2 | 62,55 | 0,02 | 0,06 | 0,83 | 4,31 | 0,17 | 1,22 | 0,39 | 32,35 | 0,03 |
| Tratamento de semente (TS) | 5 | 10 | 4,42 | 0,02 | 3,47 | 0,04 | 0,42 | 0,83 | 1,87 | 0,19 | 6,05 | 0,01 |
| SC × TS | 5 | 274 | 3,33 | 0,01 | 1,30 | 0,27 | 0,93 | 0,46 | 0,23 | 0,95 | 2,65 | 0,02 |
| Estágio fenológico (EF) | 11 | 274 | 3,46 | <0,01 | 48,26 | <0,01 | 4,41 | <0,01 | 7,89 | <0,01 | 2,42 | 0,01 |
| SC × EF | 11 | 274 | 1,01 | 0,44 | 3,12 | <0,01 | 2,65 | <0,01 | 1,70 | 0,07 | 2,07 | 0,02 |
| TS × EF | 55 | 274 | 1,00 | 0,49 | 1,58 | 0,01 | 1,10 | 0,31 | 0,96 | 0,55 | 1,04 | 0,41 |
| SC × TS × EF | 55 | 274 | 1,00 | 0,49 | 1,16 | 0,22 | 1,12 | 0,28 | 0,87 | 0,74 | 0,84 | 0,78 |

GL, grau de liberdade. Num, numerador; Den, denominador.

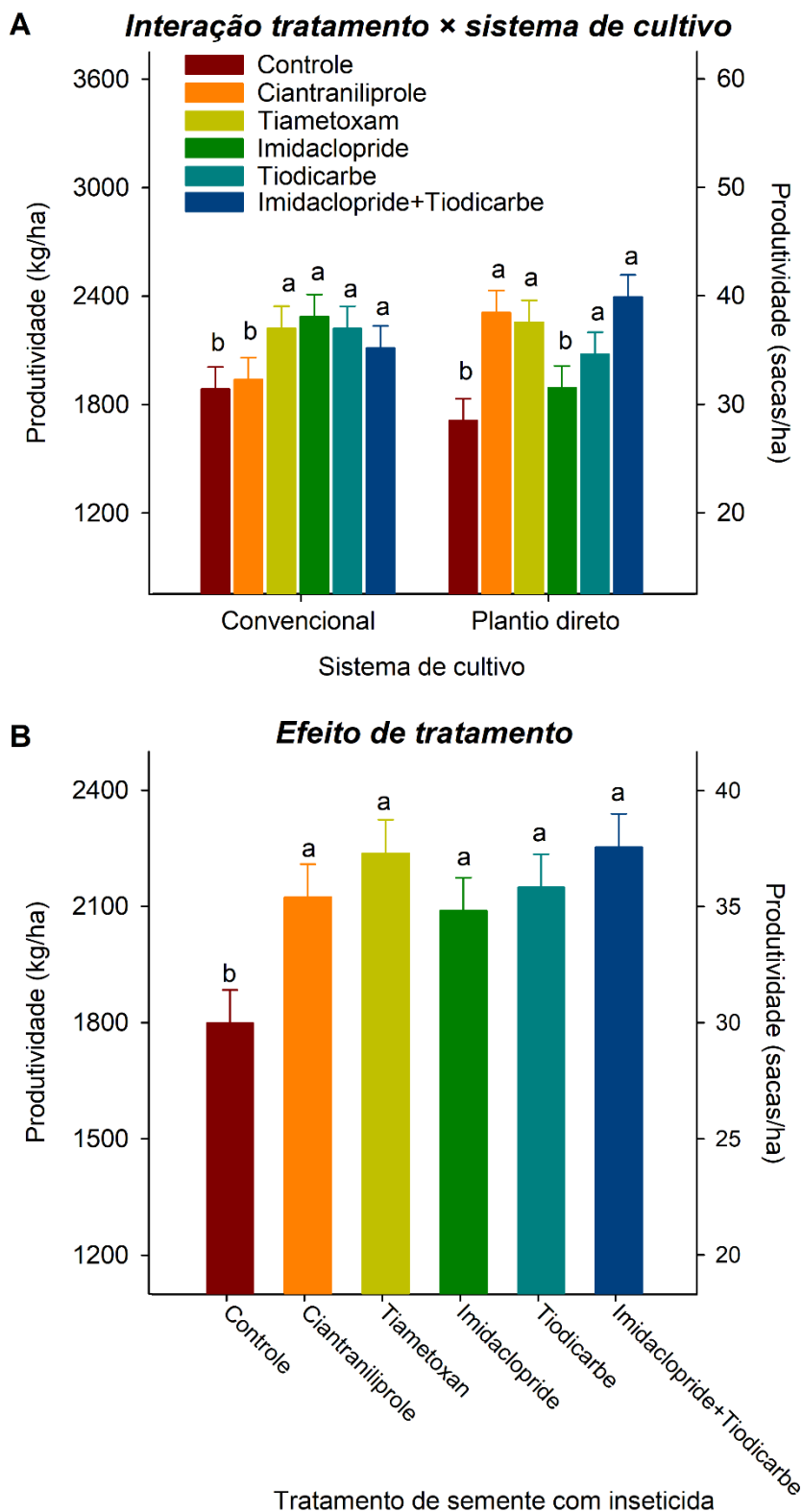


Figura 1. Produtividade de feijão afetada por tratamento de semente com inseticidas em dois sistemas de preparo do solo. A) Efeito da interação do tratamento de semente com o sistema de cultivo. B) Efeito de tratamento de semente independente do sistema de cultivo. Médias e erros padrões contendo a mesma letra não são significativamente ($P > 0.05$) pelo teste da diferença mínima de Fisher.

