



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE BIOLOGIA

GABRIELA BEATRIZ PEREIRA RABESCHINI

**EFEITOS DO PLANTIO CONSORCIADO DE ABOBRINHA-DE-
TRONCO (*Cucurbita pepo* L.) E FEIJÃO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)
SOBRE SUAS CARACTERÍSTICAS FLORAIS, ATRAÇÃO DE VISITANTES E
PRODUÇÃO DE FRUTOS**

EFFECTS OF THE INTERCROPPING OF SQUASH (*Cucurbita pepo* L.) AND
COMMON-BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) ON THEIR FLORAL TRAITS, FLORAL
VISITORS ATTRACTION AND FRUIT PRODUCTION

CAMPINAS

2020

GABRIELA BEATRIZ PEREIRA RABESCHINI

**EFEITOS DO PLANTIO CONSORCIADO DE ABOBRINHA-DE-
TRONCO (*Cucurbita pepo* L.) E FEIJÃO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)
SOBRE SUAS CARACTERÍSTICAS FLORAIS, ATRAÇÃO DE VISITANTES E
PRODUÇÃO DE FRUTOS**

EFFECTS OF THE INTERCROPPING OF SQUASH (*Cucurbita pepo* L.) AND
COMMON-BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) ON THEIR FLORAL TRAITS, FLORAL
VISITORS ATTRACTION AND FRUIT PRODUCTION

Dissertação apresentada ao Instituto de
Biologia da Universidade Estadual de
Campinas como parte dos requisitos
exigidos para a obtenção do título de
Mestra em Ecologia.

Dissertation presented to the Institute of
Biology at the University of Campinas
in partial fulfillment of the requirements
for the degree of Master in Ecology.

Orientador: PROF. DR. MARTIN FRANCISCO PAREJA PIAGGIO

Co-Orientador: DR. CARLOS EDUARDO PEREIRA NUNES

Este arquivo digital corresponde à versão final da Dissertação
defendida pela aluna Gabriela B. P. Rabeschini e orientada
pelo Prof. Dr. Martin Francisco Pareja Piaggio.

CAMPINAS

2020

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca do Instituto de Biologia
Mara Janaina de Oliveira - CRB 8/6972

R112e Rabeschini, Gabriela, 1994-
Efeitos do plantio consorciado de abobrinha-de-tronco (*Cucurbita pepo* L.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre suas características florais, atração de visitantes e produção de frutos / Gabriela Beatriz Pereira Rabeschini. – Campinas, SP : [s.n.], 2020.

Orientador: Martín Francisco Pareja Piaggio.

Coorientador: Carlos Eduardo Pereira Nunes.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia.

1. Interações ecológicas. 2. Agroecossistemas. I. Pareja, Martín Francisco, 1976-. II. Nunes, Carlos Eduardo Pereira, 1986-. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Biologia. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Effects of the intercropping of squash (*Cucurbita pepo* L.) and common-bean (*Phaseolus vulgaris* L.) on their floral traits, floral visitors attraction and fruit production

Palavras-chave em inglês:

Ecological interactions

Agroecosystems

Área de concentração: Ecologia

Titulação: Mestra em Ecologia

Banca examinadora:

Martín Francisco Pareja Piaggio [Orientador]

Marina Wolowski Torres

Kayna Agostini

Data de defesa: 19-02-2020

Programa de Pós-Graduação: Ecologia

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0003-4161-8109>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/4427613020458754>

Campinas, 19 de fevereiro de 2020

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Martin Francisco Pareja Piaggio

Prof(a). Dr(a). Marina Wolowski Torres

Prof(a). Dr(a). Kayna Agostini

Os membros da Comissão Examinadora acima assinaram a Ata de Defesa, que se encontra no processo de vida acadêmica da aluna.

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ecologia do Instituto de Biologia.

Dedicada a todas e todos que lutam pela Educação pública, universal e de qualidade. Pelo uso da terra que seja ecologicamente responsável e socialmente justo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço às pessoas queridas que tive ao longo do caminho. Tanto as que me propiciaram entrar nele, quanto as que me ajudaram fisicamente e psicologicamente a trilhá-lo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), agradeço o apoio financeiro ao processo n° 132220/2017-2 e a tentativa de reconhecimento dos pós-graduandos como base trabalhadora para o desenvolvimento da Ciência brasileira. Ao Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA), agradeço a disponibilidade da área para o plantio experimental. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Conhecendo o mundo, fechou-se para ele. Ou melhor, fechou-se para si. Para fazer de si matéria-prima para as antigas questões que rebentavam com tamanha impaciência que pareciam criar, sozinhas, essa força; e que precisavam de novas respostas.

Esteve sempre lá, onde fora colocada. Uma hora percebeu que era e por lá continuou sendo. Para tanto, pouco exigia, estando ainda no princípio explosivo da existência, que, para alimentar a própria fornalha, não precisa mais do que um fogo que acende com a mais ínfima das fagulhas. Não construía seu caminho, devorava-o. Devorava e continuava. Continuava porque devorava. Devorava quase com a fome do desbravamento. Quase como se soubesse que precisaria de tudo o que estivesse ao seu alcance, e que não seria ali. O rastro que denunciava sua presença era não deixar nada para trás.

Não é como se, em algum momento de inédita atenção, tivesse conscientemente decidido: tal quando se acha adiante uma bifurcação, na qual a única saída possível à continuidade daquele movimento retilíneo, mantido sem grandes custos pela inércia no vácuo da existência (e que não pode voltar no sentido contrário sem um choque), é forçadamente optar por um dos lados; mas sim como a energia acumulada do movimento constante de uma correnteza leve pode ser transformada na energia que lentamente ergue o pilão e provoca sua queda brusca, precisa e inevitável. Um dia saiu e começou a buscar. Encheu-se de tudo e, com isso, deu-se por satisfeita; e começou a buscar. Rota traçada não tinha, mas seus pés seguiam-se, um após o outro, num ritmo tão mole e cadenciado que não era em nada difícil ao resto acima segui-los.

Quando se encontrou pronta, constatou, com uma alegria semelhante à contida no sentimento de posse de quem dá à luz, que o lugar também estava pronto para ela, e, então, agora quase largando-se preguiçosamente de prazer, que se não fosse aquele seria outro, porque todos estariam.

Depender daquela matéria exterior para conseguir tudo de que necessitara não havia sido em absoluto simples, embora parecesse fácil. O que chegava pronto, de alguma forma não encaixava; daí a desintegração, a reorganização. Reestruturação automática e pretensamente involuntária, porém, obrigatoriamente executada por algo de dentro. E a antiga indigestão revelou-se substrato para as vigas-mestras de sua nova morada. E cada fio, pacientemente produzido, brotava inicialmente vacilante, um sopro de brilho ao sabor do vento. Ligando os pontos, como se tudo que tivesse esboçado na vida até então não passasse de um prólogo para a história que agora começava a tecer, linha a linha costurou-se o melhor que pode. E, pela

primeira vez, aliviada das pressões internas, alheia às pressões externas, entregue, o seu melhor foi bom o suficiente.

Os contornos que antes delimitavam, já não mais serviam e suas entranhas vibravam ansiosas, como que antecipando a brisa fresca daquela nova forma. E não havia nada de si que não pudesse aproveitar, porque, com o mesmo eu, tornava-se outra. Assim como as mesmas notas tornam-se novos arranjos, seus discos imaginavam novas canções. E na autofagia reinventou o mundo.

RESUMO

O manejo da diversidade em sistemas agrícolas, por exemplo, com o uso de consórcios, apresenta-se como alternativa para uma produção mais sustentável. Para isso, é essencial entender as relações diretas planta-polinizador e as interações indiretas planta-planta que afetam a comunidade de visitantes florais em um sistema diverso. Este trabalho analisou os efeitos do consórcio de abobrinha-de-tronco e feijão-comum sobre suas interações com visitantes florais, assim como sobre suas características florais e reprodutivas. Para as características florais como número e tamanho das flores, montou-se um experimento, em casa de vegetação, de vasos pareados seguindo três tratamentos: planta focal (feijoeiro ou abobrinha) acompanhada de (1) uma vizinha coespecífica, (2) uma vizinha heterospecífica e (3) vaso vazio. Para as características de visitação e produção, montou-se, em campo, um experimento com o plantio de parcelas seguindo cinco tratamentos: monocultura de abobrinha, monocultura de feijoeiro e três variações de consórcio com ambas as espécies. Quanto ao número de flores produzidas, os tratamentos não tiveram efeito sobre as abobrinhas, mas feijoeiros sem plantas vizinhas produziram mais flores que feijoeiros acompanhados, e feijoeiros com vizinhas coespecíficas produziram mais flores que feijoeiros vizinhos de abobrinhas. Quanto ao tamanho das flores, a profundidade da corola das flores masculinas de abobrinha foi menor em abobrinhas com vizinhas coespecíficas do que em abobrinhas acompanhadas de feijoeiros e o diâmetro da pétala estandarte de feijoeiros acompanhados de abobrinhas foi menor do que feijoeiros com vizinhas coespecíficas. A taxa de visitas por hora por planta (v/h) dos tratamentos com monoculturas não foi diferente das taxas de v/h dos tratamentos com consórcios. Entretanto, a composição das espécies de visitantes florais foi significativamente diferente entre parcelas com monocultura ou com consórcio. Das 21 parcelas medidas, todas as seis com índices de diversidade maior que 0,8 foram parcelas com consórcio. Peso, comprimento e diâmetro dos frutos de abobrinha e peso das vagens dos feijoeiros não diferiram entre monoculturas e consórcios. Porém, o número de vagens nas parcelas com consórcio máximo (cerca de metade de cada espécie) foi maior do que o das monoculturas. Estes resultados mostram que o plantio consorciado entre abobrinha-de-tronco e feijão-comum permite que as duas espécies interajam com uma maior diversidade de visitantes florais e contribui com o seu sustento na área, podendo também ter efeitos facilitadores sobre a produtividade do feijoeiro.

PALAVRAS-CHAVE: efeitos indiretos; facilitação; agroecossistemas.

ABSTRACT

Managing diversity on agricultural systems, for example, through intercropping, is an alternative for a more sustainable production. Thus, it is essential to understand plant-pollinator direct interactions and plant-plant indirect interactions that affect floral visitors' community in a diversified system. This work analyzed the effects that intercropping squash and common-bean can have on their interactions with floral visitors, as well as on their floral traits and reproduction. For floral traits as number and size of flowers, we performed an experiment with paired pots in a greenhouse that followed three treatments: focal plant (common-bean or squash) accompanied by (1) a conspecific neighbor, (2) a heterospecific neighbor or (3) an empty pot. For visitation and production traits, we performed an experiment in the field by cultivating plots following five treatments: squash monoculture, common-bean monoculture and three variations of intercropping with both species. Regarding number of flowers produced, treatment did not influence squash, but beans without neighbors produced more flowers than accompanied beans, and beans with conspecific neighbors produced more flowers than beans with squash neighbors. Regarding flower size, corolla's depth of male squash flowers was smaller in squash plants with conspecific neighbors than in squash plants accompanied by beans, and the standard petal's diameter of bean flowers was smaller in bean plants with squash neighbors than in bean plants with conspecific neighbors. Rate of visits per hour per plant (v/h) in monoculture treatments was not different from v/h rate of intercropping treatments. However, species composition of floral visitors was significantly different between plots with monocultures or with intercropping. From 21 plots measured, all six with diversity indexes higher than 0.8 were plots with intercropping. Weight, length and largest diameter of squash fruits and weight of dry bean pods did not differ between monoculture and intercropping. However, number of pods in plots with maximum intercropping (approximately half of each species) was greater than in monocultures. These results show that intercropping squash and common-bean allows both species to interact with a higher diversity of floral visitors and may contribute to their maintenance in the area, besides having facilitative effects on common-bean production.

KEYWORDS: indirect effects; facilitation; agroecosystems.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	13
Interações mediadas por polinizadores: explorando relações ecológicas em sistemas agrícolas diversificados.....	13
A estruturação de comunidade ecológicas.....	13
Interações diretas e indiretas.....	14
Interações de mesmo nível trófico.....	15
Interações mediadas por polinizadores.....	16
Processos facilitativos ligados à diversidade.....	19
Percepção e comunicação em ambientes diversificados.....	19
Sistemas agrícolas diversificados.....	20
CAPÍTULO ÚNICO.....	22
Efeitos do plantio consorciado de abobrinha-de-tronco (<i>Cucurbita pepo</i> L.) e feijão-comum (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) sobre suas características florais, atração de visitantes e produção de frutos.....	22
Introdução.....	22
Materiais e Métodos.....	26
Experimento 1.....	26
Área de estudo e coleta de dados.....	26
Experimento 2.....	27
Área e sistema de estudo.....	27
Coleta de dados.....	31
Análise de dados.....	32
Experimento 1.....	32
Experimento 2.....	33

Resultados.....	35
Experimento 1.....	35
Atributos florais.....	35
Experimento 2.....	40
Visitação.....	40
Produção.....	43
Discussão.....	48
Atributos florais.....	48
Visitação e produção de frutos.....	51
Conclusões.....	56
Considerações finais e perspectivas.....	58
Referências bibliográficas.....	59
Apêndices.....	74
Apêndice 1: área de plantio do experimento 2.....	74
Apêndice 2: seleção de modelos de GLM.....	75
Apêndice 3: matrizes de contraste para os modelos de GLM.....	82
Anexos.....	84
Anexo 1: declaração de direitos autorais.....	84
Anexo 2: declaração de bioética e biossegurança.....	85

INTRODUÇÃO GERAL

Interações mediadas por polinizadores: explorando relações ecológicas em sistemas agrícolas diversificados

A estruturação de comunidades ecológicas

Praticamente todas as superfícies terrestres e aquáticas do planeta são ocupadas por um conjunto de indivíduos de diversas espécies que coexistem em diferentes nichos e realizam funções distintas. A combinação destes indivíduos juntamente com suas interações inter- e intraespecíficas é o que forma as comunidades biológicas e as propriedades emergentes inerentes a elas, sendo tais interações o princípio básico que faz o todo (comunidade) ser diferente da simples soma das partes (espécie + espécie + ...) (Begon et al., 2006). Para compreender como se estruturam essas comunidades espacial e temporalmente, fatores como composição e riqueza de espécies, abundância, equitabilidade e diversidade são essenciais (Mittelbach, 2012). Entender como as comunidades são geradas, distribuídas e mantidas nos diferentes habitats nos ajuda a construir o conhecimento necessário para responder perguntas como “o que mantêm a diversidade de espécies local e regional?”, “o que pode acontecer se ela for perdida?”, “quais funções ecossistêmicas são realizadas a partir de suas interações?”, “quais serviços ecossistêmicos podem advir dessas funções?”, “como a rede de interações se sustenta ao longo do tempo?”, etc.

Assim, a ecologia de comunidades analisa aspectos da regulação das populações e das interações de espécies que, a partir de determinados recursos e seus consumidores, sob ação de processos de competição e facilitação, antagonismos e mutualismos, desenvolvem redes complexas de interações indiretas, cascatas tróficas, efeitos *top-down* e *bottom-up*, relações de diversidade-estabilidade, entre outros (Mittelbach, 2012). Porém, olhada sob uma perspectiva prática, a maior parte dos sistemas terrestres são, de uma forma ou de outra, agroecossistemas, no sentido de serem ecossistemas que interagem com uma população agrícola (Vandermeer & Perfecto, 1997). Até paisagens consideradas mais pristinas, como as da bacia do Amazonas, tiveram a estrutura atual da sua comunidade de árvores influenciada pelo uso histórico e domesticação por populações humanas (Levis et al., 2017). Desta forma, pode-se considerar um cenário no qual os processos das comunidades biológicas em ambientes naturais e agrícolas estão intimamente conectados. Uma agricultura mais sustentável e resiliente depende de um

planejamento que vise à construção de sistemas agrícolas diversificados, que otimizam a diversidade espacial e temporal de forma a aumentar a autonomia dos serviços ecossistêmicos decorrentes dela, sem, no entanto, perder de vista a importância da produtividade do sistema (FAO, 2018). Os serviços ecossistêmicos de tal agricultura vão muito além da entrega de serviços de provisão (a produção agrícola em si) e perpassam a manutenção de uma rede de serviços de regulação e suporte como polinização, controle de pragas e fertilidade do solo, além dos fatores socioculturais envolvidos na realização destas atividades pelos agricultores (Díaz et al., 2015). Portanto, esse planejamento está intrinsicamente ligado à aplicação dos conhecimentos gerados pela ecologia de comunidades (Weiner, 2017).

Interações diretas e indiretas

A complexidade intrínseca aos sistemas naturais emerge da junção de inúmeras interações diretas e indiretas, que surgem através de relações tróficas e não-tróficas (Levin et al., 2009). Interações diretas incluem relações tróficas, como predação e herbivoria, assim como relações não-tróficas, como as competitivas e mutualísticas. Historicamente, entender esse tipo de interação foi, e ainda é, fundamental para compreendermos como as comunidades biológicas se formam e se estruturam (Thébault & Fontaine, 2010; Hacker & Gaines, 1997; Holt, 1977). Porém, sempre que três ou mais espécies estão envolvidas em um sistema, surgem relações não-tróficas indiretas. Elas são, em número, diretamente proporcionais à quantidade de relações diretas que as espécies estabelecem com as outras das quais são dependentes, aumentando a complexidade da rede de interdependências que surge simultaneamente ao surgimento das comunidades (Levin et al., 2009; Sargent & Ackerly, 2008; Callaway, 1997; Wootton, 1994). Essas interações indiretas podem ocorrer em diferentes contextos envolvendo (1) efeitos mediados por densidade ou (2) efeitos mediados por atributos (Schmitz & Suttle, 2001; Abrams, 1995). Os primeiros se dão quando uma espécie *A* afeta indiretamente uma espécie *B* por alterar diretamente a abundância de indivíduos de uma espécie intermediária *C*, que interage com *B*. Os segundos ocorrem quando uma espécie *A* interfere em uma espécie *B* por causar alterações comportamentais, morfológicas ou químicas em uma espécie *C* intermediária, que interage com *B* (Schmitz & Suttle, 2001; Abrams, 1995). Além disso, pode-se encontrar interações indiretas tanto entre níveis tróficos quanto dentro de um mesmo nível trófico, assim como na presença ou na ausência de outras interações diretas (Schmitz et al., 2004; Davidson et al., 1985). O efeito líquido da rede de interações diretas e indiretas pode determinar não só a abundância de espécies em uma comunidade, mas também aspectos importantes dela como diversidade e

estabilidade, assim como ser afetado por esses fatores (Bergamo et al., 2017; Thébault & Fontaine, 2010; Strauss & Irwin, 2004).

Interações de mesmo nível trófico

Apesar de muito diversas, o foco dado ao longo da história às interações que as espécies de mesmo nível trófico exercem umas sobre as outras colaborou para criar o paradigma de que haveria preponderância ou maior importância de efeitos mutuamente negativos em relação a efeitos mutuamente benéficos na estruturação e dinâmica das comunidades de organismos (Brooker & Callaghan, 1998; Blaustein & Chase, 2007; Bruno et al., 2003). O conceito de “luta pela sobrevivência”, muito difundido desde os tempos de Darwin, teve prevalência no desenvolvimento do arcabouço teórico da ecologia de comunidades durante o século XX, a qual teve algumas de suas principais teorias para explicar a coexistência das espécies e a biodiversidade baseadas em interações de dependência negativa, como exemplificado nas teorias do princípio da exclusão competitiva (Hardin, 1960), no modelo de competição interespecífica (Lotka, 1978) e no equilíbrio competitivo (MacArthur, 1970).

Porém, interações positivas, tanto diretas quanto indiretas, são também onipresentes em comunidades naturais e têm grande participação na sua estruturação (Stachowicz, 2001; Hacker & Gaines, 1997; Callaway, 1997). Na literatura, uma interação positiva entre espécies de mesmo nível trófico é usualmente denominada *facilitação*. Mecanismos de facilitação têm efeitos líquidos positivos através de mudanças nas condições abióticas e bióticas, resultando em alterações ambientais para as espécies facilitadas (Stachowicz, 2001). Interações de facilitação surgem quando um organismo torna o ambiente mais favorável física-, química- ou biologicamente para um segundo organismo, aumentando suas chances de sobrevivência, crescimento ou reprodução (Bronstein, 2009). Há interações facilitadoras que são diretas, principalmente relacionadas à proteção contra estresses do meio abiótico, como seca, perturbações de ventos/ondas, radiação prejudicial e remediação de poluição por nutrientes (eutrofização) (Cardinale, 2011; Van der Putten, 2009). Ademais, espécies de mesmo nível trófico podem compartilhar parceiros de interação e, assim, criar efeitos mútuos facilitadores de forma indireta, como quando uma planta impalatável facilita a existência de uma vizinha palatável por diminuir o ataque de herbívoros ou quando uma planta atacada por herbívoros elicia sinais que atraem predadores naturais para a área, facilitando as plantas vizinhas (Kappers et al., 2011; Smit et al., 2007). A força dessa influência indireta que uma espécie terá

sobre a outra é mediada por seus parceiros diretos e depende tanto da presença quanto da frequência das conexões na rede de interações (Carvalho et al., 2014).

