



JOÃO VITOR GANEM RILLO PAZ BARATEIRO

**USO DOS SERVIÇOS DE POLINIZAÇÃO E DO CONTROLE
BIOLÓGICO NO MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS E
DOENÇAS COMO PROPOSTA DE MANEJO SUSTENTÁVEL
DA SOJA**

**LAVRAS-MG
2025**

JOÃO VITOR GANEM RILLO PAZ BARATEIRO

**USO DOS SERVIÇOS DE POLINIZAÇÃO E DO CONTROLE BIOLÓGICO NO
MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS E DOENÇAS COMO PROPOSTA
DE MANEJO SUSTENTÁVEL DA SOJA**

Tese de doutorado apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Entomologia, área de
concentração em Entomologia, linha de
pesquisa Manejo Integrado de Insetos-
Praga, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador
Prof. Dr. Stephan Malfitano Carvalho – UFLA / ESAL / DEN

**LAVRAS – MG
2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Barateiro, João Vitor Ganem Rillo Paz .

Uso dos Serviços de Polinização e do Controle Biológico no Manejo Integrado de
Pragas e Doenças como Proposta de Manejo Sustentável da Soja / João Vitor Ganem
Rillo Paz Barateiro. - 2025.

56 p. : il.

Orientador: Stephan Malfitano Carvalho

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2025.

Bibliografia.

1. Glycine max. 2. Apis mellifera. 3. produção integrada. 4. sustentabilidade. I.
Carvalho, Stephan Malfitano . II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

JOÃO VITOR GANEM RILLO PAZ BARATEIRO

**USO DOS SERVIÇOS DE POLINIZAÇÃO E DO CONTROLE BIOLÓGICO NO
MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS E DOENÇAS COMO PROPOSTA DE
MANEJO SUSTENTÁVEL DA SOJA**

**THE USE OF POLLINATION SERVICES AND BIOLOGICAL CONTROL IN
INTEGRATED PEST AND DISEASE MANAGEMENT AS A PROPOSAL FOR
SUSTAINABLE SOYBEAN MANAGEMENT**

Tese de doutorado apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia, linha de pesquisa Manejo Integrado de Insetos-Praga, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA EM 03 DE SETEMBRO DE 2025.

Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo, UEM

Dr. Heber Luiz Pereira, UEM

Dr. Jander Rodrigues de Souza, EMATER/MG

Dr. Deodoro Magno Brighenti dos Santos, UFSJ

Prof. Dr. Stephan Malfitano Carvalho
(Orientador)

**LAVRAS – MG
2025**

*“A vida é escola de
aperfeiçoamento, onde a alma torna o
instinto em sentimento, para a grande
escalada do infinito.”
João D’Esquivel Ganem.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por todas as bênçãos e oportunidades recebidas;

Ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia da Universidade Federal de Lavras, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e à Koppert Brasil, pelo suporte ao trabalho desenvolvido;

Aos pesquisadores e orientadores, Dr. Stephan Malfitano Carvalho (UFLA), Me. Décio Luiz Gazzoni (Embrapa), Dr. Vagner de Alencar Arnaut de Toledo (UEM) e Dr. Heber Luiz Pereira, por todos os ensinamentos e lições de vida, essenciais para o sucesso desta tese;

Aos meus pais Vitor Manuel Paz Barateiro e Ana Paula Ganem Rillo Barateiro, que não mediram esforços para que eu tivesse uma educação de qualidade. À minha irmã Letícia Ganem Rillo Paz Barateiro e à minha noiva Klisciane Bocalete, que sempre estiveram ao meu lado apoiando minhas decisões. Ao meu tio Dárcio Hélio Longhi pelo primeiro contato, quando criança, ao que viera ser parte de minha profissão. E à toda minha família, por todo o amor, incentivo, confiança, e sobretudo, presença em minha vida;

Ao amigo Bruno Vinícius Rosa Cristiano por todo o apoio e companheirismo em mais esta fase de minha vida. E à equipe de campo, pela competência e comprometimento na condução dos experimentos que compõem este trabalho.

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

RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), com uma produção estimada de 166 milhões de toneladas, ocupando cerca de 47 milhões de hectares. A soja é uma espécie autopolinizadora, contudo, a polinização das abelhas pode potencializar a sua produtividade. Assim, o presente estudo teve o objetivo de avaliar o impacto da visita de abelhas *Apis mellifera* às flores da soja, proporcionando polinização suplementar e do manejo biológico com produtos do Sistema Integrado Koppert na produtividade da soja. O trabalho foi conduzido em duas áreas: a primeira localizada no município de Piracicaba-SP, na Estação Experimental da Esalq-USP; e a segunda localizada no município de Capão Bonito-SP, em uma propriedade particular, durante as safras de 2021/22, 2022/23 e 2023/24. Foram avaliados quatro tratamentos: a) controle de pragas sem a presença de abelhas (CONTROL); b) controle mais abelhas (CONTROL+BEE); c) manejo biológico mais abelhas (SIK+BEE); e d) manejo biológico sem abelhas (SIK), com seis repetições, representadas por transectos traçados a partir de colmeias alocadas na bordadura da lavoura ou de um determinado ponto (no caso do tratamento sem abelhas). Em cada um destes transectos foram distribuídos pontos de acordo com a distância do ponto zero, definidas em: 12,5 m, 25 m, 50 m, 100 m e 200 m. No caso de Capão Bonito, a primeira distância foi de 25 m, por se tratar de cultivo irrigado via pivô central, em que toda a área experimental esteve submetida à irrigação. Cada parcela experimental foi composta de oito linhas de soja, com 6 m de comprimento, totalizando 120 parcelas na primeira área (Piracicaba) e 96 parcelas na segunda área (Capão Bonito). No experimento de Piracicaba, utilizou-se a cultivar BRS 7380 RR, enquanto para o experimento de Capão Bonito foi semeada a cultivar BrasMax Zeus 55I57RSF. Durante o florescimento da cultura, avaliou-se a visitação das abelhas nas parcelas experimentais. Após a colheita das parcelas, foi avaliado o rendimento da cultura. Os resultados revelaram que a polinização por abelhas aumentou significativamente a produtividade da soja em comparação aos tratamentos sem abelhas. Além disso, as visitas de abelhas também aumentaram, destacando a eficácia do manejo biológico e o impacto positivo da proximidade da colmeia.

Palavras-chave: *Glycine max*; *Apis mellifera*; produção integrada; sustentabilidade.

ABSTRACT

Brazil is the world's largest producer and exporter of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), with an estimated production of 166 million tons, occupying approximately 47 million hectares. Although considered a self-pollinating species, several soybean cultivars show increased productivity when pollinated by bees. This study was conducted in two areas: the first located in the municipality of Piracicaba, São Paulo, at the Esalq-USP Experimental Station, and the second located in the municipality of Capão Bonito, São Paulo, on a private property, during the 2021/22, 2022/23, and 2023/24 harvests. The objective was to evaluate the impact of *Apis mellifera* bee visits to soybean flowers, providing supplemental pollination, and biological management with products from the Koppert Integrated System on soybean productivity. Four treatments were tested: a) pest control without bees (CONTROL); b) pest control plus bees (CONTROL+BEE); c) biological management plus bees (SIK+BEE); and d) biological management without bees (SIK), with six replicates, represented by transects drawn from a specific hive located on the crop border or from a specific point (in the case of the treatment without bees). In each of these transects, points were distributed according to the distance from the zero point, positioned at 12.5 m, 25 m, 50 m, 100 m, and 200 m. In the case of Capão Bonito, the first distance was 25 m, because it is a crop irrigated via a central pivot, where the entire experimental area was subject to irrigation. Each experimental plot consisted of eight soybean rows, 6 m long, totaling 120 plots in the first area (Piracicaba) and 96 plots in the second area (Capão Bonito). The cultivars sown were BRS 7380 RR and BrasMax Zeus 55I57RSF, respectively. During crop flowering, bee visitation was assessed in the experimental plots in each replicate. After harvesting the plots, the data were subjected to statistical analysis to evaluate the crop yield components in the four treatments. The results revealed that bee pollination significantly increased soybean productivity compared to treatments without bees. Furthermore, bee visitation also increased, highlighting the effectiveness of biological management and the positive impact of proximity to the hive.

Keywords: *Glycine max*; *Apis mellifera*; integrated production; sustainability.

IMPACTOS SOCIAIS, TECNOLÓGICOS, ECONÔMICOS E CULTURAIS

O trabalho teve como cerne integrar os serviços ecossistêmicos de polinização por abelhas *Apis mellifera* e o controle biológico de pragas e doenças como proposta de manejo sustentável da soja, visando a aprimorar a produtividade agrícola com menor impacto ambiental e maior eficiência econômica. O estudo apresentou resultados concretos e quantitativos, evidenciando incrementos médios de produtividade entre 15% e 58% nas áreas avaliadas, quando comparadas a sistemas convencionais, especialmente nas distâncias de até 25 metros das colmeias, onde a atividade polinizadora foi mais intensa. Do ponto de vista tecnológico, a pesquisa contribuiu para a validação de bioinsumos do Sistema Integrado Koppert (SIK), representando inovação em manejo fitossanitário e produtivo ao reduzir o uso de pesticidas químicos e ampliar a viabilidade da polinização assistida em sistemas de larga escala. No âmbito econômico, a redução de custos com insumos e o aumento de produtividade resultam em maior rentabilidade líquida, tornando o modelo proposto aplicável a diferentes contextos regionais e fortalecendo o agronegócio brasileiro em bases sustentáveis. Socialmente, o trabalho promoveu o envolvimento direto de produtores rurais, apicultores e pesquisadores das regiões de Piracicaba e Capão Bonito (SP), estabelecendo parcerias entre a Universidade Federal de Lavras (UFLA), a Embrapa Soja e a Koppert do Brasil, em ações extensionistas voltadas à transferência tecnológica, capacitação de agricultores e disseminação de boas práticas agrícolas. Estima-se que cerca de cinquenta profissionais, entre docentes, estudantes e técnicos, tenham participado das atividades vinculadas ao projeto, beneficiando indiretamente centenas de produtores com acesso ao conhecimento gerado. Ambientalmente, os resultados demonstram contribuição efetiva para a conservação da biodiversidade, proteção de polinizadores e mitigação dos impactos da agricultura intensiva, favorecendo sistemas produtivos alinhados à agenda de sustentabilidade. O trabalho se enquadra nas áreas temáticas de Meio Ambiente, Tecnologia e Produção, Educação e Trabalho, e apresenta forte aderência aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, em especial Fome Zero e Agricultura Sustentável (ODS 2), Cidades e Comunidades Sustentáveis (ODS 11), Consumo e Produção Responsáveis (ODS 12), Ação contra a Mudança Global do Clima (ODS 13), Vida Terrestre (ODS 15) e Parcerias e Meios de Implementação (ODS 17). Assim, a pesquisa consolida-se como uma ação científica e extensionista de impacto direto, integrando inovação tecnológica, sustentabilidade e fortalecimento social nas cadeias produtivas da agricultura brasileira.

SOCIAL, TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND CULTURAL IMPACTS

The work focused on integrating the ecosystem services of pollination by *Apis mellifera* bees and the biological control of pests and diseases as a proposal for sustainable soybean management, aiming to improve agricultural productivity with lower environmental impact and greater economic efficiency. The study presented concrete and quantitative results, demonstrating average productivity increases ranging from 15% to 58% in the evaluated areas when compared with conventional systems, particularly within distances of up to 25 meters from the hives, where pollination activity was most intense.

