



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**IMPORTÂNCIA DOS FRAGMENTOS DE VEGETAÇÃO NATIVA PARA A
MANUTENÇÃO DO SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO NO CULTIVO DE SOJA**

RAYSSA DUARTE COSTA

Araras

2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**IMPORTÂNCIA DOS FRAGMENTOS DE VEGETAÇÃO PARA A MANUTENÇÃO
DO SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO NO CULTIVO DE SOJA**

RAYSSA DUARTE COSTA

**ORIENTADORA: PROF^a. DRA. KAYNA AGOSTINI
COORIENTADOR: DR. NICOLAY LEME DA CUNHA**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente
como requisito parcial à obtenção do título
de **MESTRE EM AGRICULTURA E
AMBIENTE**

Araras

2022

Duarte Costa, Rayssa

Importância dos fragmentos de vegetação nativa para a manutenção do serviço de polinização no cultivo de soja / Rayssa Duarte Costa -- 2022.
42f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras
Orientador (a): Kayna Agostini
Banca Examinadora: Ricardo Augusto Gorne Viani, Marcia Motta Maues, Nicolay Cunha
Bibliografia

1. Polinização biótica. 2. Fragmentos. 3. Serviço ecossistêmico. I. Duarte Costa, Rayssa. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8 7083



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Rayssa Duarte Costa, realizada em 30/09/2022.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Kayna Agostini (UFSCar)

Prof. Dr. Ricardo Augusto Gorne Viani (UFSCar)

Prof. Dr. Marcia Motta Maues (EMBRAPA)

Prof. Dr. Nicolay Cunha (UEM)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente.

AGRADECIMENTOS

Ao PPGAA, pela oportunidade de realizar esse trabalho e pelo aprendizado proporcionado.

A UFSCar por proporcionar o mestrado e a oportunidade de desenvolver o mesmo

A professora Kayna, minha orientadora, por acreditar no meu potencial e me incentivar, sempre me acalmando.

Aos produtores de Leme,SP por me receberem em suas propriedades e permitirem que os experimentos pudessem acontecer.

A Secretaria da Agricultura da cidade de Leme, SP pela ajuda e apoio, especialmente no início desse projeto.

Aos meus pais, pela ajuda e compreensão.

Ao meu namorado Lucas, que nunca deixou que eu desanimasse ou desistisse, me ajudando e me apoiando em todos os momentos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUÇÃO.....	8
OBJETIVOS.....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	14
RESULTADOS.....	21
DISCUSSÃO.....	29
CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
APÊNDICE.....	41

IMPORTÂNCIA DOS FRAGMENTOS DE VEGETAÇÃO PARA A MANUTENÇÃO DO SERVIÇO DE POLINIZAÇÃO NO CULTIVO DE SOJA

RESUMO

O serviço de polinização biótica é importante para a agricultura pois pode proporcionar aumento na qualidade, como o formato, sabor, durabilidade, valor nutritivo e na quantidade de frutos e sementes. O Brasil se destaca como maior produtor de soja do mundo (*Glycine max* (L.) Merrill), que, com a presença de polinizadores, especialmente as abelhas, pode ter sua produção aumentada. Neste trabalho verificamos que a polinização biótica auxilia na produção de soja, em termos quantitativos. Para avaliar o quanto a produtividade da soja é dependente os polinizadores, aplicamos, durante a floração, dois tratamentos de polinização biótica em três áreas de cultivo com poucas diferenças entre si (semelhante na cobertura vegetal circundante, tamanho dos cultivos, tratos culturais/manejo agrônômico, uso de defensivos e fertilizantes): tratamento com a exclusão dos polinizadores bióticos e tratamento controle, sem a exclusão dos polinizadores, na cidade de Leme, SP. Os tratamentos foram posicionados a 50 m e 150 m da borda do fragmento florestal, e em duplicata. Transectos foram traçados e foram auxiliados por *pan traps* para inventariar as espécies de visitantes florais presentes no local. A polinização biótica aumenta o número e o peso das sementes. Os indivíduos dos tratamentos-controle apresentaram maior produtividade do que os tratamentos de exclusão de polinizadores. A distância dos tratamentos em relação ao fragmento florestal não apresentou diferença significativa para a produtividade da soja. Assim concluímos que por mais que a soja seja uma espécie predominantemente autógama, a produtividade pode ser aumentada se as flores foram polinizadas por vetores bióticos.

Palavras-chave: Fragmentos; serviço ecossistêmico; *Glycine max*; abelhas.

IMPORTANCE OF FOREST FRAGMENTS FOR MAINTENANCE OF POLLINATION SERVICE IN SOYBEAN CROP

ABSTRACT

The biotic pollination service is important for agriculture as it can provide an increase in quality, such as shape, flavor, durability, nutritional value and the number of fruits and seeds. Brazil stands out as the world's largest producer of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill), which, with the presence of pollinators, especially bees, can increase its production. In this work, we verified that biotic pollination helps in soybean production, in quantitative terms. To assess how much soybean productivity is dependent on pollinators, we applied, during flowering, two biotic pollination treatments in three crop areas with few differences between them (similar in surrounding vegetation cover, crop size, cultural practices/agronomic management, use of pesticides and fertilizers): treatment with the exclusion of biotic pollinators and control treatment, without the exclusion of pollinators, in the city of Leme, SP. The treatments were positioned at 50 m and 150 m from the edge of the forest fragment, and in duplicate. Transects were traced and were aided by pan traps to inventory the species of floral visitors present at the site. Biotic pollination increases the number and weight of seeds. Individuals in the control treatments showed higher productivity than the pollinator exclusion treatments. The distance of treatments in relation to the forest fragment did not present a significant difference for soybean productivity. Thus, we conclude that even though soybean is a predominantly autogamous species, productivity can be increased if the flowers were pollinated by biotic vectors.

Keywords: Fragments; ecosystem service; *Glycine max*; bees.

1. INTRODUÇÃO

Os serviços ecossistêmicos são os benefícios fornecidos por processos ecológicos que contribuem de forma direta ou indireta para o bem-estar humano (Costanza, 2017; Hernández-Blanco et al., 2022) e para o funcionamento dos ecossistemas e da vida na Terra. Podem ser classificados nas seguintes modalidades (MEA, 2005): regulação, provisão, cultural e de suporte (Schumacher, 1973; Westman, 1977) segundo a Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021, que institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. A polinização biótica é um serviço ecossistêmico importante para regular a manutenção e a variabilidade genética de populações de plantas nativas, sustentar a biodiversidade, prover e garantir o fornecimento de frutos, sementes, mel e ainda promover valores culturais relacionados ao conhecimento tradicional (IPBES, 2016; BPBES, 2019). O entendimento das contribuições da natureza promove a conservação de polinizadores, a valorização da diversidade e a preservação dos recursos dos polinizadores em paisagens (Li et al., 2014; Hill et al., 2019).

O potencial da polinização biótica como serviço ecossistêmico de provisão só tende a aumentar, passou de US\$ 70 bilhões/ano (Costanza et al., 1997) para o valor de US\$ 235 bilhões até US\$ 577 bilhões em cerca de 20 anos (Gallai et al., 2009; IPBES, 2016). Calcula-se que a polinização biótica relacionada à produção agrícola pode ser capitalizada no Brasil em um montante anual de US\$ 12 bilhões, considerando-se os valores das culturas dependentes da polinização biótica (quase US\$ 45 bilhões) para o ano 2013, listados no IBGE (REBIPP e BPBES, 2019).

O Brasil tornou-se o principal produtor mundial durante a safra de 2019-2020, seguido dos Estados Unidos e Argentina (IPEA, 2021). A cultura da soja é de grande importância econômica no Brasil como geradora de divisas cambiais; é a principal lavoura na formação do valor da produção; e uma das principais commodities brasileiras, responsável por quase 50% da área de cultivo de grãos no país (CGEE, 2017).

Essa leguminosa se expande nos estados de Rondônia, Pará e Tocantins, à custa do recrutamento de novas áreas para cultivo, em vez de incrementos na produtividade, levando a sérios impactos de ordem ecológica e da conservação (Song et al., 2021). É a lavoura que mais deve expandir a área; em 2022/23, a produção está projetada para apresentar acréscimo de 3,4% em relação à safra passada, as exportações são estimadas em 95,87 milhões de toneladas, com aumento de 22,5% em relação a 2022, motivado por uma maior oferta de grãos, demanda

importadora mundial e estimativa de redução exportadora dos Estados Unidos para a safra 2022/23 (Conab, 2022; Mapa, 2022).

A demanda por mais terras cultivadas leva à expansão da fronteira agrícola por meio da destruição da vegetação nativa e pastagens, com a consequente perda de grandes áreas de vegetação natural e seminatural (Gibbs et al., 2010). O aumento da produtividade visa reduzir a expansão territorial das lavouras de soja, com o aumento da quantidade e qualidade das sementes, não havendo a necessidade de expandir fronteiras agrícolas, que podem acabar prejudicando a produtividade da soja com grãos menos nutritivos e em menor quantidade, devido à ausência de locais para a nidificação dos polinizadores. A redução na diversidade espacial e disponibilidade temporal de recursos florais pode comprometer a sobrevivência dos polinizadores, bem como os serviços de polinização biótica prestados (Potts et al., 2010; De Groot et al., 2021).

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) originalmente uma planta rasteira que crescia ao redor de rios e lagos, foi explorada e domesticada por cientistas chineses por meio do cruzamento entre espécies selvagens a partir da *Glycine ussuriensis* oriunda da Ásia Oriental e que apresenta sementes pequenas (Martin, 2006). No Brasil foi experimentalmente introduzida em 1882, no Estado da Bahia, e o cultivo comercial dessa leguminosa data da década de 1940, no Rio Grande do Sul. É uma planta comumente cultivada em latitudes maiores que 30°, em condições de clima temperado, por ser uma planta de dias curtos e noites longas. A adaptação da soja às condições de latitudes das regiões Centro Oeste, Norte e Nordeste foi um dos grandes desafios enfrentados por programas da Embrapa Soja, que propiciaram a expansão da cultura em grandes áreas dos Cerrados, em regiões de climas tropical e subtropical, em latitudes menores que 20°. As regiões situadas em latitudes menores que 10° representam a área de expansão da soja, especialmente nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Pará. É reconhecido que a expansão da soja em baixas latitudes foi alavancada pelos cultivares que adaptavam-se às condições edafoclimáticas dos trópicos, inclusive a expansão foi muito facilitada pelo desenvolvimento de cultivares adaptadas para zonas equatoriais (DE ALMEIDA, 1999).

É uma espécie autógama, cleistogâmica e bissexual (CGEE, 2017), com mecanismos facilitadores de autopolinização, dificultando a identificação de déficits de polinização biótica, já que a cultura consegue produzir em níveis economicamente viáveis, embora aquém de seu potencial real (Milfont, 2012). A atratividade das flores de soja para as abelhas melíferas pode ser entendida pelas características florais, como a presença de nectários que circundam a base

do carpelo produzindo néctar, flor com guia de néctar bem definido e visível a ultravioleta, aroma particular e a presença de um canal guia para a introdução da língua das abelhas, permitindo que essas reconheçam as flores por sua cor, aroma, forma e padrão de abertura (Milfont, 2012; Gill et al., 2015).