Interações mediadas por polinizadores

Plantas que florescem juntas em uma mesma área estão sujeitas a influenciarem seus processos de polinização mutuamente de forma positiva (facilitação) (Ogilvie & Thomson, 2016; Liao et al., 2011; Ghazoul, 2006), negativa (competição) (Runquist & Stanton, 2013; Muchhala & Thomson, 2012; Bell et al., 2005) ou neutra (Wirth et al., 2011; Guire & Armbruster, 1991). Na facilitação, a presença de uma planta pode aumentar as chances de visitação e deposição de pólen coespecífico de outra espécie. Tem-se um exemplo disso quando a presença de polinizadores é regulada pela disponibilidade das fontes de recurso. A segunda espécie de planta, servindo como fonte adicional, permite o aumento da abundância dos polinizadores, resultando em maior visitação também para a primeira (Juillet et al., 2007; Carmona-Díaz & García-Franco, 2009). Em contrapartida, na competição, a presença de uma planta diminui as chances de visitação e reprodução de outra espécie. É o caso de uma espécie de planta que sacia o visitante floral, impedindo que ele visite uma segunda espécie, ou quando esta visita implica em deposição de pólen heterospecífico afetando negativamente a fertilização (Briggs et al., 2015; Johnson et al., 2012). Efeitos neutros estão relacionados a taxas reprodutivas ou de visitação que não se alteram significativamente em função da presença de outras espécies sincronopátricas (Ye et al., 2014; Moragues & Traveset, 2005). De forma geral, o resultado das interações planta-planta mediadas por polinizadores depende em grande parte da composição e abundância das espécies em cofloração e da diversidade e abundância de visitantes florais na área (Ye et al., 2014; Feldman et al., 2004; Kathcke, 1983).

Em comparação a parcelas com alta densidade de flores, parcelas com baixa densidade são, de forma geral, menos visitadas por polinizadores (Dresig, 1995; Grindeland et al., 2005), que também tendem a visitar menos flores nestas parcelas (Ye et al., 2014). Assim, podemos esperar que o aumento da abundância de flores de uma determinada espécie também aumente suas chances de influenciar outra espécie em cofloração, sendo que todas as espécies podem ter chances equivalentes de influência a partir de um certo limiar de abundância floral (Carvalho et al., 2014). Uma espécie com maior densidade floral teria proporcionalmente maiores chances de ser encontrada por um visitante floral, ou ainda de ser preferencialmente escolhida pelo visitante em comparação às espécies mais raras. Porém, quando todas essas espécies atingem um limiar de abundância floral, suas chances de serem visitadas são mais semelhantes entre si.

Ademais, a abundância dos polinizadores também pode definir o caráter das interações entre plantas. Na escassez de visitantes, uma espécie de planta com flores pouco atrativas aos polinizadores tende a sofrer efeitos competitivos negativos de uma segunda espécie mais atrativa. Todavia, esses efeitos podem se modificar para facilitadores quando os visitantes são abundantes, pois esses polinizadores poderão também visitar a espécie de fraca atração caso estejam em número excedente para a atrativa, esgotando os recursos destas e buscando por novas fontes de recurso próximas (Ye et al., 2014).

Em relação à diversidade de atributos, o *display* floral que as plantas de uma comunidade podem exibir como produto final da exposição de características de forma, altura, cor, odor, tamanho e quantidade de recursos variáveis funciona como atração ou como barreira aos visitantes florais (Leonard et al., 2011; Irwin et al., 2004; Galen, 1999). Flores que apresentam mais recursos como recompensa usualmente também recebem um número maior de visitantes florais (Bartomeus, 2013; Cartar, 2009). Nesses casos, tanto a disponibilidade dos recursos quanto a acessibilidade podem ser preditores da probabilidade de uma planta influenciar o processo de polinização de uma segunda espécie em cofloração (Carvalho et al., 2014). Além disso, espécies mais atrativas e com mais recursos têm maior probabilidade de compartilhar visitantes florais com espécies raras, pois aquelas podem receber tanto os visitantes mais abundantes e com mais conexões na rede de interação quanto os de menor abundância e menor conectividade. Interessantemente, características morfológicas similares, como cores parecidas, não têm necessariamente grande influência na explicação dos efeitos de uma planta sobre a outra através de visitantes florais em comum (apesar de explicarem a probabilidade deles compartilharem polinizadores) (Kantsa et al., 2018; Carvalho et al., 2014; Ghazoul, 2006).

Grindeland e colaboradores (2005) mostraram que a visitação de polinizadores pode estar vinculada à relação entre densidade local de flores e tamanho do *display* floral em plantas coespecíficas, sendo que a proporção de flores visitadas para plantas com pequeno *display* floral foi mais alta em manchas de alta densidade de flores, e para plantas com grande *display* floral foi mais alta em manchas com baixa densidade de flores. Plantas com menor *display* floral podem investir mais recursos por flor, produzindo flores de maior tamanho ou com maior quantidade e/ou qualidade de recompensas, ao contrário de plantas com grande *display* floral, que teriam essas características florais reguladas pela quantidade finita de recurso a ser dividida entre muitas flores (Sato & Yahara, 1999; Morgan, 1993; Sakai, 1993). Este *trade-off* entre *display* e recursos florais foi reconhecido por teóricos e empiricamente encontrado em algumas espécies como begônias e rabanetes (Schmeske et al., 1995; Harder & Barrett, 1995; Stanton et

al., 1991). Assim, plantas com alta densidade de flores de vizinhas coespecíficas poderiam produzir flores em menor quantidade e maior tamanho e plantas com vizinhas heterospecíficas (e, portanto, baixa densidade de flores coespecíficas) poderiam produzir mais flores com menor tamanho, sem que isso tenha um efeito negativo na proporção de flores visitadas pelos polinizadores em ambos os casos.

Processos facilitadores ligados à diversidade

Processos de facilitação podem promover a diversidade dentro de uma comunidade vegetal assim como garantir sua manutenção (Brooker et al., 2008). A ocorrência de benefícios mútuos é mais provável quando um *display* floral mais diverso proporciona maior atração ou estabilidade na polinização em comparação a um *display* floral com o mesmo número de flores, porém menos diverso (Rathcke, 1983; Roy, 1994). A complementariedade dos recursos oferecidos por plantas de espécies diferentes (algumas oferecem néctar, outras pólen, por exemplo) pode influenciar o surgimento de relações facilitadoras quando isso resulta na especialização dos visitantes que buscam diferentes recursos em flores diferentes (Ghazoul, 2006). Além disso, plantas que não oferecem recursos também podem se beneficiar da proximidade de plantas altamente recompensadoras que atraem muitos visitantes (Lavery, 1992; Johnson et al., 2003). Aumentar a variabilidade dentro do espectro de possíveis visitantes florais através de complementariedade de atração também pode surgir como um mecanismo de facilitação ligado à diversidade (Potts et al., 2003).

Os efeitos de atuação da diversidade normalmente envolvem complementariedade de nicho funcional, já que os visitantes podem diferir nos tipos de flores que visitam, assim como diferir espacialmente e temporalmente nas visitas (Blüthgen & Klein, 2011; Loreau & Hector, 2001). Atrair uma maior diversidade de polinizadores generalistas ou especialistas pelo *display* multiespecífico de plantas que são preferidas por uma ou outra espécie de visitante pode ser vantajoso para plantas que os compartilham. Isso aumenta a estabilidade do serviço de polinização, já que depender de uma ou poucas espécies implica um risco maior de não atingir as taxas ótimas de reprodução, caso alguma imprevisibilidade ambiental afete a abundância ou a rota de forrageio das populações desses animais (Goulson, 2003). Ghazoul (2006) propõe um terceiro mecanismo ligando interações facilitadoras à diversidade da comunidade vegetal pela criação de “espaços livres de competidores”. Neles, a possibilidade de forragear em espécies de plantas alternativas permite que polinizadores menos competitivos, excluídos da planta de maior preferência por competidores agressivos, sejam mantidos na área e possam retornar a ela

quando as condições forem favoráveis. Em um experimento com abelhas poliléticas, pesquisadores observaram que há mudanças no nicho das espécies de planta forrageadas de acordo com as espécies de abelhas presentes na área: nas gaiolas com múltiplas espécies de abelhas, elas visitaram plantas que não foram visitadas em nenhuma das gaiolas com apenas uma espécie de abelha, sendo que as preferências específicas de cada espécie de abelha não foram suficientes para explicar a cobertura maior de plantas visitadas nas comunidades com maior diversidade de abelhas (Fründ et al., 2013). Além de ocorrer entre espécies de mesmo gênero e/ou com características florais semelhantes (Thomson, 1978; Moeller, 2004), há diversos registros de facilitação da polinização relacionada à diversidade floral (Lavery, 1992; Gazhoul, 2006; Carmona-Díaz & García-Franco, 2009; Sieber et al., 2011).

Percepção e comunicação em ambientes diversificados

Por estarem inseridas em uma paisagem complexa de diversidade, as plantas percebem o ambiente ao seu redor e respondem a ele, assim como produzem pistas que possam ser percebidas por outros organismos (Farré-Armengol et al., 2013). Estímulos químicos, táteis ou elétricos podem desencadear respostas nas plantas, o que torna provável que elas também possam identificar e diferenciar uma variedade de sinais (Karban, 2015). Estes sinais, vindos de plantas coespecíficas ou heterospecíficas, são capazes de desencadear uma série de mudanças fisiológicas nas plantas receptoras, que vão desde produção de nectários extra-florais, hormônios, compostos orgânicos voláteis, defesas diretas e indução de resistência quando plantas vizinhas estão sendo atacadas por herbívoros (Ton et al., 2007; Engelberth et al., 2004; Dolch & Tschardtke, 2000; Karban et al., 2000; Farmer & Ryan, 1990; Baldwin & Schultz, 1983), até reprogramação do desenvolvimento morfológico desencadeada por alterações nos sinais luminosos causadas pelas plantas vizinhas e que são percebidas pelos fotorreceptores das plantas (Ballaré & Casal, 2000; Ballaré, 1999). Um dos mais importantes destes mecanismos de comunicação é a produção de compostos orgânicos voláteis (COVs), que abrangem um conjunto de papéis ecológicos muito variado, podendo ser usados tanto para comunicação com organismos de outros níveis tróficos (Schiestl, 2010; Raguso, 2009), como para comunicação planta-planta (Farré-Armengol et al., 2013; Heil & Karban, 2010; Karban, 2015). Os COVs florais representam um dos principais grupos emitidos nas quantidades totais de COVs em uma planta, sendo inclusive produzidos numa taxa maior que os voláteis de folha verde (Baghi et al., 2012; Ibrahim et al., 2010). Assim, é provável que as plantas também percebam sinais mediados por voláteis florais, já que outras categorias de voláteis são percebidos e influenciam na comunicação planta-planta (Kessler, 2016; Farré-Armengol et al., 2016; Farré-Armengol et

al., 2016; Lerda, 2016; Fantaye et al., 2014). Perceber e identificar voláteis de uma vizinha florescendo ao mesmo tempo pode conferir vantagens reprodutivas a uma planta que ajuste sua taxa de abertura floral ou características florais em resposta a eles. Isso se dá pelo aproveitamento da presença de polinizadores que já foram atraídos àquele ambiente ou pelo maior poder de atração conjunta exercido pelo aumento quantitativo dos voláteis florais (Caruso & Parachnowitsch, 2016).

Sistemas agrícolas diversificados

Plantas inseridas em um contexto de sistemas agrícolas não fogem às regras ecológicas às quais estão sujeitos os organismos de uma comunidade biológica. A produção de *commodities* agrícolas em monoculturas de larga escala, amplamente praticada, geralmente tem ignorado os processos naturais que sustentam e regulam as funções ecossistêmicas em uma comunidade biológica, o que contribui para aumentar a crise ambiental, econômica e política na produção e distribuição de alimentos que se configura mundialmente (Webb, 2009; Pingali & Rosegrant, 1994). Diante disso, cientistas e agricultores vêm se juntando a um crescente movimento que une a pesquisa das bases ecológicas nas interações entre os componentes de uma comunidade à construção de um modelo mais sustentável de uso e manejo da terra para a produção agrícola, algo já praticado por populações tradicionais em sua agricultura e nos cultivos de agroflorestas sintrópicas e alguns sistemas orgânicos (Damant & Villela, 2018; Vandermeer & Perfecto, 2017; Ponisio et al., 2015). Neste modelo, os fundamentos que regem os sistemas naturais devem também servir de base para o planejamento e funcionamento dos sistemas agrícolas. O manejo da diversidade nesses sistemas, como, por exemplo, com o uso dos consórcios, surge como alternativa para uma produção mais sustentável em vários quesitos. Em agroflorestas, a estratificação da cobertura vegetal, aliada à composição de matéria orgânica e de serapilheira e à compactação do solo pode trazer melhorias na dinâmica de temperatura e água do solo quando comparados a monoculturas (Damant & Villela, 2018) e práticas como policulturas e rotação de culturas em sistemas orgânicos podem substancialmente reduzir a diferença na produtividade destes em relação aos cultivos tradicionais ao longo do tempo, além de melhorar o pH, a disponibilidade de nutrientes e a biota do solo (Schrama et al., 2018; Ponisio et al., 2015).

As práticas de uso da terra que atualmente mais se aproximam desta perspectiva encontram-se aplicadas nos sistemas em pequena escala e na agricultura familiar (Wezel, et al., 2009; Peterson, 2000). Destes sistemas pequenos e familiares dependem para sua renda mais

de 2 bilhões de pessoas nos países em desenvolvimento (o que representa 83% da população agrícola do mundo) e deles advém a maior parte da diversidade dos produtos disponíveis em nossa alimentação (Lowder et al., 2014). Dentre as 107 plantas cultivadas de maior importância global neste cenário, 85% se beneficiam em maior ou menor grau de polinizadores bióticos para frutos de maior qualidade, maior viabilidade para comércio e maior valor de mercado, sendo que a área de cultivo de espécies dependentes de polinizadores também se encontra em expansão (IPBES, 2016; Klatt et al., 2014; Garibaldi et al., 2011). Dados de pesquisadores em 33 diferentes sistemas de cultura dependentes de polinizadores de 344 localidades da Ásia, África e América Latina mostraram que o preditor mais importante para a produtividade destes cultivos é a densidade de visitantes florais, mais importante ainda que o nível de intensificação convencional, a distância de áreas naturais ou seminaturais, o tamanho do campo e diversas combinações entre fatores (Garibaldi et al., 2016). Porém, apesar da conhecida importância dos agentes polinizadores, há relatos de diminuição nas populações de abelhas nativas e introduzidas em várias partes do mundo devido à perda de habitat, intensificação da produção e uso de agrotóxicos (Goulson et al., 2015; Potts et al., 2010; Steffan-Dewenter et al., 2002). Assim, sistemas agrícolas que sigam práticas de manejo mais sustentáveis e levem em consideração as bases ecológicas das espécies envolvidas surgem como alternativas para produção aliada à conservação. Sabe-se que plantas que florescem juntas influenciam a diversidade e a identidade dos agentes polinizadores que as visitam (Lázaro et al., 2009), o que evidencia a importância de um bom planejamento das culturas dos sistemas diversificados, já que tanto cultivos com polinização especializada quanto generalizada podem se beneficiar da diversidade de polinizadores e da estabilidade proporcionada por ela (Steffan-Dewenter et al., 2005; Klein et al., 2003). Isso mostra a relevância de se entender as relações diretas entre as plantas e seus polinizadores e as interações planta-planta que afetam indiretamente a comunidade de visitantes em um sistema diverso, visando à maior autonomia dos agricultores de pequena escala e à garantia de sua soberania e da segurança alimentar.

CAPÍTULO ÚNICO

Efeitos do plantio consorciado de abobrinha-de-tronco (*Cucurbita pepo* L.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre suas características florais, atração de visitantes e produção de frutos

Introdução

Conhecida sob o nome popular de as “*Três Irmãs*”, a policultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*), abóbora (*Cucurbita pepo*) e milho (*Zea mays*) é parte fundamental da agricultura e alimentação de diversas populações ao redor do mundo. Na América Latina, ocupa grande parte das terras que atualmente ainda são cultivadas a partir de métodos tradicionais, distribuídas em cerca de três milhões de hectares (Altieri, 1999). Evidências do plantio destas três espécies datam de centenas a milhares de anos nas áreas da América Central e do Sul, chegando, em partes da América do Norte, a serem encontradas cultivadas desde o período pré-histórico tardio (Smith, 1997; Mt. Pleasant, 2006; Hart, 2008). Acredita-se que essa policultura tenha se iniciado, estabelecido e espalhado nos territórios que hoje formam o México há milhares de anos, a partir da domesticação de cada espécie individualmente (Smith, 2001). Os registros mais antigos são da abóbora, com até 10.000 anos; seguida pelo milho, com 6.300 anos; e o feijão com 1.000 anos, provavelmente domesticado por populações que já tinham experiência de cultivo com sistemas bem estabelecidos de abóbora e milho (Smith, 2001). As *Três Irmãs* ocupam um espaço relevante e, muitas vezes, de natureza sagrada dentro das culturas e imaginários das populações indígenas tradicionais americanas (Jensen, 1977; Lewandowski, 1987) e parecem ser cultivadas em conjunto sempre que as três espécies estão disponíveis em uma área (Mt. Pleasant, 2006). Quais poderiam ser as bases ecológicas para uma relação de sucesso tão longa?

Estudos que compararam a produção da policultura feijão-abóbora-milho aos seus respectivos cultivos em monocultura a partir da Razão de Área Equivalente (LER, do inglês *Land Equivalent Ratio*), um índice que mede a área de terra necessária no monocultivo para se obter a mesma produção do sistema consorciado, encontraram uma produtividade maior para os cultivos em trio (Risch & Hansen, 1982; Mt. Pleasant & Burt, 2010). É possível que diversas das vantagens já identificadas no plantio de espécies consorciadas em relação às suas

monoculturas também estejam presentes no caso das *Três Irmãs*. Os muitos fatores incluem: maior eficiência no uso da radiação solar para fotossíntese (Tsubo & Walker, 2002); maior segregação espacial das raízes garantindo maior retirada de nutrientes (Zhang et al., 2014); maior eficiência no uso dos nutrientes adquiridos (van Ruijven & Berendse, 2005); menor abundância de herbívoros (Medeiros et al., 2009; Trenbath, 1993; Risch, 1980); maior abundância de parasitoides e predadores (Medeiros et al., 2009; Hansen, 1983; Perfecto et al., 1996); menor incidência de doenças (Zhu et al., 2000; Trenbath, 1993); maior supressão de ervas daninhas (Weiner et al., 2001); e maior presença de agentes polinizadores (Nicholls & Altieri, 2013). Esses fatores, em conjunto, também podem levar a uma maior produtividade (Isbell et al., 2017). Nestes casos, efeitos de complementariedade de nicho (nos quais interações positivas entre plantas levam à maior eficácia no aproveitamento de recursos) podem ser responsáveis pelas vantagens do plantio de misturas em relação a monoculturas (Loreau & Hector, 2001). Outro possível benefício relacionado à ocupação espacial obtida com este plantio consorciado está ligado ao conceito de intensificação ecológica, no qual, utilizando-se uma mesma área de terra, pode-se obter maior produtividade, ao mesmo tempo reduzindo os impactos ambientais prejudiciais e contribuindo para a conservação dos fluxos de serviços ambientais (Pretty et al., 2011). A potencial vantagem da intensificação ecológica se torna ainda maior ao considerar-se que cerca de 84% das terras cultivadas do mundo são pequenas propriedades de até dois hectares, e que 72% delas tem tamanho menor que um hectare (Lowder et al., 2014).

Apesar de uma das espécies ser polinizada abioticamente (milho), as outras duas (abobrinha e feijoeiro) relacionam-se com visitantes florais, estando sujeitas às interações diretas e indiretas mediadas pela polinização biótica. Porém, embora a eficiência do plantio consorciado tenha sido analisada em diversos aspectos ecológicos (Zhang et al., 2014; Gutiérrez-Martínez et al., 2012; Hansen, 1983; Risch, 1980), as interações planta-polinizador neste agroecossistema seguem pouco estudadas em relação aos outros tipos de interações. Evidencia-se a importância das relações planta-polinizador para os sistemas agrícolas quando consideramos que, entre 1.330 espécies dependentes de polinização animal só nas regiões tropicais, 70% se beneficiam quando polinizadas adequadamente, produzindo frutos e sementes em maiores quantidades e/ou melhor qualidade (Roubik, 1995). Entre os *benefícios da natureza aos humanos* presentes em um agroecossistema, a polinização é uma interação ecológica que flui entre os serviços de provisão, regulação e culturais, pois assegura o abastecimento adequado e nutricionalmente variado de produtos alimentares, mantém a variabilidade genética

das plantas que sustentam a biodiversidade e as funções ecossistêmicas e está relacionada a diversos conhecimentos tradicionais, além de ter uma valorização econômica global atual estimada entre 235 e 577 bilhões de dólares (IPBES, 2016).