From a technological standpoint, the research contributed to validating bioinputs from the Koppert Integrated System (SIK), representing an innovation in phytosanitary and production management by reducing the use of chemical pesticides and expanding the feasibility of assisted pollination in large-scale systems. Economically, the reduction in input costs and the increase in productivity result in higher net profitability, making the proposed model applicable to different regional contexts and strengthening Brazilian agribusiness on sustainable grounds. Socially, the work promoted the direct involvement of rural producers, beekeepers, and researchers from the regions of Piracicaba and Capão Bonito (SP), establishing partnerships among the Federal University of Lavras (UFLA), Embrapa Soja, and Koppert do Brasil in extension activities focused on technology transfer, farmer training, and the dissemination of good agricultural practices. It is estimated that around fifty professionals—including faculty members, students, and technicians—participated in the project's activities, indirectly benefiting hundreds of producers through access to the knowledge generated. Environmentally, the results demonstrate an effective contribution to biodiversity conservation, pollinator protection, and mitigation of the impacts of intensive agriculture, fostering production systems aligned with the sustainability agenda. The work fits within the thematic areas of Environment, Technology and Production, Education, and Labor, and shows strong alignment with the United Nations Sustainable Development Goals, particularly Zero Hunger and Sustainable Agriculture (SDG 2), Sustainable Cities and Communities (SDG 11), Responsible Consumption and Production (SDG 12), Climate Action (SDG 13), Life on Land (SDG 15), and Partnerships for the Goals (SDG 17). Thus, the research is consolidated as a scientific and extension initiative of direct impact, integrating technological innovation, sustainability, and social strengthening in the productive chains of Brazilian agriculture.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO	6
ABSTRACT	7
IMPACTOS SOCIAIS, TECNOLÓGICOS, ECONÔMICOS E CULTURAIS	8
SOCIAL, TECHNOLOGICAL, ECONOMIC AND CULTURAL IMPACTS	9
SUMÁRIO	10
PRIMEIRA PARTE	11
REFERÊNCIAS	14
SEGUNDA PARTE	16
Sustentabilidade	17
Bioinsumos.....	18
Polinização da soja.....	19
Bioinsumos e polinização.....	20
TERCEIRA PARTE.....	21
A CASE STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN BEE POLLINATION, BIOLOGICAL CONTROL OF PESTS AND DISEASES AND SOYBEAN YIELD.....	21
ABSTRACT	21
INTRODUCTION.....	23
MATERIAL AND METHODS	25
RESULTS AND DISCUSSION	27
CONCLUSION	31
Supplemental Material	32
REFERENCES.....	34
QUARTA PARTE	36
RESUMO	36
ABSTRACT	37
INTRODUÇÃO	38
MATERIAL E MÉTODOS	39
RESULTADOS.....	41
Produtividade da soja	41
Visitação de abelhas	44
Número de grãos por vagem	48
DISCUSSÃO.....	51
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS	53
MATERIAL SUPLEMENTAR	55

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O cultivo de extensas áreas com monoculturas como estratégia para produção de alimentos reduz a diversidade de espécies do ambiente, o que, por consequência, pode propiciar desequilíbrios no ecossistema, incluindo o aumento das populações dos insetos-praga e a redução das populações dos organismos benéficos, abarcando os agentes polinizadores. A introdução de agentes polinizadores como as abelhas no ambiente permite o aumento da quantidade e da diversidade desses insetos em áreas de cultivo, e é uma estratégia interessante para melhorar o rendimento de diversas culturas agrícolas. Pesquisas indicam que há uma perda sensível desses polinizadores a nível mundial que, na polinização natural, atuam em 75% das plantas cultivadas para alimentação humana. Estima-se que cerca de 20% da produção de alimentos cultivados e 15% das culturas de sementes precisam necessariamente da ajuda de polinizadores para a polinização completa (Klein *et al.*, 2007). Dentre as abelhas existentes, a *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae) é a espécie de polinizador mais utilizada para suplementar a polinização em áreas agrícolas, devido à facilidade do seu manejo e por estar presente em abundância ao redor do mundo (BPBES, 2019).

Na literatura, a soja é reportada como uma espécie autógama, cleistogâmica, predominantemente fecundada por autopolinização. Porém, existem controvérsias, pois determinados autores evidenciam que a soja se beneficia da polinização por insetos, podendo melhorar o rendimento mesmo em espécies cleistogâmicas ou polinizadas pelo vento (Free, 1993; Robacker *et al.*, 1983). Nesse sentido, a soja é, por vezes, referida como parcialmente dependente de polinização por insetos (Klein *et al.*, 2007), mesmo boa parte da literatura reportando baixas taxas de polinização cruzada (Gallai *et al.*, 2009).

Em estudos realizados no Brasil, Argentina, Índia, China e EUA por Lautenbach *et al.*, (2012) foram relatados benefícios da polinização por insetos na cultura da soja. É importante destacar que, além de carregar o pólen de uma para outra flor, o movimento dos insetos sobre as flores melhora os índices de fecundação, em plantas autopolinizadas, fato relatado por Aizen *et al* (2008) ao verificarem melhoria dos índices de fecundação com a presença de polinizadores em plantas autofecundadas.

Ao se discutir a relação entre a polinização e rendimento de uma cultura como a da soja, é importante considerar o custo de energia dispendida pela planta para atrair os polinizadores. A necessidade das plantas por polinizadores normalmente é mensurada pelo quanto esta investe

em recompensas como o néctar. Para Milfont *et al* (2012), a autopolinização e o uso de inseticidas na cultura durante a antese, influenciaram o senso comum de que a soja não se beneficia da polinização por insetos.

As taxas de visitação podem ser influenciadas por diversos fatores, tamanho da flor, cor, abundância, disposição das flores (cachos como a alfafa ou distribuídas no caule como a soja), aroma, néctar (composição e teor), etc., levando as abelhas para outras fontes mais atrativas. As abelhas buscam fontes que tenham melhor custo/benefício e, no mesmo sentido, Monasterolo *et al* (2015) observaram efeito significativo da presença de polinizadores e distância até a floresta. Todos os componentes da produtividade da planta foram significativamente melhorados, dobrando os valores observados sem a visita de polinizadores, o que destaca o papel da floresta como reservatório de polinizadores para a soja.

A maioria das pesquisas sobre o efeito dos polinizadores na cultura da soja são feitas com o uso de gaiolas que excluem a visita de insetos e gaiolas com colônias de abelhas introduzidas. Na região norte do Paraná, Chiari *et al* (2005) avaliaram o efeito da polinização das abelhas na produção e qualidade de sementes de soja, concluindo que a produção de sementes foi maior em áreas protegidas com colônias de abelhas (50,64%) ou em área descoberta (57,73%), comparando às áreas cobertas, sem colônias de abelhas. Houve um maior número de vagens no tratamento protegido com abelhas, 61% maior quando comparado ao mesmo tratamento protegido, porém sem abelhas. No entanto, o peso médio de 100 sementes foi maior na área protegida, sem a visitação de abelhas.

Em outro estudo, Chiari *et al* (2008) verificaram que os rendimentos de soja na área protegida com a presença de abelhas, foram de 2.757 kg/ha e na área descoberta foram de 2.828 kg/ha, ambos superiores à área protegida sem a presença das abelhas (2.000 kg/ha). O número médio de vagens/planta foi maior na área protegida com abelhas (38) e na área descoberta (32), em comparação com a área protegida sem abelhas (21), mas não houve diferença para o peso das sementes ou para o poder germinativo delas.

O aumento da produtividade da soja na presença de uma população de *A. mellifera* foi verificado somente associado ao alto potencial de produtividade proporcionado pela presença de condições agronômicas adequadas, com incremento médio de 15 %, associado ao maior número de grãos de soja por vagem e ao peso médio de 100 grãos. Em condições com restrições para a expressão do máximo potencial da cultura, como solos com compactação subsuperficial, a polinização entomófila suplementar não aumentou a produtividade da cultura. (Gazzoni *et al*, 2022). Pelo exposto acima, fica clara a importância de se estabelecer a relação entre a presença e a abundância populacional de polinizadores e a produtividade de soja. A parceria da

Universidade Federal de Lavras com a Embrapa Soja e demais empresas, por meio de projetos de pesquisa, é apenas uma parte do estudo sobre a importância da inclusão dos polinizadores no programa de manejo fitossanitário sustentável da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

AIZEN, Marcelo A.; MORALES, Carolina L.; MORALES, Juan M. Invasive Mutualists Erode Native Pollination **Webs. PLoS Biology**, v. 6, n. 2, p. e31, 12 fev. 2008. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.0060031>. Acesso em: 25 nov. 2025.

BPBES – PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS; REBIPP – REDE BRASILEIRA DE INTERAÇÕES PLANTA- POLINIZADOR. **Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.bpb.es.net.br/produto/polinizacao-polinizadores-e-producao-de-alimentos-no-brasil/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

CHIARI, Wainer César *et al.*, Polinização por *Apis mellifera* em soja transgênica [Glycine max (L.) Merrill] Roundup Ready™ cv. BRS 245 RR e convencional cv. BRS 133. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 2, p. 31-36, 4 abr. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/8WnPqjLQjT5s3jYh8kYF8Wz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 nov. 2025.

CHIARI, Wainer César *et al.*,. Pollination of soybean (*Glycine max* L. Merrill) by honeybees (*Apis mellifera* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 1, p. 31–36, jan. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/Y9s5P5j4W4W4kqY7kqY7kqY7/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 25 nov. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim da safra de grãos**. Brasília, DF, [s.d.]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 25 nov. 2025.

FREE, John B. **Insect pollination of crops**. 2. ed. London: Academic Press, 1993.

GALLAI, Nicola *et al.*,. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 810–821, jan. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.014>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GAZZONI, Décio Luiz. **Soja e abelhas**. Brasília, DF: Embrapa Soja, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071014/soja-e-abelhas>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GAZZONI, Décio Luiz; BARATEIRO, J. V. G. R. Paz. Soybean yield is increased through complementary pollination by honey bees. **Journal of Apicultural Research**, v. 63, n. 4, p. 801–812, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2161219>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GAZZONI, Décio Luiz; BARATEIRO, J. V. G. R. Paz; SANTOS, P. da Rosa. Supplemental bee pollination effect on the yield of soybean grown in a low yield potential condition. **Journal of Apicultural Research**, v. 63, n. 4, p. 788–800, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2047264>. Acesso em: 25 nov. 2025.

KLEIN, Alexandra-Maria *et al.*, Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1608, p. 303–313, 7 fev. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>. Acesso em: 25 nov. 2025.

KOPPERT BIOLOGICAL AGROSYSTEMS. **Portfólio de produtos 2021**. [S.l.], 2021. Disponível em: <https://www.koppert.com.br/produtos-e-solucoes/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

LAUTENBACH, Sven *et al.*, Spatial and Temporal Trends of Global Pollination Benefit. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, p. e35954, 26 abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035954>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MILFONT, Marcelo de Oliveira. **Uso da abelha melífera (*Apis mellifera* L.) na polinização e aumento de produtividade de grãos em variedade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) adaptada às condições climáticas do nordeste brasileiro**. 2012. 78 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/5393>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MONASTEROLO, M.; MUSICANTE, M. L.; VALLADARES, G. R.; SALVO, A. Soybean crops may benefit from forest pollinators. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 202, p. 217–222, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.007>. Acesso em: 25 nov. 2025.

ROBACKER, D. C. *et al.*, Effects of climatic and edaphic factors on soybean flowers and on the subsequent attractiveness of the plants to honey bees. **Field Crops Research**, v. 6, p. 267–278, jan. 1983. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(83\)90066-X](https://doi.org/10.1016/0378-4290(83)90066-X). Acesso em: 25 nov. 2025.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO 1 – Artigo de revisão publicado na revista Cultivar Grandes Culturas (ed. 300). Abaixo, o texto nas normas da revista¹.

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

Soja sustentável: aprimorando a polinização com o uso de bioinsumos

Décio Luiz Gazzoni¹, João Vitor Ganem Rillo Paz Barateiro² e Stephan M. Carvalho³

¹ Pesquisador da Embrapa Soja; ² Doutorando em Entomologia/UFLA; ³Professor da UFLA.

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de soja. Apesar da redução prevista para a safra 2023/24 (146 milhões de toneladas) se comparada com a safra 2022/23 (154 milhões de toneladas), as projeções de longo prazo indicam que será mantida a taxa de crescimento da produção brasileira para as próximas décadas.

Presente nos mais diversos segmentos, desde a fabricação de ração animal, óleo e até na composição de cosméticos e biocombustível, a importância da soja está relacionada, mundialmente, com temas que envolvem indicadores de sustentabilidade, sejam eles de base agronômica, socioeconômica ou ambiental. A crescente demanda da soja, impulsionada pelo crescimento da população mundial e da sua renda per capita, impõe a necessidade de adoção de sistemas de produção cada vez mais sustentáveis.

¹ GAZZONI, D. L.; BARATEIRO, J. V. G. R. P. e CARVALHO, S. M. Soja sustentável. Cultivar Grandes Culturas, v. 300, p. 10-13, jul 2024.

Sustentabilidade

Sustentabilidade é o uso consciente dos recursos naturais para obtenção de produtos agrícolas no presente, sem comprometer o bem-estar das gerações futuras. Para tanto, é fundamental encontrar o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico, a preservação ambiental e o atendimento dos quesitos sociais. Alimentar a população mundial é o grande desafio, mas, talvez, não seja o maior. Nas próximas décadas, não bastará somente produzir alimentos, isso terá que ser feito com sustentabilidade!

Essa é uma exigência que está sendo posta pela sociedade global, transformada em regras comerciais, sejam elas aplicadas por imposições legais de países ou blocos importadores de alimentos, por convenções internacionais ou por meio de certificações privadas. Quem não se adaptar a essas reivindicações perderá espaço comercial e, no limite, será alijado do negócio. Um elemento-chave para atender às exigências de sustentabilidade é o aumento da produtividade, de forma sustentável. Isso requer o aprimoramento tecnológico, como é o caso de cultivares cada vez mais eficientes quanto à sua adaptabilidade aos diversos ambientes e regiões, às condições adversas de solo, e à tolerância ou resistência ao ataque de pragas e doenças. Com o incremento de produtividade, reduz-se proporcionalmente a necessidade de expansão horizontal das áreas de cultivo.