Injúria Sugadores vs. Tratamento de Semente Feijoeiro

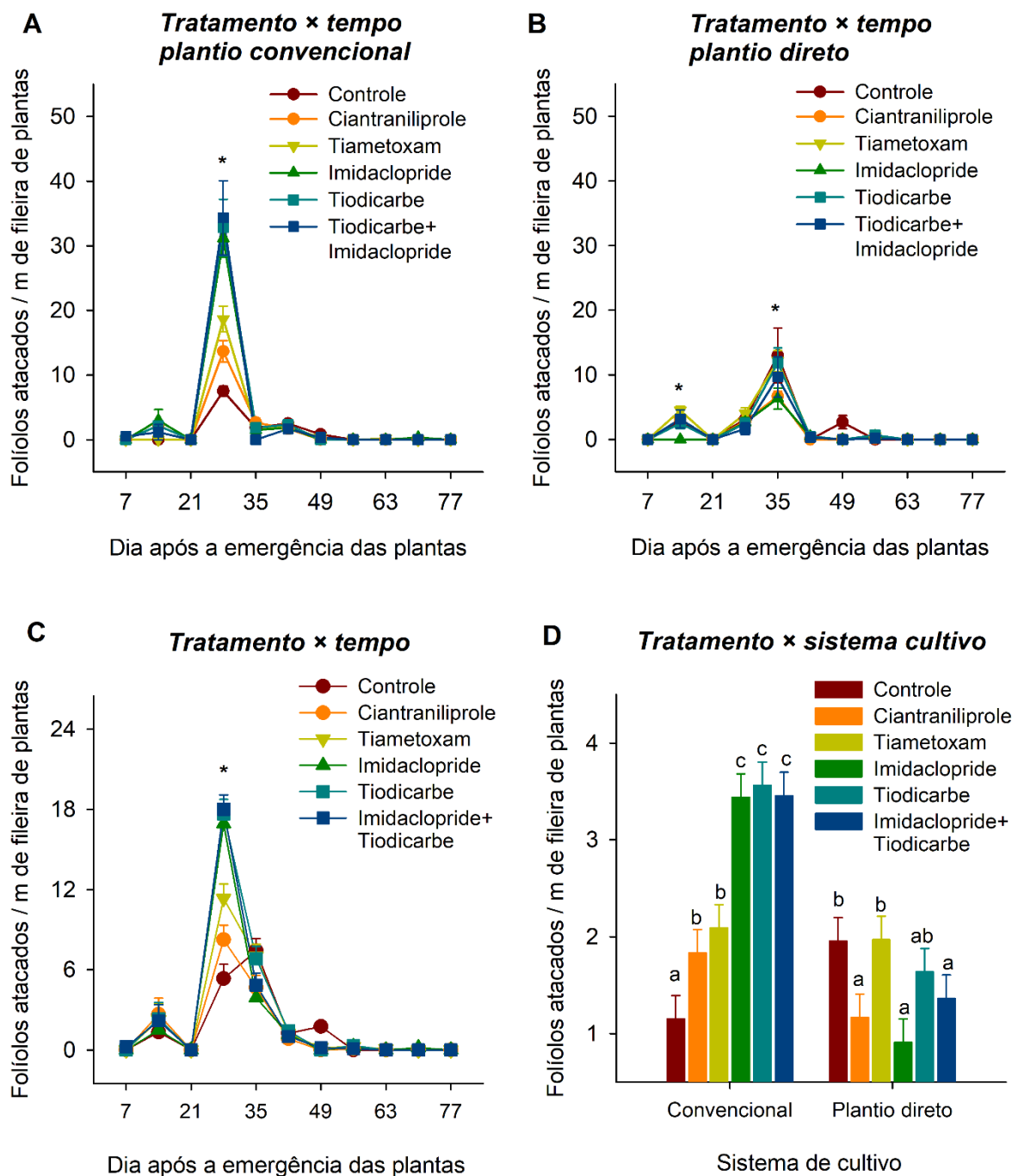


Figura 2. Injúria por insetos sugadores (tripes) em feijoeiro sob influência de tratamento de semente com inseticida em dois sistemas de cultivos. A) Injúria foliar ao longo do cultivo no sistema de plantio convencional. B) Injúria foliar ao longo do cultivo no sistema de plantio direto. C) Efeito da interação tratamento × tempo (efeito residual do tratamento de semente) na injúria foliar por insetos sugadores. D) Efeito do tratamento de semente de acordo com sistema de cultivo independente do estágio fenológico das plantas. Os valores são médias e erros padrões. Colunas contendo a mesma letra não são significativamente diferentes ($P > 0.05$) de acordo com a análise de variância com medidas repetidas e teste de média da diferença mínima de Fisher. Asterisco (*) indica que pelo menos uma média difere das demais ($P < 0.05$) pelo teste F no desdobramento.