Cucurbita pepo L. (Cucurbitaceae) apresenta diversas variedades e cultivares, sendo uma das espécies de hortaliça mais consumida e de maior importância econômica do Brasil, com uma produção de aproximadamente 17,9 mil toneladas por ano, de valor estimado em 88 milhões de reais (IBGE – Censo Agropecuário, 2006). Uma de suas principais variedades é popularmente conhecida como abobrinha-italiana ou abobrinha-de-tronco, pelo seu crescimento centralizado e ereto, concentrado em um único ponto de enraizamento. Por ser uma planta com flores de sexos separados, i.e. díclina, a presença de agentes polinizadores é obrigatória para que ocorra transferência de pólen da flor masculina para a feminina e, consequentemente, haja produção de frutos (Wien, 1997). As flores estaminadas (masculinas) usualmente são as primeiras a serem formadas, sendo produzidas também em maiores proporções em relação às flores pistiladas (femininas) (Avila-Sakar et al., 2003). As flores masculinas produzem cinco estames que se fundem logo no princípio do desenvolvimento do botão e, assim como as flores femininas, também produzem néctar (Nepi et al., 1996). As flores são de tamanho grande, com formato campanulado e simetria radial, de cor amarelo-alaranjado, com recursos de pólen e néctar bem expostos. Todas as flores prontas para antese abrem e fecham no mesmo dia; esse processo ocorre pouco antes ou ao nascer do Sol e dura até meados do dia, quando a temperatura é mais alta e as flores se fecham (entre 11h e 12h) (Nepi et al., 1996). Seus principais polinizadores pertencem ao grupo das abelhas (Parra-Tabla et al., 2017; Splawski et al., 2014; Wien, 1997), sendo a composição da comunidade de visitantes da área um fator determinante para uma produção rentável no cultivo da abobrinha (Enríquez et al., 2015).

Phaseolus vulgaris L., ou feijão-comum, é uma leguminosa (Fabaceae) que produz grãos ricos em proteínas e constitui a base alimentar da população brasileira. De plantio anual, suas flores apresentam ambos os sexos e podem variar de cor (de branco até púrpura) dependendo da variedade. Elas têm cinco pétalas com simetria bilateral de formato típico das fabáceas (do grupo Faboideae ou Papilionoideae), com a pétala principal em estandarte, duas medi-laterais e as duas últimas unidas uma sobre a outra formando a quilha, que se encontra retorcida para o lado, e dentro da qual se localizam os órgãos sexuais (Santana et al., 2002). Na base do cálice, há nectários que secretam pequenas quantidades de néctar (Santana et al., 2002). A estrutura da flor favorece a autopolinização, porém, a polinização cruzada também ocorre em uma taxa que

varia de 0-1% a 6-10%, dependendo da presença e identidade dos visitantes florais na área (Ramalho & Santos, 1982; Bliss, 1980). A ocorrência de fecundação cruzada no feijoeiro pode trazer vantagens como a redução na taxa de aborto de vagens, maior tamanho das vagens, aumento da produção de grãos e aumento do peso total dos mesmos (Palmer, 1969; Free, 1976; Freytag, 1979; Mesquida et al., 1992; Moreti et al., 1994; Ibarra-Perez et al., 1999;).

O fato das plantas influenciarem-se mutuamente através das mudanças que causam no ambiente ao seu redor pode refletir em alterações de características essenciais para a regulação das interações de polinização como número de flores ou morfologia floral. A presença de vizinhas coespecíficas poderia permitir que cada planta produzisse individualmente menos flores (podendo também ser maiores pela redistribuição na alocação de recursos), sem com isso perder visitantes, já que a atração seria garantida pela sinalização em conjunto na área. Ao contrário de plantas com vizinhas heterospecíficas que, para garantir a atração de seus polinizadores, produziriam mais flores, com um *trade-off* negativo de *display*-tamanho. Como a produção de abobrinha é dependente da presença de polinizadores e as flores produzidas têm néctar e pólen em abundância, elas podem ser decisivas na atração dos visitantes florais e, portanto, na estruturação da comunidade desses visitantes no tempo e na área de cultivo. A partir da interação das flores da abobrinha com seus visitantes podem emergir efeitos facilitadores indiretos para a polinização do feijoeiro. Portanto, saber se a presença e a identidade da planta vizinha podem causar efeitos sobre as características florais da abobrinha-de-tronco e do feijão-comum é um dos passos para se entender melhor as consequências ecológicas do plantio consorciado na produção dessas duas culturas. Neste contexto, outra investigação pertinente seria determinar como as relações diretas planta-polinizador dessas espécies com seus respectivos visitantes florais, juntamente com as interações indiretas (mediadas pela comunidade de visitantes florais) afetam sua produção de frutos.

Assim, este trabalho visa determinar quais os efeitos do plantio consorciado da abobrinha-de-tronco e do feijão-comum sobre as interações dessas culturas com seus visitantes florais, assim como verificar o efeito do consórcio sobre as características florais e reprodutivas destas espécies. Considerando a influência mútua que plantas que compartilham uma área podem ter, associada à presença obrigatória de visitantes florais para a produção da abobrinha e à possibilidade de benefícios das visitas de polinizadores para a produção do feijoeiro, procura-se responder três perguntas: (1) A presença e a identidade da planta vizinha modificam o número de flores produzidas e os atributos florais da abobrinha-de-tronco e do feijoeiro? (2) O plantio consorciado entre feijoeiro e abobrinha-de-tronco pode modificar a atração de visitantes

florais desses cultivos em relação às suas monoculturas? (3) O plantio consorciado entre feijoeiro e abobrinha-de-tronco pode modificar a produtividade desses cultivos em relação às suas monoculturas?

As hipóteses para essas perguntas são (1) plantas crescidas acompanhadas de vizinhas heterospecíficas produzem flores em maior quantidade e com tamanho menor e plantas crescidas com vizinhas coespecíficas produzem flores em menor quantidade e com tamanho maior; (2) o plantio consorciado de abobrinha e feijoeiro terá maior diversidade de visitantes florais e maior taxa de visitas; e (3) o plantio consorciado de abobrinha e feijoeiro resultará em maior qualidade na produção de frutos.

Materiais e métodos

Experimento 1

Área de estudo e coleta de dados

Para testar se a presença e a identidade da planta vizinha durante o crescimento podem modificar os atributos florais e a fenologia da abobrinha-de-tronco (Ab) e do feijoeiro (F), montou-se um experimento na Casa de Vegetação do Departamento de Biologia Animal do Instituto de Biologia da Universidade Estadual de Campinas. No plantio, foram utilizados vasos de 5 L com uma mistura de Terra Vegetal Soilfert® e Fertilizante Orgânico Classe B Soilfert® na proporção de 2:1 respectivamente. Foram montados três tratamentos para o crescimento vegetativo: (1) planta focal acompanhada de vaso vazio (FV ou AbV); (2) planta focal acompanhada de indivíduo de mesma espécie (FF ou AbAb); (3) planta focal acompanhada de indivíduo de outra espécie (FAb ou AbF). Cada vaso continha um indivíduo, sendo posicionados lado a lado em duplas, com aproximadamente um metro de distância entre duplas do mesmo tratamento e mais de dois metros de distância entre tratamentos (Figura 1). As plantas foram irrigadas todos os dias ao fim de tarde durante 5 minutos e o aparecimento eventual de plantas espontâneas nos vasos foi controlado por desbaste manual. Cada tratamento teve um bloco com 16 indivíduos focais, utilizando-se inicialmente o feijoeiro como espécie focal e a abobrinha como espécie acompanhante e, posteriormente, utilizando-se a abobrinha como espécie focal e o feijoeiro como espécie acompanhante. Com a abobrinha como planta focal, a variável preditora foi o tratamento (AbV, AbAb ou AbF), e as variáveis resposta foram número

de flores, sexo das flores, diâmetro de abertura da corola (milímetros) e profundidade da corola (milímetros). Somando todos os tratamentos, foram produzidas apenas quatro flores femininas, assim, as análises de atributos florais de tamanho foram realizadas apenas em flores masculinas, já que o pequeno número amostral não permitiu que as mesmas análises fossem feitas com as flores femininas. Com o feijoeiro como planta focal, a variável preditora foi o tratamento (FV, FF ou FAb), e as variáveis resposta foram número de flores, comprimento vertical das flores (milímetros) e diâmetro da pétala estandarte (milímetros).

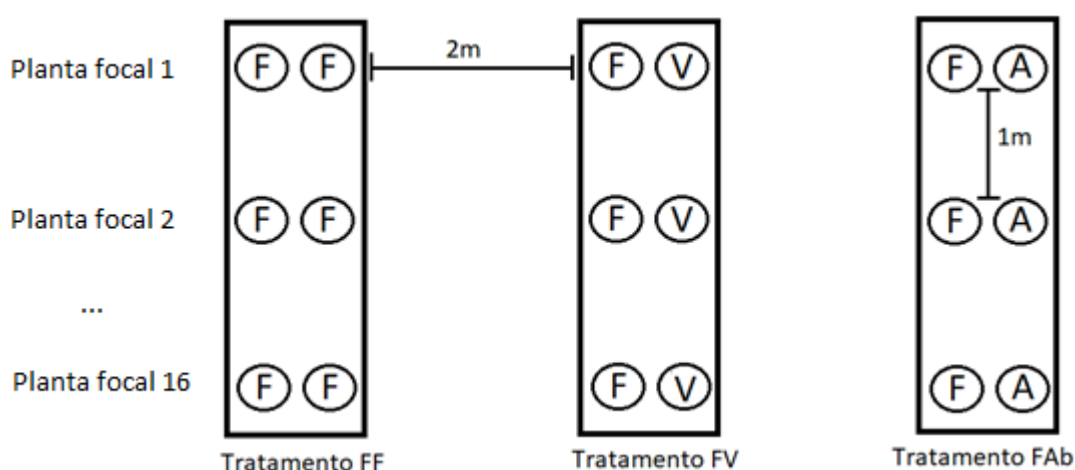


Figura 1. Disposição dos vasos nos tratamentos do Experimento 1 durante o crescimento vegetativo. Cada tratamento continha um bloco com os 16 indivíduos focais e cada dupla estava separada aproximadamente um metro da próxima dupla de mesmo tratamento e, no mínimo, dois metros de outro tratamento. Na imagem, pode-se ver um exemplo do desenho experimental usando o feijão-comum como planta focal. FF: feijoeiro acompanhado de feijoeiro; FV: feijoeiro acompanhado de vaso vazio; FAb: feijoeiro acompanhado de abobrinha.

Experimento 2

Área e sistema de estudo

Para testar se o plantio consorciado entre feijoeiro e abobrinha-de-tronco pode modificar a atração de visitantes florais e a produção desses cultivos um segundo experimento em campo foi montado. O experimento foi conduzido em uma área disponibilizada pelo Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas (CPQBA), localizado no

município de Paulínia, estado de São Paulo (-22.798370°, -047.110962°). A área é cercada por bairros residenciais e terras cultivadas, com pouca vegetação natural no entorno (ver figura 16, apêndice 1). Uma parcela de um hectare foi designada pelo CPQBA para plantio, na qual realizou-se, previamente, uma análise de solo para macronutrientes e micronutrientes pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Visando à adequação do solo para os requisitos de produção das duas culturas, foram aplicados uma tonelada de calcário do tipo Grupo D (Poder Relativo de Neutralização Total acima de 90,1%), espalhado uniformemente em toda a área, e 810 Kg de adubo orgânico, distribuído uniformemente dentro de cada quadrante destinado aos cultivos (Figura 3), um mês antes do plantio.

Foram feitos cinco tratamentos: (F100) 100% de indivíduos de feijão; (F0) 100% de indivíduos de abobrinha; (F50) 50% de indivíduos de feijão e 50% de indivíduos de abobrinha; (F25) 25% de indivíduos de feijão e 75% de indivíduos de abobrinha e (F75) 75% de indivíduos de feijão e 25% de indivíduos de abobrinha. Os indivíduos de cada tratamento foram plantados em uma parcela de 3 x 3 m, dispostos em quatro fileiras separadas um metro umas das outras, e com sete indivíduos cada, totalizando 28 indivíduos por parcela. Nas parcelas com consórcio (F50, F25 e F75), o plantio intercalado se deu entre fileiras, de modo que cada fileira continha apenas uma espécie de planta (Figura 2).

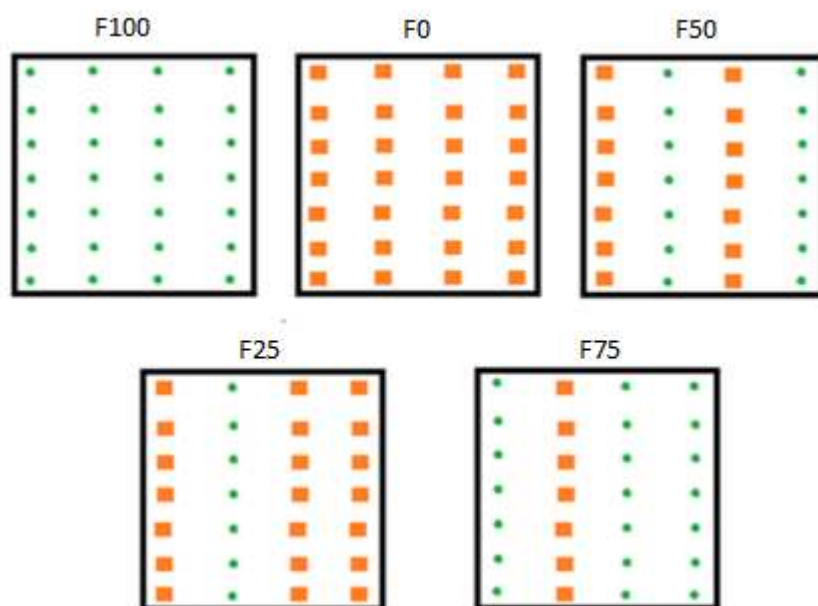


Figura 2. Esquema representando os cinco tratamentos de plantio. Tratamento F100: monocultura de feijão; Tratamento F0: monocultura de abóbora; Tratamento F50: consórcio de

50% de indivíduos de feijão e 50% de indivíduos de abóbora; Tratamento F25: consórcio de 25% de indivíduos feijão e 75% de indivíduos de abóbora; Tratamento F75: consórcio de 75% de indivíduos de feijão e 25% de indivíduos de abóbora. Os quadrantes representam quadrados de 3 x 3 metros.

O experimento foi montado em um desenho com cinco blocos aleatorizados. Para evitar compartilhamento de visitantes florais por proximidade, as parcelas possuíam 15 metros de distância umas das outras, tanto dentro de um mesmo bloco quanto entre blocos, totalizando 5.625 m² (75 por 75 m) de área do experimento (Figura 3).

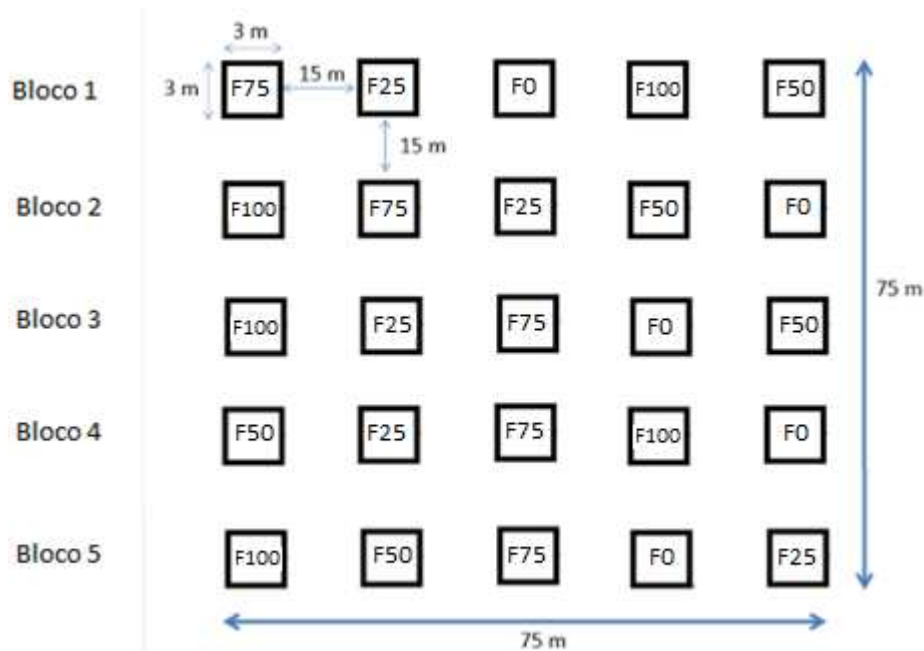


Figura 3. Desenho experimental realizado na área de plantio do CPQBA. Cada parcela de 3 x 3 m foi plantada a 15 metros de outra parcela. Um mesmo bloco continha todos os cinco tratamentos, dispostos de forma aleatória. Foram feitos cinco blocos, totalizando uma área de 5.625 m².

As sementes de *Phaseolus vulgaris* (cultivar IAC Netuno) foram adquiridas no Centro de Grãos e Fibras do Instituto Agronômico de Campinas e plantadas diretamente no solo aos trios, sendo desbastadas após a germinação para se obter um indivíduo por cova. Os indivíduos de *Cuburbita pepo* (variedade abobrinha-de-tronco-italiana cultivar PX) foram adquiridos como mudas na produtora Green Mudas (Campinas, SP), sendo transplantados na área experimental

cerca de duas semanas após a semeadura. A quantidade real de indivíduos em cada parcela não correspondeu à quantidade planejada inicialmente devido à morte de alguns indivíduos de ambas as espécies, após o transplante ou após ataque severo de formigas cortadeiras em algumas parcelas. Devido a isso, as porcentagens fixas dos consórcios nos tratamentos F50, F25 e F75 tiveram de ser alteradas para incluir categorias com gradientes de porcentagens para as análises estatísticas. O tratamento F50, inicialmente planejado para conter 50% de indivíduos de feijão, acabou tendo entre 50 e 59%. O tratamento F25, inicialmente planejado para conter 25% de indivíduos de feijão, acabou tendo entre 20 e 39%. O tratamento F75, inicialmente planejado para conter 75% de indivíduos de feijão, acabou tendo entre 70 e 78%. Assim, a quantidade inicial de cinco repetições para cada tratamento também foi alterada já que algumas parcelas mudaram de tratamento (as parcelas com o tratamento F50 continuaram tendo cinco repetições, porém, as parcelas com o tratamento F25 passaram a ter seis repetições e as parcelas com o tratamento F75 passaram a ter quatro repetições), ou seja, alguns blocos podiam não conter os cinco tratamentos no desenho experimental final obtido. As proporções finais das duas espécies em cada parcela de cada bloco podem ser verificadas na Tabela 1.

Tabela 1. Tratamento obtido em cada parcela com suas respectivas porcentagens de feijão-comum e de abobrinha, após ataque de formigas saúvas e morte de plântulas transplantadas, em relação ao tratamento e porcentagens inicialmente planejados. As linhas destacadas indicam parcelas que tiveram seus tratamentos alterados em relação ao tratamento inicialmente planejado (asterisco).

Bloco	Tratamento planejado	Tratamento obtido	Porcentagem de feijão planejada	Porcentagem de feijão obtida	Porcentagem de abobrinha planejada	Porcentagem de abobrinha obtida
1	F100	F100	100	100	0	0
2	F100	F100	100	100	0	0
3	F100	F100	100	100	0	0
4	F100	F100	100	100	0	0
5	F100	F100	100	100	0	0
1	F75	F25*	75	20	25	80
2	F75	F75	75	73	25	27
3	F75	F75	75	78	25	22
4	F75	F50*	75	59	25	41
5	F75	F75	75	74	25	26
1	F50	F50	50	50	50	50
2	F50	F25*	50	39	50	61

3	F50	F50	50	59	50	41
4	F50	F75*	50	70	50	30
5	F50	F50	50	50	50	50
1	F25	F25	25	35	75	65
2	F25	F25	25	30	75	70
3	F25	F25	25	29	75	71
4	F25	F50*	25	54	75	46
5	F25	F25	25	37	75	63
1	F0	F0	0	0	100	100
2	F0	F0	0	0	100	100
3	F0	F0	0	0	100	100
4	F0	F0	0	0	100	100
5	F0	F0	0	0	100	100

Coleta de dados

Para testar se a cofloração no consórcio entre o feijoeiro e a abobrinha-de-tronco pode aumentar a atração de visitantes florais e a produção dessas espécies foram coletados dados de visitação floral e de produção.