Desta forma, é muito importante a observância das recomendações dos programas de manejo de pragas, com o uso de produtos fitossanitários apenas quando necessários, com o menor impacto possível sobre o ecossistema em que a área agrícola está inserida.

Bioinsumos

A utilização de biopesticidas está crescendo a altas taxas, em todo o mundo. Na última safra (24/25), a taxa de incremento mundial foi de 23%. A expectativa é que o mercado global de biopesticidas supere US\$ 17 bilhões até o final da presente década. Nos últimos anos, a taxa de crescimento desse mercado, no Brasil, tem sido o dobro da média mundial, abrangendo quase 10% do mercado na safra 2022/23, com valor estimado superior a US\$ 830 milhões. Impulsionado pelo mercado ascendente, no ano de 2020 o governo federal instituiu o Programa Nacional de Bioinsumos.

As projeções indicam que, ainda nesta década, o Brasil deve se tornar líder global na utilização destes produtos, que compreendem microrganismos, macroorganismos, extratos e enzimas para o controle de pragas e doenças.

A soja é um bom exemplo da aceitação dos agricultores, observando-se aumento do uso de bioinsumos nas lavouras, substituindo parcela dos pesticidas tradicionais. E aí surge uma grande oportunidade a ser explorada, que é a conjugação de bioinsumos e polinização. A polinização, e os polinizadores, em especial as abelhas, são velhos conhecidos dos fruticultores, em especial no Hemisfério Norte, como Estados Unidos e Europa. No Brasil, os melhores exemplos também estão na fruticultura, como melão e maçã, que são cultivos altamente dependentes de polinização biótica. Mas a tecnologia está conseguindo muitos adeptos entre os sojicultores brasileiros.

Polinização da soja

Apesar de a cultura da soja não necessitar da polinização biótica para produzir grãos ou sementes, a presença de abelhas pode aumentar a produtividade da lavoura, sem o aumento de custos para o sojicultor. Esta interação (soja e abelhas) também favorece a integração de atividades no campo, como a agricultura e apicultura, em que o agricultor é favorecido pelo aumento da produtividade e o apicultor se beneficia do pasto apícola da soja.

A sustentabilidade e eficiência no cultivo de soja vêm sendo impulsionadas por leis nacionais, convenções internacionais, exigências de mercado e, principalmente, pela própria sociedade, cada vez mais atenta e crítica ao que consome. A agricultura brasileira, submetida ao rigoroso e complexo código florestal, é exemplo a ser seguido pelo restante do planeta. A adoção de sistemas integrados, com o uso de tecnologias amigáveis ao meio ambiente e potencialmente mais produtivas, já é realidade nas principais regiões sojicultoras do país.

A polinização suplementar na cultura da soja foi extensivamente estudada nas últimas duas décadas. Como resultado das pesquisas em campo, hoje dispomos de sólido embasamento científico à disposição de profissionais da área, produtores rurais e demais interessados, que está impulsionando a integração entre abelhas e a cultura da soja.

Os resultados disponíveis mostram incrementos de produtividade que, em alguns estudos, ultrapassaram os 40%. Nos estudos próprios da Embrapa, atingiu-se até 18% e, na média de diversos anos e locais, foi de 13%. Com isso reduz-se a necessidade de ampliação da área de cultivo, para obter a mesma produção, e o agricultor obtém um acréscimo de renda líquida, porque não altera seu sistema de produção, mantendo o custo de produção, enquanto sua renda bruta cresce.

Para os apicultores, além da oferta abundante de pasto apícola de ótima qualidade, há o ganho adicional de o florescimento da soja ocorrer em um período em que escasseiam outras fontes de recursos para as abelhas. Por conta disso, muitos apicultores efetuavam a suplementação alimentar das abelhas nessa época, onerando seu custo de produção. E o mel de soja tem sido muito bem aceito pelo consumidor e pela indústria, em função de seu sabor e aroma agradáveis e pela característica de difícil cristalização, mesmo em baixas temperaturas. Em função dos estudos realizados, vislumbra-se uma excelente oportunidade para o agronegócio brasileiro, aumentando a produtividade, diversificando a renda no campo e potencializando serviços ecossistêmicos que beneficiam o rendimento das lavouras.

Bioinsumos e polinização

O uso dos bioinsumos, aliado à adoção do Manejo Integrado de Pragas e outras boas práticas, permite a preservação da natureza ao tempo em que são obtidos ganhos de produtividade. No meio termo da agricultura orgânica e agricultura convencional, a adoção da agricultura conservacionista cresce exponencialmente e é entendida como caminho a ser seguido nos próximos anos, balizada pelas mudanças climáticas e pelo aumento da demanda de produtos agrícolas.

A utilização dos bioinsumos na soja é uma poderosa ferramenta para permitir uma integração harmônica entre abelhas e sojicultura. Nas lavouras em que o manejo de pragas é realizado com biopesticidas, o impacto negativo sobre os polinizadores é minimizado, normalmente sendo inexistente.

Essa conclusão deriva de pesquisas realizadas pela parceria Embrapa Soja e Universidade Federal de Lavras, tanto em áreas experimentais quanto comerciais, em que a produtividade da soja e a atividade das abelhas nas lavouras foram monitoradas. Os resultados mostraram que, em ambientes com menor utilização de agroquímicos, associados à polinização assistida por abelhas da espécie *Apis mellifera*, a produtividade da soja foi superior entre 10 e 20%, quando comparada aos ambientes sem a presença dos polinizadores.

Para tanto, é fundamental que ocorra uma integração harmônica entre a cultura da soja e as abelhas. E o uso de bioinsumos, como os bioinseticidas, é uma ação que favorece essa integração, pois eles não impactam negativamente as abelhas.

TERCEIRA PARTE

ARTIGO 2 - This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

A CASE STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN BEE POLLINATION, BIOLOGICAL CONTROL OF PESTS AND DISEASES AND SOYBEAN YIELD

João Vitor Ganem Rillo Paz Barateiro¹; Stephan Malfitano Carvalho¹; Décio Luiz Gazzoni²; Alexandre dos Santos¹; Marcelino Borges de Brito³

¹Department of Entomology of the Federal University of Lavras. ²Embrapa Soja. ³Koppert do Brasil

ABSTRACT

Brazil is the world's largest producer and exporter of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill), with an estimated production of 166 million tons, occupying 47 million hectares. Although it is considered a self-pollinating species, several soybean cultivars show increased yield when pollinated by bees. This study was carried out at Fazenda Vale Verde in Capão Bonito, São Paulo State, during the 2021/22, 2022/23, and 2023/24 soybean growing seasons, to evaluate the impact of visits of *Apis mellifera* bees to soybean flowers on soybean yield, thus providing supplementary pollination, associated or not to biological management of soybeans pests, using Koppert Integrated System. Four treatments were tested, as follows: a) "CONTROL" (conventional management); b) "SIK" (biological pest and disease management); c) "CONTROL+BEE" (conventional management + pollination), and d) "SIK+BEE" (biological management + pollination), with six repetitions. Each plot, located inside a soybean field, consisted of 8 soybean rows measuring 6 meters in length. The plots were located at distances starting from a beehive, or from a specific point (in the case of the control treatment without bees) at the field edge. The distances considered were 25m, 50m, 100m, and 200m, totaling 96 plots. The cultivar used was BrasMax Zeus - 55I57 RSF IPRO. The results revealed that bee pollination significantly increased soybean yield compared to treatments without bees, with the biological management plus bees' treatment showing the highest yield increase, particularly in the 2021/22 season with 58% increment (SIK+BEE at 25m: 7,047.6 kg/ha) compared to the

control (CONTROL at 200m: 4,448.1 kg/ha). Furthermore, bee visits also increased, especially in the SIK+BEE treatment, highlighting the effectiveness of biological management and the positive impact of hive proximity.

Keywords: *Glycine max*, *Apis mellifera*, integrated production, sustainability.

INTRODUCTION

Pollination is one of the most essential ecological services for global food systems, as it contributes directly to plant reproduction and enhances both quality and productivity of crops (Vieira *et al.*, 2021). An estimated 75% of crops consumed by humans depend, at least partially, on animal pollinators - especially bees - for their yield and seed set (BPBES, 2019; Chiari *et al.*, 2008).

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), though classified as predominantly self-pollinating, exhibits improved productivity when subjected to entomophilous pollination (Milfont, 2012). Several studies conducted in Brazil demonstrated that bee pollination can increase seed formation and pod development by up to 18%, even in genetically modified and conventional cultivars (Gazzoni *et al.*, 2022; Gazzoni; Barateiro, 2023; Chiari *et al.*, 2008). This reinforces the strategic role of pollinators in both traditional and modern agriculture (Bpbes, 2019).

The Africanized honeybee (*Apis mellifera* L., 1758) is widely used in tropical agricultural systems due to its adaptability, strong foraging behavior, and synchronized activity with soybean flowering cycles (Chiari *et al.*, 2005; Milfont, 2012). These bees prefer morning hours, when nectar secretion is highest, enhancing their efficiency in soybean fields (Chiari *et al.*, 2005; Gazzoni, 2017).

However, achieving efficient pollination is not simply a matter of introducing hives into crop areas. It depends fundamentally on how and where these hives are positioned across the field (Gazzoni; Barateiro, 2023). Empirical research shows that hive placement within 25–50 meters from soybean rows significantly increases visitation and yield, whereas distances beyond 100 meters diminish pollination efficiency (Gazzoni *et al.*, 2022; Chiari *et al.*, 2005).

Strategic hive distribution also prevents pollination gaps within large fields, ensuring uniform floral visitation (Chiari *et al.*, 2008). Inadequate placement, such as concentrating hives only at field edges, creates central zones of low activity, resulting in uneven development and reduced productivity (Gazzoni; Barateiro, 2023).

Sustainable farming practices must also be aligned with pollinator health to maximize benefits. Reduced pesticide use during flowering and adoption of integrated pest management are essential to protect *A. mellifera* and ensure pollination continuity (Milfont, 2012; Altieri, 2012). Furthermore, native vegetation and ecological corridors adjacent to the crop act as vital sources of nutritional and nesting resources, strengthening pollinator presence (Monasterolo *et al.*, 2015). Under favorable agronomic conditions—such as well-structured soils and sufficient nutrient supply—bee pollination can lead to yield increases of up to 15%, improving pod filling

and seed weight (Gazzoni *et al.*, 2022). In contrast, under stress conditions like compacted soil or nutrient deficiencies, pollination response is limited (Gazzoni; Barateiro, 2023). Additionally, floral traits and plant reproductive mechanisms—such as partial self-incompatibility—may influence pollination effectiveness, especially in hybrid or modified cultivars (Gauze; Cabrillac, 2001).

Thus, understanding pollination as a manageable component of the soybean production system opens new possibilities for yield optimization. Supplementary pollination - through properly distributed and well-managed hives - should be viewed not as a secondary input, but as a key biological asset to meet growing food demands sustainably and efficiently (Torres; Bueno, 2018; Chiari *et al.*, 2005; Bpbes, 2019).

MATERIAL AND METHODS

This experiment was conducted during three consecutive growing seasons (2021/22, 2022/23, and 2023/24) at Fazenda Vale Verde, located in Capão Bonito, São Paulo State (-24.035217 S, -48.285388 W). For the phytosanitary management the "SIK - Koppert Integrated System" protocol (<https://11nq.com/8zHZr>) was implemented, representing an integrated approach to pest and disease management using biological products from Koppert Biological Control Brasil, with or without assisted pollination by Africanized honeybees (*A. mellifera*).

The cultivar used in this experiment was Brasmax Zeus – 55I57RSF (maturity group 5.5), with the seed treatments described in supplementary information. The other management practices followed the farm's standard, adjusted according to the product instructions and the specific needs of the crop. Four treatments were tested: a) "CONTROL" (conventional management); b) "SIK" (biological pest and disease management); c) "CONTROL+BEE" (conventional management + pollination); and d) "SIK+BEE" (biological management + pollination). Weekly pest monitoring was performed throughout the soybean cycle. Phytosanitary measures were carried out by the team responsible for the areas, under the strict supervision of the project team, which provided guidance according to the phenological stages of soybean and the principles of the Integrated Soybean Insect Pest and Disease Management Program. Each main plot was subdivided into 6 experimental plots (transects), each containing 8 soybean rows and measuring 6 meters in length. The conventional management plot was under the responsibility of the farmer. The "SIK+BEE" plot was demarcated by placing beehives at the edge of the field, where phytosanitary management of the crop was carried out, under the supervision of the first author. For the treatments with beekeeping, the hives were placed on the edge of the crop. For treatments without bees, the plots were demarcated in areas more than 1000 m away from the plots with bees or from areas close to native forests (possible natural repositories) to avoid interference between treatments. Six transects were established perpendicular to the edge of the field where the hives were placed, with sampling points located at distances of 25 m, 50 m, 100 m and 200 m from the hives. Langstroth-type hives were used, containing 10 frames and an estimated population of more than 60,000 individuals each. The installation, management and removal of the hives were the responsibility of the local beekeeper. Fixed sampling points for flowering and harvesting activities were marked with GPS. At each point, bee visitation was assessed during flowering, where an evaluator remained in the center of each experimental plot for 5 minutes to count the bees. Each transect represented a replicate.