Injúria Desfolhadores e Minadores vs. Tratamento de Semente Feijoeiro

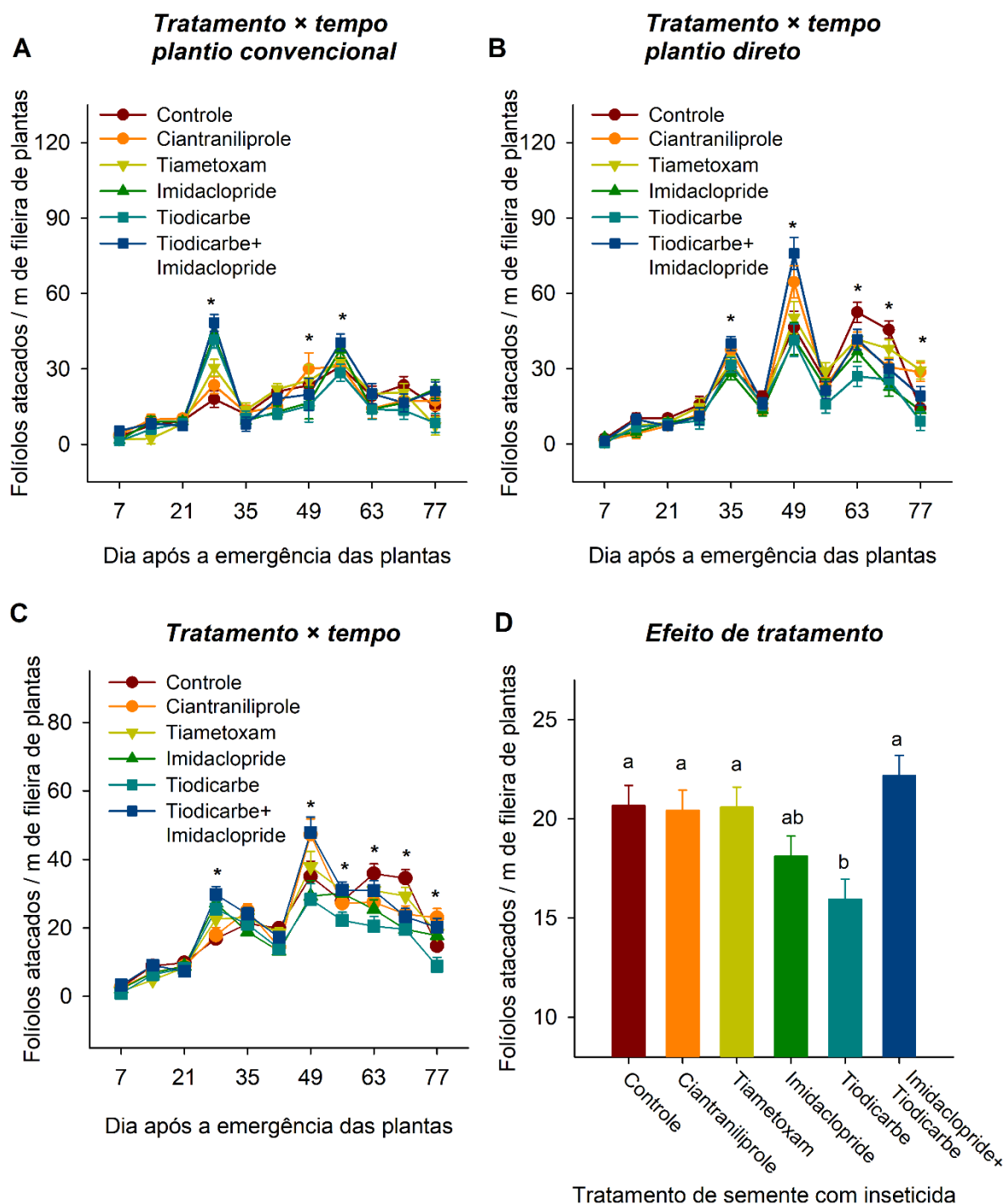


Figura 3. Injúria por insetos desfolhadores e minadores em feijoeiro sob influência de tratamento de semente em dois sistemas de cultivos. A) Injúria foliar ao longo do cultivo no sistema de plantio convencional. B) Injúria foliar ao longo do cultivo no sistema de plantio direto. C) Efeito da interação tratamento × tempo (efeito residual do tratamento de semente) na injúria foliar por insetos mastigadores. D) Efeito do tratamento de semente independente do sistema de cultivo e dias após a emergência das plantas. Os valores são médias e erros padrões. Colunas contendo a mesma letra não são significativamente diferentes ($P > 0.05$) de acordo com a análise de variância com medidas repetidas e teste de média da diferença mínima de Fisher. Asterisco (*) indica que pelo menos uma média difere das demais ($P < 0.05$) pelo teste F no desdobramento.