Para a coleta de dados sobre visitação floral, uma única planta de *Cucurbita pepo* ou de *Phaseolus vulgaris* com ao menos uma flor em antese foi definida como unidade amostral. A coleta ocorreu durante 16 manhãs sem chuva ao longo do período de floração das plantas. As observações se deram entre 7h00 e 11h00, já que as flores de abobrinha se fecham após esse horário. Por dia de observação, para cada um dos tratamentos, três indivíduos em floração na parcela foram escolhidos aleatoriamente para cada uma das espécies e observados durante dez minutos cada. Nas parcelas de consórcio em cofloração, o indivíduo florido de abobrinha e o de feijão escolhidos eram observados concomitantemente dentro dos dez minutos. Preferencialmente, as parcelas observadas faziam parte de um mesmo bloco, porém, no caso de não haver plantas floridas suficientes na parcela, indivíduos pertencentes ao mesmo tratamento eram observados em parcelas de diferentes blocos. Nos dias finais do período de floração, alguns tratamentos não puderam ter três plantas observadas, pois a maioria delas já não apresentava flores. As plantas de abobrinha foram observadas por um total de 21,33 horas e as de feijão por 18,33 horas, totalizando 39,7 horas de observação. Como as proporções reais das duas espécies nas parcelas diferiram das planejadas inicialmente para os tratamentos, as horas de observação foram divididas em 4,7 horas de observação em parcelas com 100% de indivíduos de feijão; 5,5 horas de observação em parcelas com 100% de indivíduos de

abobrinha e 29,5 horas de observação em parcelas com os três tipos de consórcio. A variável preditora foi o tratamento (F100, F0, F50, F25 e F75) e as variáveis resposta foram visitas por hora por planta e diversidade de visitantes. A identidade do visitante floral e o número de visitas realizadas foram registrados. Foram consideradas visitas legítimas quando o visitante entrou em contato com as estruturas reprodutivas da planta na manipulação da flor. Alguns visitantes foram coletados para posterior identificação em laboratório.

Para os dados de produtividade, em todas as parcelas com os tratamentos F0, F50, F25 e F75 foram colhidas, no mínimo, quatro abobrinhas, vindas de indivíduos diferentes na parcela. As abobrinhas foram escolhidas aleatoriamente, de acordo com padrões visuais de amadurecimento para viabilidade comercial (Nerson et al., 2000; Lau & Stephenson, 1993; Winsor et al., 1987). Todos os indivíduos de feijoeiro nas parcelas foram coletados e, devido às dificuldades para armazenamento do grande número de indivíduos, as plantas foram prensadas individualmente e secadas em estufa para evitar a proliferação de fungos. A variável preditora foi o tratamento, e as variáveis resposta foram peso (gramas), comprimento (centímetros) e diâmetro maior (centímetros) para as abobrinhas, e número de vagens e peso seco das vagens (gramas) para os feijoeiros.

Análise estatística

Experimento 1

Para testar se a presença e a identidade da planta vizinha modificam o número de flores produzidas e os atributos florais da abobrinha-de-tronco e do feijoeiro foram utilizados modelos lineares generalizados (GLM). Para as análises de fenologia, foram montados modelos de GLM nos quais o número de flores (FLORES) foi utilizado como variável resposta e os tratamentos (TRATAMENTO), como variável preditora. Para melhor visualização gráfica dos dados, os dias de coleta foram aglutinados em grupos. Para as flores de abobrinha, os 32 dias de observação foram divididos em oito grupos, cada um contendo a somatória das observações de quatro dias seguidos. Para as flores de feijoeiro, os 21 dias de observação foram divididos em sete grupos, cada um contendo a somatória das observações de três dias seguidos. Devido à natureza discreta dos dados, os modelos foram ajustados com distribuição de erro de Poisson. Para os atributos florais, foram montados modelos de GLM utilizando, separadamente, profundidade da corola (PROFUNDIDADE) e diâmetro de abertura da corola (DIAMETROAB) como variáveis resposta para as flores de abobrinha e diâmetro da pétala

estandarte (DIAMETROF) e comprimento vertical das flores (COMPRIMENTO) para o feijoeiro, sendo que, para ambos, TRATAMENTO foi usado como variável preditora. As medidas usadas para as variáveis resposta foram as médias dos tamanhos de todas as flores produzidas por cada uma das dezesseis plantas de cada tratamento. Matrizes de contraste (Chambers & Hastie, 1992) foram montadas para os GLMs de forma a testar os dois componentes da hipótese: (GLM1) presença (controle vs. vizinha coespecífica + vizinha heterospecífica) e (GLM2) identidade da planta vizinha (vizinha coespecífica vs. vizinha heterospecífica).

Experimento 2

Para testar se as características de visitação são diferentes entre parcelas com monocultura e consórcio, foram montados GLMs, primeiramente agrupando todas as observações feitas nas parcelas de consórcio e, posteriormente, separando as observações de visitação feitas somente nos indivíduos de feijoeiro e somente nos indivíduos de abobrinha de todas as parcelas. Para todos os casos, considerou-se a taxa de visitas por hora (VH) como variável resposta e a porcentagem de indivíduos de feijão nas parcelas (TRATAMENTO) como variável preditora. A variável TRATAMENTO segue os cinco tratamentos de plantio feitos nas parcelas: (F100) 100% de indivíduos de feijoeiro; (F0) 0% indivíduos de feijoeiro (monocultura de abobrinha); (F50) de 50 a 59% indivíduos de feijoeiro; (F25) de 20 a 39% indivíduos de feijoeiro; e (F75) de 70 a 78% indivíduos de feijoeiro. Os modelos para visitação foram montados com os dados obtidos em cinco parcelas com o tratamento F0, cinco parcelas com o tratamento F25, quatro parcelas com o tratamento F50, quatro parcelas com o tratamento F75 e três parcelas com o tratamento F100. A matriz de contraste considerando todas as visitas teve cinco níveis na variável TRATAMENTO e foi montada para testar quatro contrastes: (GLM1) tratamentos F100 e F0 vs. tratamentos F50, F25 e F75; (GLM2) tratamento F0 vs. tratamentos F50, F25 e F75; (GLM3) tratamento F100 vs. tratamentos F50, F25 e F75; e (GLM4) tratamento F50 vs. tratamentos F25 e F75. O contraste GLM3 deste modelo não foi possível de ser calculado devido à singularidade. A matriz de contraste considerando, separadamente, apenas os visitantes de feijoeiro ou de abobrinha teve quatro níveis na variável TRATAMENTO (para a visitação do feijoeiro, não se pode considerar o tratamento F0 e para a visitação da abobrinha, não se pode considerar o tratamento F100) e foi montada com três contrastes: (GLM1) tratamento F100 ou F0 vs. tratamentos 50, F25 E F75; (GLM2) tratamento F50 vs. tratamentos F25 e F75; e (GLM3) tratamento F25 vs. tratamento F75.

Para o cálculo da diversidade de visitantes florais, através do Índice de Shannon, as parcelas foram divididas em três grupos: monocultura de abobrinha, monocultura de feijoeiro e consórcio. As abundâncias de cada grupo de visitantes nessas parcelas foram corrigidas pelo tempo de observação. Para verificar a diferença na composição de espécies entre as parcelas com consórcio e com monocultura, realizou-se uma análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA), com 999 permutações e método Bray-Cutis. As premissas de homogeneidade de dispersão multivariada foram checadas.

Para testar se o plantio consorciado entre a abobrinha e o feijão-comum tem efeitos na produção de frutos destas espécies foram construídos modelos de GLM para as variáveis resposta com dados contínuos (peso das abobrinhas; comprimento das abobrinhas; diâmetro das abobrinhas; e peso seco das vagens dos feijoeiros) e com dados discretos (número de vagens de feijoeiro). As medidas usadas para as variáveis resposta foram as médias dos valores obtidos para cada parcela e, portanto, todos os modelos foram ajustados com distribuição de erros gaussiana, menos o modelo para número de vagens, que foi montado com distribuição de erros de Poisson. A variável preditora utilizada para todos foi a porcentagem de indivíduos de feijão nas parcelas (TRATAMENTO). Os modelos para produção foram montados com os dados obtidos em cinco parcelas com o tratamento F100, cinco parcelas com o tratamento F0, cinco parcelas com o tratamento F50, quatro parcelas com o tratamento F25, quatro parcelas com o tratamento F75. A matriz de contraste montada para todos os modelos teve quatro níveis na variável preditora e três contrastes comparando o tratamento de monocultura aos três tratamentos de consórcio: (GLM1) tratamento F100 ou F0 vs. tratamento F25; (GLM2) tratamento F100 ou F0 vs. tratamento F50; e (GLM3) tratamento F100 ou F0 vs. tratamento F75.

Para todos os modelos de GLM, o modelo com a variável preditora foi comparado ao modelo nulo para testar sua relevância em explicar a variável resposta (ver apêndice 2). A comparação de modelos foi feita usando análises de variância (ANOVA), com o teste qui-quadrado para variáveis discretas e o teste F para variáveis contínuas. Os modelos de GLM que não foram diferentes do modelo nulo com um nível de significância alfa de 6% não tiveram sua matriz de contraste analisada. A ortogonalidade das matrizes de contraste utilizadas pode ser verificada no apêndice 3. As nomeações “GLM1”, “GLM2” etc., referem-se aos contrastes testados na matriz montada para o modelo de GLM em questão. Todos os modelos de GLM tiveram seus resíduos analisados quanto à normalidade. As análises foram feitas no ambiente R de programação usando a interface do programa RStudio 1.2.1335 (2009 – 2019), utilizando-

se as funções, *glm*; *diversity*; *metaMDS* e *adonis*, dos pacotes “car”; e “vegan”, disponíveis para o R.

Resultados

Experimento 1

Atributos florais

Ao todo, as plantas de abobrinha focais produziram 402 flores, sendo 147 no tratamento abobrinha acompanhada de feijoeiro (AbF); 129 no tratamento abobrinha acompanhada de abobrinha (AbAb) e 126 no tratamento controle abobrinha acompanhada de vaso vazio (AbV). O número total de flores produzidas por *Cucurbita pepo* não foi significativamente influenciado pela presença de uma planta vizinha, nem pela identidade da planta vizinha ($\chi^2 = -1,8986$; $p = 0,39$), e a distribuição das flores produzidas durante os períodos de floração foi similar entre os tratamentos (Figura 4).

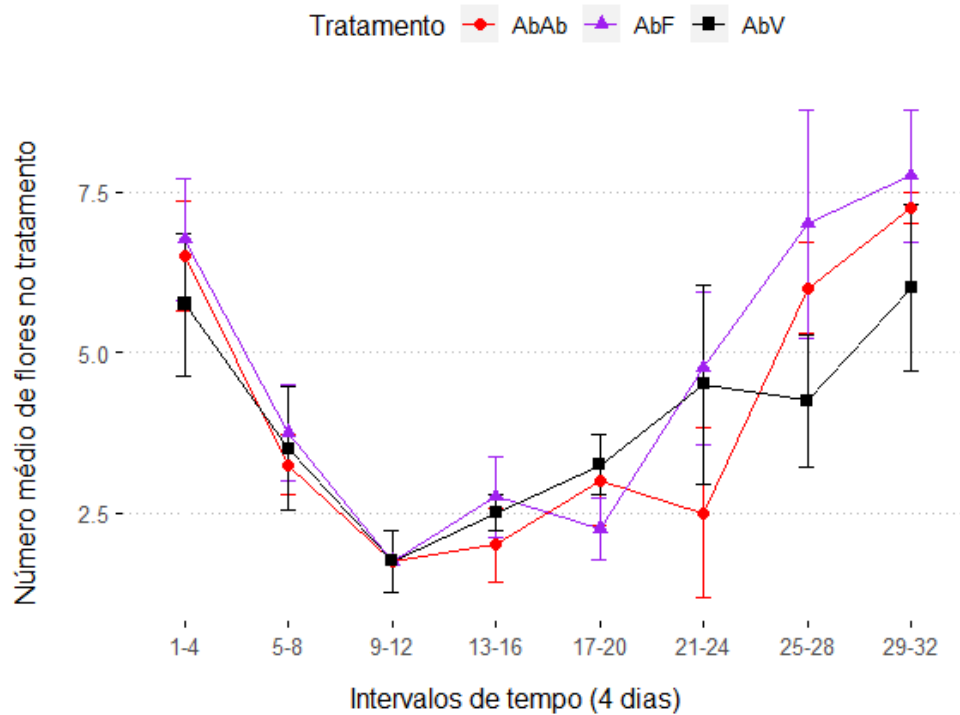


Figura 4. Flores de abobrinha produzidas pelos 16 indivíduos do tratamento durante os dias de observação (média $\pm$ desvio padrão). Cada intervalo de tempo equivale à somatória das observações feitas em todas as plantas do tratamento em quatro dias consecutivos, totalizando 32 dias de observação. AbAb – abobrinha acompanhada de abobrinha (n = 16); AbF – abobrinha acompanhada de feijoeiro (n = 16); AbV – abobrinha acompanhada de vaso vazio (n = 16). Dados coletados na casa de vegetação do Instituto de Biologia da Universidade de Campinas, 2018.

A presença de uma planta vizinha durante o crescimento, assim como a identidade da planta vizinha, não tiveram efeito significativo no diâmetro de abertura da corola das flores masculinas de abobrinha ($F = 2,7562$; $p = 0,07$). As flores das abobrinhas que cresceram sem a companhia de uma espécie vizinha (AbV) tiveram diâmetro de abertura da corola de $32,9 \pm 5,8$ mm (média $\pm$ desvio padrão), as flores de abobrinhas que cresceram na companhia de vizinhas coespecíficas (AbAb) tiveram diâmetro de abertura da corola de $32,5 \pm 3,0$ mm (média $\pm$ desvio padrão), e as flores das abobrinhas que cresceram com plantas heterospecíficas (AbF) tiveram diâmetro de abertura da corola de $29,1 \pm 5,6$ mm (média $\pm$ desvio padrão) (Figura 5).

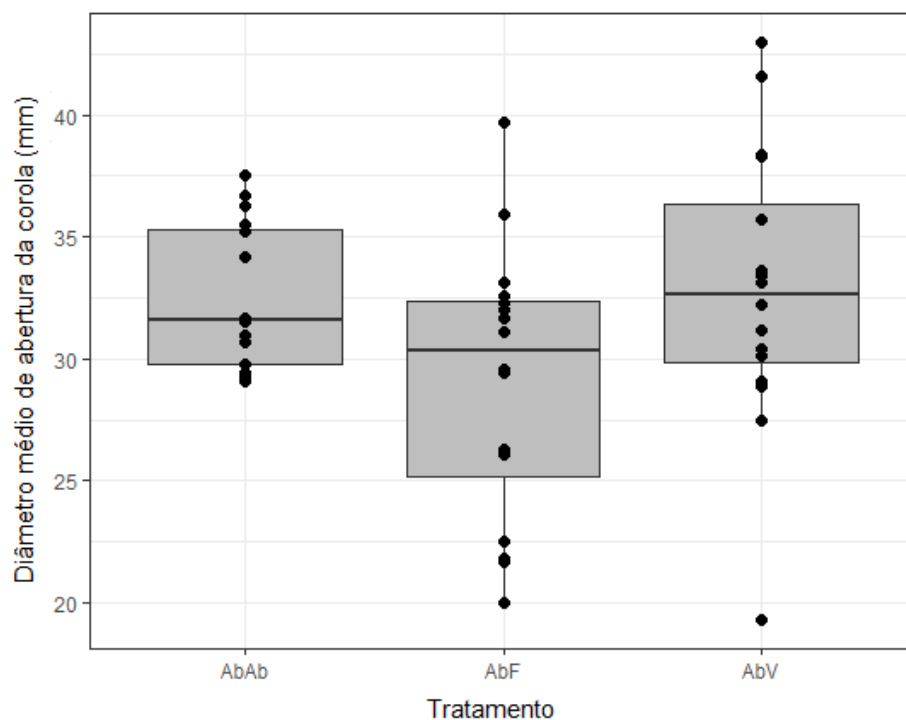


Figura 5. Diâmetro (mm) de abertura da corola das flores masculinas de cada planta de abobrinha em função da identidade da planta vizinha. A linha escura indica a mediana, a caixa

indica o percentil de 75% e as barras indicam o percentil de 95%. AbAb - abobrinha acompanhada de abobrinha (n = 16); AbF - abobrinha acompanhada de feijoeiro (n = 16) e AbV - abobrinha acompanhada de vaso vazio (n = 16). Dados coletados na casa de vegetação do Instituto de Biologia da Universidade de Campinas, 2018.

A presença de uma planta vizinha durante o crescimento não teve efeito significativo sobre a profundidade da corola das flores masculinas de abobrinha (GLM1: estimativa = 0,0052; g.l. = 45; t = 0,023; p = 0,9821), porém, houve efeito significativo da identidade da planta vizinha na profundidade da corola (GLM2: estimativa = 0,9594; g.l. = 45; t = 2,400; p = 0,0206). As flores de plantas que cresceram na companhia de coespecíficas (AbAb) tiveram profundidade média da corola relativamente menor (média $\pm$ desvio padrão: $24,3 \pm 1,7$ mm) do que plantas que cresceram na companhia de heterospecíficas (AbF) (média $\pm$ desvio padrão: $26,2 \pm 2,8$ mm). A profundidade da corola das flores masculinas de abobrinhas que cresceram sem a presença de uma planta vizinha (AbV) foi de $25,3 \pm 2,1$ mm (média $\pm$ desvio padrão) (Figura 6).

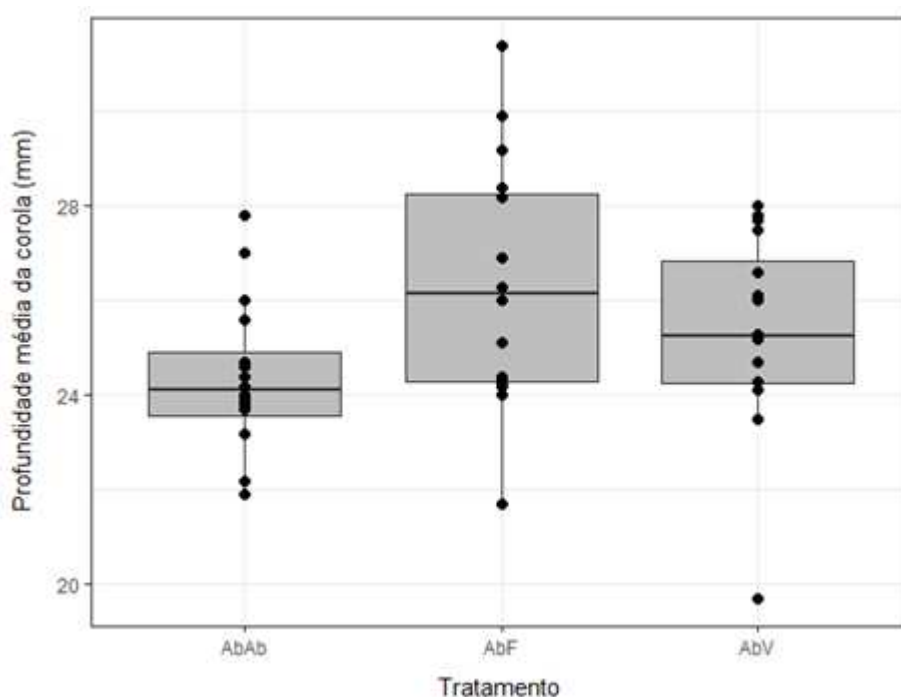


Figura 6. Profundidade (mm) da corola das flores masculinas de cada planta de abobrinha em função da identidade da planta vizinha. A linha escura indica a mediana, a caixa indica o percentil de 75% e as barras indicam o percentil de 95%. AbAb - abobrinha acompanhada de

abobrinha ($n = 16$); AbF - abobrinha acompanhada de feijoeiro ($n = 16$) e AbV - abobrinha acompanhada de vaso vazio ($n = 16$). Dados coletados na casa de vegetação do Instituto de Biologia da Universidade de Campinas, 2018.

Ao todo, as plantas de feijoeiro focais produziram 420 flores, sendo 183 no tratamento feijoeiro acompanhado de vaso vazio (FV), 135 no tratamento feijoeiro acompanhado de feijoeiro (FF) e 102 no tratamento feijoeiro acompanhado de abobrinha (FAB). A presença de uma planta vizinha teve efeito significativo sobre o número de flores produzidas (GLM1: estimativa = 0,1481; g.l. = 60; $z = 4,496$; $p < 0,0001$): feijoeiros que cresceram acompanhados de qualquer outra planta produziram 64 % do total de flores produzidas por feijoeiros que cresceram sozinhos. A identidade da planta vizinha também teve efeito significativo sobre o número de flores produzidas (GLM2: estimativa = -0,1402; g.l. = 60; $z = -2,137$; $p = 0,0326$): feijoeiros crescidos acompanhados de plantas heterospecíficas produziram menos flores ainda: 75 % do total de flores produzidas por feijoeiros crescidos na companhia de coespecíficos ou 56 % do total de flores produzidas por feijoeiros que cresceram sozinhos. As plantas do tratamento FAB atingiram um pico de floração de forma um pouco mais tardia que os outros dois tratamentos (cerca de três dias depois) e também passaram a produzir menos flores nos seis últimos dias de observação (chegando a 0 nos três últimos dias), enquanto os outros dois tratamentos produziram um número maior de flores. (Figura 7).