After the flowering period, the hives were removed from the field. At the end of the crop cycle, 25 m² of useful area were manually harvested at each sampling point, both in the conventional management area and in the integrated management + pollination area to calculate the crop productivity (kg/ha). A 2-meter section of the soybean row was harvested separately to calculate agronomic parameters, such as number of grains per pod and number of pods per plant.

For the variables of bee visitation and productivity, Generalized Linear Mixed Models (GLMMs) were used, which assessed the combined influence of two explanatory variables: the four treatments (CONTROL + BEE, SIK + BEE, CONTROL without BEE, and SIK without BEE) and different distances of the cultivation area from the beehives. For the analysis of the relationship between the treatments and the number of grains per pod (0, 1, 2, 3, or 4), a χ^2 test of independence was applied ($p < 0.05$).

The validation of the GLMMs was performed through an Anova (χ^2 , $p < 0.05$) to test the significance of the effects. When a significant effect was found, a post-hoc test of contrast of least-squares means was executed to identify the specific differences between treatments and/or distances. All analyses were conducted in the R software with the glmmTMB package for mixed modeling and the emmeans package for the mean comparisons.

RESULTS AND DISCUSSION

The results between the distance (m) and the soybean yield (kg/ha), by the treatments, in the three crop seasons are shown in Figure 1. The highest difference among treatments was observed in the 2021/22 season, when the SIK+BEE treatment, at 25 meters, showed the highest yield (7,047.6 kg/ha), 2,599.5 kg/ha superior to the CONTROL at 200 meters (4,448.1 kg/ha). In the 22/23 harvest, the SIK+BEE treatment, at 50 meters, achieved the highest yield (5,675.1 kg/ha), surpassing the CONTROL treatment at 200 meters (5,124.7 kg/ha) by 550.4 kg/ha. Finally, in the 23/24 harvest, the SIK+BEE treatment at 25 meters recorded the highest yield (4,818.8 kg/ha), with a difference of 196.1 kg/ha more than the CONTROL treatment at 200 meters (4,622.6 kg/ha).

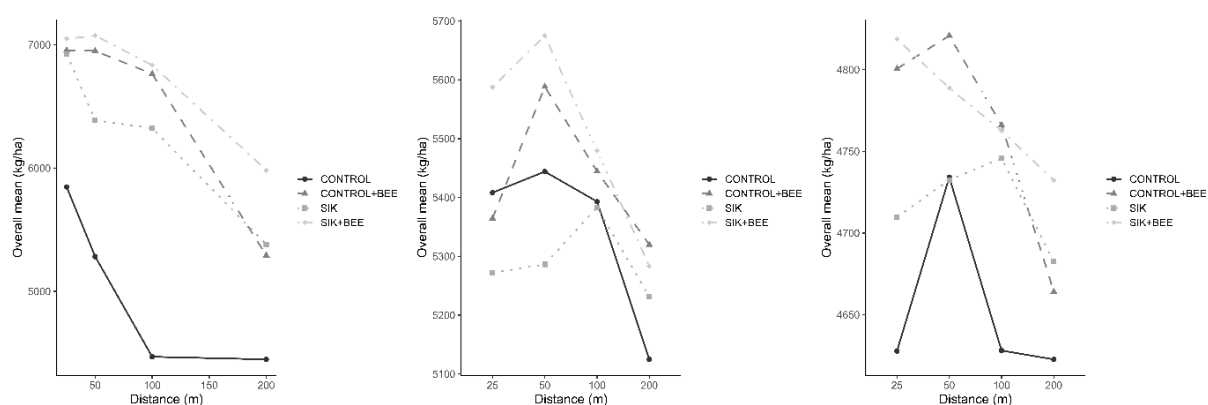


Figure 1. Overall mean(kg/ha) in relation to distance (m) and the treatments, by season.

The overall mean in relation to distance for the 2021/22 agricultural harvest for the distance of 25 m was 6,694.1 kg/ha, which allowed an increase of 1,418.2 kg/ha higher than at 200 meters (5,276.0 kg/ha). In the 22/23 season, the 50-meter distance (5,498.4 kg/ha) produced 258.6 kg/ha more than the 200-meter distance (5,239.8 kg/ha). In the 23/24 harvest, yield at 50 meters (4,769.1 kg/ha; letter a) exceeded the one at 200 meters (4,675.3 kg/ha) by 93.8 kg/ha. These results highlight that greater distances from the hives negatively affect crop yield, particularly in 21/22, most probably due to decreased pollination efficiency at greater distances from hives (Figure 2).

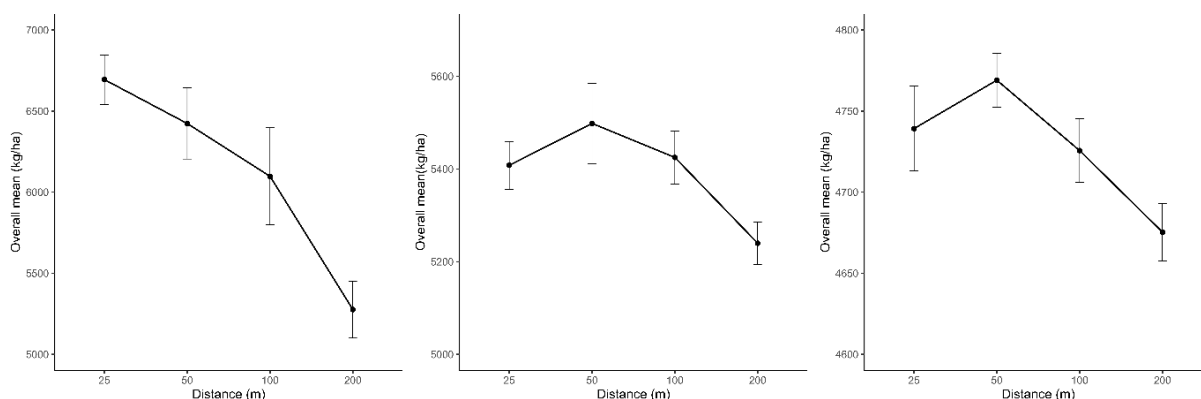


Figure 2. Overall mean(kg/ha) as a function of distance (m).

The average number of bee visits to soybeans according to the distance (m) during the 21/22, 22/23, and 23/24 seasons presented in Figure 3. In all of them, there was a reduction in visits as the distance from the hives or the soybean field edge increased. In the 21/22 season, this reduction was 0.86 visits, decreasing from 0.89 (25 meters) to 0.04 (200 meters). In the 2022-23 harvest, the maximum reduction was 0.70 visits, dropping from 0.91 (25 meters) to 0.21 (200 meters). In the 23/24 harvest, the decline was even more pronounced, with a reduction of 1.02 visits, from 1.11 (25 meters) to 0.09 (200 meters). These results clearly show that bee activity is concentrated in areas closer to the bee repository or hives, which can reduce pollination efficiency at greater distances and, consequently, impact crop yield.

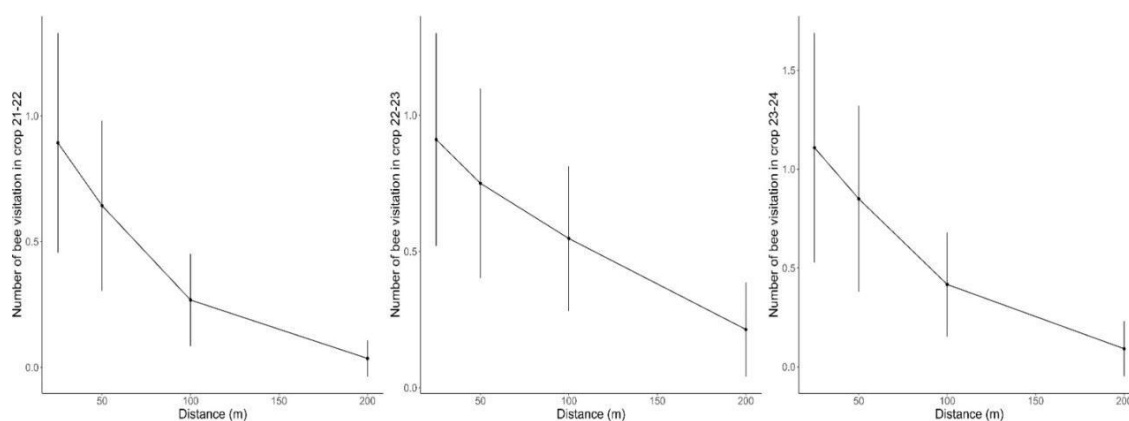


Figure 3. Average number of bee visits in relation to the distance (m) from the soybean field edge or the hives, for the 2021-22, 2022-23, and 2023-24 harvests.

The average number of bee visits for the treatments throughout the three seasons is shown on Figure 4. In the 21/22 one, the SIK+BEE treatment showed the highest number of visits, with a difference of 1.14 visits compared to the CONTROL treatment (without bees), which had the lowest value (almost zero). In the 22/23 harvest, the difference between SIK+BEE (highest number of visits) and CONTROL (lowest number) was up to 1.21 visits. In the 23/24 harvest, the difference was even more noticeable, with SIK+BEE reaching an average

of 1.64 more visits compared to the CONTROL treatment, presenting no visits. These results demonstrate the positive impact of the presence of bees in the border of the soybean field on bee visits and pollination of soybean flowers.

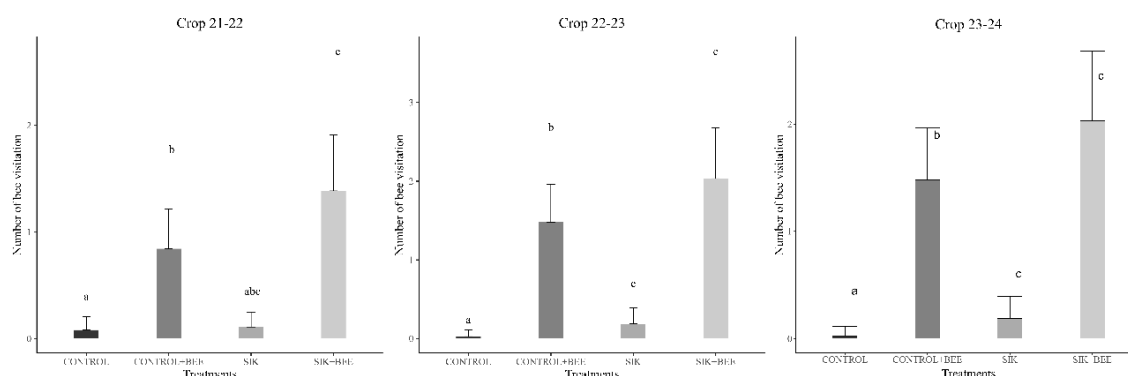


Figure 4. The average number of bee visits for the treatments throughout the three harvests.

The variance analysis revealed that the SIK+BEE treatment had a significant effect on both yield and bee visitation in all seasons. In the 21/22 season, the interaction between treatment and distance was statistically significant ($p=0.0056$), indicating that the combination of management practices and proximity to the hives positively affected soybean production. For bee visitation, this interaction was significant in the 23/24 season ($p=0.0025$). The use of advanced statistical models, such as GLMM (Generalized Linear Mixed Model), reinforced the robustness of the findings, showing that treatments including bees (SIK+BEE and CONTROL+BEE) were consistently superior in both yield and bee visitation. The SIK+BEE treatment proved to be the most efficient in terms of yield, especially at 25 meters.

The data also indicated that soybean plants pollinated by *A. mellifera* had a higher frequency of pods containing three or more grains. This supports previous studies that emphasize the crucial role of bees as natural pollinators, not only by increasing the number of grains but also by improving agronomic traits, such as the number of pods per plant and grain quality (Garibaldi *et al.*, 2013; Gazzoni, Barateiro, 2022).

These gains have significant practical implications for soybean farmers, resulting in substantial economic benefits, particularly in the context of growing food demand and limited agricultural resources. Moreover, the use of biological products and the integration of management techniques that promote the health of natural pollinator populations presents an effective solution for increasing yield and the sustainability of agriculture, as reported by Torres and Bueno (2018).

The aggregate analysis of the seasons reinforces the superiority of treatments that included bees, especially when combined with the use of bioinputs. The treatments with *A. mellifera* showed the highest yield, closely associated with higher number of bees' visits.

Accordingly, the SIK+BEE treatment achieved an average of 6,857 kg/ha and 38.2 total visits, followed by CONTROL+BEE with 6,617 kg/ha and 37.7 visits. Contrarily, treatments without pollinators, such as SIK and CONTROL, showed lower yields of 6,310 kg/ha and 5,096 kg/ha, respectively, highlighting the essential contribution of pollinators to soybean yield.