O valor da produção anual da soja foi de US\$ 22 bilhões e a valoração do serviço de polinização biótica neste cultivo indicou que US\$ 5,7 bilhões é contribuição dos polinizadores (REBIPP e BPBES 2019). Em plantações em Maringá-PR, a produção de soja aumentou 50% com a presença da abelha *Apis mellifera*, ou seja, a presença de polinizadores, especialmente as abelhas, em ambiente de campo aberto ou em soja cultivada em gaiolas, aumenta a produtividade (Chiari et al., 2005). O principal inseto que poliniza a soja é a *Apis mellifera* (Fávero e Couto, 2000; Milfont, 2012; Jung, 2014). Gêneros de abelhas da família Halictidae como *Augochlora nausicaa* (Schrottky, 1909), *Augochlora pohemonae*, *Augocloropsis* (Cockerell 1935 sp. 1) e *Lasioglossum* (Curtis 1833 sp. 1) foram encontradas na Argentina polinizando a soja (Monasterolo, 2015; Fazam et al., 2017). Favero e Nogueira Couto (2000) registraram no Brasil espécimes das famílias Apidae e Vespidae como os mais abundantes visitantes florais em soja, seguidas por *Trigona* sp. e *Tetragonista* sp.

A polinização biótica em soja pode variar de 0,03% até 4% (Gazzoni, 2017), apesar de taxas maiores terem sido observadas (Chiari, 2008). A presença de polinização biótica, a adição de colmeias de abelhas (*Apis mellifera*) ou o aprimoramento do habitat para polinizadores selvagens podem melhorar a distribuição do pólen na superfície estigmática de flores férteis, bem como promover a polinização cruzada (Blettler et al., 2018), que é conhecida por aumentar a formação de frutos e sementes em muitos cultivos. Porém, há grandes déficits de polinizadores nas fazendas de soja, que resultam de um descompasso entre a demanda e a oferta de serviços de polinização. Embora a abelha melífera pareça ser o polinizador mais abundante da soja e tenha se mostrado eficaz para as variedades, outros insetos silvestres polinizando lavouras de soja, como outras abelhas, Diptera, Coleoptera e Lepidoptera, são importantes, pois tanto os polinizadores selvagens quanto os manejados são necessários para a polinização ideal (Garibaldi et al., 2013).

Devemos considerar que os polinizadores contribuem para a produtividade da soja, ao garantirem a qualidade da produção e minimizarem os impactos gerados por esta atividade (Witter et al., 2014), já que o crescimento notável e constante das áreas destinadas ao cultivo de soja em todo o mundo, não acompanham o aumento da polinização por insetos em áreas

próximas aos fragmentos de vegetação nativa (Klein et al., 2007, Monasterolo et al., 2015; Blettlet et al., 2018). Pesquisas nos Estados Unidos relacionam a influência de fragmentos de ambientes naturais em áreas agrícolas seguindo modelos que utilizam a disponibilidade de locais para a nidificação, de recursos florais e as distâncias do voo dos polinizadores (Imperatriz-Fonseca, 2012). Os fragmentos funcionam como reservatórios de polinizadores, pois espécies de menor tamanho tendem a se restringir a áreas mais próximas do fragmento e espécies maiores podem ser vistas no meio do cultivo (Monasterolo et al., 2015). Como os serviços de polinização de abelhas nativas são positivamente relacionados à proporção de habitat natural nas proximidades das áreas agrícolas, a estabilidade e a previsibilidade dos serviços de polinização biótica aumentam com a proximidade e a ampliação da área de habitat natural (Kremen, 2002).

O Cerrado brasileiro é o domínio fitogeográfico com a maior porcentagem de área utilizada para o cultivo de grãos no Brasil, mas plantações de soja ocorrem em outros domínios, como a Floresta Estacional Semidecidual da Mata Atlântica, presente na região estudada de Leme, interior de São Paulo, composto por 14% do Cerrado e 86% pela Mata Atlântica (MMA, 2013). Estudos da comunidade em escala local (Oliveira, 2020) são necessários para esclarecer a interação dos processos ecológicos que estruturam as comunidades ecológicas, gerando conhecimento sobre os processos que advém da desestruturação das comunidades ecológicas locais, o que pode ser valioso para o gerenciamento da biodiversidade (Oliveira, 2020), principalmente em áreas naturais e seminaturais que funcionam como recursos para os polinizadores da cultura da soja, já que abrigam a fauna local de possíveis polinizadores e visitantes florais. Com a perda de habitat, a polinização, dispersão de sementes, ciclagem de nutrientes e controle da população de insetos, são prejudicados (Watling et al., 2020) e novas condições aparecem, como habitats de borda ou áreas abertas, que podem atrair espécies oportunistas, aumentando a competição pelos recursos limitados (Gascon et al., 2000; Pimm e Raven, 2000).

Nesse estudo, foi investigado se a presença de fragmentos florestais (que são ambientes com estoque de polinizadores) próximos ao cultivo de soja beneficiaria a sua produtividade. Testamos se ocorre um aumento de produtividade no cultivo quando polinizadores visitam as flores de soja (tratamento controle). Nossa hipótese é de que os polinizadores proporcionam um aumento na produtividade de soja, assim esperamos que indivíduos de soja mais próximos de fragmentos florestais (estoque de polinizadores) produzam maior quantidade de frutos e

sementes, mostrando assim que é essencial a presença de áreas de vegetação próximas a monoculturas, mesmo que estas não sejam dependentes de polinização biótica.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é avaliar a contribuição dos fragmentos florestais na provisão do serviço de polinização biótica para o aumento da produtividade da soja, em termos quantitativos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Visamos responder questões como:

- 1) Qual é a dependência da polinização biótica para a produção de frutos e sementes na cultura da soja? Esperamos que o rendimento da soja seja maior com a presença dos polinizadores. Já que os polinizadores auxiliam na transferência de pólen e na deposição de pólen na planta.
- 2) Qual a influência da distância e tamanho das áreas naturais e seminaturais na produtividade da soja? Esperamos que a produtividade seja maior nos tratamentos mais próximos aos fragmentos florestais devido à menor distância que o polinizador deve percorrer para acessar as plantas.
- 3) Qual a composição da entomofauna que visitam as flores de soja? Esperamos que a entomofauna de visitantes florais na soja seja composta tanto por abelhas nativas quanto exóticas (e.g. *Apis mellifera*), e por outros grupos de insetos como vespas, mariposas, borboletas, besouros, uma vez que a soja apresenta características florais relacionadas à polinização por abelhas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Area de estudo

Realizamos o estudo no município de Leme, SP (22°11'21" S e 47°23'53" O). A vegetação no Ribeirão do Meio, local das propriedades estudadas, apresenta cobertura vegetal natural de fitofisionomias do Cerrado com vegetação tropical alta e densa, mata ciliar e floresta estacional semidecidual. Essa vegetação, com o decorrer do tempo foi quase erradicada, restando poucas áreas naturais (Lollo, 1991), devido à expansão urbana e a agropecuária (Padilha, 2009), que se beneficiaram do relevo com poucas variações altimétricas no município.

Nas áreas mais drenadas próximas à calha do rio, predominam as Matas Ciliares, restritas a uma estreita faixa descontínua às margens do curso médio do Ribeirão do Meio (Souza Sardinha et al., 2010). Há 67 Unidades de Produção Agrícola (UPA) de soja no município de Leme, SP cujos tamanhos variam de 1,0 a 162,3 ha e totalizam 1.501,8 ha de área cultivada (Projeto LUPA, 2016/2017). As diferenças de tamanho das UPAs estão associadas ao tipo de sistema (familiar, patronal, empresa rural, ou grande propriedade), e é concebida como um sistema composto de um conjunto de elementos em interação, como sistemas de cultivo, criação e/ou transformação, influenciados pelos objetivos do produtor rural e de seu sistema social, aberto e em interação com o meio econômico, físico e humano (Miguel, 2010).

Este estudo foi realizado em três propriedades: Tuche (área A), Pepa (área B) e Davi (área C), selecionadas por apresentarem vegetação natural nas proximidades, favorecendo a análise da relação entre a soja e os insetos polinizadores presentes na área (Figura 1), pela presença do cultivo e por serem os maiores produtores de soja da região de Leme, SP.

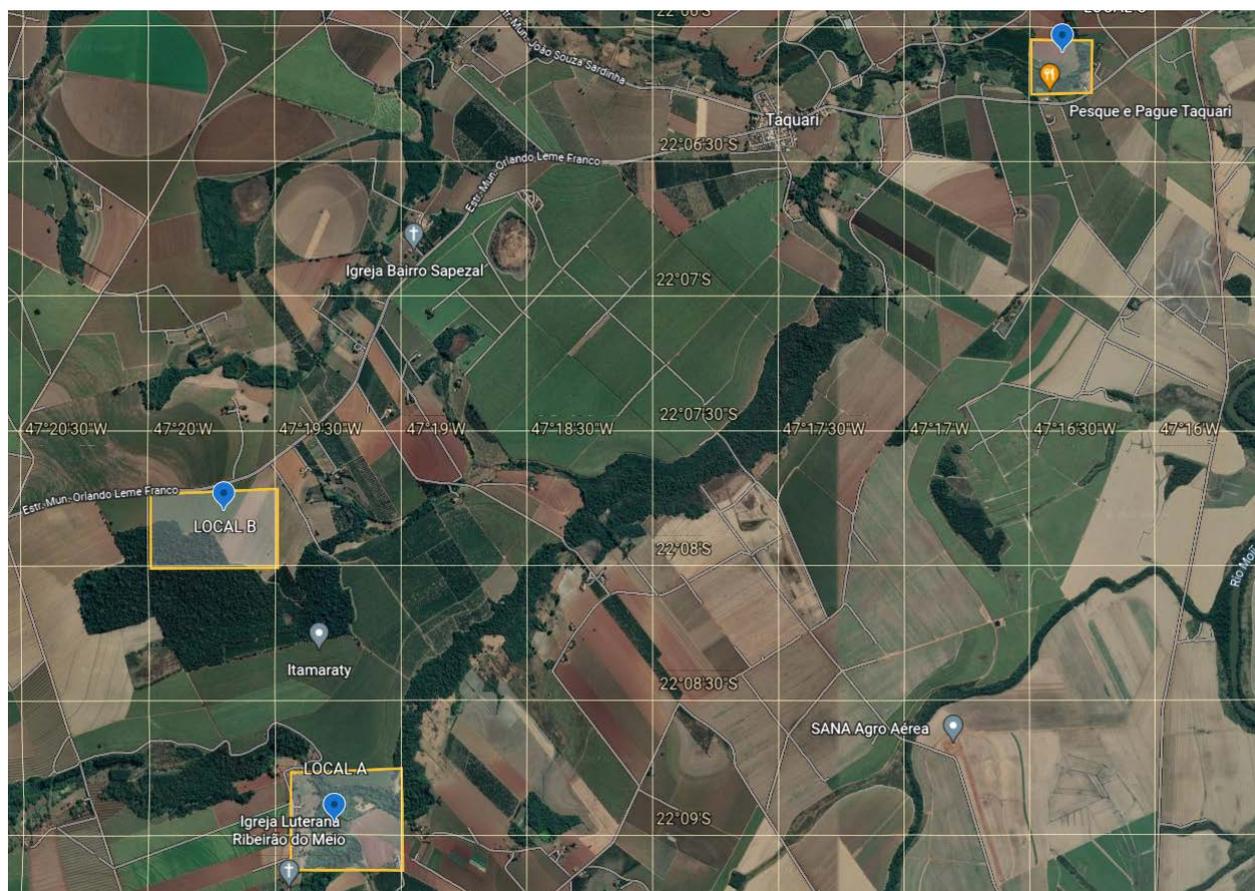


Figura 1: Áreas de Leme, SP estudadas durante a pesquisa.