Densidade de Insetos Fitófagos vs. Tratamento de Semente Feijoeiro

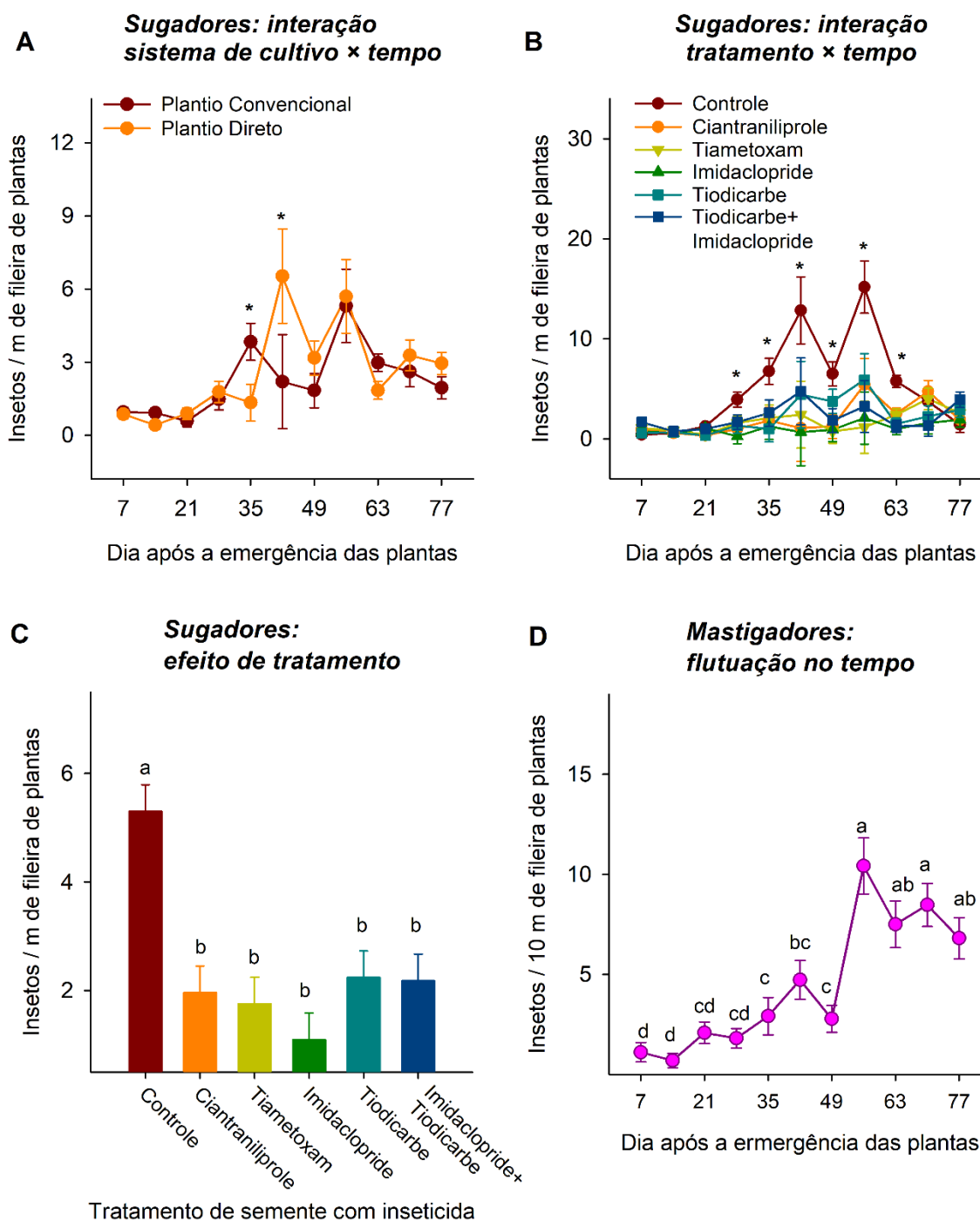


Figura 4. Insetos sugadores e consumidores de tecido foliar de feijoeiro sob influência de tratamento de semente em dois sistemas de cultivo. Para insetos sugadores, houve efeito da interação do tempo após emergência das plantas com: A) o sistema de cultivo e B) o tratamento de semente; houve também C) efeito do tratamento de semente independente do sistema de cultivo e estágio fenológico das plantas. Para insetos folívoros (desfolhadores e minadores), houve somente D) efeito do tempo após emergência independente dos outros fatores em estudo. Médias e erros padrões com a mesma letra não são significativamente diferentes ($P > 0.05$) pela análise de variância de medidas repetidas e teste de média da diferença mínima de Fisher. Asterisco (*) indica que pelo menos uma média difere das demais ($P < 0.05$) pelo teste F no desdobramento.

Atropodofauna Benéfica no Dossel do Feijoeiro sob Tratamento de Semente

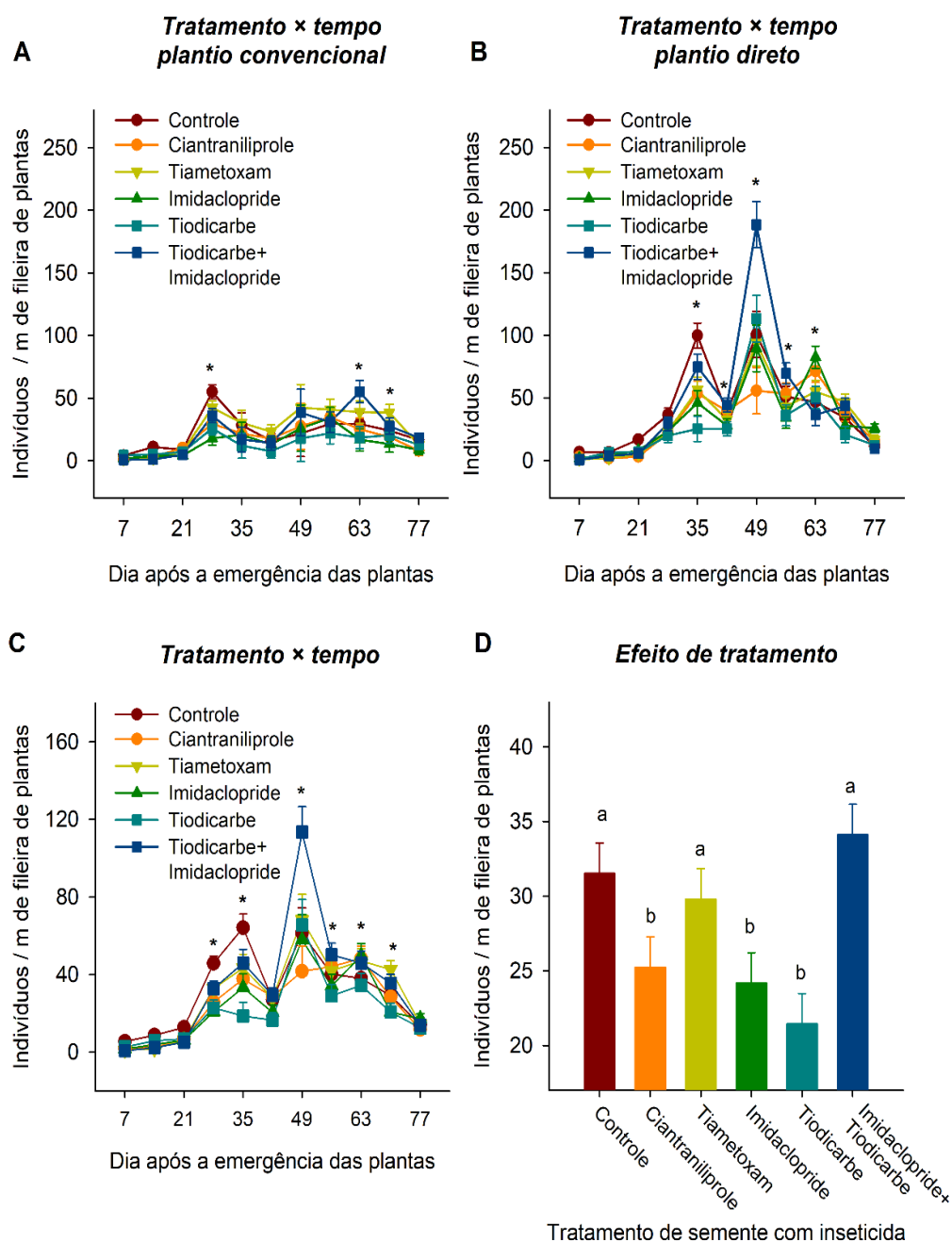


Figura 5. Artrópodes benéficos (detritívoros, predadores e parasitoides) no dossel do feijoeiro sob a influência de tratamento de semente e sistema de cultivo. A) Interação tratamento × tempo no sistema de plantio convencional. B) Interação tratamento × tempo no sistema de plantio direto. C) Interação tratamento × tempo e D) efeito do tratamento de semente independente dos sistemas de cultivos. Médias e erros padrões com a mesma letra não são significativamente diferentes ($P > 0.05$) pela análise de variância de medidas repetidas e teste de média da diferença mínima de Fisher. Asterisco (*) indica que pelo menos uma média difere das demais ($P < 0.05$) pelo teste F no desdobramento