CONCLUSION

Placing hives closer to the soybean field (25m) demonstrated to be more efficient in terms of pollination, contributing to higher productivity and bee visitation in all seasons. According to the results, integrating natural pollinators with biological control of pests significantly enhances results.

The results emphasize the importance of bee pollination in increasing agricultural yield and demonstrate that integrating pollinators with adequate and sustainable management practices, such as using bioinputs, can be an effective strategy for optimizing soybean production systems for higher sustainable yields. Adopting technologies that promote natural pollination, combined with proper agronomic management, emerges as a promising approach for modern agriculture.

Supplemental Material

1. Koppert products used in seed treatment (“SIK” and “SIK+BEE”).

Product	Product class	Composition	Dose
Stingray	Bioestimulant	<i>Ascophyllum nodosum</i>	200mL/ha
Veraneio	Biological nematicide	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	200g/ha
Trichodermil	Microbiological fungicide nematicide and	<i>Trichoderma harzianum</i>	200mL/ha
Rizokop	Co-inoculant	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	500mL/ha
Azokop	Co-inoculant	<i>Azospirillum brasilense</i> (AbV5 e AbV6)	200mL/ha

Source: Reported by the farmer/Koppert portfolio, 2021.

2. Products used in seed treatment. (“CONTROL” e “CONTROL+BEE”).

Produto	Composition	Dose
Fungicide/Insecticide	Fipronil + Pyraclostrobin + Methyl Thiophanate	2mL/ kg
Insecticide/Nematicide	Imidacloprid + Thiodicarb	3mL/ kg

Source: Reported by the farmer.

3. Statistical analysis by season

Yield by distances in the harvest 21/22			
DISTANCE	Total Yield	SD_total_Yield	
25	6,694.132	152,1954	a
50	6,423.403	218,5089	c
100	6,097.639	298,8246	b
200	5,275.972	176,1073	d
Yield by distances in the harvest 22/23			
DISTANCE	Total Yield	SD_total_Yield	
25	5,407.951	51,76051	a
50	5,498.438	86,44193	c
100	5,424.965	57,1139	b
200	5,239.792	45,46298	d
Yield by distances in the harvest 23/24			
DISTANCE	Total Yield	SD_total_Yield	
25	4,739.201	26,09182	a
50	4,769.062	16,68548	a
100	4,725.625	19,70164	b
200	4,675.347	17,84548	c

Bee visitation by distances in the harvest 21/22			
DISTANCE	Total bee	SD_total_bee	
25	0,89285714	0,43585204	a
50	0,64285714	0,33675784	b
100	0,26785714	0,18252677	ab
200	0,03571429	0,07035116	ab
Bee visitation by distances in the harvest 22/23			
DISTANCE	Total bee	SD_total_bee	
25	0,9107143	0,3898418	a
50	0,75	0,3454457	b
100	0,547619	0,2642339	bc
200	0,2142857	0,1712574	c
Bee visitation by distances in the harvest 23/24			
DISTANCE	Total bee	SD_total_bee	
25	1,10833333	0,5793481	a
50	0,85000000	0,4690928	b
100	0,41666667	0,2619684	bc
200	0,09166667	0,1385557	c

REFERENCES

BPBES – PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS; REBIPP – REDE BRASILEIRA DE INTERAÇÕES PLANTA-POLINIZADOR. **Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.bpb.es.net.br>. Acesso em: 25 nov. 2025.

CHIARI, Wainer César *et al.* Floral Biology and Behavior of Africanized Honeybees *Apis mellifera* in Soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 48, n. 3, p. 367-378, maio 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/Ljnz8pQ4kYjqY7kqY7kqY7k/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 25 nov. 2025.

CHIARI, Wainer César *et al.* Pollination of Soybean (*Glycine max* L. Merrill) by Honeybees (*Apis mellifera* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 48, n. 1, p. 31-36, jan. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/Y9s5P5j4W4W4kqY7kqY7kqY7/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 25 nov. 2025.

CHIARI, Wainer César *et al.* Polinização por *Apis mellifera* em soja transgênica [*Glycine max* (L.) Merrill] Roundup Ready™ cv. BRS 245 RR e convencional cv. BRS 133. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 267-271, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/8WnPqjLQjT5s3jYh8kYF8Wz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 nov. 2025.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Boletim da safra de grãos**. Brasília, DF, [s.d.]. Disponível em: [da-safra-de-graos](https://www.conab.gov.br/boletim-da-safra-de-graos). Acesso em: 25 nov. 2025.

EMBRAPA. **Sistema de produção de soja: Região central do Brasil 2022**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GARIBALDI, L. A. *et al.* Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1608–1611, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1230200>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GAUDE, T.; CABRILLAC, D. Self-incompatibility in flowering plants: The Brassica model. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie**, Paris, v. 324, n. 6, p. 537-542, 2001.

GAZZONI, Décio Luiz. **Soja e abelhas**. Brasília, DF: Embrapa Soja, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071014/soja-e-abelhas>. Acesso em: 25 nov. 2025.

GAZZONI, Décio Luiz; BARATEIRO, J. V. G. R. Paz. Soybean yield is increased through complementary pollination by honey bees. **Journal of Apicultural Research**, v. 63, n. 4, p. 801–812, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2161219>. Acesso em:

25 nov. 2025.

GAZZONI, Décio Luiz; BARATEIRO, J. V. G. R. Paz; SANTOS, P. da Rosa. Supplemental bee pollination effect on the yield of soybean grown in a low yield potential condition. **Journal of Apicultural Research**, v. 63, n. 4, p. 788–800, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2047264> . Acesso em: 25 nov. 2025.

KOPPERT BIOLOGICAL AGROSYSTEMS. **Portfólio de produtos 2025**. [S.l.], 2025. Disponível em: <https://www.koppert.com.br/produtos-e-solucoes/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

MILFONT, Marcelo de Oliveira. **Uso da abelha melífera (*Apis mellifera* L.) na polinização e aumento de produtividade de grãos em variedade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.) adaptada às condições climáticas do nordeste brasileiro**. 2012. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/5393> . Acesso em: 25 nov. 2025.

MONASTEROLO, M. *et al.* Soybean crops may benefit from forest pollinators. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 202, p. 217–222, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.007>. Acesso em: 25 nov. 2025.

NICHOLLS, Clara I.; ALTIERI, Miguel A. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, p. 257–274, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0092-y>. Acesso em: 25 nov. 2025.

TORRES, Jorge Braz; BUENO, Adeney de Freitas. Seletividade de produtos fitossanitários a inimigos naturais de pragas da soja. In: _____. **Bioinsumos na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. p. xx-xx.

VIEIRA, Fábio R.; ANDRADE, Daniela C.; RIBEIRO, Fábio L. A polinização por abelhas sob a perspectiva da Abordagem de Serviços Ecossistêmicos (ASE). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 4, p. 544–560, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0046>. Acesso em: 25 nov. 2025.

QUARTA PARTE

ARTIGO 3 - O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Impacto da polinização por *Apis mellifera* na produtividade da soja: efeitos do manejo biológico integrado

João Vitor Ganem Rillo Paz Barateiro¹; Stephan Malfitano Carvalho¹; Décio Luiz Gazzoni²; Alexandre dos Santos¹; ³Marcelino Borges de Brito

¹Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras. ²Embrapa Soja. ³Koppert do Brasil

RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal commodity brasileira, sendo essencial na saúde e na alimentação humana e animal no mundo todo (Conab, 2025). Embora seja considerada uma espécie autógama, muitas cultivares apresentam incremento de produtividade quando submetidas à polinização suplementar realizada por abelhas *Apis mellifera*. O presente estudo foi desenvolvido no município de Piracicaba-SP, na Estação Experimental de Genética – Anhumas da Esalq-USP, durante as safras 2021/22, 2022/23 e 2023/24, com o objetivo de avaliar o impacto desta polinização suplementar associada ou não ao manejo fitossanitário com produtos biológicos do Sistema Integrado Koppert (SIK). Foram testados quatro tratamentos, sendo eles: a) controle sem abelhas (CONTROL); b) controle mais abelhas (CONTROL+BEE); c) manejo biológico mais abelhas (SIK+BEE); e d) manejo biológico sem abelhas (SIK), com seis repetições. Cada parcela, localizada dentro de um campo de soja, foi composta por 8 linhas de soja com 6 metros de comprimento. As parcelas foram localizadas a distâncias a partir de uma colmeia ou de um ponto específico (no caso do tratamento controle sem abelhas) na borda do campo. As distâncias consideradas foram 12,5 m, 25 m, 50 m, 100 m e 200 m, totalizando 120 parcelas. A cultivar utilizada foi a BRS 7380 RR. Os resultados demonstraram que o tratamento SIK+BEE proporcionou os maiores índices de produtividade, melhor distribuição de vagens com três e quatro grãos e maior atividade polinizadora, ressaltando os ganhos significativos da produção sustentável.

Palavras-chave: *Glycine max*; abelhas; mip.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is Brazil's main commodity, essential for human and animal health and nutrition worldwide (Conab, 2025). Although considered a self-pollinating species, many cultivars show increased productivity when subjected to supplemental pollination by *Apis mellifera* bees. This study was conducted in the municipality of Piracicaba- SP, at the Anhumas Genetics Experimental Station of Esalq-USP during the 2021/22, 2022/23, and 2023/24 growing seasons, with the objective of evaluating the impact of this supplemental pollination, associated or not with phytosanitary management using biological products from the Koppert Integrated System (SIK). Four treatments were tested: a) control without bees (CONTROL); b) control plus bees (CONTROL+BEE); c) biological management plus bees (SIK+BEE); and d) biological management without bees (SIK), with six replicates. Each plot, located within a soybean field, consisted of 8 rows of soybeans, 6 meters long. The plots were positioned at distances from a beehive or a specific point (in the case of the control treatment without bees) on the edge of the field. The distances considered were 12.5 m, 25 m, 50 m, 100 m, and 200 m, totaling 120 plots. The cultivar used was BRS 7380 RR. The results demonstrated that the SIK+BEE treatment provided the highest productivity indices, better distribution of pods with three and four grains, and greater pollinating activity, highlighting the significant gains in sustainable production.

Keywords: *Glycine max*; bees; ipm.

INTRODUÇÃO

As abelhas desempenham um papel fundamental na agricultura, pois a visita desses insetos nas flores da soja pode contribuir para o aumento da produtividade, do número de grãos por vagem, melhorar a formação das vagens e elevar o peso de cem grãos, além de favorecer a uniformidade das lavouras e a qualidade final da colheita (Garibaldi *et al.*, 2013).

Entre as espécies polinizadoras, *Apis mellifera* destaca-se pela ampla distribuição e pelo seu excelente desempenho em cultivos comerciais, permitindo ganhos na produção de citrus, maçãs, melões, entre outras culturas. Devido à sua organização social, elevada densidade populacional e facilidade de manejo, constituem-se em uma aliada estratégica em programas de polinização planejada em larga escala (Milfont *et al.*, 2013). Existe potencial para seu emprego mesmo em culturas que se autopolinizam, uma vez que as abelhas podem estimular a liberação de pólen, seja por vibração, e ajudar na distribuição mais eficiente do pólen entre as plantas. No cultivo da soja, diversos estudos têm demonstrado que a introdução de colmeias pode aumentar significativamente a produtividade, com ganhos superiores a 15% (Gazzoni; Barateiro, 2023).

Além da polinização, o avanço da agricultura sustentável tem favorecido o uso de práticas como o manejo biológico no controle de pragas e doenças, em substituição ao uso de pesticidas químicos, para evitar impactos deletérios sobre as abelhas. O Sistema Integrado Koppert (SIK) (<https://11nq.com/8zHZr>) é um exemplo relevante, combinando bioinsumos como fungos entomopatogênicos, rizobactérias e bioestimulantes, capazes de promover tanto o controle natural de organismos indesejados quanto o fortalecimento da fisiologia das plantas (Koppert, 2025).

Quando essas duas estratégias polinização por abelhas e manejo biológico são adotadas em conjunto, os resultados tendem a ser ainda mais promissores, por meio de ambientes com menor uso de defensivos químicos que se tornam mais atrativos e seguros para os polinizadores, o que pode potencializar sua atividade nas lavouras e, consequentemente, melhorar os índices produtivos (Altieri, 2012; Monasterolo *et al.*, 2015).

Com base nesse cenário, este estudo teve como foco avaliar o efeito da visitação de *A. mellifera* nas flores da soja, associada ao controle biológico de pragas e doenças, sobre a produtividade da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante três safras consecutivas (2021/22, 2022/23 e 2023/24) na Estação Experimental de Genética – Anhumas, pertencente à Esalq-USP, localizada em Piracicaba-SP (Coord. Geográficas: Latitude: 22°45' - 22°50' S Longitude: 48°00' - 48°05' W, Altitude: 474m).