A escolha das áreas de estudo levou em conta recomendações da Secretaria da Agricultura na identificação de propriedades que atendesse os critérios desejados, esses critérios foram: a presença de fragmentos florestais próximos, a presença da soja e a ausência de estradas que interferissem o trabalho.

Assim visitamos as áreas e analisamos, com o uso do Google Earth, a área que apresentava a área nativa mais contínua, ou seja, aquela área com vegetação nativa que não foi interrompida por rodovias ou que estava fragmentada.

A área A apresenta soja do cultivar Monsoy 6410 IPRO, com plantas baixas. A cultivar Monsoy 6410 IPRO possui resistência moderada a algumas doenças, como mancha alva, oídio, crestamento bacteriano e pústula bacteriana, altura média de 86 cm e hábito de crescimento indeterminado. A planta apresenta precocidade (2ª safra), alta estabilidade, excelente sanidade foliar e ampla adaptação geográfica (Monsoy, 2018). Na área B, é cultivada a soja Brasmax

foco, com plantas altas e muitos frutos com grande quantidade de grãos por vagem. O cultivar Brasmax foco apresenta crescimento indeterminado, com ciclo médio de 109 dias (Lima et al., 2021; Aguilera, 2020). Na área C, a soja cultivada é a TMG 7067, e dentre as propriedades foi a que apresentou grão maior, plantas baixas e com muitas ramificações. O cultivar TMG 7067 apresenta crescimento semideterminado, a flor é branca, com cor da pubescência cinza e a cor do hilo da semente marrom clara (Zuffo, 2022).

3.1 GRAU DE DEPENDÊNCIA DA SOJA QUANTO À POLINIZAÇÃO BIÓTICA

Para avaliar a dependência da soja em relação aos polinizadores (Chiari, 2005; Klein et al., 2007), aplicamos dois tratamentos de polinização biótica em cada área de amostragem durante o período de floração dos campos de soja:

1. Exclusão de polinizadores: neste tratamento, estabelecemos parcelas de $1 \times 1 \text{ m}^2$ cercadas por molduras semelhantes a gaiolas e cobertas com o tecido voal para impedir que os polinizadores/visitantes acessassem as flores de soja.
2. Polinização aberta (controle): para este tratamento estabelecemos uma área de 1 m^2 , mas sem o uso do voal, permitindo livre acesso para polinizadores/visitantes florais.

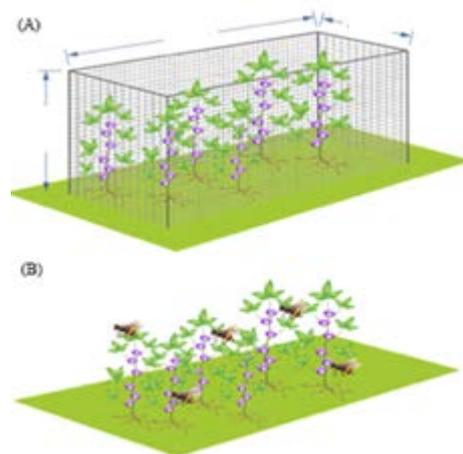


Figura 2. Tratamentos de polinização para avaliar o efeito de visitantes florais na produção de soja. (A) exclusão de polinizadores e (B) polinização aberta.

Quando os frutos estavam maduros e prontos para serem coletados, foram avaliadas as seguintes variáveis em cada tipo de tratamento de polinização (exclusão e polinização aberta):

(I) Número de sementes por unidade de área (m^2); para quantificar o número de sementes, contamos o número de sementes por planta em cada tratamento.

(II) Peso médio das sementes; todas as vagens da área amostral foram abertas, as sementes colocadas em um pote e pesadas em uma balança. O peso do pote foi subtraído do total.

(III) Número de sementes por vagem e planta; contabilizamos as vagens em grupos de dois até quatro sementes por planta e contamos as sementes por plantas.

(IV) Rendimento por metro quadrado (g/m^2); coletamos e contamos todas as plantas dos tratamentos, então separamos elas por tratamentos, contamos o número de vagens e depois fizemos a pesagem das plantas sem as vagens.

Para analisarmos a dependência da soja para a produção de sementes, calculamos o número de sementes por unidade de área (m^2), assim quantificamos e contamos o número de sementes por planta em cada tratamento. A dependência da soja pode ser percebida através do estudo das variáveis, a variável mais importante apresenta o χ^2 mais alto e um valor de p mais baixo.

Após a colheita das plantas dos tratamentos, estas foram deixadas ao sol para secarem qualquer umidade e pesadas todos os dias até o peso se estabilizar em um valor. Essas foram medidas e pesadas juntas, para controlarmos o efeito da biomassa sobre a produtividade.

3.2 PRODUTIVIDADE EM RELAÇÃO ÀS ÁREAS NATURAIS E SEMINATURAIS

Analisamos se as distâncias de 50 m e 150 m dos fragmentos florestais interferem nas variáveis medidas nos tratamentos correspondentes, comparando os valores e a produtividade de cada uma. Essa etapa foi realizada com a ajuda do software R. Essas distâncias foram escolhidas de acordo com um protocolo ainda em estudo, que irão compor o projeto Safeguarding Pollination Services project in a Changing World: teoria em prática (SURPASS 2, não publicado), financiado pelo NERC - Ciência do Meio Ambiente, que também é um projeto temático aprovado pela FAPESP, que tem como um de seus principais objetivos, compreender a importância relativa dos polinizadores para as principais culturas do mundo e da América do sul.

Para avaliarmos a importância delas para a produtividade da soja, utilizamos a medida corrigida. Realizada ao medirmos o comprimento de todas as plantas, selecionamos 5 aleatoriamente e realizamos a divisão entre o peso seco médio das plantas pelo comprimento de cada planta medida selecionada. A variável preditora é o tratamento e a covariável é o peso da planta para identificarmos se é o tratamento ou a presença das gaiolas que altera os valores, já que os tratamentos fechados podem ser suscetíveis a alterações climáticas, menor incidência solar e maior umidade. Somando todo o esforço amostral, foram estabelecidas oito parcelas por área amostrada e esse protocolo se repetiu em três áreas (A, B, C) independentes, resultando em um total de 32 parcelas.

3.3 COMPOSIÇÃO DA ENTOMOFAUNA ASSOCIADAS ÀS PLANTAÇÕES DE SOJA

Foram realizadas visitas regulares às três propriedades no período de floração e frutificação da soja, no final de 2020 até março de 2021, as visitas foram feitas atendendo o tempo de floração estabelecido de 25, 50 e 75%, que corresponderam aos meses de dezembro até a colheita da soja em março. Transectos foram percorridos e armadilhas (*pan traps*) foram colocadas para verificar a composição da entomofauna. Durante a floração, realizamos amostragens repetidas da abundância e diversidade de polinizadores em cada campo de soja usando transectos de 100 m em linha reta (Figura 3), percorridos a pé com 20 minutos de duração (Templ et al., 2019), 15 transectos por dia foram cobertos entre 10h e 17h a três distâncias da borda das plantações, dentro da área seminatural, à 50 e 150 m da borda. As observações feitas durante os transectos foram registradas através de caminhada com celular à mão para registrar fotos.

Para avaliar as características comportamentais dos visitantes florais e polinizadores, observamos os comportamentos dos animais que pousaram na soja. As espécies de abelhas capturadas nas *pan traps* foram identificadas e o comportamento destes polinizadores foram analisados através de fotos e filmagens. As *pan trap* são armadilhas feitas com pratinhos de plástico de 3 cores, onde é colocado água e detergente (Vrdoljak, 2012) para quebrar a tensão superficial da água, assim quando os insetos confundem o prato com uma flor, ficam presos na mistura.

As *pan traps* foram utilizadas como uma ferramenta passiva para se monitorar a abundância de espécies, atraídos pelas cores, tamanhos, formas, fragrâncias e recompensas (pólen/néctar/óleos) das flores (Gross e Carpenter 1991). Para o experimento as cores

escolhidas foram branco, amarelo e azul (Peitsch et al., 1992; Chittka et al., 1994; Campbell & Hanula, 2007; Csanády, 2021), já que essas cores atraem grande número de insetos.

Após a coleta, os insetos foram alfinetados e analisados, classificamos os insetos por seus grupos funcionais segundo o site Divulgare e para classificar as abelhas utilizamos o site A.B.E.L.H.A.

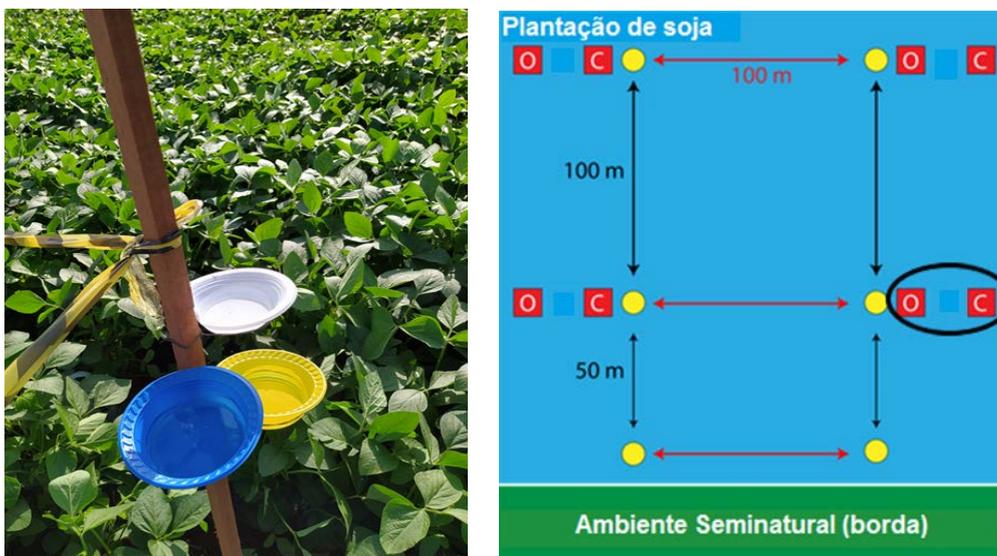


Figura 3. A) Pan traps B) Esquema de amostragem que foi aplicado em cada uma das três plantações de soja (retângulo azul). Os quadrados vermelhos indicam as gaiolas (O = Aberto, C = Fechado), e os círculos amarelos são as estações de captura de armadilhas (pan traps). O retângulo verde representa o fragmento florestal.