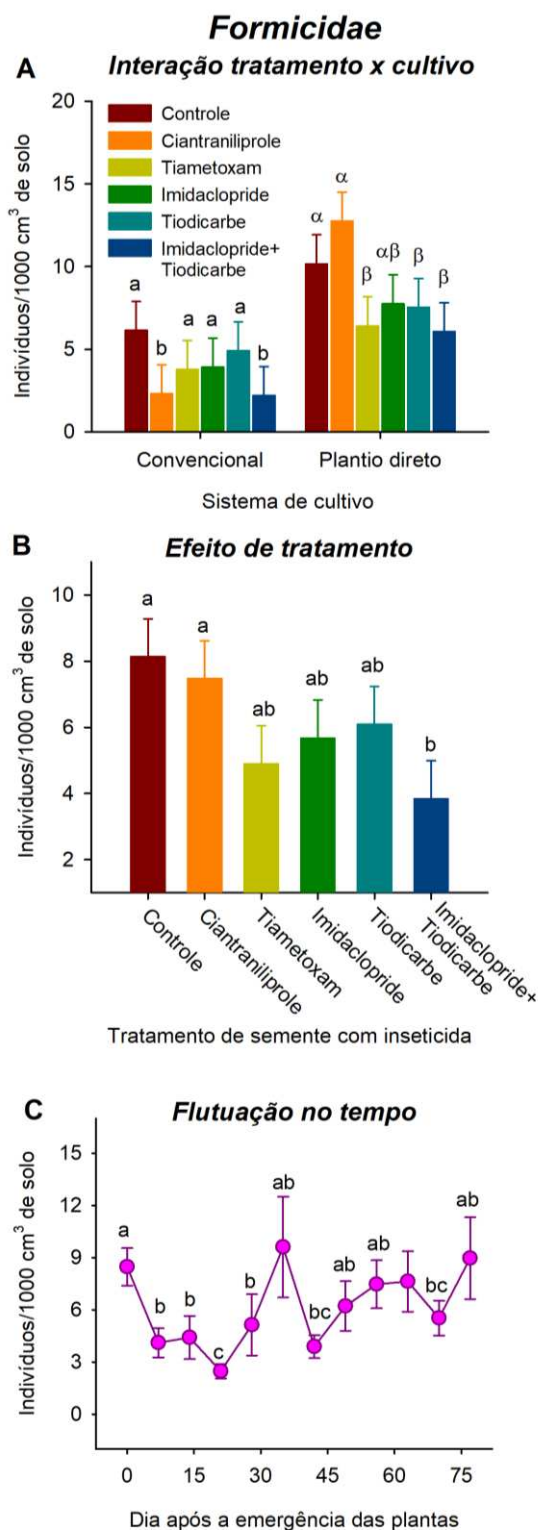


Figura 6. Abundância de Formicidae no solo da rizosfera de plantas de feijão sob dois sistemas de cultivo e cinco tratamentos de semente. Nos painéis são mostrados os seguintes efeitos: A) da interação tratamento × sistema de cultivo, B) dos tratamentos de semente independente dos sistemas de cultivos e tempo após emergência das plantas, e C) somente do último fator (tempo). Médias e erros padrões com a mesma letra (dentro de um sistema de cultivo, se for o caso) não são significativamente diferentes ($P > 0.05$), ao contrário daquelas com asterisco (*), conforme análise de variância de medidas repetidas e teste de média da diferença mínima de Fisher.