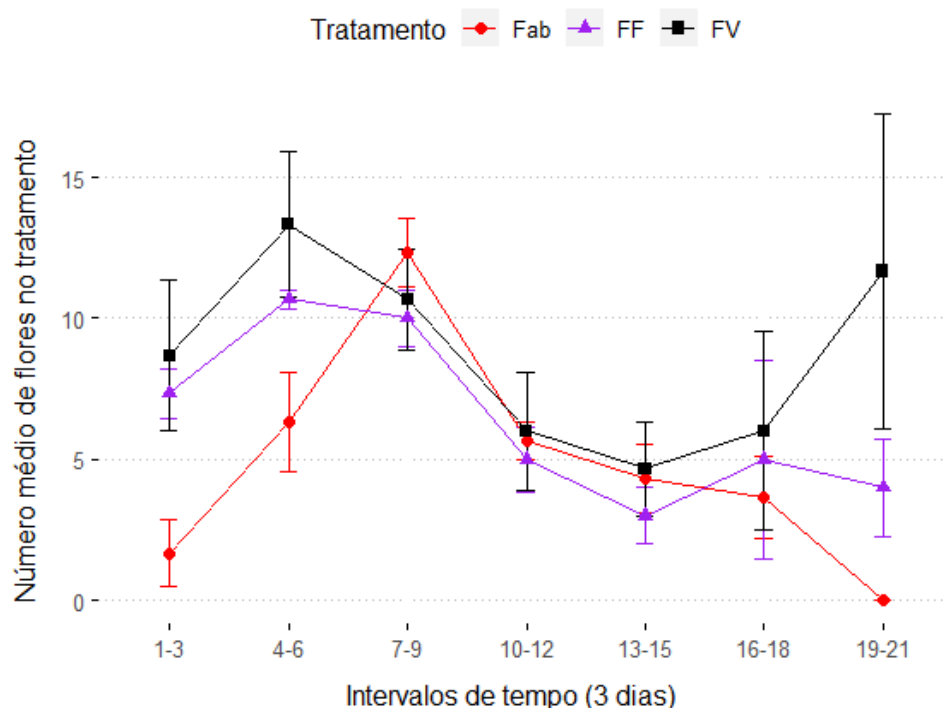


Figura 7. Flores de feijão-comum produzidas pelos 16 indivíduos do tratamento durante os dias de observação (média $\pm$ desvio padrão). Cada intervalo de tempo equivale à somatória das observações feitas em todas as plantas do tratamento em três dias consecutivos, totalizando 21 dias de observação. FAb – feijoeiro acompanhado de abobrinha (n = 16); FF – feijoeiro acompanhado de feijoeiro (n = 16); FV – feijoeiro acompanhado de vaso vazio (n = 16). Dados coletados na casa de vegetação do Instituto de Biologia da Universidade de Campinas, 2018.

A presença de uma planta vizinha durante o crescimento não teve efeito significativo sobre o comprimento vertical das flores do feijoeiro, assim como a identidade da planta vizinha ($F = 2,6867$; $p = 0,08$). Feijoeiros que cresceram acompanhados de plantas coespecíficas (FF) tiveram flores com comprimento vertical de $9,8 \pm 1,6$ mm (média $\pm$ desvio padrão), feijoeiros que cresceram acompanhados de heterospecíficas (FAb) tiveram flores com comprimento vertical de $9,2 \pm 0,5$ mm (média $\pm$ desvio padrão), e feijoeiros que cresceram sem a presença de uma planta vizinha tiveram comprimento vertical de $9,6 \pm 0,5$ mm (média $\pm$ desvio padrão) (Figura 8).

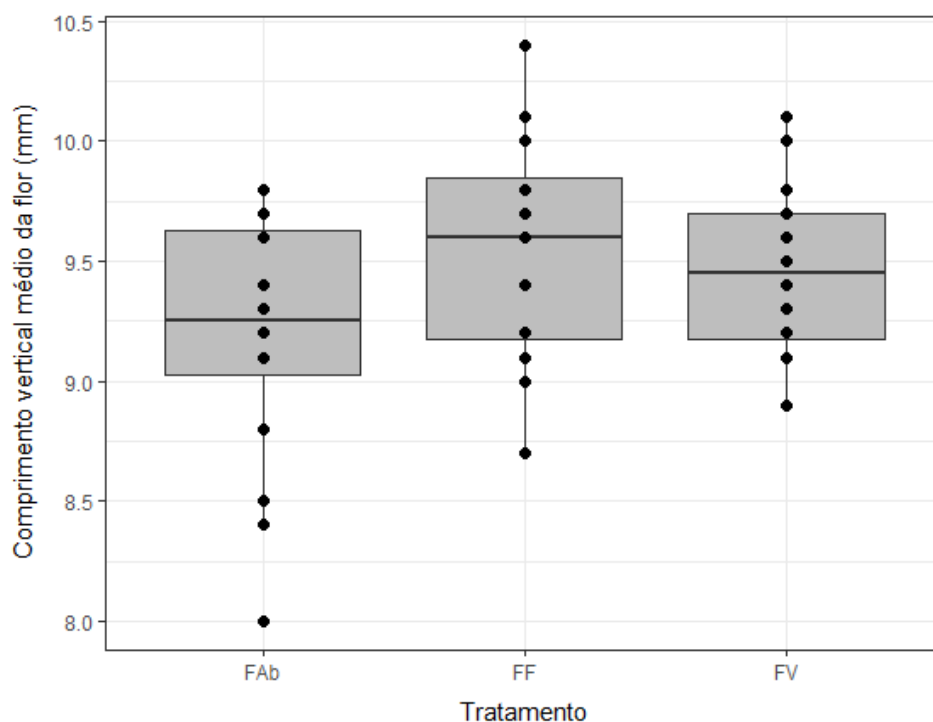


Figura 8. Comprimento vertical (mm) das flores de cada planta de feijoeiro em função da identidade da planta vizinha. A linha escura indica a mediana, a caixa indica o percentil de 75% e as barras indicam o percentil de 95%. FAb - feijoeiro acompanhado de abobrinha (n = 16);

FF – feijoeiro acompanhado de feijoeiro (n = 16) e FV - feijoeiro acompanhado de vaso vazio (n = 16). Dados coletados na casa de vegetação do Instituto de Biologia da Universidade de Campinas, 2018.

Quanto ao diâmetro da pétala estandarte das flores do feijoeiro, a presença de uma planta vizinha durante o crescimento não teve efeito significativo sobre o tamanho (GLM1: estimativa = 0,0063; g.l. = 45; t = 0,066; p = 0,948). Porém, a identidade da planta vizinha significativamente afetou o diâmetro da pétala (GLM2: estimativa = 0,8625; g.l. = 45; t = 5,251; p < 0,0001). Flores de feijoeiros que cresceram acompanhados de plantas heterospecíficas (FAB) tiveram o diâmetro da pétala estandarte relativamente menor (média ± desvio padrão: 15,6 ± 1,0 mm) do que feijoeiros que cresceram com coespecíficas (FF) (média ± desvio padrão: 17,3 ± 0,9 mm). Feijoeiros que cresceram sem a presença de uma planta vizinha (FV) tiveram flores com diâmetro da pétala estandarte de 16,4 ± 0,9 mm (média ± desvio padrão) (Figura 9).

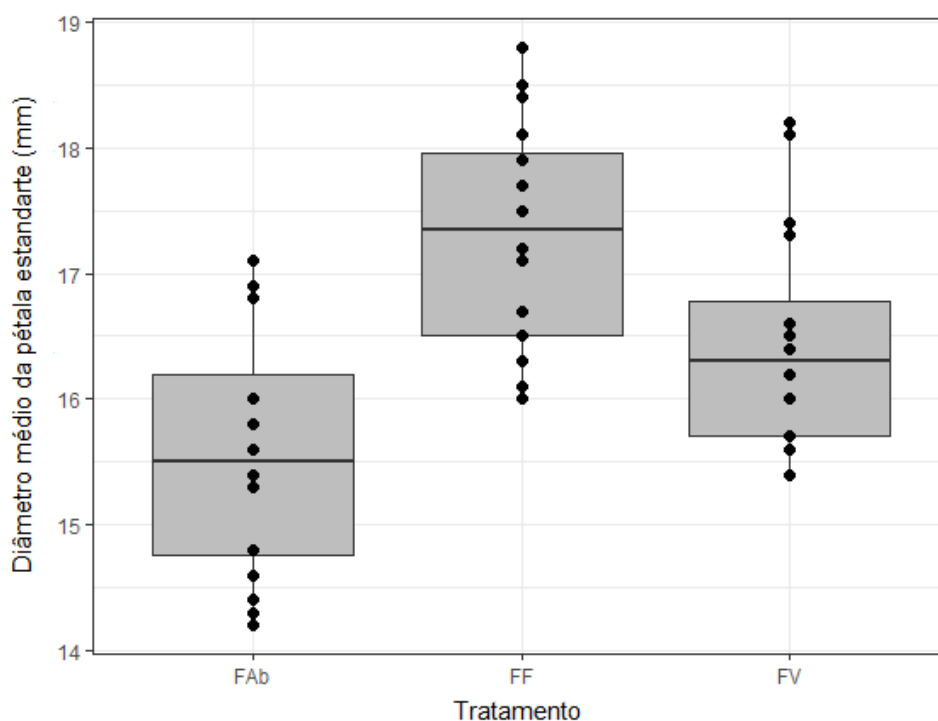


Figura 9. Diâmetro (mm) da pétala estandarte das flores de cada planta de feijoeiro em função da identidade da planta vizinha. A linha escura indica a mediana, a caixa indica o percentil de 75% e as barras indicam o percentil de 95%. FAB - feijoeiro acompanhado de abobrinha (n = 16); FF – feijoeiro acompanhado de feijoeiro (n = 16) e FV - feijoeiro acompanhado de vaso

vazio ($n = 16$). Dados coletados na casa de vegetação do Instituto de Biologia da Universidade de Campinas, 2018.

Experimento 2

Visitação

A taxa de visitas por hora por planta (v/h) do tratamento F0 foi significativamente maior do que as taxas de visita dos outros quatro tratamentos (GLM2: estimativa = 12,644; g.l. = 17; $t = 4,114$; $p = 0,0007$). Porém, as taxas de visita das parcelas com monoculturas, quando analisadas em um conjunto único, não foram significativamente diferente das taxas de visita das parcelas com consórcios (GLM1: estimativa = -4,299; g.l. = 17; $t = -2,047$; $p = 0,0565$), nem as taxas de visitas das parcelas com consórcios foram significativamente diferentes entre si (GLM4: estimativa = -2,459; g.l. = 17; $t = -0,972$; $p = 0,3445$). As médias $\pm$ desvios padrão da quantidade de visitas por hora por planta para os cinco tratamentos foram: $9,3 \pm 6,9$ v/h no tratamento F100; $47,2 \pm 19,9$ v/h no tratamento F0; $13,2 \pm 5,9$ v/h no tratamento F50; $23,5 \pm 6,8$ v/h no tratamento F25; e $16,9 \pm 14,6$ v/h no tratamento F75 (Figura 10).

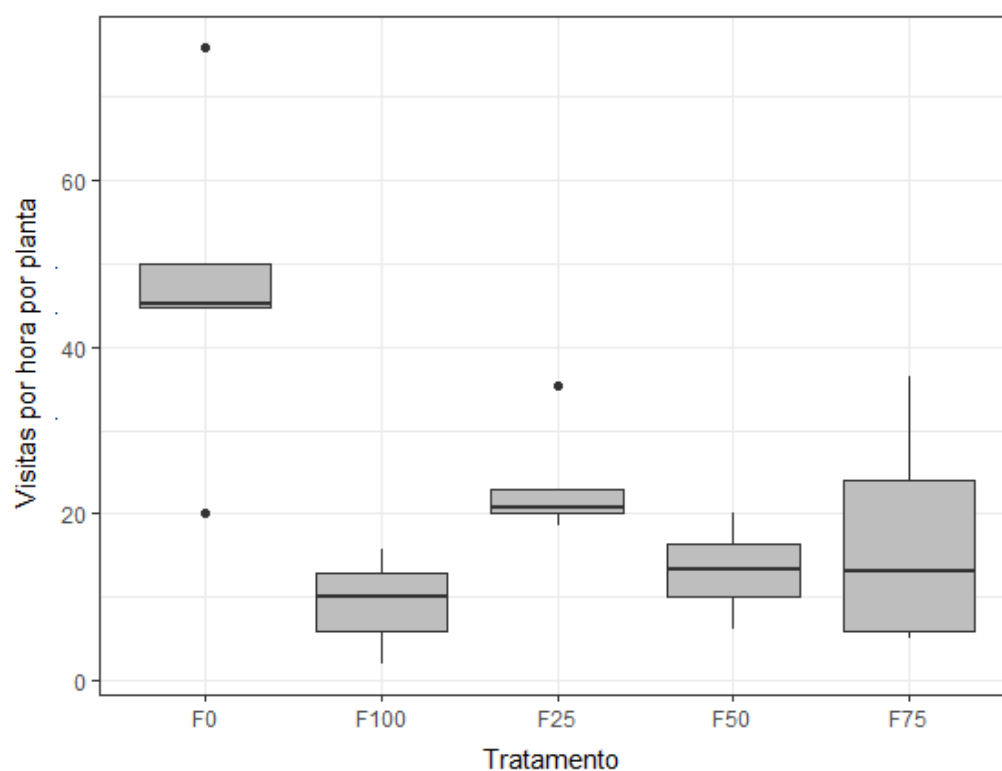


Figura 10. Número de visitas por hora por planta (mediana $\pm$ variação) em cada tratamento. Tratamento F100: 100% indivíduos de feijoeiro; tratamento F0: 0% indivíduos de feijoeiro; tratamento F50: de 50 a 59% de indivíduos de feijoeiro; tratamento F25: de 20 a 39% de indivíduos de feijoeiro; tratamento F75: de 70 a 78% de indivíduos de feijoeiro. Dados coletados no Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas em Paulínia, 2017.

Ao separar a taxa de visitas por hora apenas para as observações feitas em indivíduos de feijoeiro, verificou-se que não houve diferença entre as taxas de visitas das parcelas com monocultura (média $\pm$ desvio padrão: $10,7 \pm 8$ visitas/hora) ou com consórcio (média $\pm$ desvio padrão: $5,5 \pm 5$ visitas/hora), nem dos diferentes tipos de consórcio entre si (média $\pm$ desvio padrão: 3 ± 3 v/h no tratamento F25; $5,6 \pm 5$ v/h no tratamento F50 e $7,8 \pm 7$ v/h no tratamento F75) ($F = 1,057$; $p = 0,41$). Considerando a taxa de v/h apenas para as observações feitas em indivíduos de abobrinha, também verificou-se que não houve diferença significativa entre as taxas de visitas das parcelas com monocultura (média $\pm$ desvio padrão: $47,6 \pm 19$ visitas/hora) e das parcelas com consórcio (média $\pm$ desvio padrão: $25,6 \pm 17$ visitas/hora), nem dos diferentes tipos de consórcio entre si (média $\pm$ desvio padrão: $26,6 \pm 5$ v/h no tratamento F25; 27 ± 29 v/h no tratamento F50 e 22 ± 13 v/h no tratamento F75) ($F = 1,6841$; $p = 0,22$).

O único visitante floral compartilhado entre as duas espécies de planta foram abelhas *Apis mellifera*, que visitaram os indivíduos de abobrinha em uma taxa de 0,9 v/h e os indivíduos de feijoeiro em uma taxa de 4,0 v/h. Além dessa espécie, os indivíduos de abobrinha foram visitados por abelhas *Trigona* e por moscas *Drosophila*. Já os indivíduos de feijão, além das visitas de *A. mellifera*, foram visitados por abelhas *Oxaea flavescens*, uma espécie de Apidae não identificada, dípteras Syrphidae, lepidópteros Hesperidae e vespas Vespidae (Tabela 1). Considerou-se como potencial polinizador todo indivíduo que entrou em contato direto com as estruturas reprodutivas das flores observadas, usando a probóscide/espirotromba ou outras estruturas corporais para manipular a flor em busca de recursos.

Tabela 1. Tabela com presença (1) ou ausência (0) de visitas de cada grupo de visitante observado durante o experimento. Presenças e ausências foram marcadas para cada uma das duas espécies de cultivo e também para os cinco tratamentos isoladamente. Tratamento F100: 100% de indivíduos de feijoeiro; tratamento F0: 0% de indivíduos de feijoeiro; tratamento F50: 50 a 59% de indivíduos de feijoeiro; tratamento F25: 20 a 39% de indivíduos de feijoeiro; F75:

70 a 78% de indivíduos de feijoeiro. Dados coletados no Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas em Paulínia, 2017.

GRUPOS DE VISITANTES

PRESENÇA (1) OU AUSÊNCIA (0) DO VISITANTE

	Abobrinha	Feijoeiro	Tratamento F100	Tratamento F0	Tratamento F50	Tratamento F25	Tratamento F75
<i>Apis mellifera</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Trigona</i> sp.	1	0	0	1	1	1	1
<i>Drosophila</i> sp.	1	0	0	1	1	1	1
<i>Oxaea flavescens</i>	0	1	1	0	1	0	1
Apidae n.id.	0	1	1	0	0	0	1
Syrphidae	0	1	1	0	1	0	0
Hesperiidae	0	1	1	0	1	1	1
Vespidae	0	1	1	0	1	0	0

A composição de visitantes florais das parcelas com consórcio foi significativamente diferente da composição de visitantes das parcelas com monoculturas (PERMANOVA: $F = 2,417$; $R^2 = 0,11285$; g.l. = 1; $p = 0,026$). Considerando que abobrinha e feijoeiro não compartilharam visitantes florais, exceto por *Apis mellifera*, tem-se que todas as parcelas com índices de diversidade maiores que 0,8 (1,4; 1,0; 0,9; 0,9; 0,9 e 0,8), calculados através do Índice de Shannon, foram encontrados nas parcelas com consórcios (respectivamente, tratamentos F50, F25, F50; F50; F75 e F75), as quais atraíram em conjunto os visitantes de ambos cultivos. Ao separar as parcelas em três grupos (monocultura de abobrinha, monocultura de feijão-comum e consórcio) têm-se que a diversidade das parcelas com monocultura de abobrinha foi de 0,6; das com monocultura de feijoeiro foi de 1,3 e das com consórcio foi de 1,1.

Produção

As plantas do tratamento F0 produziram frutos com peso de $767,3 \pm 88,2$ g (média $\pm$ desvio padrão); as do tratamento F25 pesaram $718,1 \pm 180,5$ g (média $\pm$ desvio padrão); as do tratamento F75 pesaram $672,9 \pm 227,9$ g (média $\pm$ desvio padrão) e as do tratamento F50 pesaram $652,3 \pm 91,7$ gramas (média $\pm$ desvio padrão) (Figura 11). Os pesos dos frutos de abobrinha produzidos nas parcelas de monocultura não diferiram significativamente dos pesos dos frutos das parcelas com os três tipos de consórcio ($F = 0,5451$; $p = 0,66$).

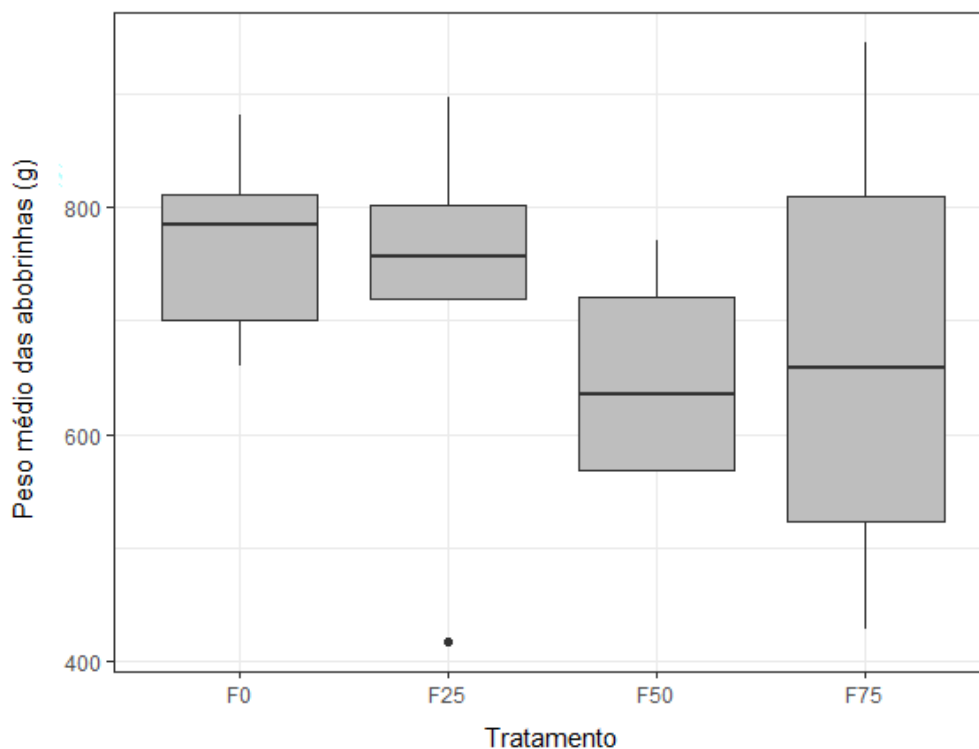


Figura 11. Peso médio (gramas) dos frutos de abobrinha de cada parcela em função do tratamento. A linha escura indica a mediana, a caixa indica o percentil de 75 % e as barras indicam o percentil de 95 %. Tratamento F0 – parcelas com 0% de indivíduos de feijão (n = 5); Tratamento F50 – parcelas com 50 a 59% de indivíduos de feijão (n = 5); Tratamento F25 – parcelas com 70 a 78% de indivíduos de feijão (n = 5); Tratamento F75 – parcelas com 20 a 39% de indivíduos de feijão (n = 4). Dados coletados no Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas em Paulínia, 2017.