As capturas nas armadilhas foram realizadas no início, meio e final do período de floração. O conteúdo da armadilha de cada um dos seis pontos de amostragem de cada área foi preservado em álcool 70% e retornado ao laboratório para identificação.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Para responder os objetivos 1 e 2, selecionamos dez plantas de cada tratamento, essas unidades amostrais foram usadas em modelos gerais mistos (GLMM) com distribuição gaussiana. Para esses modelos, agrupamos todos os dados das três plantações em uma única análise. Fizemos modelos distintos para cada variável de rendimento tomada (número de sementes, peso das sementes, número de vagens e rendimento por m²), que foram transformadas em log₁₀ e usadas como variáveis dependentes nos modelos. Como efeito fixo, utilizamos o

tratamento de polinização (aberto *versus* fechado-exclusão) e a distância para a área seminatural. Além disso, adicionamos como covariável em nossos modelos uma estimativa de peso seco da planta. Para essa estimativa, sorteamos ao acaso cinco plantas em cada tratamento e as secamos completamente, e todas as demais plantas tiveram seu comprimento medido. Então, fizemos uma razão entre o valor médio de peso seco obtido a partir das cinco plantas de cada tratamento pelo comprimento de cada planta. Com isso, cada amostra teve um valor estimado de biomassa. Essa covariável é importante para controlar possíveis efeitos de confusão entre tratamentos aberto e fechado, uma vez que os tratamentos fechados estão sujeitos a alterações microclimáticas, menor radiação solar e maior umidade, (Santone et al., 2022) que podem influenciar negativamente o crescimento da planta, afetando o rendimento de frutos e sementes.

Por fim, cada par de tratamento aberto e fechado foi replicado duas vezes em cada distância, ou seja, dois blocos de tratamentos a 50 m (A e B), e dois blocos a 150 (C e D) m da borda do fragmento florestal. Como cada bloco está sujeito a peculiaridades locais, e que podem causar ruído nas relações entre tratamentos aberto e fechado, utilizamos esse bloco específico para cada combinação de tratamento e plantação (e.g. Tucho_50m_A) como variável aleatória em nossos modelos. Realizamos todas as análises no R (R Core Team, 2021); para executar os modelos mistos utilizamos o pacote “glmmTMB” (Brooks et al., 2017), para acessar a significância dos efeitos fixos utilizamos Anova do tipo II, disponível no pacote “car” (Fox e Weisberg, 2019). Para calcular as médias preditas pelos modelos, utilizamos o pacote “emmeans” (Lenth, 2021), e para a visualização dos resultados dos modelos, utilizamos o pacote “ggeffects” (Lüdtke D, 2018).

Para responder o objetivo 3 contamos com dois recursos, o transecto e as pan traps. No transecto todas as observações dos insetos avistados foram transformadas em gráficos utilizando os pacotes: “ggplot” (Wickham, 2016) relacionando o período do dia com a visitação dos polinizadores. Nas pan traps contamos o número de espécies encontradas em cada pan trap próxima ao tratamento e na vegetação nativa. Alfinetamos as espécies em uma folha de isopor de acordo com o tratamento e localização para podermos identificar os gêneros e anotar os nomes. Separamos os insetos pelos tratamentos e pelas cores das pan traps.

4. RESULTADOS

4.1 QUAL É A DEPENDÊNCIA DA POLINIZAÇÃO BIÓTICA PARA A PRODUÇÃO DE FRUTOS E SEMENTES NA CULTURA DA SOJA?

Podemos perceber isso no tratamento aberto, que ao permitir o contato com o polinizador gera aumento na produção de sementes, assim no tratamento aberto o número de sementes é maior do que no tratamento fechado.

Na tabela 1 (Apêndice) temos as médias dos valores, os valores individuais dos tratamentos abertos e fechados e a porcentagem do aumento de um tratamento para o outro. Ao compararmos as médias dos tratamentos, percebemos que o tratamento aberto apresenta 68% (lsmeans= 0.225; valores= 1.680; SE=0.017; gl= 445) mais sementes, valor obtido da média do tratamento aberto (lsmeans= 2.328; valores= 212.795; SE=0.067; gl=445) e do fechado (lsmeans= 2.103; valores=126.652; SE= 0.066; gl=445), que são os parâmetros dos modelos. A quantidade de sementes por vagem no tratamento aberto (lsmeans = 1,916; valores= 82.409; SE= 0.062; gl=445) é 58% maior que no fechado (lsmeans= 1.715; valores= 51.902; SE= 0.062; gl=445). Esse aumento fica evidente ao compararmos os tratamentos abertos e fechados (aberta - fechada= 0.201; valores=1.588; SE=0.017; gl=445).

O peso das plantas é maior no tratamento aberto do que no tratamento fechado (Anova tipo 2, $X^2= 14.4188$; gl=1; $\text{Pr}(> \text{Chisq})=0.0001463^{***}$). A interação entre tratamento e distância nos mostra que mesmo que as distâncias não tenham influência, os tratamentos abertos se destacam (Anova tipo 2, $X^2= 13.6486$; gl=1; $\text{Pr}(> \text{Chisq})=0.0002204^{***}$). Podemos perceber que as sementes são 95% (lsmeans= 0.291; aberta - fechada= 1,95; SE = 0.018; gl=445) mais pesadas no tratamento aberto (lsmeans= 1.502; valores= 31.791; SE= 0.076; gl=445) do que no tratamento fechado (lsmeans= 1.211; valores= 16.269; SE= 0.076; gl=445).

Na figura 4 temos a representação gráfica do aumento da produtividade em relação aos tratamentos, é possível notar que o tratamento aberto se destaca em todas as variáveis.

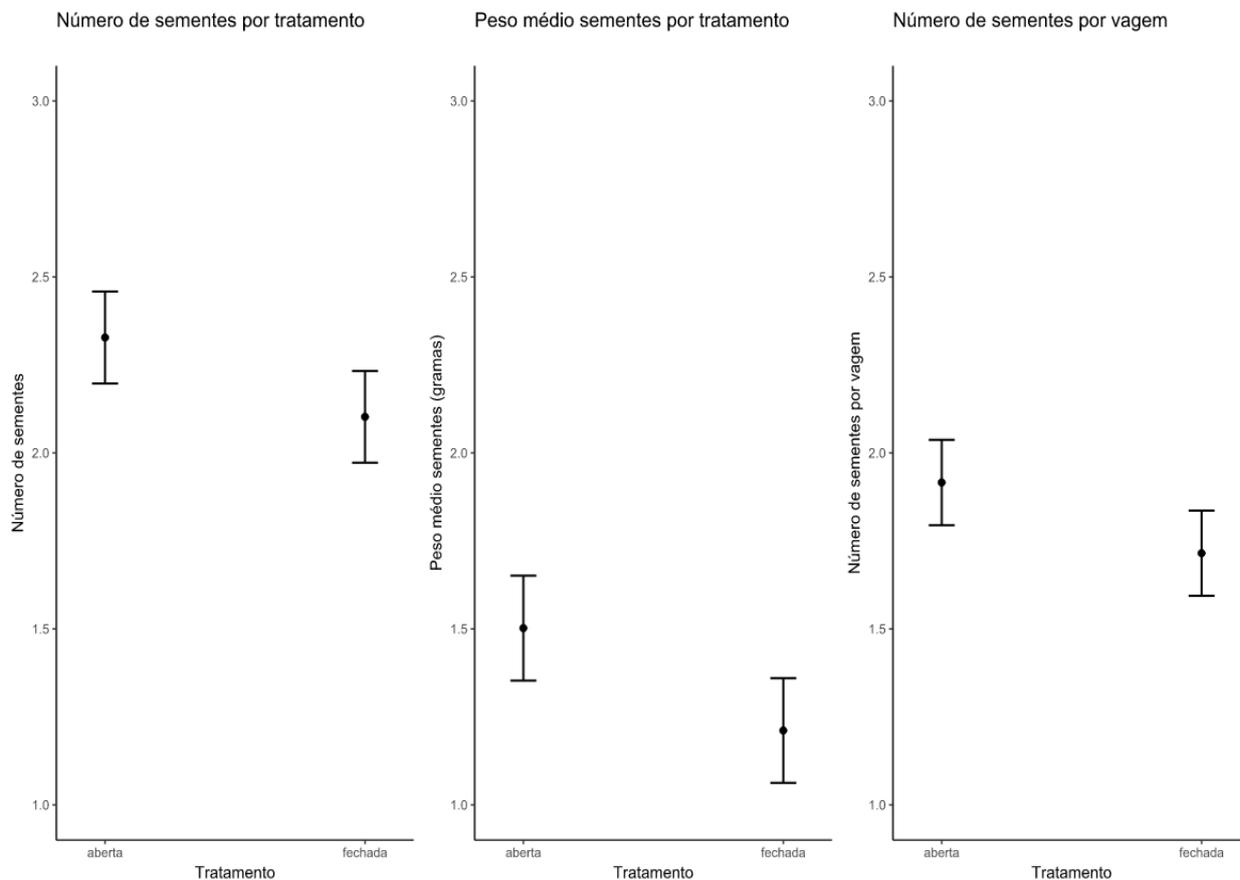


Figura 4 – Comparação entre tratamento aberto e fechado (exclusão de polinizadores) para A) número de sementes, B) peso médio das sementes em gramas e C) número de sementes por vagens de soja.

Ao analisar os dados, percebemos que a área C apresentou resultados em que as sementes foram mais pesadas entre total de sementes e tratamento aberto, do que as outras cultivares. Na área A e na área B, a diferença entre tratamentos foi menor, mas o tratamento aberto demonstrou valores maiores. É evidente que nos tratamentos com polinização aberta ocorre maior formação de sementes do que nos tratamentos de exclusão de polinizadores.

4.2) AS PLANTAÇÕES DE SOJA PRÓXIMAS AS ÁREAS NATURAIS TÊM MAIOR PRODUTIVIDADE?

Tanto peso quanto o tratamento auxiliam a produtividade no tratamento aberto. Em relação ao peso seco das plantas, este foi maior no tratamento aberto à 150 m da vegetação nativa, que apresentou sementes mais pesadas em relação à distância de 50 m. No tratamento

fechado, a distância de 50 m apresenta resultados melhores que 150 m, provavelmente por uma questão de sombreamento da área mais próxima à vegetação nativa.