Collembola

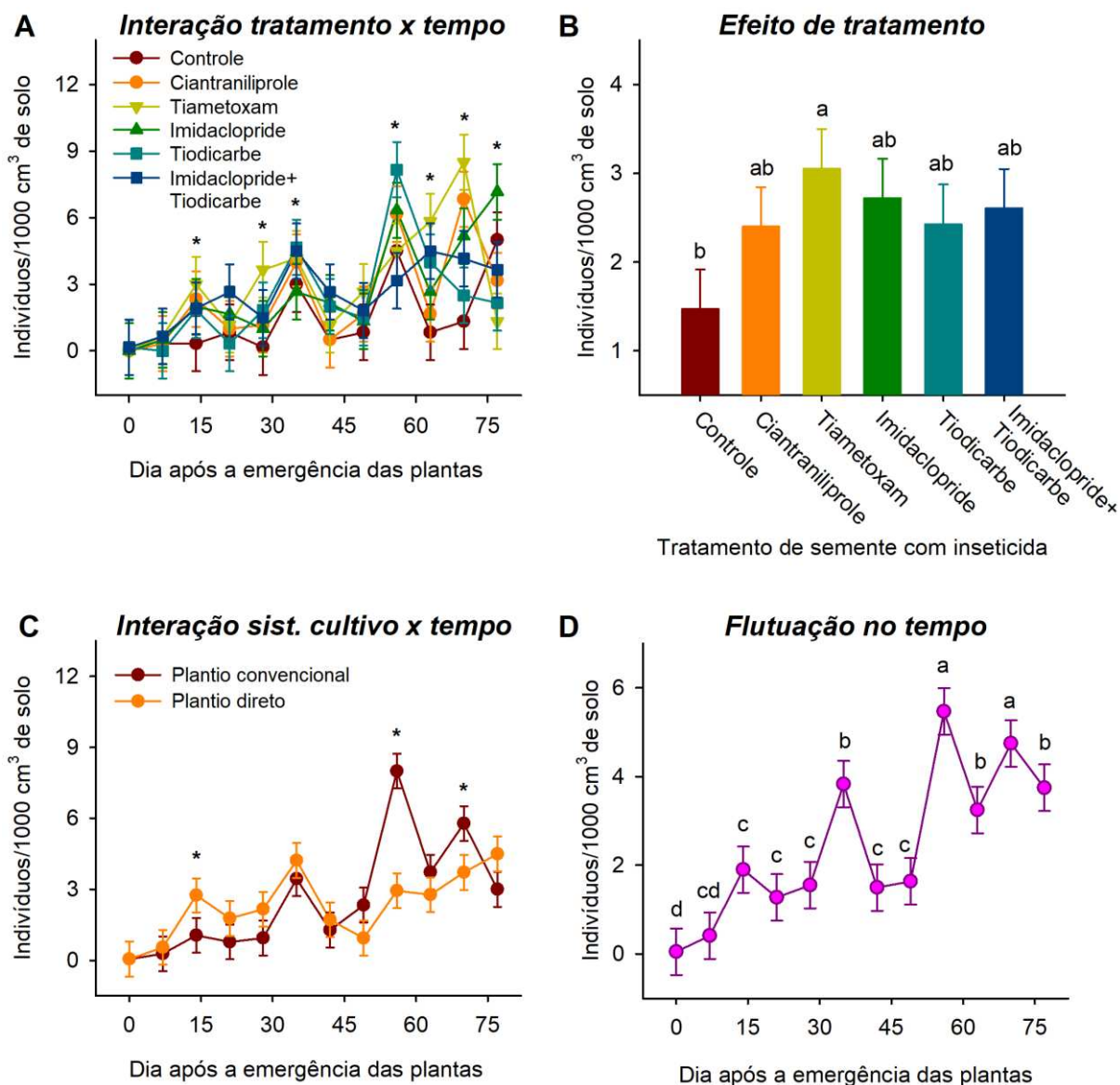


Figura 7. Abundância de Collembola no solo da rizosfera de feijoeiro sob dois sistemas de cultivo e cinco tratamentos de semente. Nos painéis são mostrados os seguintes efeitos: A) da interação tratamento × estágio fenológico das plantas, B) dos tratamentos de semente independente do sistema de cultivo e tempo após emergência, C) da interação tratamento × sistema de cultivo e, D) somente do último fator (tempo). Médias e erros padrões com a mesma letra não são significativamente diferentes ($P > 0.05$), ao contrário daquelas com asterisco (*), conforme análise de variância de medidas repetidas e teste de média da diferença mínima de Fisher.

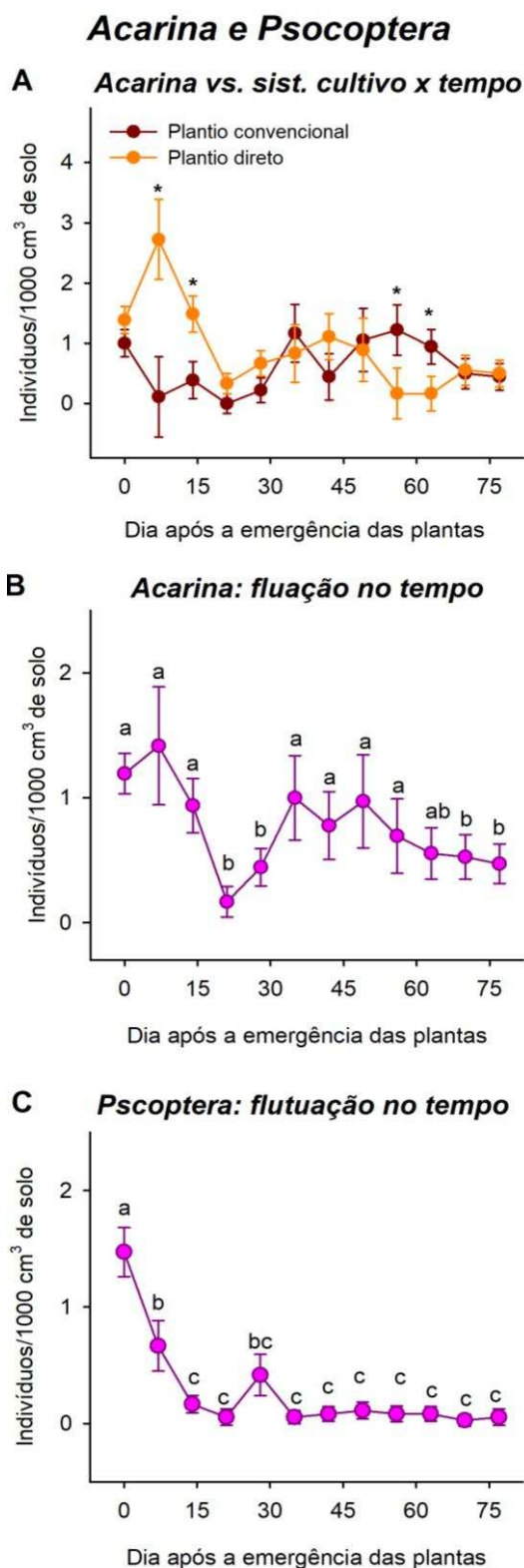


Figura 8. Abundância de Acarina e Psocoptera no solo da rizosfera de plantas de feijão sob dois sistemas de cultivo e cinco tratamentos de semente. Nos painéis são mostrados os seguintes efeitos: A) da interação sistema de cultivo \times estágio fenológico das plantas, C) somente do último fator (tempo) para Acarina, e D) para Psocoptera. Médias e erros padrões com a mesma letra não são significativamente diferentes ($P > 0.05$), ao contrário daquelas com asterisco (*), conforme análise de variância de medidas repetidas e teste de média da diferença mínima de Fisher.