Quanto ao comprimento, as plantas de abobrinha do tratamento F0 produziram frutos com tamanho de $24,9 \pm 1,2$ cm (média $\pm$ desvio padrão); as plantas do tratamento F25 com $24,0 \pm 3,0$ cm (média $\pm$ desvio padrão); as plantas do tratamento F75 com $23,0 \pm 2,6$ cm (média $\pm$ desvio padrão); e as plantas do tratamento F50 com $22,9 \pm 1,6$ cm (média $\pm$ desvio padrão) (Figura 12). Os comprimentos dos frutos de abobrinha produzidos nas parcelas de monocultura não diferiram significativamente dos comprimentos dos frutos das parcelas com os três tipos de consórcio ($F = 0,8926$; $p = 0,47$).

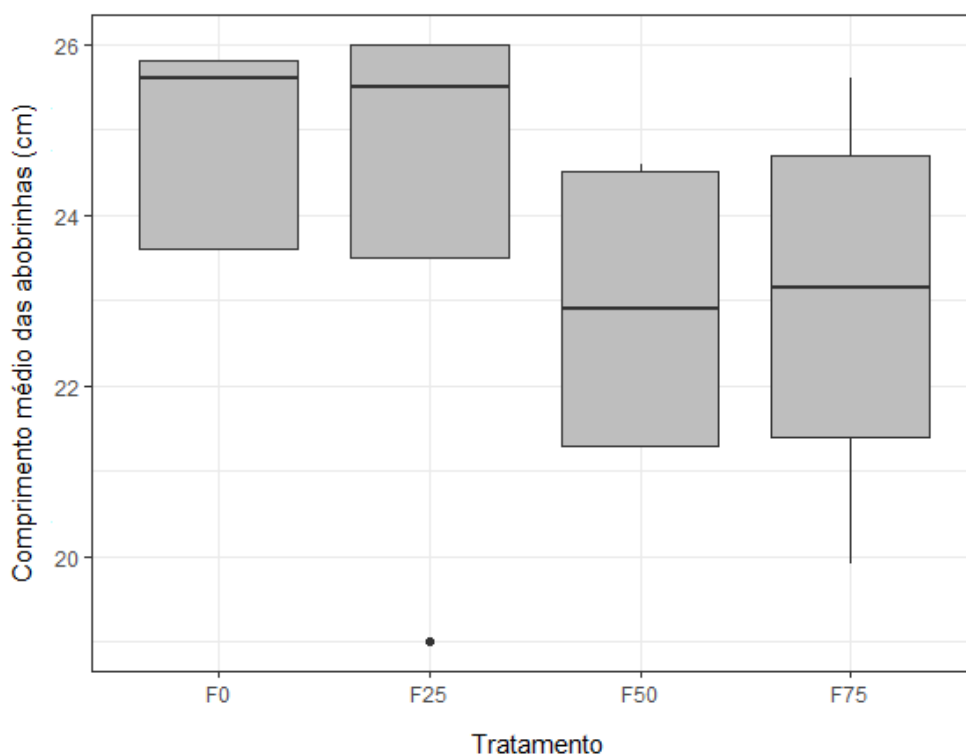


Figura 12. Comprimento médio (centímetros) dos frutos de abobrinha de cada parcela em função do tratamento. A linha escura indica a mediana, a caixa indica o percentil de 75 % e as barras indicam o percentil de 95 %. Tratamento F0 – parcelas com 0% de indivíduos de feijão ($n = 5$); Tratamento F50 – parcelas com 50 a 59% de indivíduos de feijão ($n = 5$); Tratamento F25 – parcelas com 70 a 78% de indivíduos de feijão ($n = 5$); Tratamento F75 – parcelas com 20 a 39% de indivíduos de feijão ($n = 4$). Dados coletados no Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas em Paulínia, 2017.

Quanto ao diâmetro maior das abobrinhas, as plantas do tratamento F0 produziram frutos com diâmetros de $8,1 \pm 0,4$ cm (média $\pm$ desvio padrão); as do tratamento F25, com $7,8 \pm 0,8$ cm (média $\pm$ desvio padrão); as do tratamento F50, com $7,6 \pm 0,3$ cm (média $\pm$ desvio padrão) e as do tratamento F75, com $7,6 \pm 0,9$ cm (média $\pm$ desvio padrão) (Figura 13). Os diâmetros dos frutos de abobrinha produzidos nas parcelas de monocultura não diferiram significativamente dos diâmetros dos frutos das parcelas com os três tipos de consórcio ($F = 0,6976$; $p = 0,57$).

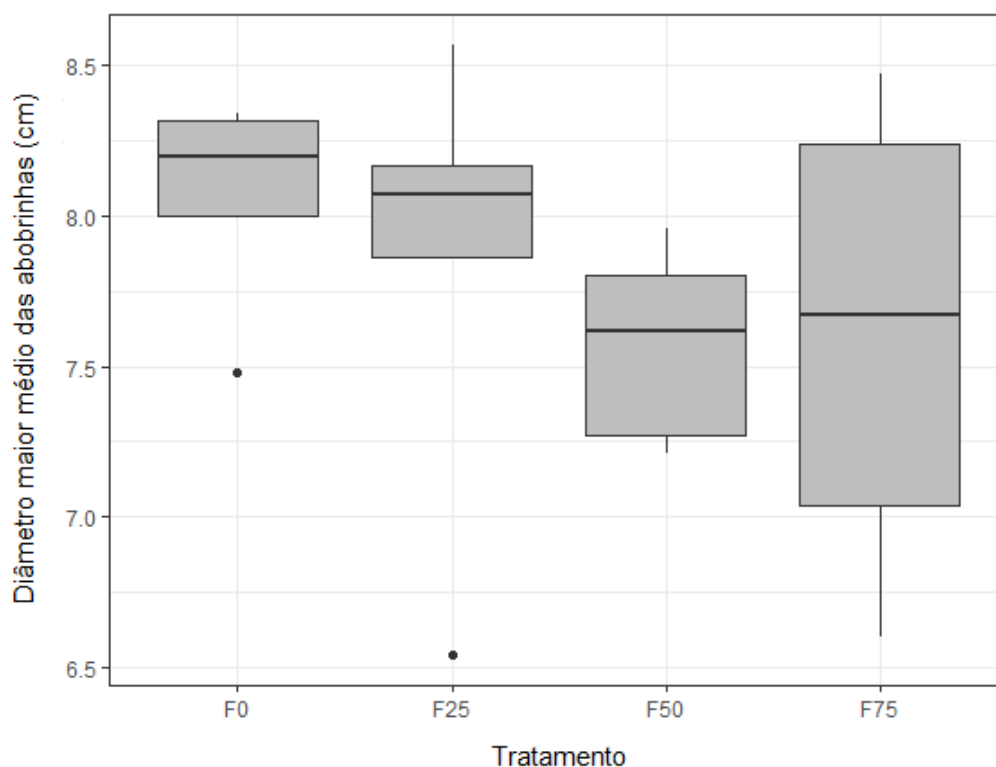


Figura 13. Diâmetro maior médio (centímetros) dos frutos de abobrinha de cada parcela em função do tratamento. A linha escura indica a mediana, a caixa indica o percentil de 75 % e as barras indicam o percentil de 95 %. Tratamento F0 – parcelas com 0% de indivíduos de feijão (n = 5); Tratamento F50 – parcelas com 50 a 59% de indivíduos de feijão (n = 5); Tratamento F25 – parcelas com 70 a 78% de indivíduos de feijão (n = 5); Tratamento F75 – parcelas com 20 a 39% de indivíduos de feijão (n = 4). Dados coletados no Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas em Paulínia, 2017.

Quanto ao número médio de vagens produzidas por feijoeiro, o tratamento F50 produziu aproximadamente 24 ± 20 vagens por planta (média $\pm$ desvio padrão); o tratamento F75 produziu aproximadamente 17 ± 9 vagens por planta (média $\pm$ desvio padrão); o tratamento F100 produziu aproximadamente 15 ± 13 vagens por planta (média $\pm$ desvio padrão) e o tratamento F25 produziu aproximadamente 12 ± 13 vagens por planta (média $\pm$ desvio padrão) (Figura 14). O número médio de vagens produzidas pelas parcelas com monocultura não diferiu significativamente do número de vagens produzidas pelas parcelas com os tratamentos F25 e F75 (GLM1: estimativa = -0,2167; g.l. = 15; z = -1,270; p = 0,2042; GLM3: estimativa = 0,0840; g.l. = 15; z = 0,503; p = 0,6150). Porém, o número de vagens produzidas no tratamento F50 foi significativamente maior do que o número produzido nas monoculturas (GLM2: estimativa = 0,4437; g.l. = 15; z = 3,039; p = 0,0024).

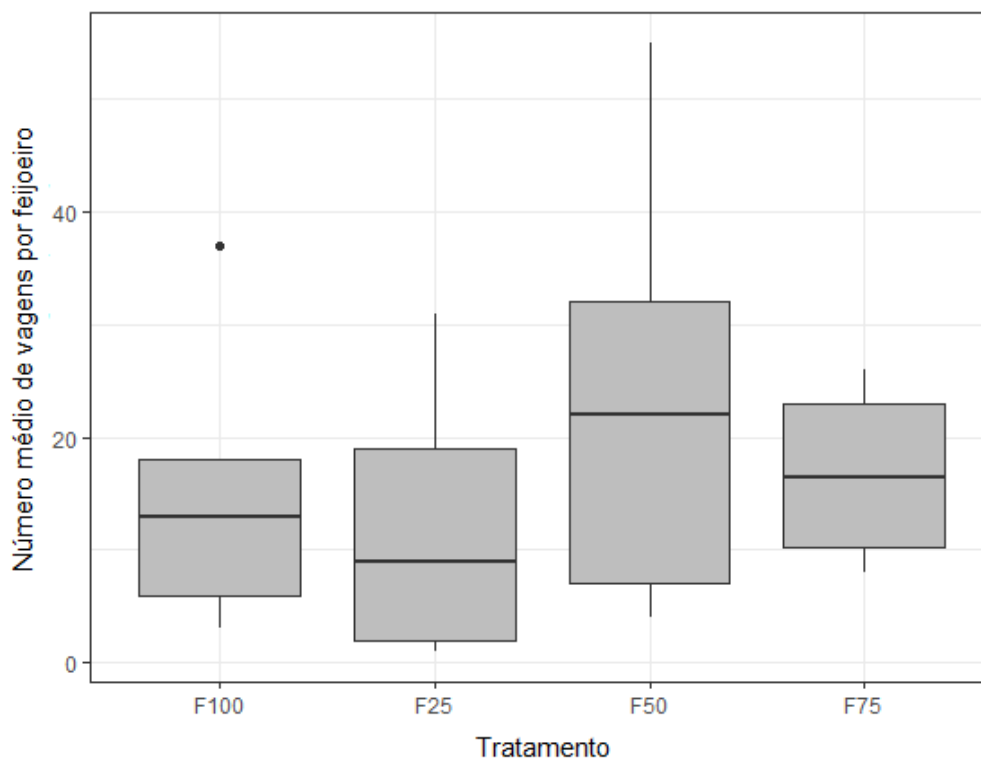


Figura 14. Número médio de vagens dos feijoeiros de cada parcela em função do tratamento. A linha escura indica a mediana, a caixa indica o percentil de 75 % e as barras indicam o percentil de 95 %. Tratamento F100 – parcelas com 100% de indivíduos de feijão ($n = 5$); Tratamento F50 – parcelas com 50 a 59% de indivíduos de feijão ($n = 5$); Tratamento F25 – parcelas com 70 a 78% de indivíduos de feijão ($n = 5$); Tratamento F75 – parcelas com 20 a 39% de indivíduos de feijão ($n = 4$). Dados coletados no Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas em Paulínia, 2017.

Quanto ao peso seco médio das vagens, o tratamento F50 produziu vagens com peso de $16,2 \pm 16,5$ gramas (média $\pm$ desvio padrão); o tratamento F75, com $7,3 \pm 2,2$ gramas (média $\pm$ desvio padrão); o tratamento F100, com $6,6 \pm 4,9$ gramas (média $\pm$ desvio padrão); e o tratamento F25, com $6,5 \pm 6,8$ gramas (média $\pm$ desvio padrão) (Figura 15). O peso seco das vagens produzidas pelos feijoeiros das parcelas com monocultura não foi significativamente diferente das parcelas com os três tipos de variações de consórcio ($F = 1,2055$; $p = 0,34$).

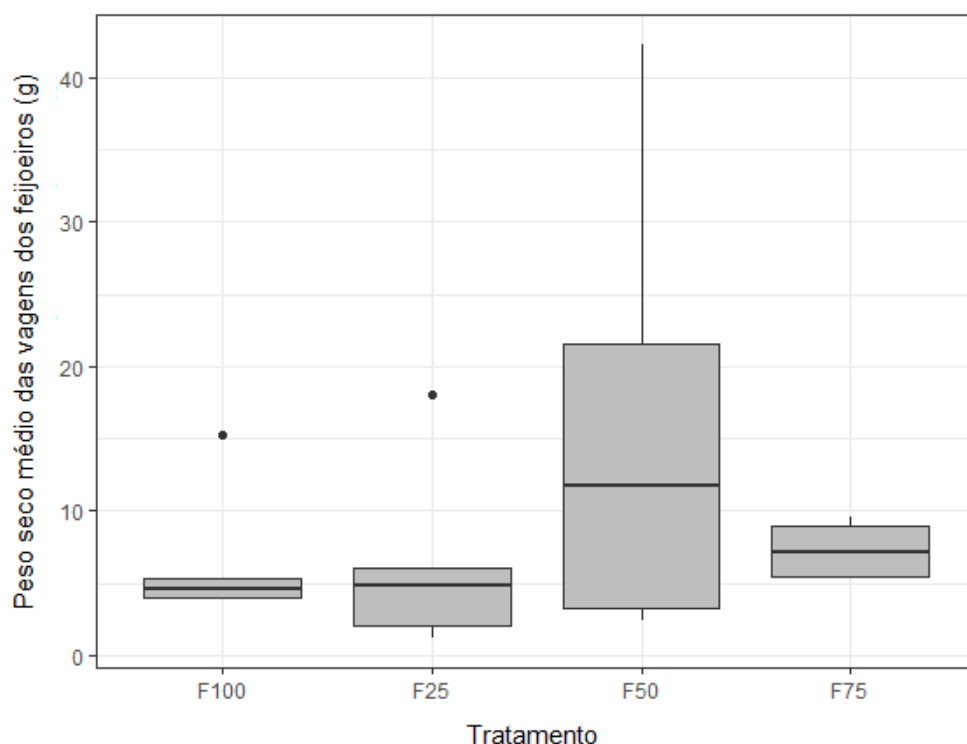


Figura 15. Peso seco médio (gramas) das vagens dos feijoeiros de cada parcela em função do tratamento. A linha escura indica a mediana, a caixa indica o percentil de 75 % e as barras indicam o percentil de 95 %. Tratamento F100 – parcelas com 100% de indivíduos de feijão (n = 5); Tratamento F50 – parcelas com 50 a 59% de indivíduos de feijão (n = 5); Tratamento F25 – parcelas com 70 a 78% de indivíduos de feijão (n = 5); Tratamento F75 – parcelas com 20 a 39% de indivíduos de feijão (n = 4). Dados coletados no Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas em Paulínia, 2017.

Discussão

Atributos florais

A presença de uma planta vizinha, sendo ela coespecífica ou heterospecífica, durante o período de crescimento da *Cucurbita pepo* não influenciou características de sua fenologia como número total de flores produzidas ou como as flores produzidas foram distribuídas ao longo do período de floração, contrariando a hipótese inicial. Para todos os tratamentos, o número total de flores femininas produzidas foi baixo, o que pode ter sido causado por uma variedade de fatores, desde similaridade genética do cultivar até características de temperatura, luminosidade e umidade durante a realização do experimento, já que o desenvolvimento sexual

das abobrinhas é controlado por uma combinação de fatores genéticos, ambientais e de produção hormonal (Robinson & Decker-Walters, 1997; Wien, 1997). O aparecimento de flores femininas nas cucurbitáceas é favorecido por dias de fotoperíodo curto e temperaturas mais baixas (Wien, 1997), fatores ambientais que não são característicos da época de realização do experimento, cujo plantio se deu no começo da primavera, e a floração, nos meados desta estação.

Em relação às características florais masculinas, a presença de uma planta vizinha não teve influência significativa, porém, a identidade da planta vizinha teve efeito sobre a morfologia campanular das flores. O crescimento acompanhado por uma planta vizinha heterospecífica (feijoeiro) pode ter feito com que os indivíduos de *Cucurbita pepo* produzissem flores de mesmo diâmetro de abertura da corola, porém com corolas mais profundas do que plantas crescidas com vizinhas coespecíficas. Para essas abobrinhas crescidas na companhia de plantas heterospecíficas, uma corola em forma de sino mais “alongada” pode ser vantajosa caso isso implique em um comportamento de maior constância floral por parte dos visitantes. Flores mais profundas exigem proporcionalmente maior tempo de sondagem pelos seus visitantes (Harder, 1983, 1986), o que pode afetar a experiência do polinizador, caso sua especialização floral de curto-prazo seja causada pela formação de memória de curto-prazo sobre a flor visitada, já que seu tempo de experiência nessa flor afetaria sua escolha subsequente (Ishii, 2005, 2006). Assim, flores mais longas podem causar um comportamento de constância floral em seus visitantes se há sobrecarga na memória de curto-prazo causada por tempos mais longos de exploração, o que aumentaria as chances de visitas em plantas coespecíficas num contexto de diversidade floral.

Contrariando a hipótese inicial de que plantas crescidas com heterospecíficas produziram mais flores com tamanho menor, plantas de feijoeiro crescidas acompanhadas de abobrinha produziram flores com menor tamanho, porém também em menores quantidades totais. Já as plantas de feijoeiro crescidas acompanhadas de coespecíficas, produziram flores maiores e em maiores quantidades. Plantas podem se beneficiar estando em locais de alta densidade de plantas em floração caso isto resulte em maior atração de agentes polinizadores para a área e/ou maior presença de possíveis doadores de pólen coespecífico (Hegland & Boeke, 2006; Kunin, 1993). Estas vantagens, porém, podem ser contrabalanceadas caso a alta densidade floral resulte em relações de competição por polinizadores para as plantas envolvidas (Waser, 1978). Por poder se reproduzir por autopolinização, as plantas de *Phaseolus vulgaris* diminuem os efeitos negativos da competição intraespecífica que poderiam emergir da alta densidade de flores.

Assim, aumentar o número de flores produzidas na presença de vizinhas coespecíficas poderia ser uma boa estratégia das plantas de feijoeiro para também aumentar a atração de polinizadores na área, mesmo que tal densidade floral possa diminuir a proporção de flores visitadas em uma mesma planta, pois haveria maiores chances de ocorrer polinização cruzada na presença de um número maior de visitantes florais. Ainda que a proporção de flores que fariam fecundação cruzada não atingisse o máximo possível, não haveria perdas significativas para a reprodução, pois as outras flores ainda poderiam ser autopolinizadas. Há estudos que relacionam alvos mais largos à preferência de escolha pelos visitantes florais quando estes estão forrageando mais distantes de seus alvos (Dafni & Kevan, 1997), além de sugerir que flores mais largas podem receber maiores taxas de visita do que suas coespecíficas de menor tamanho (Ashman & Stanton, 1991). Assim, flores com pétalas estandarte maiores poderiam ser favorecidas pelos visitantes florais num contexto de alta densidade de flores de outros feijoeiros na mesma área. O fato do comprimento vertical médio das flores do tratamento FF ter sido levemente maior do que o do tratamento FAb (cerca de 0,2 mm) pode ser consequência de uma correlação entre os atributos que determinam o tamanho da flor, ou seja, flores com diâmetros maiores de pétala estandarte podem ter comprimentos um pouco maiores. Além disso, em variações de tamanho baixas, como entre flores intraespecíficas, os efeitos dos *trade-offs* podem ser complicados pela influência de níveis variáveis na situação dos recursos da planta (Worley et al., 2000).

Quanto ao pico de floração um pouco mais tardio dos feijoeiros crescidos acompanhados de plantas heterospecíficas, Ison e colaboradores (2014) encontraram uma relação entre sincronia de floração e distância da planta vizinha influenciando o processo de polinização: plantas de *Echinacea angustifolia* que floresceram mais tardiamente na estação cruzaram com plantas mais distantes em comparação a plantas que floresceram mais cedo. Assim, plantas de feijoeiros inseridas em uma área onde a próxima planta coespecífica se encontra mais distante que a vizinha poderiam regular uma floração mais tardia, caso isso possa aumentar suas chances de fecundação cruzada.