Apenas na área A, os tratamentos que foram instalados à distância de 50 m apresentaram pouca diferença com relação à quantidade de frutos formados. Ao analisarmos a Tabela 2 (Apêndice), não encontramos evidência de diferença significativa no rendimento da soja em relação à distância do fragmento. Quando comparamos a distância de 50 m no tratamento aberto, temos mais sementes (lsm_{means} = 2.29; SE= 0.0713; Gl=444; lower.CL=2.15; upper.CL=2.43) em relação ao fechado (lsm_{mean} = 2.11; SE= 0.0711; Gl=444; lower.CL=1.97; upper.CL=2.25), o tratamento aberto apresenta 17% (estimativa = 0.179; SE =0.0213; Gl=444; t.ratio= 8.389; p.valor=<.0001) de aumento no número de sementes em relação ao tratamento fechado a 50 m

No tratamento aberto a diferença entre 50 m e 150 m foi de 9% (estimativa=-0.0954; SE=0.0387; gl=444; t.ratio=-2.467; p.valor=0.0140). Porém ao compararmos o tratamento aberto a 50 m com o tratamento aberto a 150 m (lsm_{mean} =2.39; SE =0.0720; Gl =444; lower.CL =2.24; upper.CL =2.53), notamos que a 150 m os valores são maiores, ou seja, mais sementes. A distância de 150 m, no tratamento aberto temos mais sementes que no fechado (lsm_{mean} =2.08; SE =0.0716, Gl =444; lower.CL =1.94; upper.CL =2.22).

No tratamento fechado a diferença entre 50 m e 150 m foi de 3% (estimativa=0.0334; SE=0.0377; gl=444; t.ratio=0.886; p.valor=0.3759). A distância 150 m, no tratamento aberto apresenta 30% (estimativa = 0.308; SE=0.0282; Gl=444; t.ratio=10.918; p.valor=<.0001) de aumento no número de sementes em relação ao tratamento fechado. O peso corrigido revela que tratamento e peso têm efeito importante, mas o peso não tira o efeito do tratamento, que pode estar sendo positivo pela presença de polinizadores.

4.3) QUAL A COMPOSIÇÃO DA ENTOMOFAUNA QUE VISITA AS FLORES DE SOJA?

Os principais visitantes florais encontrados foram abelhas, borboletas e percevejos (Figura 5). Há insetos nas plantas de soja que podem ser apenas visitantes florais contactando os elementos reprodutivos das plantas ou polinizadores.

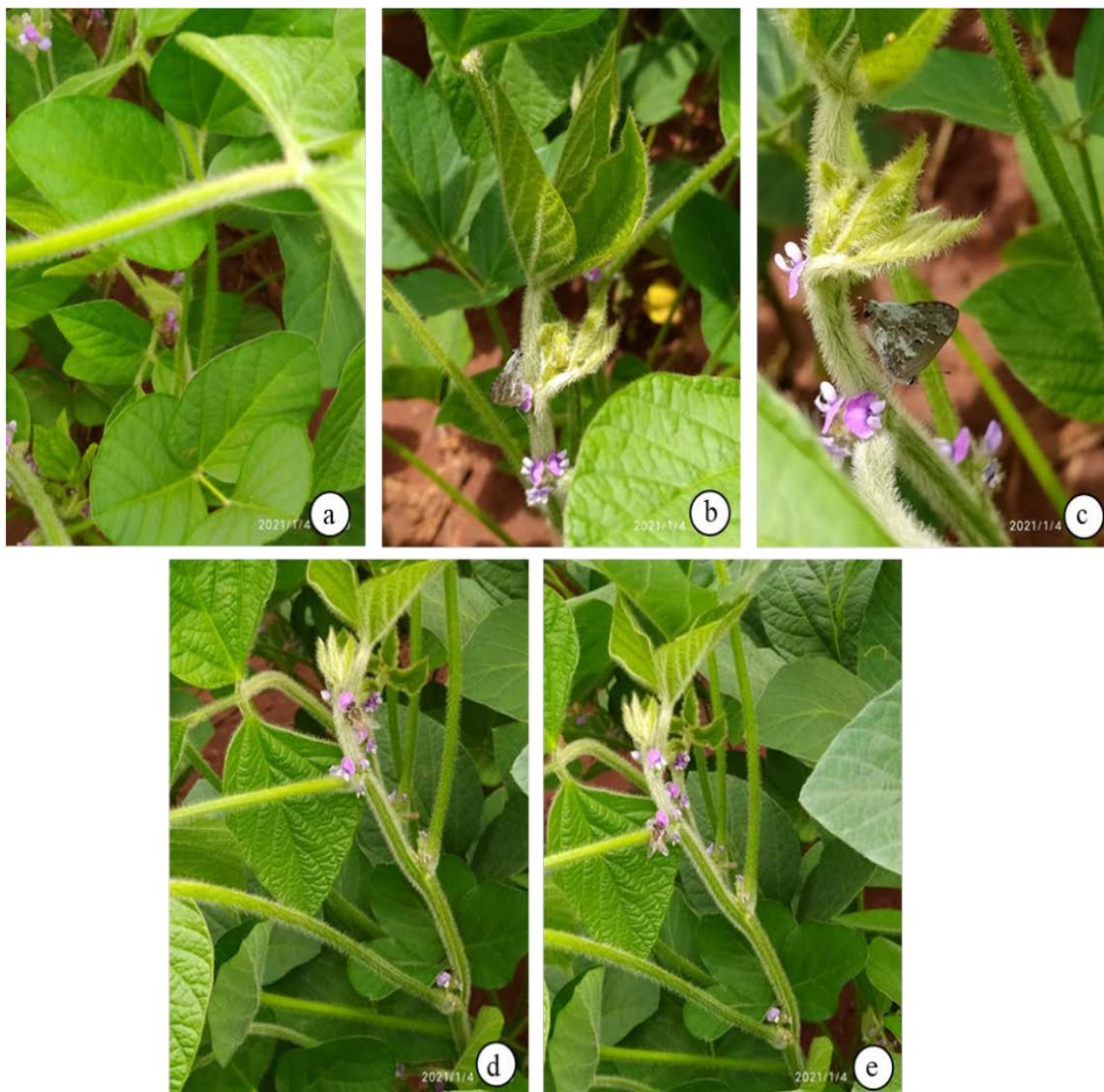


Figura 5. Insetos avistados durante o transecto que demonstram o contato de (a) percevejos, (b, c) borboletas e (d, e) abelhas na flor de soja.

O número de abelhas nativas nas áreas é maior que o número de abelhas *Apis* (figura 6). Na área A temos a redução das atividades da *Apis* a partir das 13h-14h, com maior atividade das abelhas nativas. A 50 m da vegetação nativa há maior incidência de abelhas nativas. Na área B percebemos que as abelhas nativas se destacam, tanto a 50 m quanto a 150 m da vegetação nativa. Na área C as abelhas nativas estão mais ativas que as *Apis* a partir das 13h-14h e esse comportamento se repete em todos os tratamentos e distâncias na área C.

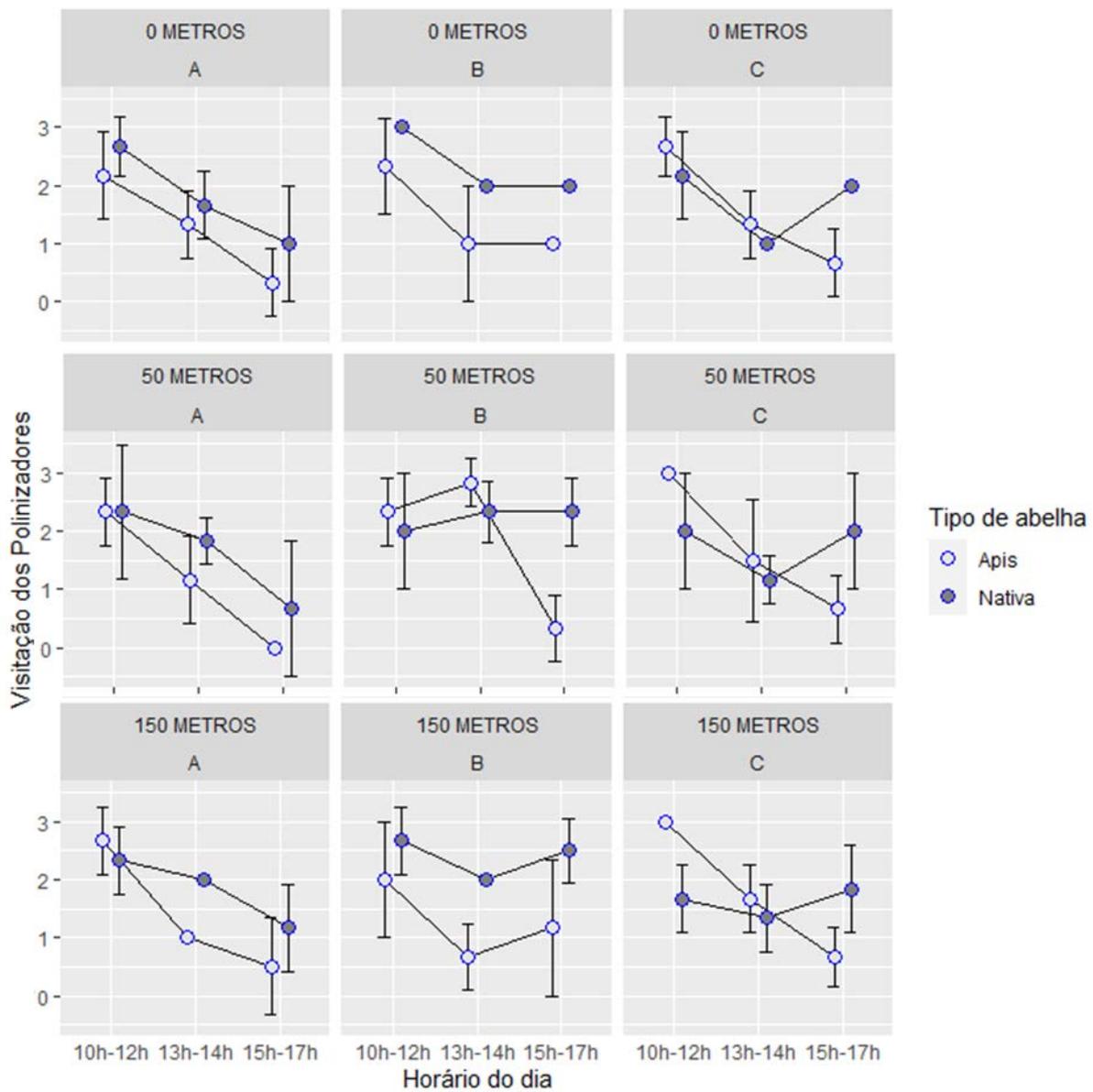


Figura 6 – Gráfico dos transectos separado por distância e tipo de abelha, levando em conta as áreas de forma separada

Com a Figura 7 podemos interpretar uma redução da atividade das abelhas a partir das 13h-14h, com uma redução bastante significativa das abelhas *Apis* às 15h-17h.