A cultivar utilizada no experimento foi a BRS 7380 RR, com os tratamentos de sementes descritos nas Tabelas 1 e 2 em materiais suplementares. Os demais manejos seguiram o padrão da fazenda, ajustados de acordo com as instruções do produto e as necessidades específicas da cultura.

Foram testados quatro tratamentos: a) “CONTROL” (manejo convencional com produtos químicos ou sintéticos para o controle de pragas e doenças da soja); b) “SIK” (manejo biológico de pragas e doenças); c) “CONTROL+BEE” (manejo convencional + polinização); e d) “SIK+BEE” (manejo biológico + polinização). Durante todo o ciclo da soja, foi realizado um monitoramento semanal da presença e danos das pragas. As medidas fitossanitárias foram realizadas pela equipe responsável pelas áreas, sob a supervisão rigorosa da equipe do projeto, que forneceu diretrizes de acordo com os estádios fenológicos da soja e os princípios do Programa de Manejo Integrado de Pragas e Doenças da Soja.

Cada parcela principal (tratamento) foi subdividida em 6 parcelas experimentais (transectos), cada uma contendo 8 linhas de soja, medindo 6 metros de comprimento cada. Seis transectos foram estabelecidos perpendicularmente à borda do campo onde as colmeias foram colocadas, com pontos de amostragem localizados a distâncias de 12,5 m, 25 m, 50 m, 100 m e 200 m das colmeias. Foram utilizadas colmeias do tipo Langstroth, contendo 10 quadros e uma população estimada de, aproximadamente, 60.000 indivíduos cada. Pontos fixos de amostragem para as atividades de florescimento e colheita foram marcados com GPS. Em cada ponto, a visitação de abelhas foi avaliada durante o florescimento, em que um avaliador permaneceu no centro de cada parcela experimental por 5 minutos para contar as abelhas. Cada transecto representou uma repetição.

Após o período de florescimento, as colmeias foram removidas do campo. Ao final do ciclo da cultura, 25 m² de área útil foram colhidos manualmente em cada ponto de amostragem, tanto na área de manejo convencional quanto na área de manejo integrado + polinização, para calcular a produtividade da cultura (kg/ha). Uma seção de 2 metros da linha de soja foi colhida separadamente para calcular parâmetros agronômicos, como número de grãos por vagem e número de vagens por planta.

Para as variáveis de visitação e produtividade das abelhas, foram utilizados Modelos Lineares Mistos Generalizados (GLMMs), que avaliaram a influência combinada de duas variáveis explicativas: os quatro tratamentos (CONTROL + BEE, SIK + BEE, CONTROL e SIK) e diferentes distâncias da área de cultivo em relação às colmeias. Para a análise da relação entre os tratamentos e o número de grãos por vagem (0, 1, 2, 3 ou 4), foi aplicado um teste de independência χ^2 ($p < 0,05$).

A validação dos GLMMs foi realizada por meio de uma ANOVA (χ^2 , $p < 0,05$) para testar a significância dos efeitos. Quando um efeito significativo foi encontrado, um teste post-hoc de contraste de médias de mínimos quadrados foi executado para identificar as diferenças específicas entre os tratamentos e/ou distâncias. Todas as análises foram conduzidas no software R com o pacote `glmmTMB` para modelagem mista e o pacote `emmeans` para as comparações de média.

RESULTADOS

Produtividade da soja

O tratamento SIK+BEE, na distância de 25m das colmeias, apresentou a maior produtividade na média das três safras, com 3299 kg/ha, evidenciando o impacto positivo da combinação entre manejo biológico e polinização por abelhas, em curtas distâncias. Em todos os tratamentos, foi observado um decréscimo de produtividade com o aumento da distância das colmeias, indicando que as abelhas concentram seu forrageamento próximo do apiário.

Safra 21/22: A produtividade média de soja na safra 2021/22 diminuiu de 12,5 m para 200 m em todos os tratamentos (SIK+BEE, SIK, CONTROL+BEE e CONTROL), passando de 3.758,3; 3.026,4; 3.569,2 e 2.479,7 kg/ha em 12,5 m para 2.805,7; 2.393,2; 2.705,1 e 2.380,0 kg/ha em 200 m. respectivamente, na ordem dos tratamentos acima. Esses resultados indicam que o manejo fitossanitário com produtos biológicos associado à polinização suplementar elevou consistentemente o rendimento em todas as distâncias, embora sua vantagem seja diminuída à medida que a distância aumenta. A Figura 1 apresenta a produtividade da soja (kg/ha) para os quatro tratamentos testados em diferentes distâncias das colmeias (12,5 m a 200 m), durante a safra de 2021/22.

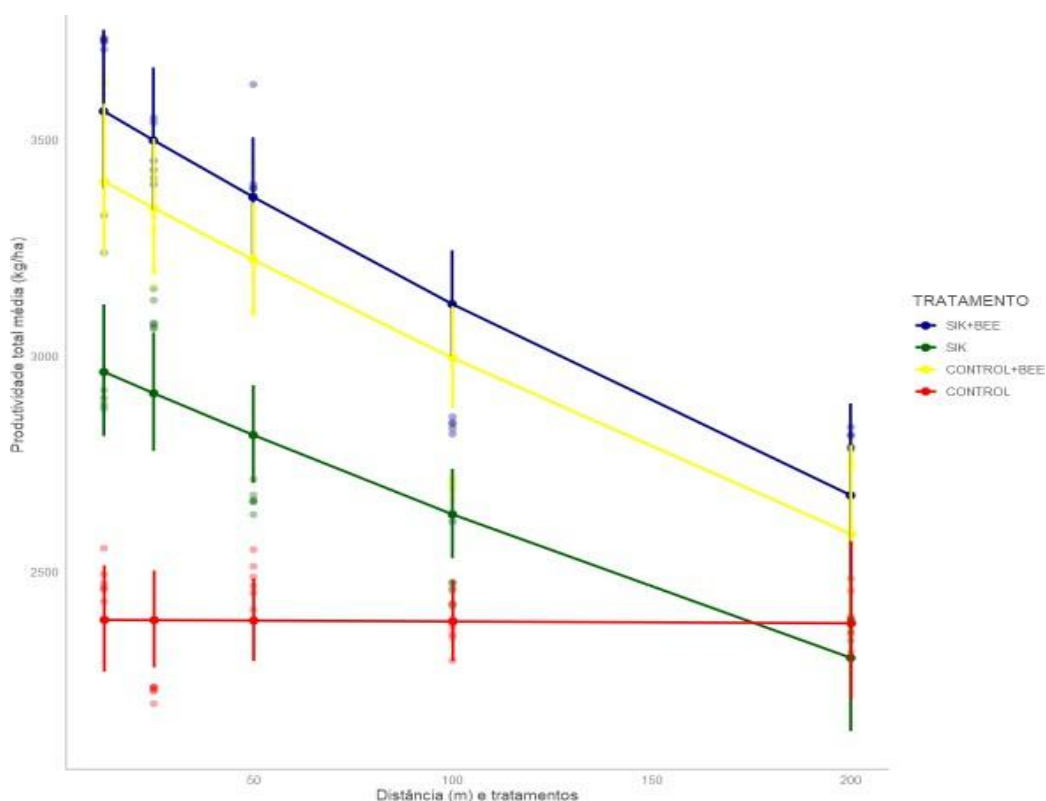


Figura 1. Produtividade da soja (kg/ha) para os quatro tratamentos testados em diferentes distâncias das colmeias (12,5 m a 200 m), durante a safra de 2021/22.

Safra 22/23: Na safra 2022/23, os valores médios ajustados de produtividade de soja variaram de 2.524,8 kg/ha no tratamento CONTROL até 2.806,7 kg/ha em SIK+BEE. A análise indicou que SIK+BEE apresentou produtividade significativamente maior que os demais tratamentos, enquanto CONTROL+BEE, SIK e CONTROL não diferiram estatisticamente entre si. Esses resultados reforçam o padrão observado em 2021/22, mostrando que a combinação do manejo biológico com a polinização suplementar (SIK+BEE) tende a promover os maiores incrementos de rendimento, ao passo que o manejo biológico isolado (SIK) e o controle mantêm produtividades intermediárias ou inferiores.

A Figura 2 apresenta a produtividade da soja (kg/ha) para os quatro tratamentos testados em diferentes distâncias das colmeias (12,5 m a 200 m).

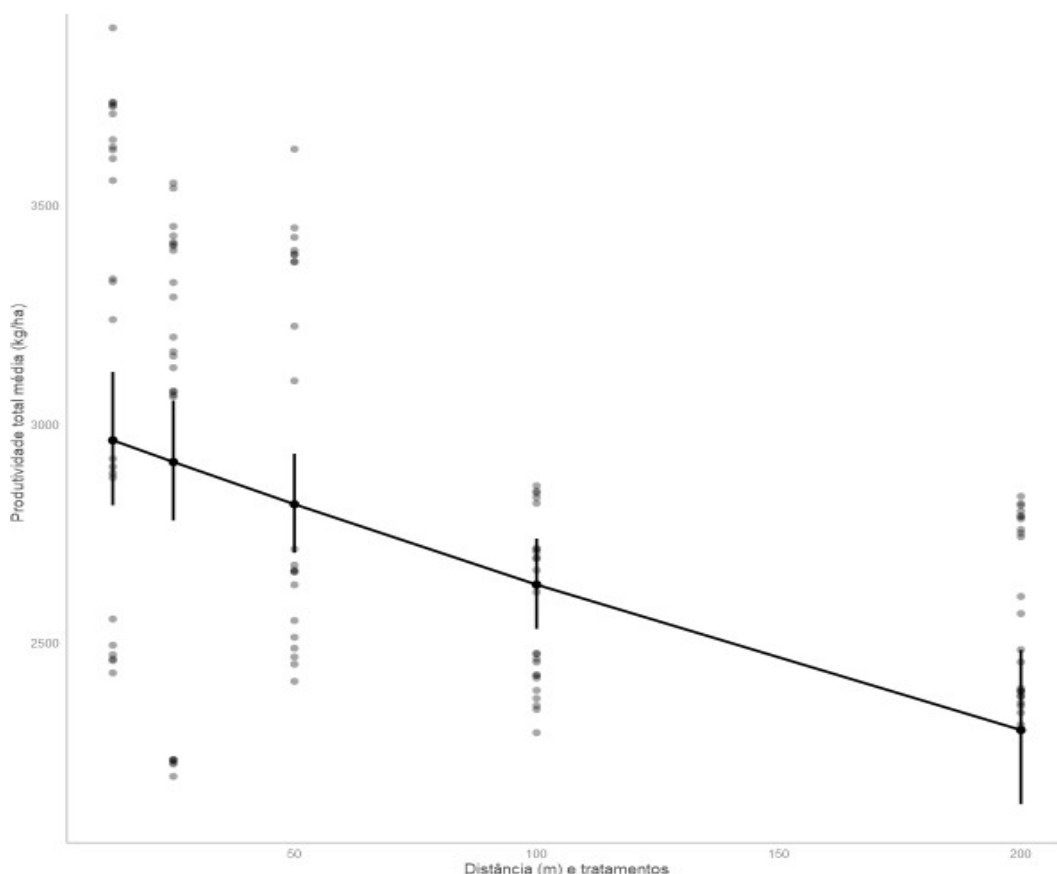


Figura 2. Produtividade da soja (kg/ha) para os quatro tratamentos testados em diferentes distâncias das colmeias (12,5 m a 200 m), durante a safra de 2022/23, ajustada estatisticamente.

Safra 2023/24: Na safra 2023/24, o tratamento SIK+BEE apresentou produtividades médias de 3.019,7; 2.854,3; 2.861,1; 2.629,0 e 2.353,9 kg/ha nas distâncias de 12,5; 25; 50; 100 e 200 m, respectivamente, valores muito próximos aos de SIK (2.821,1; 2.930,8; 2.783,3; 2.683,9; 2.433,9 kg/ha) e CONTROL+BEE (2.931,1; 2.615,7; 2.855,3; 2.325,7; 2.593,9 kg/ha).

Em relação ao controle (CONTROL), as diferenças foram de cerca de 710 kg/ha em 12,5 m (3.019,7 vs 2.309,9 kg/ha), 713 kg/ha em 25 m (2.854,3 vs 2.141,3 kg/ha), 482 kg/ha em 50 m (2.861,1 vs 2.379,2 kg/ha) e 328 kg/ha em 100 m (2.629,0 vs 2.301,0 kg/ha), enquanto em 200 m as produtividades se tornaram muito semelhantes entre os tratamentos (2.353,9; 2.305,0; 2.593,9 e 2.433,9 kg/ha para SIK+BEE, CONTROL, CONTROL+BEE e SIK, respectivamente), de modo que SIK+BEE não supera claramente os demais nessa distância e os ganhos em relação ao controle não ultrapassam 800 kg/ha. As diferenças estatísticas entre tratamentos e distâncias para cada safra estão dispostas na Tabela 3 em materiais suplementares.