Larvas de Coleoptera

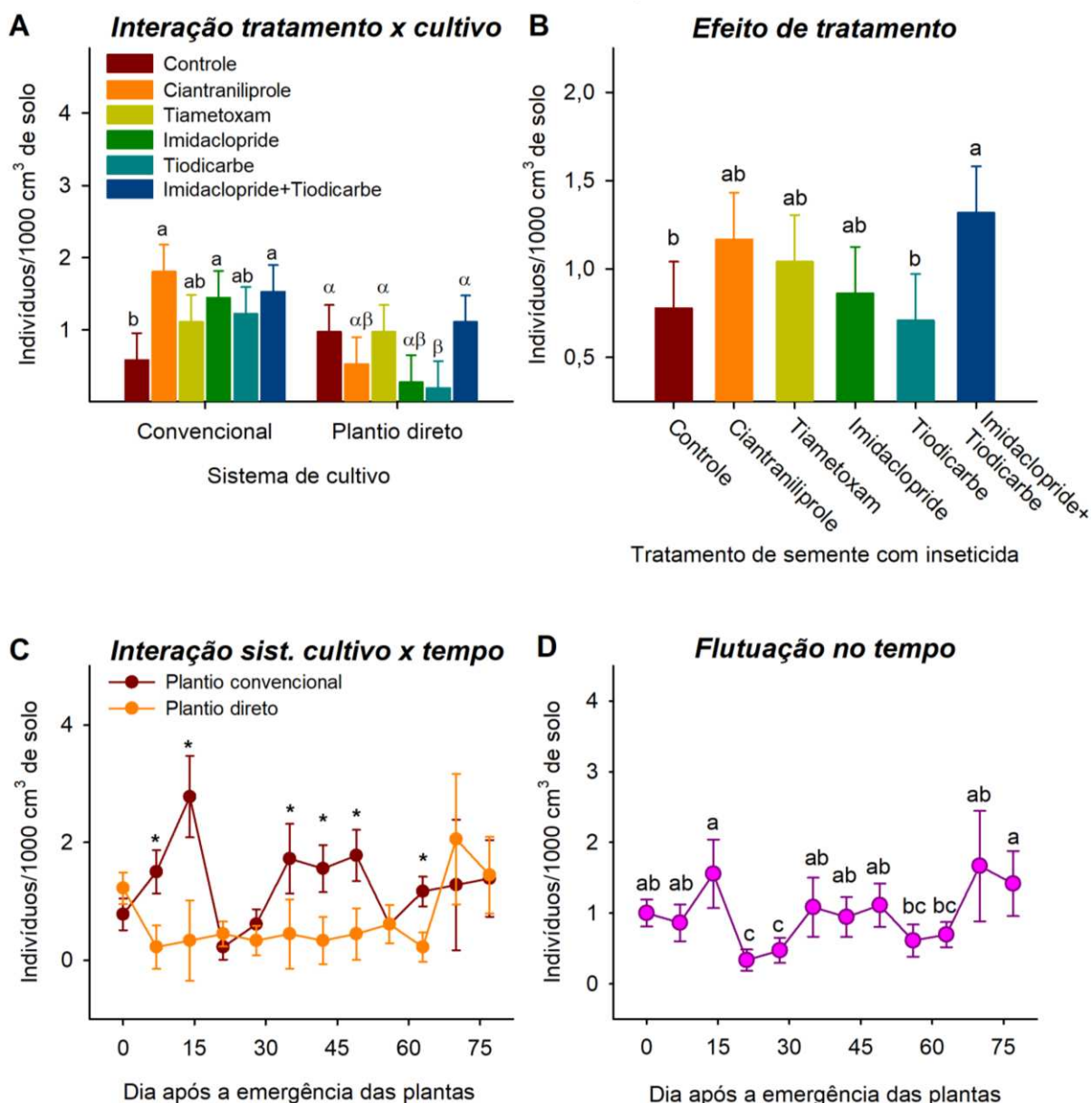


Figura 9. Abundância de larvas de Coleoptera no solo da rizosfera de feijoeiro sob dois sistemas de cultivo e cinco tratamentos de semente. Nos painéis são mostrados os seguintes efeitos: A) da interação tratamento × estágio fenológico das plantas, B) dos tratamentos de semente independente do sistema de cultivo e tempo após emergência, C) da interação tratamento × sistema de cultivo e, D) somente do último fator (tempo). Médias e erros padrões com a mesma letra não são significativamente diferentes ($P > 0.05$), ao contrário daquelas com asterisco (*), conforme análise de variância de medidas repetidas e teste de média da diferença mínima de Fisher.

Informação suplementar

Tabela S1. Valores dos coeficientes de correlação Pearson e seus *P*-valores entre elementos do clima e injúria ou abundância de artrópodes no dossel de feijoeiro.

| Correlação | Injúria de sugadores | Injúria de folívoros | Densidade de sugadores | Densidade de folívoros | Densidade de benéficos |
|------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Temperatura Média | 0,05 0,88 | -0,13 0,71 | 0,04 0,90 | -0,55 0,08 | 0,11 0,75 |
| Temperatura Máxima | 0,04 0,91 | -0,28 0,41 | -0,32 0,35 | -0,66 0,03 | 0,01 0,97 |
| Temperatura Mínima | 0,11 0,74 | 0,02 0,95 | 0,27 0,42 | -0,40 0,23 | 0,21 0,53 |
| Umidade Relativa | -0,30 0,38 | 0,64 0,03 | 0,61 0,05 | 0,75 0,01 | 0,18 0,59 |
| Precipitação | -0,29 0,38 | -0,21 0,54 | -0,36 0,27 | -0,20 0,56 | -0,37 0,26 |
| Injúria de sugadores | | -0,03 0,94 | 0,07 0,84 | -0,18 0,60 | 0,65 0,03 |
| Injúria de folívoros | | | 0,51 0,11 | 0,53 0,10 | 0,67 0,02 |
| Densidade de sugadores | | | | 0,43 0,19 | 0,50 0,12 |
| Densidade de folívoros | | | | | 0,18 0,60 |

Valores destacados com bordas são significativos pelo teste *t* ($P < 0.05$, $n = 11$). Folívoros representam desfolhadores (*Chrysomelidae* e *Plusiinae*) e minadores (*Liriomyza*).



Figura S1. Imagem de satélite mostrando a localidade do experimento (em amarelo) (Google EARTH, 2020).