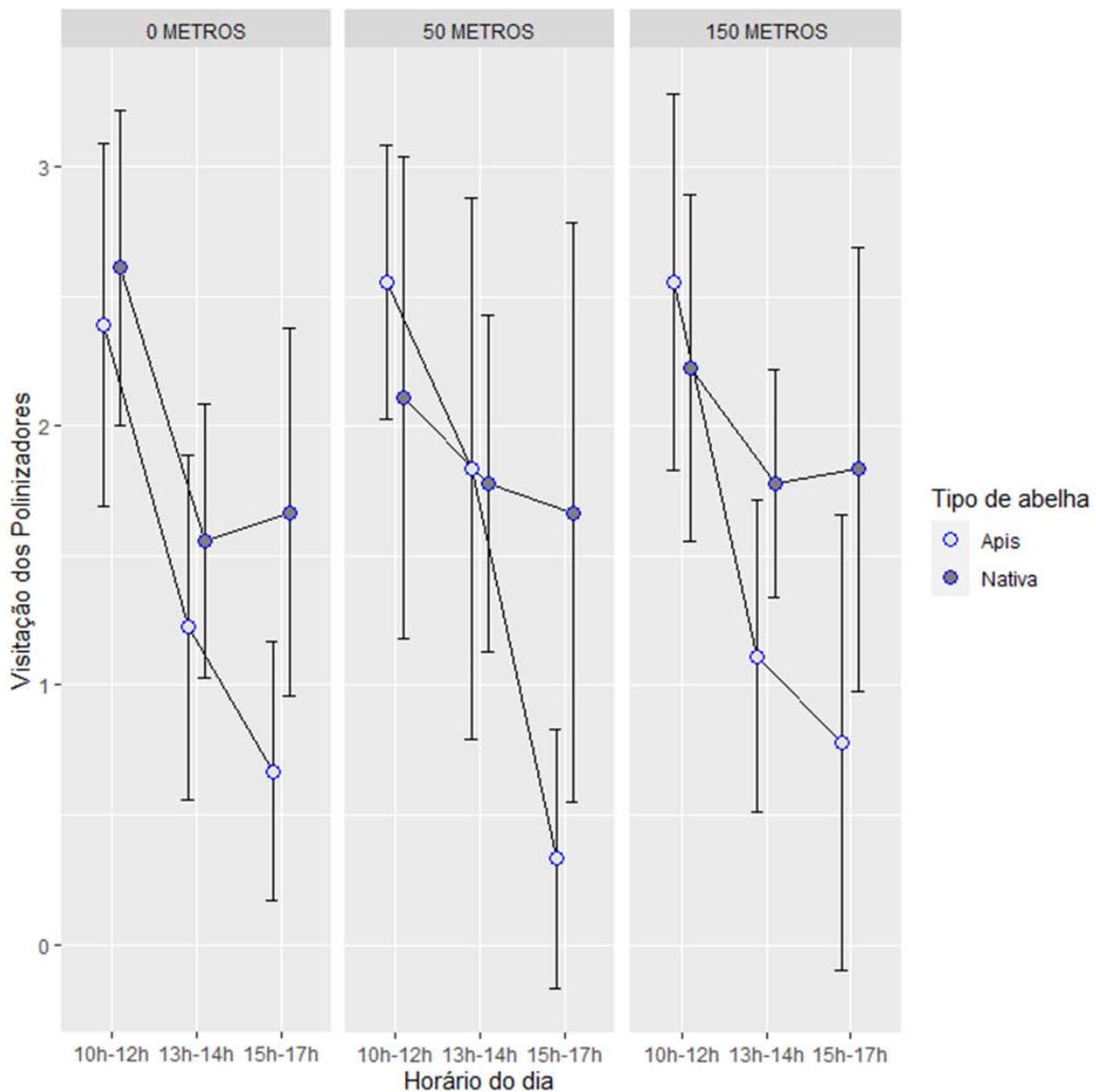


Figura 7 – Gráfico dos transectos separado por distância e tipo de abelha, não levando em conta as áreas de forma separada

Os insetos foram classificados por grupos funcionais segundo a classificação de Luis Navarro/Divulgar que pode ser encontrada no site: <http://plantecology.webs7.uvigo.es/iconos-de-grupos-funcionales-de-polinizadores/>, site da Universidade de Vigo.

Na área A foram coletados 19 insetos na pan trap azul, 12 na pan trap amarela e 13 na pan trap branca. Na área B podemos observar 21 insetos que caíram na pan trap azul, 9 na amarela e 12 na pan trap branca. E na área C temos 22 insetos na pan trap azul, 21 na pan trap amarela e 12 na pan trap branca. O total de insetos das pan traps azuis foi de 62, das brancas 37

e das amarelas 42. Ao analisarmos os conteúdos das pan traps, percebemos que os insetos mais dominantes foram as abelhas. O tratamento que mais apresentou espécies foi o T3-T4.

Tabela 3- Insetos coletados nas pan traps classificados em grupos funcionais e tratamentos

Grupos funcionais	A			B			C		
	T1-T2	T3-T4	T5-T6	T1-T2	T3-T4	T5-T6	T1-T2	T3-T4	T5-T6
<i>Apis mellifera</i>		3			2	1	2	2	1
<i>Augochlora</i> sp. 1				2					
<i>Augochloropsis</i> sp. 1			1	3				1	
<i>Augochloropsis</i> sp. 2			1	3	2				
<i>Augochloropsis</i> sp. 3					1				1
<i>Augochloropsis</i> sp. 4						1			
Beetle (i.e <i>Cantharidae</i>)					1	1			
Beetle sp. 1			1					1	
Beetle sp. 2							1		
Beetle sp. 3		1							
<i>Bombus morio</i>								1	1
Bug (Hemiptera)							1		
<i>Centris</i> sp. 1		1							
<i>Chrysomelidae</i> sp. 1					1				
<i>Epicharis</i> sp. 1									1
<i>Euglossa cordata</i>					1				
<i>Eulaema nigrata</i>			1					1	
<i>Exomalopsis</i> sp. 1		1	1					2	8
Fly		4	1						
Fly sp. 1								6	1
Moth (i.e <i>Noctuidae</i>)	1	1	4	3		2		1	
Moth (i.e <i>Noctuidae</i>) sp. 1									2
<i>Oxalea flavescens</i>						1		2	
Percevejo Heteroptera sp. 1					2	1			
<i>Scaptotrigona postica</i>		1			2	1			
Short tongued small bee sp. 1				2		1			
Short tongued small bee sp. 2							1		
Small hoverfly sp. 1			1						
Small wasps sp. 1				1					
Small wasps sp. 2			1	1					
<i>Trigona spinipes</i>		1			2			3	3
Wasp sp. 1		2							
Wasp sp. 2			1						

Não identificados	6	6	4	1	3		3	3	5
Total	7	21	17	16	17	9	8	23	23

5. DISCUSSÃO

A relação entre o aumento da produtividade e a presença de áreas naturais pode ser entendida porque as áreas naturais são locais de nidificação e abrigo para diversos insetos, que visitam e polinizam a soja, contribuindo com a produtividade. Os locais analisados apresentavam áreas naturais próximas ao cultivo, na ausência dessas áreas os polinizadores não teriam locais para nidificar. Foi visto nas áreas naturais colmeias e insetos principalmente durante o transecto. É sabido que quando a diversidade é impactada negativamente pela extensa fragmentação de habitat e homogeneização da paisagem dos ecossistemas (Xiao et al., 2016), os pequenos remanescentes de vegetação em paisagens agrícolas são os únicos habitats remanescentes para muitas espécies de plantas (Reynolds, 2022) e polinizadores. A implementação de habitat em áreas agrícolas pode aumentar as populações de polinizadores levando os mesmos aos campos de cultivo (Buhk et al., 2018). O habitat fornece recursos durante a temporada ativa ajudando os polinizadores, especialmente porque muitas culturas têm floração de duração curta (Klatt et al., 2013).

A presença de habitats naturais impacta positivamente algumas medidas de qualidade e quantidade da produção de soja, mais especificamente aumentando o peso das sementes. Isso mostra que o habitat próximo aos campos de soja resulta em mais visitas de polinizadores e melhores serviços de polinização biótica. Levenson (2022) encontra numericamente mais sementes por planta nos locais adjacentes e mais sementes deformadas por planta nos locais de controle negativo. Então a proximidade da cultura de soja com as áreas naturais favorece essa visitação, que impacta na quantidade ou qualidade da cultura. Na maioria dos casos conhecidos, a baixa atividade de polinizadores adequados em sistemas agrícolas intensivos, aliado a uma concomitante perda de habitat próximo ao cultivo, leva ao déficit na produtividade (Richards, 2001).

Neste estudo foi analisada se a presença de polinizadores na cultura da soja aumenta a produtividade e se os tratamentos abertos se destacam em relação aos fechados. O número de sementes é maior conforme aumenta o peso seco da planta, principalmente nos tratamentos abertos, assim entendemos que as sementes maiores compensam o número de vagens e sementes por vagens, já que possuem, embriões bem formados e com quantidades maiores de reservas, potencialmente mais vigorosas (Carvalho e Nakagawa, 2000). O tamanho das sementes e o número de vagens estão associados com o peso seco final, ou seja, cultivares de

sementes pequenas necessitam de um número maior para alcançarem o peso seco final dos cultivares de sementes maiores, assim, há relação direta entre tamanho de semente e produtividade, na qual as sementes de tamanho maior produzem mais (Krzyzanowski et al., 2005). No entanto, outros pesquisadores não encontraram diferenças na qualidade das sementes de diferentes tamanhos (Silva e Marcos Filho, 1982), nem que o peso e o tamanho das sementes influenciaram os resultados de testes conduzidos em laboratório e no campo. Sobre isso pode-se entender que o tamanho das sementes não seria um limitante para a produtividade (Santos, 1989), já que muitas vezes a quantidade produzida supera a necessidade de sementes maiores.

Em relação ao peso seco das plantas, esse foi maior no tratamento aberto. A comparação entre peso seco das plantas e o tratamento revela que as plantas se desenvolvem mais ao estarem fora das gaiolas, sem a presença do voal. Foi analisado se as gaiolas poderiam alterar o microclima das plantas, segurando mais a água e impactando no tamanho das plantas. Levando em conta a questão se é o polinizador ou o fato de as plantas estarem fechadas que altera o resultado. Concluímos que quanto maior a medida corrigida, maior o tamanho da planta e o número de sementes. Esse efeito identifica se as plantas crescem mais ou menos dentro das gaiolas e se as gaiolas influenciam os valores do tratamento ou não. Percebemos que o tratamento e a medida corrigida são significativos, ou seja, quanto maior a planta, maior a produção em qualquer tratamento.

Segundo Adamidis (2019), a polinização das flores por insetos altera a alocação de recursos para as plantas, modificando as características funcionais, esforço de floração, tamanho e forma da planta, sementes e biomassa das raízes, o que leva ao aumento da produção, qualidade das sementes e a dependência de polinizadores, assim a produção de sementes diminui na ausência de polinizadores. Já em contato com os polinizadores as plantas reduzem seu período de floração e canalizam a energia para a produção de sementes.

A soja é uma planta que apresenta dependência moderada (Giannini et al., 2015; BPBES, 2019) em relação à polinização biótica, dessa forma tem sua produtividade aumentada pela presença dos polinizadores. Estes realizam serviço ecossistêmico importante para a produção de alimentos, com a presença deles na área de monocultura, a produtividade aumenta, sem a substituição de áreas nativas. A presença desses aumenta o peso e o número de sementes, aumento também relatado em girassol e melão (Moreti et al., 1996; Cruz e Campos, 2009; De Sousa et al., 2014; De Sousa et al., 2016).