A Figura 3 apresenta a produtividade da soja (kg/ha) para os quatro tratamentos testados em diferentes distâncias das colmeias (12,5 m a 200 m), durante a safra de 2023/24.

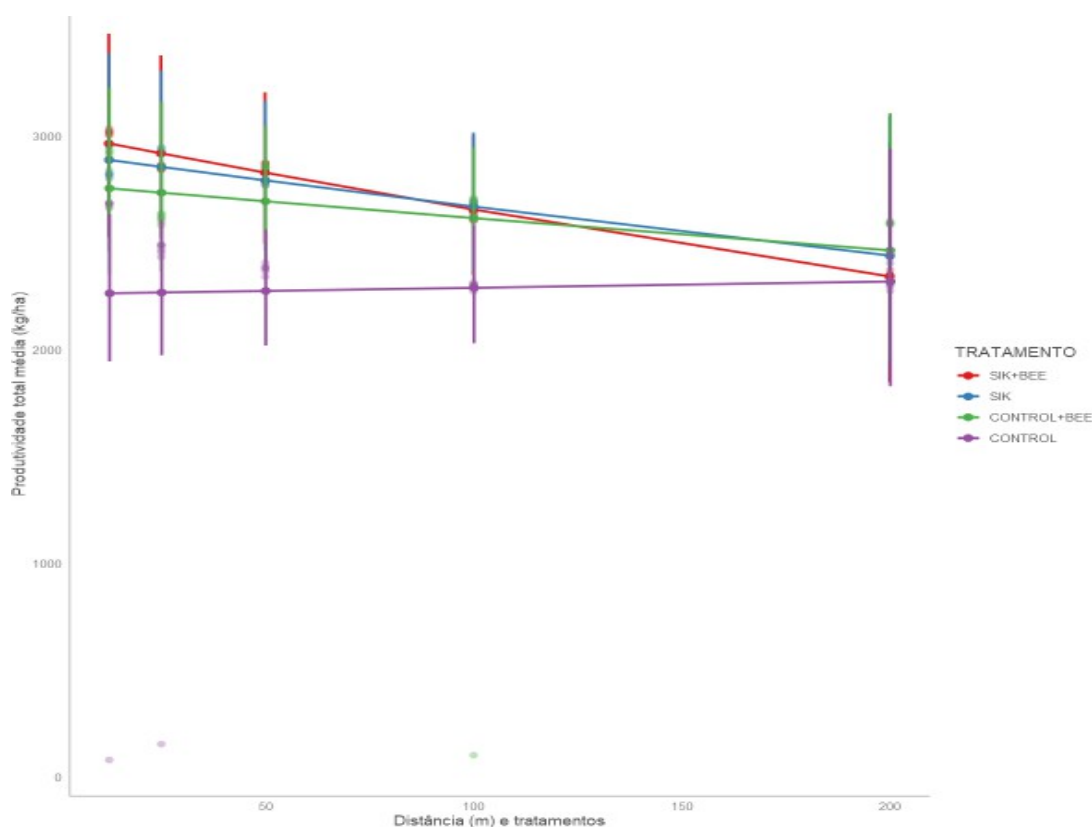


Figura 3. Produtividade média de soja (kg/ha) durante a safra de 2023/24 para os 4 tratamentos avaliados.

Visitação de abelhas

A Tabela 1 apresenta os valores médios de visitação de abelhas (acrescidos do erro padrão da média) durante o período de florescimento da soja, em cada tratamento, distância e safra avaliados.

Tabela 1. Número médio de visitas de abelhas por tratamento, distância e safra.

Safra	Tratamento	Distância				
		12,5 m	25 m	50 m	100 m	200 m
2021/22	SIK+BEE	1,72 ± 0,09	1,70 ± 0,08	1,65 ± 0,07	1,43 ± 0,06	1,20 ± 0,05
	CONTROL+B EE	1,36 ± 0,10	1,34 ± 0,09	1,26 ± 0,08	1,05 ± 0,07	0,89 ± 0,06
	SIK	1,11 ± 0,19	1,09 ± 0,18	1,02 ± 0,16	0,88 ± 0,14	0,75 ± 0,12
	CONTROL	1,38 ± 0,18	1,36 ± 0,17	1,30 ± 0,15	1,12 ± 0,13	0,97 ± 0,11
2022/23	SIK+BEE	1,02 ± 0,43	0,91 ± 0,39	0,75 ± 0,35	0,55 ± 0,26	0,21 ± 0,17
	CONTROL+B EE	0,83 ± 0,37	0,79 ± 0,38	0,64 ± 0,28	0,38 ± 0,20	0,19 ± 0,15
	SIK	0,56 ± 0,30	± 0,51 ± 0,26	± 0,42 ± 0,22	0,30 ± 0,16	0,10 ± 0,09
	CONTROL	0,60 ± 0,33	± 0,57 ± 0,29	± 0,49 ± 0,27	0,35 ± 0,21	0,12 ± 0,08
2023/24	SIK+BEE	1,22 ± 0,58	± 1,11 ± 0,58	± 0,85 ± 0,47	0,42 ± 0,26	0,09 ± 0,14
	CONTROL+B EE	0,95 ± 0,45	± 0,89 ± 0,43	± 0,69 ± 0,37	0,33 ± 0,21	0,07 ± 0,10

		SIK	0,63 0,34	± 0,58 0,29	± 0,48 ± 0,24		0,26 ± 0,16		0,06 0,05	±
	CONTROL		0,65 0,35	± 0,61 0,30	± 0,50 ± 0,27		0,28 ± 0,18		0,07 0,06	±
SAFRA	Tratamento	12,5	25	50	100	200	Media			
<chr>	<chr>	<chr>	<chr>	<chr>	<chr>	<chr>	<chr>			
Safra 2021/22	SIK+BEE	1,72 0,09 a C	± 1,70 0,08 b C	± 1,65 0,07 c B	± 1,43 0,06 d A	± 1,20 0,05 e A	± 1,54 0,07			
Safra 2021/22	CONTROL+B EE	1,36 0,10 a A	± 1,34 0,09 b A	± 1,26 0,08 c A	± 1,05 0,07 d A	± 0,89 0,06 e A	± 1,18 0,08			
Safra 2021/22	SIK	1,11 0,19 a B	± 1,09 0,18 a B	± 1,02 0,16 a A	± 0,88 0,14 a A	± 0,75 0,12 a A	± 0,97 0,16			
Safra 2021/22	CONTROL	1,38 0,18 a AB	± 1,36 0,17 AB	± 1,30 0,15 a A	± 1,12 0,13 a A	± 0,97 0,11 a A	± 1,23 0,15			
Safra 2021/22	Média	1,39 0,15	± 1,37 0,14	± 1,31 0,12	± 1,12 0,11	± 0,95 0,09	± 1,23 0,12			
Safra 2022/23	SIK+BEE	1,02 0,43 a C	± 0,91 0,39 b C	± 0,75 0,35 c C	± 0,55 0,26 d B	± 0,21 0,17 e A	± 0,69 0,33			
Safra 2022/23	CONTROL+B EE	0,83 0,37 a B	± 0,79 0,38 b B	± 0,64 0,28 c A	± 0,38 0,20 d A	± 0,19 0,15 e A	± 0,57 0,29			
Safra 2022/23	SIK	0,56 0,30 a A	± 0,51 0,26 a A	± 0,42 0,22 a B	± 0,30 0,16 a A	± 0,10 0,09 a A	± 0,38 0,22			
Safra 2022/23	CONTROL	0,60 0,33 a A	± 0,57 0,29 a A	± 0,49 0,27 AB	± 0,35 0,21 AB	± 0,12 0,08 a A	± 0,43 0,25			
Safra 2022/23	Média	0,75 0,36	± 0,70 0,33	± 0,57 0,28	± 0,40 0,21	± 0,15 0,13	± 0,51 0,27			

Safra 2023/24	SIK+BEE	1,22 0,58 a B	±	1,11 0,58 b B	±	0,85 0,47 c B	±	0,42 0,26 d A	±	0,09 0,14 e A	±	0,74 0,44	±
Safra 2023/24	CONTROL+BEE	0,95 0,45 a A	±	0,89 0,43 a A	±	0,69 0,37 a A	±	0,33 0,21 a A	±	0,07 0,10 a A	±	0,59 0,34	±
Safra 2023/24	SIK	0,63 0,34 a A	±	0,58 0,29 a A	±	0,48 0,24 a A	±	0,26 0,16 a A	±	0,06 0,05 a A	±	0,40 0,24	±
Safra 2023/24	CONTROL	0,65 0,35	±	0,61 0,30	±	0,50 0,27 a AB	±	0,28 0,18	±	0,07 0,06	±	0,42 0,25	±
Safra 2023/24	Média	0,86 0,44	±	0,80 0,42	±	0,63 0,35	±	0,32 0,21	±	0,07 0,09	±	0,54 0,33	±
Média Geral		1,00 0,34	±	0,96 0,32	±	0,84 0,27	±	0,61 0,18	±	0,39 0,11	±	0,76 0,26	±

Na safra 21/22, o tratamento SIK+BEE apresentou os maiores valores médios de visitas em todas as distâncias avaliadas, com queda significativa de 1,72 para 1,20 visitas por planta entre 12,5 e 200 m. Nas distâncias mais curtas (12,5–50 m), SIK+BEE foi estatisticamente superior aos demais tratamentos, enquanto CONTROL+BEE apresentou as menores médias e SIK e CONTROL mantiveram valores intermediários, sem diferenças claras entre si. A partir de 100 m, as diferenças entre tratamentos deixaram de ser estatisticamente significativas, embora todos tenham permanecido acima de 0,75 visita por planta, sugerindo contribuição conjunta de abelhas manejadas e polinizadores naturais não manejados.

Na safra 22/23, houve uma redução geral no número médio de visitas em comparação com 21/22, para todos os tratamentos. O tratamento SIK+BEE manteve as maiores médias entre 12,5 e 50 m, com valores que caíram de 1,02 para 0,75 visitas por planta, sendo estatisticamente superior aos tratamentos sem abelhas manejadas (SIK e CONTROL) nas menores distâncias e, em alguns casos, também ao CONTROL+BEE. Em 100 m, SIK+BEE ainda apresentou média numericamente maior, mas estatisticamente semelhante ao tratamento CONTROL, e em 200 m todas as combinações de tratamento e distância passaram a exibir médias baixas e estatisticamente indistinguíveis entre si; assim, embora SIK e CONTROL apresentem numericamente os menores valores, eles não diferem dos tratamentos com abelhas manejadas nessa distância.

A safra 23/24 também apresentou números expressivos nas distâncias menores, com o

tratamento SIK+BEE atingindo 1,22 visitas por planta a 12,5 m, valor elevado dentro da própria safra, ainda que inferior aos máximos observados em 21/22. Nesse ciclo, SIK+BEE foi estatisticamente superior aos demais tratamentos até 50 m, mas a partir de 100 m todas as médias convergiram para valores baixos (0,42 visita ou menos) e estatisticamente semelhantes, incluindo o valor de 0,09 visita em 200 m, que está entre os menores do estudo e não difere dos demais tratamentos nessa distância. O tratamento CONTROL+BEE apresentou padrão semelhante, com tendência de redução das visitas à medida que a distância aumentou, embora sem diferenças significativas entre as distâncias dentro do próprio tratamento. Já os tratamentos sem polinização suplementar mantiveram médias intermediárias nas distâncias curtas (em torno de 0,6–0,7 visita/planta) e valores reduzidos na maior distância (cerca de 0,06–0,07 visita), estatisticamente equivalentes aos tratamentos com abelhas manejadas em 200 m.

Número de grãos por vagem

O teste de qui-quadrado aplicado à tabela de contingência das classes de vagens (V_0G – V_4G) por tratamento indicou diferenças estatisticamente significativas na distribuição de número de grãos entre os quatro manejos ($\chi^2(12) = 62,705$; $p = 7,22 \times 10^{-9}$). Nesse contexto, as “frequências esperadas” correspondem ao número de vagens que seria esperado em cada combinação tratamento $\times$ classe se a distribuição de 0, 1, 2, 3 e 4 grãos fosse a mesma para todos os tratamentos, ou seja, se não houvesse efeito de manejo; esses valores são obtidos a partir do produto das proporções das margens (linha $\times$ coluna) dividido pelo total de vagens. Os resíduos padronizados positivos indicam excesso de vagens em relação a esse padrão médio, enquanto resíduos negativos indicam déficit.