Tanto para os resultados das flores de abobrinha quanto para as flores de feijoeiro, deve-se ter em conta que nem todas as características de uma flor necessariamente são consequências de adaptações relacionadas a polinizadores, e as plasticidades na alocação de recursos podem surgir como mudanças na trajetória alométrica das plantas em resposta a outras características ambientais (Weiner, 2004). Devido ao plantio em vasos, a separação física das raízes das plantas impediu que houvesse troca de sinais via solo e micorrizas, assim, qualquer tipo de comunicação que possivelmente tenha ocasionado os resultados observados está relacionada a

sinais de transmissão aérea, como compostos orgânicos voláteis, ou interferência luminosa (Caruso & Parachnowitsch, 2016; Karban, 2015; Ballaré, 1999). A indicação de que sinais produzidos por plantas vizinhas de mesma espécie ou de espécie distinta podem ter efeitos na produção de flores da planta receptora deve ser considerado em futuros experimentos que caracterizem e quantifiquem a produção de COVs florais ou avaliem a captação de luz das plantas focais.

Visitação e produção de frutos

Na planta de abobrinha, o tamanho grande de suas flores, em conjunto com a oferta de pólen e néctar em quantidades relativamente altas a tornam uma espécie de alta atratividade para visitantes florais (Nepi et al., 2001). Na área de estudo, as flores de abobrinha foram majoritariamente visitadas por duas espécies de visitantes, abelhas *Trigona* e moscas *Drosophila*, e, apenas ocasionalmente, por abelhas *Apis mellifera*. As abelhas *Trigona* são conhecidas por apresentarem um comportamento de forrageio agressivo com outras espécies de visitantes (Nieh et al., 2005; Roubik, 1981) e, durante as observações, apresentaram um tempo de visita muito longo (a maioria permaneceu na flor durante os dez minutos de observação). Essas características podem ter contribuído para que outros grupos de visitantes não fossem observados na abobrinha e para que as visitas de abelhas *Apis mellifera* fossem escassas, considerando que todas as visitas de *Apis* observadas foram em flores nas quais não haviam indivíduos de *Trigona* e que também se observou expulsão, por parte das abelhas *Trigona*, de abelhas *Apis* que se aproximaram das flores que já estavam sendo visitadas por elas. Quanto às moscas *Drosophila*, há registros de que os comportamentos realizados por elas durante a visitação podem resultar em polinização efetiva de algumas espécies de plantas (Karremans et al., 2015; Sakai, 2002). Durante a visitação, as moscas foram observadas caminhando ostensivamente sobre a superfície das estruturas reprodutivas e, considerando que as flores de abobrinha abrem e fecham no mesmo dia, obrigando as moscas a saírem para não ficarem presas entre as pétalas, elas potencialmente podem ter agido como agentes polinizadores para a abobrinha.

As flores de feijoeiro possuem pequenos nectários nas bases do cálice, que produzem um néctar nutritivo, com alto teor de açúcar (a concentração média de açúcar no néctar é cerca de 40%), além de proteínas, lipídios, ácidos redutores, fenóis e alcaloides (Wróblewska, 1990; Webster et al., 1982). Há mais de um século, Knuth (1906) já observava que abelhas podiam acessar o nectário na base do cálice com suas probóscides e que abelhas grandes e pesadas o

suficiente poderiam causar a sobressaída do estilete da quilha espiralada. Durante as observações, as flores de feijoeiro foram visitadas por três grupos de abelhas (*Apis mellifera*, *Oxaea flavescens* e uma espécie não identificada de Apidae), além de espécies pertencentes a Syrphidae, Hesperidae e Vespidae.

Confirmando as expectativas de que flores que apresentam mais recursos como recompensa usualmente também recebem um número maior de visitantes florais (Cartar, 2009), as maiores taxas de visitação aconteceram em parcelas nas quais havia as maiores porcentagens de indivíduos de abobrinha (respectivamente, 100% ou de 70 a 78%). A menor atração exercida pelas flores de feijoeiro em comparação às flores de abobrinha pode ajudar a entender as taxas de visita significativamente menores das parcelas com os tratamentos F100, F75, e F50 em relação às parcelas com tratamento F0 e F25. Quando consideramos separadamente as visitas feitas somente nos indivíduos de feijoeiro de todas as parcelas, temos que não houve diferença significativa nas taxas de visitas dos tratamentos de monocultura e de consórcio, nem dos tratamentos de consórcio entre si. Porém, apesar de também não ter havido diferenças significativas no peso seco das vagens das parcelas cultivadas com monocultura ou com consórcio, quando consideramos o número de vagens produzidas pelo tratamento F50, ou seja, o consórcio máximo (50 a 59% feijoeiro), temos que ele produziu mais vagens em comparação às parcelas com monoculturas e às parcelas com outros tipos de consórcios, mesmo não recebendo significativamente mais visitas. Talvez isto se dê, porque, nesta proporção, os benefícios de plantio em conjunto (como melhor aproveitamento de nutrientes do solo, por exemplo) sejam maximizados. Quando consideramos separadamente as visitas feitas somente nos indivíduos de abobrinha, temos que as parcelas de monocultura receberam, em média, mais visitas por hora do que as parcelas de consórcio, porém, isto não se reverteu em diferenças quanto à produção de frutos, pois as características de peso e tamanho (comprimento e diâmetro maior) dos frutos de abobrinha não variaram de forma estatisticamente relevante entre as plantas cultivadas em sistemas de monocultura ou consórcio. Em geral, a produção por planta de feijoeiros e abobrinhas plantados nos consórcios das *Três Irmãs* pode variar, sendo menor do que nas suas monoculturas comparáveis (Gleissman, 1983), ou menor para a abobrinha e maior para o feijão (Risch & Hansen, 1982), porém, a produção bruta da policultura milho-feijão-abóbora em termos de Razão de Área Equivalente (LER) tende a superar as suas respectivas monoculturas (Zhang et al., 2014; Gleissman, 1983; Risch & Hansen, 1982). O milho é responsável por grande parte da biomassa e da energia da produção final (Mt. Pleasant, 2016), assim, o fato de o experimento ter considerado apenas as espécies nas quais ocorre

polinização biótica (abobrinha-de-tronco e feijão-comum) pode ajudar a explicar a falta de diferença nas produções obtidas entre monocultura e consórcio. Para futuros experimentos nos quais produtividade seja um dos fatores avaliados sobre o consórcio entre abobrinha e feijoeiro, a presença do milho no consórcio pode ser importante. Além disso, apesar de serem majoritariamente polinizadas por anemofilia, as flores de milho produzem quantidades consideráveis de pólen durante um ou dois dias, e são visitadas por algumas espécies de abelhas (Malerbo-Souza, 2018). Isso indica que talvez o milho também participe da rede de interações planta-polinizador presente no cultivo das *Três Irmãs*, podendo influenciar e ser influenciado nela, o que faz sua presença importante para experimentos posteriores mais aprofundados.

Segundo Carvalheiro e colaboradores (2014), espera-se que o aumento da abundância de flores de uma determinada espécie também aumente suas chances de influenciar outra espécie em cofloração, sendo que, a partir de um certo limiar de abundância floral, todas as espécies podem ter chances equivalentes de influência. Os resultados deste experimento indicam que a influência da abundância do feijão-comum sobre a visitação e a reprodução da abobrinha-de-tronco tem efeitos neutros. Já a influência da abundância da abobrinha sobre o feijoeiro, apesar de ter sido neutra em relação à visitação, pode ter sido facilitadora quanto à reprodução quando suas proporções na parcela são similares. Ademais, mesmo que a taxa de visitação não tenha sido diferente entre tratamentos, a composição de visitantes florais presentes nas parcelas foi significativamente distinta para os tratamentos de monocultura e de consórcio. A única espécie de visitante compartilhada entre as duas espécies cultivadas foi *Apis mellifera*, sendo assim, as espécies de visitantes presentes nas parcelas de monocultura de abobrinha foram qualitativamente diferentes das espécies presentes nas parcelas de monocultura de feijão-comum. A diversidade, calculada através do índice de Shannon, das parcelas com monocultura de abobrinha foi de 0,6; das com monocultura de feijoeiro foi de 1,3 e das com consórcio foi de 1,1. Porém, o índice teve sua relevância biológica afetada pelo fato de que os indivíduos de *Drosophila* foram encontrados em números muito maiores que os das outras espécies (cerca de três vezes mais abundante do que a segunda espécie mais abundante), afetando o componente do índice que considera a equitabilidade. Durante as observações, a presença destas moscas nas flores não pareceu afetar a presença de outras espécies de visitantes ou modificar seus comportamentos de visitação, o que indica que elas têm pouca relevância para controlar o tamanho populacional das outras espécies na área. Se recalculássemos os Índices de Shannon considerando 30% da abundância dos indivíduos de *Drosophila* encontrados para controlar a dominância dessa espécie teríamos uma diversidade de 0,8 nas monoculturas de abobrinha; 1,3

nas monoculturas de feijoeiro e 1,5 nos consórcios. Apesar de não haver evidências da ocorrência de facilitação pelo compartilhamento de visitantes em si, outras vantagens podem advir deste cenário. A maior equidade nas frequências de visitação das parcelas com monocultura de feijoeiro pode ter elevado seu índice de diversidade, mas o consórcio pode alimentar uma riqueza maior de visitantes. Nas parcelas de plantio consorciado, a maioria dos grupos de visitantes puderam ser observados juntos. A diversidade de espécies em uma área geralmente está ligada a uma maior estabilidade e resiliência dos serviços ecossistêmicos presentes nela (Isbell et al., 2017; Naeem & Li, 1997; Roy, 1994; Rathcke, 1983). A complementariedade de recursos oferecidos, como fontes de alimento, abrigos, material para construção de ninhos, e locais para oviposição pode ajudar a manter na área e estruturar uma comunidade de animais capazes de realizar serviços de polinização ou agir como inimigos naturais de pragas por um período mais longo de tempo em comparação a locais com uniformidade de culturas (Ebeling et al., 2011; Potts et al., 2003; Stachowicz, 2001).

O fato de que as flores de abobrinha se fecham nas horas mais quentes do dia pode fazer com que os visitantes florais atraídos por ela busquem outras fontes complementares de recurso no restante do dia, fonte esta que pode ter sido suprida pelas flores do feijoeiro, que ficam abertas o dia todo. O néctar oferecido pelas flores do feijoeiro também pode servir como fonte de alimento para visitantes que são menos competitivos e não conseguem chegar às melhores fontes por serem excluídos por competidores mais agressivos como as abelhas *Trigona*. Nas parcelas com feijão-comum também estiveram presentes indivíduos do grupo Vespidae e Syrphidae, no qual sabe-se que há espécies de parasitoides e predadores que agem como inimigos naturais de herbívoros, inclusive da broca das cucurbitáceas (*Diaphania nitidalis*), cuja presença foi observada na área do experimento e que pode influenciar a viabilidade de mercado dos frutos (Picanço, 2014). As plantas de abobrinha poderiam se beneficiar de uma menor incidência de herbivoria no consórcio com o feijão-comum, caso o plantio desta espécie esteja associado à presença de vespas e moscas parasitoides e predadoras. A possível complementariedade de recursos no plantio consorciado de *Cucurbita pepo* e *Phaseolus vulgaris* causada pelas características específicas de abertura floral, assim como a atração de animais com potencial para controle biológico deve ser analisada em futuros experimentos que considerem os comportamentos de visitação dos visitantes florais ao longo do dia e as taxas de herbivoria dos cultivos.

Para além da garantia de serviços ecossistêmicos como polinização e controle biológico, que são fundamentais, a biodiversidade também deve ser pensada pelo seu valor intrínseco, ou

seja, o valor de sua existência em si, que não pode ser mensurado a partir de métricas humanas ou sob a perspectiva do seu uso pela humanidade (IPBES, 2012). Assim, uma das principais preocupações para a agricultura moderna é a realização de práticas de uso da terra que sejam menos ambientalmente impactantes e que contribuam para a conservação da diversidade de organismos que com ela interagem. Ademais, um fator importante a se considerar para a agricultura de pequena escala é o aproveitamento eficiente de menores espaços de cultivo. A intensificação ecológica obtida pelo plantio conjunto das *Três Irmãs* permite que, sem perdas de produtividade, haja o crescimento eficiente de três culturas nutricionalmente valiosas, com ganhos na diversidade e no proveito espacial do tamanho das áreas disponíveis.

Conclusões

Sistemas de cultivo diversificados são caracterizados por possuírem serviços ecossistêmicos emergentes da diversidade que vão além da função primária de provisão de alimentos, materiais e renda, e afetam a regulação e manutenção de processos como a ciclagem de nutrientes e de água, o controle do microclima local e da abundância de espécies antagonistas e detoxificação de substâncias químicas potencialmente nocivas (Alieri, 1999). Sabe-se que a tradicional policultura das *Três Irmãs* (milho-feijão-abóbora) carrega uma série de benefícios que podem contribuir para aumentar a autonomia do sistema em relação às suas respectivas monoculturas. A maior abundância de parasitoides e incidência de parasitismo (Gutiérrez-Martínez et al., 2012; Hansen, 1983), a redução da abundância de herbívoros (Risch et al., 1982; Risch, 1980) e um maior controle de ervas-daninhas (Gliessman, 1983) diminuem a necessidade do uso de agrotóxicos. O maior aproveitamento de nutrientes do solo dado por um efeito de complementariedade de nicho da arquitetura das raízes destas três espécies (Zhang et al., 2014; Postma & Lynch, 2012) e a capacidade de fixação de nitrogênio no consórcio proporcionada pela leguminosa (Fujita et al., 1992) podem diminuir a necessidade de insumos externos. Estas características tornam-se de fundamental importância em contextos que viabilizem uma agricultura com uso da terra menos impactante e capaz de auxiliar na conservação daqueles que com ela interagem.

Neste trabalho, verificou-se que o plantio consorciado entre a abobrinha-de-tronco e o feijão-comum permite que estas espécies interajam com uma maior diversidade de visitantes florais e contribuam para o sustento à longo prazo destes visitantes na área. Apesar da abobrinha em monocultura atrair maiores quantidades de visitantes do que os outros tratamentos, o cultivo em consórcio não resultou em perda de produção de frutos da mesma, além de significativamente aumentar a produção de vagens de feijão nos consórcios com 50 a 58% de feijoeiros. Ademais, o fato de que essas plantas compartilharam apenas abelhas *Apis mellifera* indica que não há competição por polinizadores e que a presença das duas espécies pode ser importante para manter uma área com uma composição de visitantes florais mais diversa, incluindo abelhas nativas como *Oxaea flavescens* e outras espécies de sirfídeos e vespas. A possível resposta da abobrinha-de-tronco a sinais de uma planta de feijoeiro vizinha não causou mudanças no número de flores produzidas, mas pode ter causado a produção de flores com corolas mais profundas, o que por sua vez pode causar alterações comportamentais nos visitantes florais no sentido de incentivar a constância floral. Porém, o fato de que há pouco compartilhamento de visitantes entre as duas espécies, diminui as chances de que isto tenha

efeitos negativos sobre o feijoeiro. Já a resposta do feijão-comum a sinais de plantas de abobrinha vizinhas pode ter causado uma menor produção de flores, cujo diâmetro da pétala estandarte também foi menor em comparação a feijoeiros com vizinhos coespecíficos. Porém, isso não necessariamente implica efeitos negativos para o feijoeiro se o plantio consorciado não diminui o número de visitas recebidas, podendo até aumentar o número de vagens produzidas quando as duas espécies estão em proporções similares.

Portanto, há indícios de que as interações indiretas advindas do plantio em consórcio máximo entre *Cucurbita pepo* e *Phaseolus vulgaris* têm efeitos neutros sobre a produção da abobrinha e efeitos facilitadores sobre a produção do feijoeiro, contribuindo para aumentar a diversidade de visitantes florais na área.

Considerações finais e perspectivas

Este trabalho contribuiu para desenvolver os conhecimentos na área das interações ecológicas existentes em sistemas agrícolas diversificados, incluindo interações diretas planta-planta e planta-polinizador e interações indiretas mediadas por polinizadores, com vista a fortalecer as pesquisas sobre usos alternativos e manejos sustentáveis da terra com enfoque na biodiversidade e nos processos advindos dela. Os possíveis benefícios do aumento da diversidade de visitantes florais e da produção do feijão obtidos através da intensificação ecológica no consórcio mostram, principalmente ao pequeno produtor, a importância da presença de várias culturas em uma mesma área. Destas análises, outros questionamentos mais direcionados surgem. Quais são os meios principais de comunicação entre as plantas do consórcio e quais são os sinais utilizados? Os compostos orgânicos voláteis liberados pela planta focal se alteram quantitativa- e qualitativamente de acordo com a presença e a identidade da planta vizinha? O milho em cofloração altera as taxas de visitação e a estrutura da comunidade de visitantes atraída pela abobrinha e pelo feijão-comum no cultivo das *Três Irmãs*? Isso afeta a produtividade do sistema? Há mudanças no comportamento de visitação da comunidade de visitantes florais ao longo do dia causadas pela complementariedade de recursos? O perfil da comunidade de visitantes florais influencia as taxas de herbivoria no consórcio? Tais perguntas devem ser aplicadas em experimentos futuros que pretendam entender mais profundamente o sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrams, P. A. (1995). Implications of dynamically variable traits for identifying, classifying, and measuring direct and indirect effects in ecological communities. *The American Naturalist*, 146(1), 112-134.
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes* (pp. 19-31). Elsevier.
- Ashman, T. L., & Stanton, M. (1991). Seasonal variation in pollination dynamics of sexually dimorphic *Sidalcea oregana ssp. spicata* (Malvaceae). *Ecology*, 72(3), 993-1003.
- Avila-Sakar, G., Simmers, S. M., & Stephenson, A. G. (2003). The interrelationships among leaf damage, anther development, and pollen production in *Cucurbita pepo ssp. texana* (Cucurbitaceae). *International journal of plant sciences*, 164(3), 395-404.
- Baldwin, I. T., & Schultz, J. C. (1983). Rapid changes in tree leaf chemistry induced by damage: evidence for communication between plants. *Science*, 221(4607), 277-279.
- Ballaré, C. L., & Casal, J. J. (2000). Light signals perceived by crop and weed plants. *Field Crops Research*, 67(2), 149-160.
- Ballaré, C. L. (1999). Keeping up with the neighbours: phytochrome sensing and other signalling mechanisms. *Trends in plant science*, 4(3), 97-102.
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology: from individuals to ecosystems* (No. Sirsi) i9781405111171).
- Bell, J. M., Karron, J. D., & Mitchell, R. J. (2005). Interspecific competition for pollination lowers seed production and outcrossing in *Mimulus ringens*. *Ecology*, 86(3), 762-771.
- Bergamo, P. J., Wolowski, M., Maruyama, P. K., Vizentin-Bugoni, J., Carvalheiro, L. G., & Sazima, M. (2017). The potential indirect effects among plants via shared hummingbird pollinators are structured by phenotypic similarity. *Ecology*, 98(7), 1849-1858.
- Blaustein, L., & Chase, J. M. (2007). Interactions between mosquito larvae and species that share the same trophic level. *Annu. Rev. Entomol.*, 52, 489-507.
- Bliss, F. A. (1980). Common bean. In: Fehr WR, Hadley HH (eds) *Hybridization of crop plants*. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America, Madison, pp 273–284.

- Blüthgen, N., & Klein, A. M. (2011). Functional complementarity and specialisation: the role of biodiversity in plant–pollinator interactions. *Basic and Applied Ecology*, 12(4), 282-291.
- Briggs, H. M., Anderson, L. M., Atalla, L. M., Delva, A. M., Dobbs, E. K., & Brosi, B. J. (2015). Heterospecific pollen deposition in *Delphinium barbeyi*: linking stigmatic pollen loads to reproductive output in the field. *Annals of botany*, 117(2), 341-347.
- Bronstein, J. L. (2009). The evolution of facilitation and mutualism. *Journal of Ecology*, 97(6), 1160-1170.
- Brooker, R. W., Maestre, F. T., Callaway, R. M., Lortie, C. L., Cavieres, L. A., Kunstler, G., ... & Armas, C. (2008). Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. *Journal of Ecology*, 96(1), 18-34.
- Callaway, R. M. (1997). Positive interactions in plant communities and the individualistic-continuum concept. *Oecologia*, 112(2), 143-149.
- Cardinale, B. J. (2011). Biodiversity improves water quality through niche partitioning. *Nature*, 472(7341), 86.
- Carmona-Díaz, G., & García-Franco, J. G. (2009). Reproductive success in the Mexican rewardless *Oncidium cosymbephorum* (Orchidaceae) facilitated by the oil-rewarding *Malpighia glabra* (Malpighiaceae). *Plant Ecology*, 203(2), 253-261.
- Cartar, R. V. (2009). Resource-tracking by bumble bees: What explains local responses to density of bergamot (*Monarda fistulosa*) flowers?. *Ecoscience*, 16(4), 470-475.
- Caruso, C. M., & Parachnowitsch, A. L. (2016). Do plants eavesdrop on floral scent signals?. *Trends in plant science*, 21(1), 9-15.
- Carvalho, L. G., Biesmeijer, J. C., Benadi, G., Fründ, J., Stang, M., Bartomeus, I., ... & Baldock, K. C. (2014). The potential for indirect effects between co-flowering plants via shared pollinators depends on resource abundance, accessibility and relatedness. *Ecology letters*, 17(11), 1389-1399.
- Chambers, J. M. and Hastie, T. J. (1992). Statistical models. Chapter 2 of *Statistical Models* in S. Eds J. M. Chambers and T. J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.
- Dafni, A., & Kevan, P. G. (1997). Flower size and shape: implications in pollination. *Israel Journal of Plant Sciences*, 45(2-3), 201-211.