A distância de fragmentos florestais não explica o aumento no número de sementes em plantas de soja. Dessa relação entre tratamentos podemos entender que os tratamentos abertos, ou seja, quando há o contato com polinizadores, aumenta a produtividade, contudo as distâncias utilizadas não apresentam diferença expressiva e não são decisivas para o aumento da produtividade, isso pode ser devido às distâncias não serem longe uma da outra o suficiente para apresentarem resultados significativamente diferentes. Os resultados das distâncias podem ser explicados pelo tipo de inseto na região, se esses polinizadores voam mais longe para forragear, a distância de 150 m pode ter sido pequena, é preciso mais estudos em relação à distância, já que os polinizadores são afetados por diversos fatores da paisagem. Em relação às respostas das abelhas aos impactos, essas são influenciadas pela área em se encontram (Kennedy et al., 2013), assim o tamanho mínimo de um fragmento capaz de sustentar a diversidade de insetos pode variar conforme o clima, solo, grau de endemismo e tipo de distribuição das espécies.

Ao analisarmos os conteúdos das pan traps percebemos muitas abelhas nativas. Algumas espécies de abelhas enxergam o branco como uma cor verde azulada (Kevan, 1972; Smithson & Macnair 1996; Leong e Thorp 1999), já muitas espécies de abelhas podem reconhecer o amarelo (Peitsch et al., 1992) e a atração para as cores branco e azul de vários grupos de Hymenoptera se deve a incapacidade desses animais distinguirem as cores (Campbell & Hanula, 2007), porém as pan traps não atraem somente os polinizadores, mas também diversos visitantes florais, herbívoros e predadores, o que é relevante para o estudo dos insetos locais.

Os insetos observados durante o transectos apresentaram comportamento de forrageamento nos horários com temperaturas mais altas, isso significa que durante as horas mais quentes do dia foi possível avistar mais insetos voando no cultivo de soja do que nos outros horários em que o transecto foi realizado. Os horários percebidos no transecto estão de acordo com outros estudos, sendo as horas mais quentes, as mais propícias para o voo dos insetos (Gamito e Malerbo Souza, 2006). Os principais visitantes florais são abelhas, borboletas e percevejos, estes contactam os elementos reprodutivos das plantas, ou seja, são polinizadores. Vários estudos mostram que a *Apis mellifera* é uma das mais abundantes no cultivo de soja (Delaplane e Mayer, 2000; Gill et al., 2015; Zelaya, 2018), sendo eficiente para polinizar diferentes variedades de soja (Milfont, 2013; Blettler, 2018), mas novos estudos revelam que insetos nativos, como abelhas nativas (Milfont et al., 2013; Fujita et al., 1997; Monasterolo et al., 2015; Santos et al., 2013) e Diptera, Coleoptera (Santos et al. 2013; Fagúndez et al. 2016)

e Lepidoptera são importantes no cultivo de soja, já que a produção de soja pode se beneficiar do manejo de polinizadores aliados a políticas de controle da expansão agrícola, auxiliando a restauração de ambientes sem prejudicar a produção (Garibaldi et al., 2019), como também pudemos verificar com nossos dados.

Várias propostas podem ser pensadas para a preservação de polinizadores, como por exemplo, cessar a expansão de fronteiras agrícolas, preservar a heterogeneidade ambiental em espaços agrícolas (Laroca, 2021), a implantação de mosaicos naturais que permitam o trânsito de polinizadores e a reprodução das plantas nativas e cultivadas nos agroecossistemas e em seu entorno. É importante incrementar pesquisas científicas sobre ecossistemas agrícolas, conservação da biodiversidade de polinizadores e restauração de áreas degradadas, já que o aumento das espécies nativas de polinizadores no entorno dos cultivos garante acesso aos recursos florais presentes, aumentando a eficiência funcional do fluxo polínico na paisagem (Imperatriz-Fonseca, 2012).

6. CONCLUSÃO

Nosso estudo demonstra que o tratamento aberto permite que polinizadores visitem o cultivo de soja, resultando no aumento do número e o peso das sementes. O tratamento aberto permite o contato com o polinizador e gera aumento de 68% na produção de sementes e 58% mais sementes por vagem. O peso das plantas é maior no tratamento aberto e as sementes são 95% mais pesadas no tratamento aberto do que no tratamento fechado. Assim entendemos que a polinização biótica é um serviço ecossistêmico importante e eficiente para o aumento da produtividade, que aqui é entendido como sementes mais pesadas e em maior quantidade.

O tratamento aberto à 150 m da vegetação nativa apresentou sementes mais pesadas em relação à distância de 50 m. No tratamento fechado, a distância de 50 m apresenta resultados melhores que 150 m, provavelmente por uma questão de sombreamento da área mais próxima à vegetação nativa. A distância do cultivo em relação ao fragmento florestal não afeta a produtividade do cultivo, sugerindo que os polinizadores podem apresentar capacidade de voo maior do que as distâncias determinadas (até 150 m) para os experimentos, fator que precisa ser avaliado em experimentos futuros. Para etapas futuras será necessário analisar outras distâncias, realizar mais estudos em diferentes latitudes e em distâncias maiores.

Os principais visitantes florais encontrados foram abelhas, borboletas e percevejos. Há insetos nas plantas de soja que podem ser apenas visitantes florais contactando os elementos reprodutivos das plantas ou polinizadores.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamidis, G.C. et al. Pollinators enhance crop yield and shorten the growing season by modulating plant functional characteristics: A comparison of 23 canola varieties. **Sci Rep** 9, 2019.
- Aguilera, J. G. et al. Physiological quality of soybean seeds in response to doses of basalt powder. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e840986314, 2020.
- Blettler D. C. et al.. Contribution of honeybees to soybean yield. **Apidologie** 49: 101–111. 2018.
- BPBES e REBIPP. Relatório temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil. Marina Wolowski; Kayna Agostini; André Rodrigo Rech; Isabela Galarda Varassin; Márcia Maués; Leandro Freitas; Liedson Tavares Carneiro; Raquel de Oliveira Bueno; Hélder Consolaro; Luisa Carvalheiro; Antônio Mauro Saraiva; Cláudia Inês da Silva. Maíra C. G. Padgurschi (Org.). 1ª edição, São Carlos, SP: **Editora Cubo**. 2019, 184 páginas.
- Brasil, Lei Nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nº 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 9, p. 7, 14 jan. 2021.
- Brooks M. E. et al. glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. **The R Journal**, 9(2), 378-400). 2017.
- Buhk, C. et al. Flower strip networks offer promising long term effects on pollinator species richness in intensively cultivated agricultural areas. **BMC Ecology**, 18(55). 2018.
- Campbell J.W.; Hanula J.L. Efficiency of Malaise traps and colored pan traps for collecting flower visiting insects from three forested ecosystems. – **Journal of Insect Conservation** 11(4): 399-408. 2007.
- Carvalheiro, L. G. et al. Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. **Journal of Applied Ecology**, v. 47, n. 4, p. 810-820, 2010.
- Carvalho, N.M.; Nakagawa, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4.ed. Jaboticabal: **FUNEP**, 2000, 588p.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Importância dos polinizadores na produção de alimentos e na segurança alimentar global, **DF**: 2017. 124p
- Chiari, W.C. et al. Pollination of Soybean (*Glycine max* L. Merrill) by honeybees (*Apis mellifera* L.). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 48, 31–36. 2005.
- Chiari, W.C. et. al. Polinização por *Apis mellifera* em soja transgênica [*Glycine max* L. Merrill] Roundup Ready TMcv. BRS133. **Acta Scientiarum Agronomy**, 30, 267–271. 2008.
- Chittka L. et al. Ultraviolet as a component of flower reflections and the colour perception of Hymenoptera. – **Vision research** 34: 1489-1508. 1994.

- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira. Disponível em: Acesso de Maio - Junho 2022.
- Costanza R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature** 387:253–260. 1997.
- Costanza, R. et al. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go?. **Ecosystem services**, v. 28, p. 1-16, 2017.
- Csanády, A. et al. Hymenopteran color preference using multiple colours of pan traps in Slovakia. **Acta Musei Silesiae. Scientiae Naturales**, v. 70, n. 1, p. 33-46, 2021.
- De Almeida, L. A. et al. Melhoramento da soja para regiões de baixas latitudes. 1999.
- De Groot, G. S. et al. Large-scale monoculture reduces honey yield: The case of soybean expansion in Argentina. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 306, 107203. 2021.
- De Sousa, R. M. et al. Período de introdução de abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) para polinização de melão amarelo (*Cucumis melo* L.). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2014.
- De Sousa, R. M. et al. Polinização do Meloeiro (*Cucumis melo*). Vol. 13, Nº 05, Set/Out de 2016 ISSN: 1983-9006 www.nutritime.com.br
- Favero, A.C. Couto, R.H.N. Polinização entomófila em soja (*Glycine max* L. var. FT 2000). In: **Congresso Brasileiro de Apicultura**, 13., 2000, Florianópolis. Anais...Florianópolis: Confederação Brasileira de Apicultura, 2000.
- Fazam, J. C. et al. Espécies visitantes florais em cultivo de soja (*Glycine max* L.) em Sorriso, MT. In: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**, 12., 2017, Londrina. Resumos expandidos... Londrina: Embrapa Soja, 2017. p. 101-107., 2017.
- Fox J; Weisberg S. **An {R} Companion to Applied Regression, Third Edition. Thousand Oaks CA: Sage.** 2019.
- Gamito, L. M.; Malerbo-Souza, D. T. Visitantes florais e produção de frutos em cultura de laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, 28(4), 483–488, 2006. doi: 10.4025/actascianimsci.v28i4.612
- Garibaldi L.A. et al. Policies for ecological intensification of crop production. **Trends Ecol. Evol.** 34(4): 282-286. 2019.
- Garibaldi LA, et al. Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honeybee Abundance. **Science** (80-) 339: 1608–1611. 2013.
- Garratt M.P.D, et al. The identity of crop pollinators helps target conservation for improved ecosystem services. **Biol Conserv** 169: 128–135. 2014.
- Gascon et al. Receding forest edges and vanishing reserves. **Science**, 288. 2000, pp. 1356-1358, 10.1126/science.288.5470.1356
- Gazzoni, D. L. **Soja e abelhas**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

- Giannini T.C. et al. Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions. **Apidologie** 46: 209-223. 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13592-014-0316-z>
- Gibbs, H.K. et al. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.** 107, 16732–16737. 2010.
- Gill, K. A.; O’Neal, M. E. Survey of Soybean Insect Pollinators: Community Identification and Sampling Method Analysis. **Environmental Entomology**, 44(3), 488–498. 2015.
- Gross H.R.; Carpenter J.E. Role of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) pheromone and other factors in the capture of bumble bees (Hymenoptera: Apoidea) by universal moth traps. – **Environmental Entomology** 20: 377-381. 1991.
- Hernández-Blanco, M. et al. Ecosystem health, ecosystem services, and the well-being of humans and the rest of nature. **Global Change Biology**, 2022.
- Hill, R. et al. Biocultural approaches to pollinator conservation. **Nat Sustain** 2, 214–222, 2019.
- Imperatriz-Fonseca et al. Polinizadores no Brasil, contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável conservação e serviços ambientais. **EDUSP**, 489p. 2012.
- IPBES. The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Bio - diversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination, and food production. Potts SG, Imperatriz-Fonseca VL, Ngo HT (eds). **Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**, Bonn. 552p. 2016.
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Comércio exterior de produtos do agronegócio: Balanço de 2020 e perspectivas para 2021**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cartadeconjuntura/index.php/2021/03/cmecio-exterior-de-produtos-do-agronegocio-balanco-de-2020-e-perspectivas-para-2021/>.
- Jung, A. H. **Impactos de inseticidas aplicados em soja sobre abelhas melífera**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2014.
- Kennedy, C. M. et al. A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. **Ecology letters**, v. 16, n. 5, p. 584-599, 2013.
- Kevan P.G. Floral colors in the high arctic with reference to insect-flower relations and pollination. – **Canadian Journal of Botany** 50: 2289-2316. 1972.
- Klatt, B. K. et al. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. Proceedings of the Royal Society B: **Biological Sciences**, 281(1775), 20132440. 2013.
- Klein A.M. et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proc R Soc B Biol Sci** 274: 303–313. 2007.
- Kremen, C. et al. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. **Proc. Natl. Acad. Sci.** 99: 16812–16816. 2002.