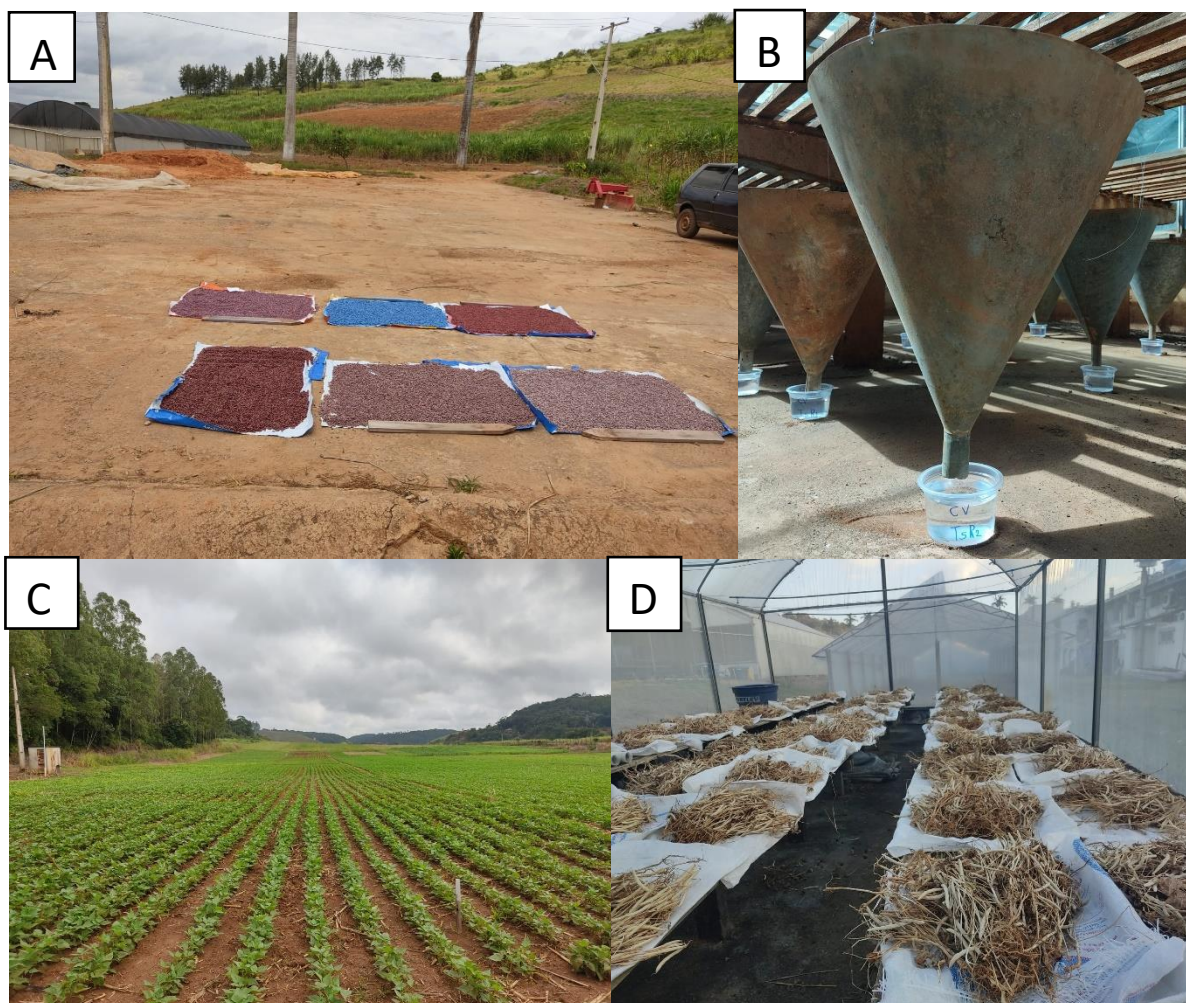


Figura S2. Ilustrações de algumas etapas da pesquisa. A) Sementes tratadas com inseticidas antes de semear. B) Funil de Berlese: coleta de artrópodes de solo. C) Campo de feijão. D) Seca do feijão para trilhar (Fonte: Royner Ortiz, 2021).

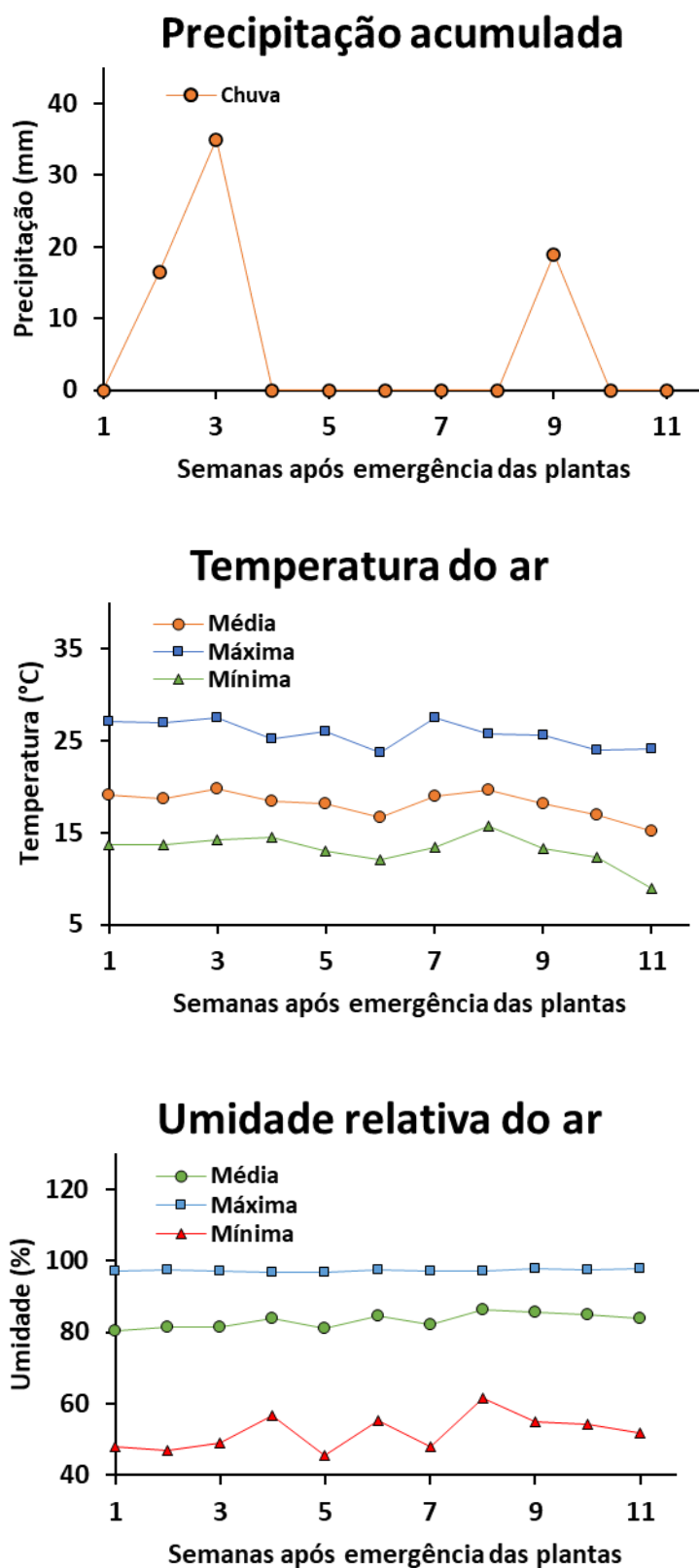


Figura S3. Dados meteorológicos do período de avaliação do experimento (INMET, 2022) a precipitação acumulada foi tomada *in situ*.