Especificamente, o tratamento CONTROL apresentou número de vagens vazias (V_0G) maior do que o esperado (resíduo padronizado = +3,52) e déficit de vagens com dois grãos (V_2G ; resíduo = –2,51), sugerindo um enchimento menos eficiente nessas classes. A inclusão de abelhas no controle (CONTROL+BEE) inverteu esse padrão em V_0G , com resíduo negativo (–2,82), indicando menos vagens vazias do que o esperado, e reduziu os desvios nas demais classes, aproximando a distribuição observada do padrão médio do experimento. No manejo biológico sem abelhas (SIK), observou-se excesso de vagens com um e dois grãos (V_1G e V_2G ; resíduos +2,17 e +1,98, respectivamente) e forte escassez de vagens completamente preenchidas (V_4G ; resíduo = –3,22), o que indica que, embora o manejo reduza parcialmente o problema de vagens vazias, ele não é suficiente para maximizar o enchimento. A adição de abelhas ao SIK (SIK+BEE) atenuou esse excesso de vagens com um grão (resíduo em V_1G = –2,18), deslocando a distribuição em direção ao padrão esperado e aumentando a proporção relativa de vagens nas classes superiores, especialmente V_3G e V_4G .

A Tabela 2 apresenta os números médios de vagens com 0, 1, 2, 3 e 4 grãos por planta por tratamento e safra. De forma consistente nas três safras, os tratamentos com abelhas (CONTROL+BEE e SIK+BEE) concentraram maiores valores médios nas classes de 3 e 4 grãos quando comparados aos respectivos tratamentos sem abelhas do mesmo tipo de manejo (controle químico ou biológico). Por exemplo, em 2021/22 e 2022/23, CONTROL+BEE e SIK+BEE apresentaram mais vagens com 3 e 4 grãos por planta do que CONTROL e SIK; em 2023/24 esse padrão se manteve, embora com magnitude ligeiramente menor. Por outro lado, o número médio de vagens vazias (V_0G) não foi sistematicamente menor nos tratamentos com abelhas em todas as safras e manejos: em alguns ciclos, SIK+BEE apresentou valores de V_0G semelhantes ou ligeiramente superiores aos respectivos tratamentos sem abelhas.

Assim, o principal efeito consistente da polinização suplementar não foi eliminar completamente as vagens vazias, mas sim aumentar a frequência relativa de vagens bem preenchidas (3–4 grãos). O manejo biológico sem polinizadores (SIK) apresentou, em geral, um padrão intermediário: comparado ao CONTROL, o SIK tendeu a reduzir discretamente o número médio de vagens vazias e de vagens com poucos grãos (0–1 grão) e a manter números de vagens com 3 e 4 grãos próximos, embora ligeiramente inferiores aos observados nos tratamentos com abelhas. Quando as abelhas foram adicionadas (SIK+BEE), houve ganho adicional e consistente nas classes superiores (V₃G e V₄G) em todas as safras, indicando que o manejo biológico cria um ambiente mais favorável ao enchimento de vagens, mas que o benefício pleno só é alcançado quando se combina o uso de agentes biológicos com polinização suplementar.

Em conjunto, o teste de qui-quadrado e os valores médios da Tabela 2 indicam que os tratamentos diferem na forma como distribuem as vagens entre as classes de enchimento, mas não implicam que todos os pares de tratamentos sejam distintos em todas as classes. Os contrastes mais marcantes ocorrem entre CONTROL e CONTROL+BEE (principalmente em V₀G e V₂G) e entre SIK e SIK+BEE (especialmente em V₁G, V₂G e V₄G). Esses resultados sustentam que a presença de abelhas manejadas, particularmente quando associada ao manejo biológico, desloca a distribuição de vagens em direção a classes de maior número de grãos, o que é compatível com o aumento de produtividade observado, embora haja variação na magnitude desse efeito entre as safras e categorias de vagens.

Tabela 2. Números médios de vagens com 0, 1, 2, 3 e 4 grãos por planta por tratamento

Número de grão nas vagens							
Safra	Tratamento		0	1	2	3	4
2021/22	CONTROL	27,52	403,77	1055,57	1591,66	111,48	
	CONTROL + BEE	33,24	487,69	1274,95	1922,47	134,65	
	SIK	24,30	356,50	931,98	1405,30	98,43	
	SIK + BEE	32,45	476,04	1244,51	1876,56	131,44	
2022/23	CONTROL	33,12	421,43	1001,77	1507,34	104,97	
	CONTROL + BEE	29,89	465,01	1122,34	1684,18	120,21	
	SIK	22,85	315,60	810,22	1257,91	91,56	
	SIK + BEE	31,33	460,12	1173,94	1772,85	126,07	
	CONTROL	28,43	395,25	954,68	1438,67	96,11	

2023/24	CONTROL + BEE	30,56	452,38	1099,12	1611,02	110,34
	SIK	20,76	297,84	785,32	1189,45	85,43
	SIK + BEE	29,45	443,90	1138,76	1703,54	121,78

Tabela 2. Número médio de vagens com 0, 1, 2, 3 e 4 grãos por planta – por tratamento e safra.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho evidenciam que a polinização realizada pelas abelhas, combinada ao manejo biológico utilizado, permitiu um aumento na produtividade da soja, refletidos na formação de vagens com maior número de grãos por vagem. Esse efeito é particularmente evidente nas menores distâncias das colmeias (entre 12,5 m e 50 m), em que os rendimentos com o tratamento SIK + BEE superaram os 3.200 kg/ha — valores comparáveis aos observados por Gazzoni *et al.* (2022) e Gazzoni, Barateiro (2023), que relataram incrementos superiores a 15% na produtividade da soja com o uso de polinização nos campos de soja.

Podemos observar que a houve mais vagens com três e quatro grão quando o sistema contava com a presença das abelhas, que sugeri que a presença do inseto contribui para o aumento na fecundidade dos grãos de soja, corroborando com os estudos de Garibaldi *et al.* (2013), que ressaltam o papel da diversidade e abundância de polinizadores na formação adequada de frutos e sementes.

Conforme compilado por Delaplane, Mayer (2000) demonstraram a influência direta da presença de abelhas na taxa de fecundação em leguminosas autógamas como a soja, com o aumento no número de vagens completas. Da mesma forma, Klein *et al.* (2007) destacam que cerca de 75% das culturas alimentares mais importantes do mundo dependem, em algum grau, da polinização - incluindo a soja.

Outro aspecto importante é o impacto positivo do manejo biológico mesmo na ausência de colmeias. Em todas as safras, o tratamento SIK, ainda que sem abelhas, apresentou produtividade superior ao controle tradicional. Isso sugere que práticas agronômicas sustentáveis, com menor uso de agroquímicos, criam ambientes mais atrativos para abelhas nativas e mais favoráveis ao desenvolvimento fisiológico das plantas. Esses resultados estão alinhados com os estudos de Altieri (2012) e Gill *et al.* (2017), que mostram que a biodiversidade e o manejo ecológico favorecem tanto a presença quanto a eficiência dos polinizadores.

Por fim, o padrão de redução da produtividade com o aumento da distância das colmeias, especialmente nas safras 2022/23 e 2023/24, é semelhante aos resultados obtidos por Greenleaf, Kremen (2006) e Isaacs, Williams (2007). Esses autores demonstraram que a eficácia da polinização decresce consideravelmente a partir dos 50 metros das colmeias, o que reforça a importância do planejamento espacial dos apiários dentro da lavoura.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos ao longo das três safras analisadas evidenciam que a integração entre práticas sustentáveis do manejo fitossanitário biológico e a polinização suplementar por *Apis mellifera* representa uma estratégia agrônômica altamente eficaz para a cultura da soja, refletindo diretamente em seu rendimento. Além disso, os resultados mostram que o posicionamento estratégico das colmeias exerce papel fundamental na efetividade da polinização, especialmente em grandes áreas ou em condições ambientais menos favoráveis à visitação das abelhas.

Concluimos que este estudo contribui para a consolidação de evidências sobre o papel das abelhas na cultura da soja e que novos estudos devem ser realizados para avaliar a viabilidade técnica e agrônômica.

A adoção de estratégias integradas, como o uso de colmeias manejadas aliadas ao manejo fitossanitário com o uso de bioinsumos, permitem ganhos sustentáveis de produtividade, redução da dependência exclusiva de produtos sintéticos e maior conservação da biodiversidade funcional nas áreas agrícolas.

REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, p. 257-274, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0092-y>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2024/25**. Brasília, DF, v. 12, 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- DELAPLANE, K. S.; MAYER, D. F. **Crop pollination by bees**. New York: CABI Publishing, 2000. 344 p.
- GARIBALDI, L. A. *et al.* Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1608–1611, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1230200>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- GAZZONI, D. L. *et al.* Supplemental bee pollination effect on the yield of soybean. **Journal of Apicultural Research**, v. 63, n. 4, p. 788–800, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2047264> . Acesso em: 25 nov. 2025.
- GAZZONI, D. L.; BARATEIRO, J. V. G. R. P. Soybean yield is increased through complementary pollination. **Journal of Apicultural Research**, v. 63, n. 4, p. 801–812, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2161219> . Acesso em: 25 nov. 2025.
- GILL, R. J. *et al.* Pollination ecology and the decline of insect pollinators: a review. **Biological Conservation**, v. 211, p. 10–16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.04.012> . Acesso em: 25 nov. 2025.
- GREENLEAF, S. S.; KREMEN, C. Wild bees enhance honey bees' pollination of hybrid sunflower. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 37, p. 13890–13895, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0600929103> . Acesso em: 25 nov. 2025.
- ISAACS, R.; WILLIAMS, N. M. Enhancing pollination in agriculture. **Journal of Applied Ecology**, v. 44, n. 5, p. 1029–1037, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01357.x>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- KLEIN, A. M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 274, n. 1608, p. 303–313, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- KOPPERT BRASIL. **Portfólio de produtos e soluções**. 2025. Disponível em: <https://www.koppert.com.br>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- MILFONT, M. *et al.* **Uso da abelha melífera (*Apis mellifera*) na polinização de soja**. 2013. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- MONASTEROLO, M. *et al.* Soybean crops may benefit from forest pollinators. **Agriculture**,

Ecosystems & Environment, v. 202, p. 217–222, 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.007> . Acesso em: 25 nov. 2025.

MATERIAL SUPLEMENTAR

1) Produtos Koppert utilizados no tratamento de sementes (“SIK” e “SIK+BEE”).

Produto	Classe	Composição	Dose
Stingray	Bioestimulante	<i>Ascophyllum nodosum</i>	200mL/ha
Veraneio	Nematicida biológico	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	200g/ha
Trichodermil	Fungicida Nematicida microbiológico	e <i>Trichoderma harzianum</i>	200mL/ha
Rizokop	Co-inoculante	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	500mL/ha
Azokop	Co-inoculante	<i>Azospirillum brasilense</i> (cepas AbV5 e AbV6)	200mL/ha

Fonte: Dados de manejo das fazendas/ Portfolio Koppert, 2021.

2) Produtos utilizados no tratamento de sementes (“CONTROL” e “CONTROL+BEE”).

Produto	Composição	Dose
Fungicida/Inseticida	Fipronil + Piraclostrobina + Tiofanato Metílico	2mL/ kg de semente
Inseticida/Nematicida	Imidacloprido + Tiodicarbe	3mL/ kg de semente

Fonte: Dados de manejo das fazendas.

3) Diferenças estatísticas entre tratamentos e distâncias em cada safra.

Safra	Tratamento	12,5	25	50	100	200	Média
<ch>	<chr>	<chr>	<chr>	<chr>	<chr>	<chr>	<chr>
21-22	CONTRO L	2479.7aD	2223.9cD	2481.0aC	2365.3bC	2380.0bB	2386.0
21-22	CONTRO L+BEE	3569.2aB	3301.4bB	3315.3bA	2699.2cB	2705.1cA	3118.0
21-22	SI K	30 26.4aC	30 95.0aC	26 70.0bB	24 53.1cC	23 93.2cB	2 727.5
21-22	SIK+BEE	3758.3aA	3464.9bA	3435.7bA	2803.5cA	2805.7cA	3253.6
21-22	Média	3208.4	3021.3	2975.5	2580.2	2571.0	2871.3
22-23	CONTRO L	2518.5aC	2555.6aC	2535.7aB	2528.5aC	2486.0aAB	2524.8
22-23	CONTRO L+BEE	2843.8bA	3086.2aB	2029.3dC	2744.4bA	2390.3cBC	2618.8
22-23	SIK	2638.3aB	2581.0aC	2657.1aA	2647.8aAB	2566.0aA	2618.0
22-23	SIK+BEE	2890.0bA	3577.4aA	2634.9cAB	2555.1cBC	2376.1dC	2806.7
22-23	Média	2722.6	2950.0	2464.2	2619.0	2454.6	2642.1
23-24	CONTRO L	2309.9aA	2141.3aA	2379.2aA	2301.0aA	2305.0aA	2287.3
23-24	CONTRO L+BEE	2931.1aA	2615.7aA	2855.3aA	2325.7aA	2593.9aA	2664.3
23-24	SIK	2821.1aA	2930.8aA	2783.3aA	2683.9aA	2433.9aA	2730.6
23-24	SIK+BEE	3019.7aA	2854.3aA	2861.1aA	2629.0aA	2353.9aA	2743.6
23-24	Média	2770.5	2635.5	2719.7	2484.9	2421.7	2606.5
	Média Geral	2892.4	2859.0	2701.1	2558.1	2482.4	2698.6