- Krzyzanowski, F.C. et. Al. Influência do tamanho da semente na produtividade da cultura da soja. **In: Reunião de pesquisa de soja da região central do Brasil**, 27., Cornélio Procópio. Resumos... Londrina: Embrapa Soja. p.567-568, 2005.
- Laroca, S; Orth, A. I. Recuperação de áreas degradadas: polinizadores como uma nova dimensão. **Acta Biológica Paranaense**, v. 49, n. 1-2, 2021.
- Lenth R. V. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. **R package version 1.6.3**. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>). 2021.
- Leong J.M.; Thorp R.W. Colour-coded sampling: the pan colour preferences of oligolectic and nonoligolectic bees associated with a vernal pool plant. – **Ecological Entomology** 24: 329-335. 1999.
- Levenson, H. K.; Sharp, April E.; Tarpy, David R. Evaluating the impact of increased pollinator habitat on bee visitation and yield metrics in soybean crops. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 331, p. 107901, 2022.
- Li, P. et al. A review of swidden agriculture in Southeast Asia. Remote. **Sens.** 6, 1654–1683 2014.
- Lima, R. E. et al. Quality of soybean seeds after inoculation of biologicals in the field. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e52710414419, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14419. Disponível em: <https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14419>. Acesso em: 9 nov. 2021.
- Lollo, J. A. **Mapeamento Geotécnico da Folha de Leme – SP**. Dissertação de mestrado. EESC-USP, São Carlos, 86p. 1991.
- Lüdecke D. “ggeffects: Tidy Data Frames of Marginal Effects from Regression Models.” **Journal of Open Source Software**, *3*(26), 772. URL: doi: 10.21105/joss.00772). 2018.
- Mapa, 2022. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Mapa**. Projeções do agronegócio. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br>
- Martin, J. H. et al. Principles of field crop production., 4 ed. **United States: Pearson Education**, 2006.
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment. 2005. **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis**. Washington, Island Press, 137p
- Miguel, L. de A. Abordagem sistêmica da unidade de produção agrícola. Gestão e planejamento de unidades de produção agrícola. Porto Alegre: **Ed. da UFRGS**, 2010. p. 11-18, 2010.
- Milfont, M. O. **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 de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal da Paraíba, Fortaleza. 2012.

- Milfont, O.M. et al. Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and auto pollination. **Env. Chem. Lett.** 11(4), 335–341. 2013.
- MMA, 2013. **Biomass** – MMA/Informações sobre Saneamento – SNIS/Ministério das Cidades
- Monasterolo, M. et al. Soybean crops may benefit from forest pollinators. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 202, p. 217-222, 2015.
- Monsoy. M6410 IPRO. **Monsanto**. Disponível em:
<http://www.monsoy.com.br/variedades_monsoy/m6410-ipro/>. Acesso em: 16 fev 2022.
- Moreti, A.C et al. Aumento na produção de sementes de girassol (*Helianthus annuus*) pela ação de insetos polinizadores. **Scientia Agricola**, v. 53, p. 280-284, 1996.
- Oliveira, H. S. et al. Fragment size and the disassembling of local bird communities in the Atlantic Forest: A taxonomic and functional approach. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 4, p. 304-312, 2020.
- Padilha, F. M. **Bairros rurais paulistas: novas territorialidades - o município de Leme (SP)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas Campus de Rio Claro, São Paulo, 2009.
- Pavanelo, A. M. **Biologia reprodutiva e da polinização de *Physalis peruviana* L.** 2019. Dissertação de Mestrado (Mestre em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis) – Universidade Federal da Fronteira Sul Campus Cerro Largo, Rio Grande do Sul, 2019.
- Peitsch D. et al. The spectral input system of hymenopteran insects and their receptor based colour vision. – **Journal of Comparative Physiology A** 170: 23-40. 1992.
- Perfecto, I.; Vandermeer, J. The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. **Proc. Natl Acad. Sci. USA** 107, 5786–5791 (2010).
- Pimm e Raven. Extinction by numbers. **Nature**, 403, 2000, pp. 843-845, 10.1038/35002708
- Potts, S. G. et al. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology and Evolution**, 25, 345– 353. 2010.
- R (R Core Team R). A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>. 2021.
- Reynolds, V. A. et al. Adjacent crop type impacts potential pollinator communities and their pollination services in remnants of natural vegetation. **Diversity and Distributions**, 2022.
- Richards, A. Does Low Biodiversity Resulting from Modern Agricultural Practice Affect Crop Pollination and Yield? **Annals of Botany**, 88(2), 165–172. 2001.

- Santos, A. L. C. **Variabilidade entre genótipos de soja *Glycine max* (L.) Merrill nas fases imatura e madura de desenvolvimento**. Piracicaba, 1989. 35p. ilus. Diss. (Mestre) – ESALQ.
- Santos, E. et al. Aumento en la producción de semillas de soja (*Glycine max*) (L.) Merrill empleando abejas melíferas (*Apis mellifera*). **Agrociencia** 17: 215–224. 2013.
- Schumacher, E.F. Small is Beautiful: Economics as if People Mattered. London, Blond and Briggs, **Shape Siddiqui**, 1973.
- Silva, W.R.; Marcos Filho, J. Influência do peso e do tamanho das sementes de milho sobre o desempenho no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.5, p.1743-1750, 1982.
- Smithson A.; Macnair M.R. Frequency-dependent selection by pollinators: mechanisms and consequences with regard to behaviour of bumblebees *Bombus terrestris* (L.) (Hymenoptera: Apidae). – **Journal of Evolutionary Biology** 9(5): 571-588. 1996.
- Song, X.P. et al. Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation. **Nat Sustain** 4, 784–792. 2021. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00729-z>.
- Souza Sardinha, D. et al. Índice simplificado na avaliação de impacto ambiental nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Meio, Leme, São Paulo, Brasil. **Augmdomus**, v. 2, 2010.
- Templ, B. et al. Habitat-dependency of transect walk and pan trap methods for bee sampling in farmlands. **Journal of Apicultural Science**, 63(1), pp.93-115. 2019.
- Vrdoljak, S.M.; Samways, M.J. Optimising coloured pan traps to survey flower visiting insects. **Journal of Insect Conservation**, v. 16, n. 3, p. 345-354, 2012.
- Watling J.I. et al. Support for the habitat amount hypothesis from a global synthesis of species density studies. **Ecol. Lett.**, 23, 2020, pp. 674-681, 10.1111/ele.13471
- Westman WE. 1977. How much are nature's services worth? **Science**, 197: 960-963.
- Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. **Springer-Verlag New York**, 2016.
- Winfree, R. et al. A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. **Ecology** 90: 2068–76. 2009.
- Witter, S. et al. As abelhas e a agricultura. Porto Alegre: **EDIPUCRS**, 2014.
- Xiao, Y. et al. The diverse effects of habitat fragmentation on plant–pollinator interactions. **Plant Ecology**, 217(7), 857– 868. 2016.
- Zelaya, P.V. et al. Soybean biotic pollination and its relationship to linear forest fragments of subtropical dry Chaco. **Basic and Applied Ecology**. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.07.004>

Zuffo, A. M. et al. Características agronômicas de cultivares de soja com aplicação tardia de nitrogênio em suplementação à inoculação de *Bradyrhizobium spp.* **Ciência e Agrotecnologia**, v. 46, 2022.

APÊNDICE

Tabela 1 -Tabela número de sementes, peso médio e número de sementes por vagem em cada tratamento

	Medida corrigida	Tratamento	lsmean	Valores	SE	gl	lower. CL	upper. CL
Número de sementes	1	0,00345 aberta	2,328	212,795	0,07	445	2,168	2,488
	2	0,00345 fechada	2,103	126,652	0,07	445	1,943	2,262
	3	0,00345 aberta - fechada	0,225	1,68	0,02	445	0,184	0,267
Peso médio	1	0,00345 aberta	1,502	31,791	0,08	445	1,32	1,685
	2	0,00345 fechada	1,211	16,269	0,08	445	1,029	1,394
	3	0,00345 aberta - fechada	0,291	1,954	0,02	445	0,247	0,335
Número de sementes por vagem	1	0,00345 aberta	1,916	82,409	0,06	445	1,767	2,065
	2	0,00345 fechada	1,715	51,902	0,06	445	1,567	1,863
	3	0,00345 aberta - fechada	0,201	1,588	0,02	445	0,16	0,241

Tabela 2 – Relação entre número de sementes e distância de 50 e 150 metros

Distância = 50, peso corrigido = 0.00345:

Tratamento	lsmean	SE	gl	lower.CL	upper.CL
Aberta	2.29	0.0713	444	2.15	2.43
Fechada	2.11	0.0711	444	1.97	2.25

Distância = 150, peso corrigido = 0.00345:

Tratamento	lsmean	SE	gl	lower.CL	upper.CL
Aberta	2.39	0.0720	444	2.24	2.53
Fechada	2.08	0.0716	444	1.94	2.22

Distância = 50, peso corrigido = 0.00345:

Contraste	estimativa	SE	gl	t.ratio	p.valor
Aberta - Fechada	0.179	0.0213	444	8.389	<.0001

Distância = 150, peso corrigido = 0.00345:

Contraste	estimativa	SE	gl	t.ratio	p.valor
Aberta - Fechada	0.308	0.0282	444	10.918	<.0001

Tratamento = aberta, peso corrigido = 0.00345:

Contraste	estimativa	SE	gl	t.ratio	p.valor
50 - 150	-0.0954	0.0387	444	-2.467	0.0140

Tratamento = fechada, peso corrigido = 0.00345:

Contraste	estimativa	SE	gl	t.ratio	p.valor
50 - 150	0.0334	0.0377	444	0.886	0.3759