Damant, G., & Villela, F. (2018). Can agroforestry improve soil water and temperature dynamics in agriculture? A case study with syntropic farming in Bahia, Brazil. In Proceedings of the 4th European Agroforestry Conference, Agroforestry as Sustainable Land Use, 28-30 May 2018, Nijmegen, The Netherlands (pp. 161-164). European Agroforestry Federation/University of Santiago de Compostela.

Davidson, D. W., Samson, D. A., & Inouye, R. S. (1985). Granivory in the Chihuahuan Desert: interactions within and between trophic levels. *Ecology*, 66(2), 486-502.

Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ... & Bartuska, A. (2015). The IPBES Conceptual Framework—connecting nature and people. *Current opinion in environmental sustainability*, 14, 1-16.

Dreisig, H. (1995). Ideal free distributions of nectar foraging bumblebees. *Oikos*, 161-172.

Dolch, R., & Tschardtke, T. (2000). Defoliation of alders (*Alnus glutinosa*) affects herbivory by leaf beetles on undamaged neighbours. *Oecologia*, 125(4), 504-511.

Ebeling, A., Klein, A. M., & Tschardtke, T. (2011). Plant–flower visitor interaction webs: temporal stability and pollinator specialization increases along an experimental plant diversity gradient. *Basic and Applied Ecology*, 12(4), 300-309.

Engelberth, J., Alborn, H. T., Schmelz, E. A., & Tumlinson, J. H. (2004). Airborne signals prime plants against insect herbivore attack. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(6), 1781-1785.

Enríquez, E., Ayala, R., Gonzalez, V. H., & Núñez-Farfán, J. (2015). Alpha and beta diversity of bees and their pollination role on *Cucurbita pepo* L. (Cucurbitaceae) in the Guatemalan cloud forest. *The Pan-Pacific Entomologist*, 91(3), 211-223.

FAO. 2018. The 10 elements of agroecology – Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems. Rome (available at: <http://www.fao.org/3/i9037en/i9037en.pdf>).

Farmer, E. E., & Ryan, C. A. (1990). Interplant communication: airborne methyl jasmonate induces synthesis of proteinase inhibitors in plant leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87(19), 7713-7716.

Free, J. B. (1976). *Insect pollination of crops*. London: Academic Press. 544 p.

- Freytag, G. F. (1979). Metaxenia effects on pod size development in the common bean. *Journal of Heredity*, 70(6), 444-446.
- Fründ, J., Dormann, C. F., Holzschuh, A., & Tschardtke, T. (2013). Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. *Ecology*, 94(9), 2042-2054.
- Fujita, K., Ofosu-Budu, K. G., & Ogata, S. (1992). Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping systems. *Plant and soil*, 141(1-2), 155-175.
- Galen, C. (1999). Why do flowers vary? The functional ecology of variation in flower size and form within natural plant populations. *Bioscience*, 49(8), 631-640.
- Garibaldi, L. A., Aizen, M. A., Klein, A. M., Cunningham, S. A., & Harder, L. D. (2011). Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(14), 5909-5914.
- Ghazoul, J. (2006). Floral diversity and the facilitation of pollination. *Journal of ecology*, 94(2), 295-304.
- Gliessman, S. R. (1983). Allelopathic interactions in crop-weed mixtures. *Journal of Chemical Ecology*, 9(8), 991-999.
- Goulson, D. (2003) Effects of introduced bees on native ecosystems. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 34, 1–26.
- Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229), 1255957.
- Grindeland, J. M., Sletvold, N., & Ims, R. A. (2005). Effects of floral display size and plant density on pollinator visitation rate in a natural population of *Digitalis purpurea*. *Functional Ecology*, 19(3), 383-390.
- Guire, A. D. M., & Armbruster, W. S. (1991). An experimental test for reproductive interactions between two sequentially blooming *Saxifraga* species (Saxifragaceae). *American Journal of Botany*, 78(2), 214-219.
- Gutiérrez-Martínez, A., Tolon-Becerra, A., & Lastra-Bravo, X. B. (2012). Biological control of *spodoptera frugiperda* eggs using *Telenomus remus* Nixon in maize-bean-squash polyculture. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 7(3), 285-292.

- Hacker, S. D., & Gaines, S. D. (1997). Some implications of direct positive interactions for community species diversity. *Ecology*, 78(7), 1990-2003.
- Hansen, M. K. (1983). Interactions among natural enemies, herbivores, and yield in monocultures and polycultures of corn, beans and squash. Thesis (Ph. D.).
- Harder, L. D. (1983). Flower handling efficiency of bumble bees: morphological aspects of probing time. *Oecologia*, 57(1-2), 274-280.
- Harder, L. D. (1986). Effects of nectar concentration and flower depth on flower handling efficiency of bumble bees. *Oecologia*, 69(2), 309-315.
- Harder, L. D., & Barrett, S. C. (1995). Mating cost of large floral displays in hermaphrodite plants. *Nature*, 373(6514), 512.
- Hardin, G. (1960). The competitive exclusion principle. *science*, 131(3409), 1292-1297.
- Hart, J. P. (2008). Evolving the three sisters: The changing histories of maize, bean, and squash in New York and the greater Northeast. *Current Northeast Paleoethnobotany II*, 512, 87-99.
- Hegland, S. J., & Boeke, L. (2006). Relationships between the density and diversity of floral resources and flower visitor activity in a temperate grassland community. *Ecological Entomology*, 31(5), 532-538.
- Holt, R. D. (1977). Predation, apparent competition, and the structure of prey communities. *Theoretical population biology*, 12(2), 197-229.
- Ibarra-Perez, F. J., Barnhart, D., Ehdaie, B., Knio, K. M., & Waines, J. G. (1999). Effects of insect tripping on seed yield of common bean. *Crop science*, 39(2), 428-433.
- IBGE – Censo Agropecuário. “Tabela 819. Produção, venda e valor da produção na horticultura por produtos da horticultura, destino da produção, uso de irrigação, uso de agrotóxicos e uso de adubação“. *Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA*. Banco de Tabelas Estatísticas, 2006. Web. 16 de outubro de 2019.
- IPBES, 2012. Functions, Operating Principles and Institutional Arrangements of the Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (as adopted in Panama, April 2012) .
http://www.ipbes.net/images/FunctionsoperatingprinciplesandinstitutionalarrangementsofIPBES_2012.pdf

- IPBES. (2016). The assessment report of the Inter-governmental 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.
- Irwin, R. E., Adler, L. S., & Brody, A. K. (2004). The dual role of floral traits: pollinator attraction and plant defense. *Ecology*, 85(6), 1503-1511.
- Isbell, F., Adler, P. R., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K., Kremen, C., ... & Scherer-Lorenzen, M. (2017). Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology*, 105(4), 871-879.
- Ishii, H. S. (2005). Analysis of bumblebee visitation sequences within single bouts: implication of the overstrike effect on short-term memory. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 57(6), 599-610.
- Ishii, H. S. (2006). Floral display size influences subsequent plant choice by bumble bees. *Functional Ecology*, 20(2), 233-238.
- Ison, J. L., Wagenius, S., Reitz, D., & Ashley, M. V. (2014). Mating between *Echinacea angustifolia* (Asteraceae) individuals increases with their flowering synchrony and spatial proximity. *American Journal of Botany*, 101(1), 180-189.
- Jensen, J. M. (1977). Native American women and agriculture: A Seneca case study. *Sex Roles*, 3(5), 423-441.
- Johnson, S. D., Peter, C. I., Nilsson, L. A., & Ågren, J. (2003). Pollination success in a deceptive orchid is enhanced by co-occurring rewarding magnet plants. *Ecology*, 84(11), 2919-2927.
- Johnson, S. D., Hollens, H., & Kuhlmann, M. (2012). Competition versus facilitation: conspecific effects on pollinator visitation and seed set in the iris *Lapeirousia oreogena*. *Oikos*, 121(4), 545-550.
- Juillet, N., Gonzalez, M. A., Page, P. A., & Gigord, L. D. B. (2007). Pollination of the European food-deceptive *Traunsteinera globosa* (Orchidaceae): the importance of nectar-producing neighbouring plants. *Plant Systematics and Evolution*, 265(1-2), 123-129.
- Kantsa, A., Raguso, R. A., Dyer, A. G., Olesen, J. M., Tscheulin, T., & Petanidou, T. (2018). Disentangling the role of floral sensory stimuli in pollination networks. *Nature communications*, 9(1), 1041.

- Kappers, I. F., Hoogerbrugge, H., Bouwmeester, H. J., & Dicke, M. (2011). Variation in herbivory-induced volatiles among cucumber (*Cucumis sativus* L.) varieties has consequences for the attraction of carnivorous natural enemies. *Journal of chemical ecology*, 37(2), 150-160.
- Karban, R., Baldwin, I. T., Baxter, K. J., Laue, G., & Felton, G. W. (2000). Communication between plants: induced resistance in wild tobacco plants following clipping of neighboring sagebrush. *Oecologia*, 125(1), 66-71.
- Karban, R. (2015). *Plant sensing and communication*. University of Chicago Press.
- Karremans, A. P., Pupulin, F., Grimaldi, D., Beentjes, K. K., Butôt, R., Fazzi, G. E., ... & Gravendeel, B. (2015). Pollination of *Specklinia* by nectar-feeding *Drosophila*: the first reported case of a deceptive syndrome employing aggregation pheromones in Orchidaceae. *Annals of Botany*, 116(3), 437-455.
- Klatt, B. K., Holzschuh, A., Westphal, C., Clough, Y., Smit, I., Pawelzik, E., & Tschardt, T. (2014). Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1775), 20132440.
- Klein, A. M., Steffan-Dewenter, I., & Tschardt, T. (2003). Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1518), 955-961.
- Knuth, P. (1906). *Handbook of flower pollination*, 3 volumes. *Oxford: Clarendon*.
- Kunin, W. E. (1993). Sex and the single mustard: population density and pollinator behavior effects on seed-set. *Ecology*, 74(7), 2145-2160.
- Laverty, T. M. (1992). Plant interactions for pollinator visits: a test of the magnet species effect. *Oecologia*, 89(4), 502-508.
- Lau, T. C., & Stephenson, A. G. (1993). Effects of soil nitrogen on pollen production, pollen grain size, and pollen performance in *Cucurbita pepo* (Cucurbitaceae). *American Journal of Botany*, 80(7), 763-768.
- Lázaro, A., Lundgren, R., & Totland, Ø. (2009). Co-flowering neighbors influence the diversity and identity of pollinator groups visiting plant species. *Oikos*, 118(5), 691-702.
- Leonard, A. S., Dornhaus, A., & Papaj, D. R. (2011). Forget-me-not: complex floral displays, inter-signal interactions, and pollinator cognition. *Current Zoology*, 57(2), 215-224.

- Lewandowski, S. (1987). Diohe'ko, the Three Sisters in Seneca life: Implications for a native agriculture in the finger lakes region of New York State. *Agriculture and Human Values*, 4(2-3), 76-93.
- Levin, S. A., et al., (2009), eds. *The Princeton guide to ecology*. Princeton University Press.
- Levis, C., Costa, F. R., Bongers, F., Peña-Claros, M., Clement, C. R., Junqueira, A. B., ... & Castilho, C. V. (2017). Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science*, 355(6328), 925-931.
- Liao, K., Gituru, R. W., Guo, Y. H., & Wang, Q. F. (2011). The presence of co-flowering species facilitates reproductive success of *Pedicularis monbeigiana* (Orobanchaceae) through variation in bumble-bee foraging behaviour. *Annals of botany*, 108(5), 877-884..
- Loreau, M., & Hector, A. (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, 412(6842), 72.
- Lotka, A. J. (1978). The growth of mixed populations: two species competing for a common food supply. In *The Golden Age of Theoretical Ecology: 1923–1940* (pp. 274-286). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lowder, S. K., Skoet, J., & Singh, S. (2014). What do we really know about the number and distribution of farms and family farms in the world. Background paper for the State of Food and Agriculture, 8, 1-45.
- MacArthur, R. (1970). Species packing and competitive equilibrium for many species. *Theoretical population biology*, 1(1), 1-11.
- Malerbo-Souza, D. T., Silva, T. D., Andrade, M. O., Farias, L. R., & Guedes Medeiros, N. M. (2018). Factors affecting the foraging behavior of bees in different maize hybrids. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13(3), 1-8.
- Medeiros, M. A., Sujii, E. R., & Morais, H. C. (2009). Effect of plant diversification on abundance of South American tomato pinworm and predators in two cropping systems. *Horticultura Brasileira*, 27(3), 300-306.
- Mesquida, J., Leguen, J., & Morin, G. (1992). Role of Apoidea (Insecta: Hymenoptera) in the pollination of spring type faba bean (*Vicia faba* L. var. *equina* Steudel). *Apidologie*.
- Mittelbach, G. G. (2012). *Community ecology*. Sinauer Associates.

- Moragues, E., & Traveset, A. (2005). Effect of *Carpobrotus* spp. on the pollination success of native plant species of the Balearic Islands. *Biological Conservation*, 122(4), 611-619.
- Moreti, A., Silva, R. M. B. D., Silva, E. C. A. D., Alves, M. L. T. M. F., & Schammass, E. A. (1994). Polinização do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) efetuada por *Apis mellifera* L. *Boletim de Industria Animal*, 51(2), 119-124.
- Morgan, M. (1993). Fruit to flower ratios and trade-offs in size and number. *Evolutionary Ecology*, 7(3), 219-232.
- Mt Pleasant, J. (2006). The science behind the ‘three sisters’ mound system: an agronomic assessment of an indigenous agricultural system in the northeast. *Histories of Maize: Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize*, Academic Press, Burlington, MA, 529-538.
- Mt Pleasant & Burt, R. F. (2010). Estimating productivity of traditional Iroquoian cropping systems from field experiments and historical literature. *Journal of Ethnobiology*, 30(1), 52-79.
- Muchhala, N., & Thomson, J. D. (2012). Interspecific competition in pollination systems: costs to male fitness via pollen misplacement. *Functional Ecology*, 26(2), 476-482.
- Naeem, S., & Li, S. (1997). Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature*, 390(6659), 507.
- Nerson, H., Paris, H. S., & Paris, E. P. (2000, March). Fruit shape, size and seed yield in *Cucurbita pepo*. In VII Eucarpia Meeting on Cucurbit Genetics and Breeding 510 (pp. 227-230).
- Nepi, M., Ciampolini, F., & Pacini, E. (1996). Development and ultrastructure of *Cucurbita pepo* nectaries of male flowers. *Annals of Botany*, 78(1), 95-104.
- Nepi, M., Guarnieri, M., & Pacini, E. (2001). Nectar secretion, reabsorption, and sugar composition in male and female flowers of *Cucurbita pepo*. *International Journal of Plant Sciences*, 162(2), 353-358.
- Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2013). Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable development*, 33(2), 257-274.

- Nieh, J. C., Kruizinga, K., Barreto, L. S., Contrera, F. A. L., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2005). Effect of group size on the aggression strategy of an extirpating stingless bee, *Trigona spinipes*. *Insectes Sociaux*, 52(2), 147-154.
- Ogilvie, J. E., & Thomson, J. D. (2016). Site fidelity by bees drives pollination facilitation in sequentially blooming plant species. *Ecology*, 97(6), 1442-1451.
- Palmer, R. Bees aid bean pollination. 1969. *Apic Abstr.*, London, 20(2):81. (Resumo 381/69).
- Parra-Tabla, V., Campos-Navarrete, M. J., & Arceo-Gómez, G. (2017). Plant–floral visitor network structure in a smallholder Cucurbitaceae agricultural system in the tropics: implications for the extinction of main floral visitors. *Arthropod-Plant Interactions*, 11(5), 731-740.
- Perfecto, I., Rice, R. A., Greenberg, R., & Van der Voort, M. E. (1996). Shade coffee: a disappearing refuge for biodiversity: shade coffee plantations can contain as much biodiversity as forest habitats. *BioScience*, 46(8), 598-608.
- Peterson, A. (2000). Alternatives, traditions, and diversity in agriculture. *Agriculture and human values*, 17(1), 95-106.
- Picanço, M. C. (2014). Natural biological control of *Diaphania* spp.(Lepidoptera: Crambidae) by social wasps. *Sociobiology*, 59(2), 561-571.
- Pingali, P. L., & Rosegrant, M. W. (1994). Confronting the environmental consequences of the Green Revolution in Asia (No. 581-2016-39465).
- Pleasant, J. M., & Burt, R. F. (2010). Estimating productivity of traditional Iroquoian cropping systems from field experiments and historical literature. *Journal of Ethnobiology*, 30(1), 52-80.
- Ponisio, L. C., M'Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., de Valpine, P., & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1799), 20141396.
- Postma, J. A., & Lynch, J. P. (2012). Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures. *Annals of botany*, 110(2), 521-534.
- Potts, S. G., Vulliamy, B., Dafni, A., Ne'eman, G., & Willmer, P. (2003). Linking bees and flowers: how do floral communities structure pollinator communities?. *Ecology*, 84(10), 2628-2642.

- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25(6), 345-353.
- Pretty, J., Toulmin, C., & Williams, S. (2011). Sustainable intensification in African agriculture. *International journal of agricultural sustainability*, 9(1), 5-24.
- Raguso, R. A. (2009). Floral scent in a whole-plant context: moving beyond pollinator attraction. *Functional Ecology*, 23(5), 837-840.
- Ramalho, M. A., & dos Santos, J. B. (1982). Melhoramento do feijão. Embrapa Milho e Sorgo- Artigo em periódico indexado (ALICE).
- Rathcke, B. (1983). Competition and facilitation among plants for pollination. *Pollination biology*, 305, 329.
- Risch, S. (1980). The population dynamics of several herbivorous beetles in a tropical agroecosystem: the effect of intercropping corn, beans and squash in Costa Rica. *Journal of Applied Ecology*, 593-611.
- Risch, S. J., & Hansen, M. K. (1982). Plant growth, flowering phenologies, and yields of corn, beans and squash grown in pure stands and mixtures in Costa Rica. *Journal of Applied Ecology*, 901-916.
- Risch, S. J., Wrubel, R., & Andow, D. (1982). Foraging by a predaceous beetle, *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae), in a polyculture: effects of plant density and diversity. *Environmental Entomology*, 11(4), 949-950.
- Robinson, R. W., & Decker-Walters, D. S. (1997). *Cucurbits*. Cab International.
- Roubik, D. W. (1981). Comparative foraging behavior of *Apis mellifera* and *Trigona corvina* (Hymenoptera: Apidae) on *Baltimora recta* (Compositae). *Revista de Biologia Tropical*, 29(2), 177-183.
- Roubik, D. W. (Ed.). (1995). *Pollination of cultivated plants in the tropics* (No. 118). Food & Agriculture Org.
- Roy, B. A. (1994). The effects of pathogen-induced pseudoflowers and buttercups on each other's insect visitation. *Ecology*, 75(2), 352-358.

- van Ruijven, J., & Berendse, F. (2005). Diversity–productivity relationships: initial effects, long-term patterns, and underlying mechanisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(3), 695-700.
- Runquist, R. B., & Stanton, M. L. (2013). Asymmetric and frequency-dependent pollinator-mediated interactions may influence competitive displacement in two vernal pool plants. *Ecology Letters*, 16(2), 183-190.
- Sakai, S. (1993). Allocation to attractive structures in animal-pollinated flowers. *Evolution*, 47(6), 1711-1720.
- Sakai, S. (2002). A review of brood-site pollination mutualism: plants providing breeding sites for their pollinators. *Journal of Plant Research*, 115(3), 0161-0168.
- Santana, M. P., Carvalho, C. F., Souza, B., & Morgado, L. N. (2002). Abelhas (Hymenoptera: Apoidea) visitantes das flores do feijoeiro, *Phaseolus vulgaris* L. Lavras e Ijaci-MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 26(6), 1119-1127.
- Sargent, R. D., & Ackerly, D. D. (2008). Plant–pollinator interactions and the assembly of plant communities. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(3), 123-130.
- Sato, H., & Yahara, T. (1999). Trade-offs between flower number and investment to a flower in selfing and outcrossing varieties of *Impatiens hypophylla* (Balsaminaceae). *American Journal of Botany*, 86(12), 1699-1707.
- Schemske, D. W., & Agren, J. (1995). Deceit pollination and selection on female flower size in *Begonia involucrata*: an experimental approach. *Evolution*, 49(1), 207-214.
- Schiestl, F. P. (2010). The evolution of floral scent and insect chemical communication. *Ecology letters*, 13(5), 643-656.
- Schmitz, O. J. (1998). Direct and indirect effects of predation and predation risk in old-field interaction webs. *The American Naturalist*, 151(4), 327-342.
- Schmitz, O. J., & Suttle, K. B. (2001). Effects of top predator species on direct and indirect interactions in a food web. *Ecology*, 82(7), 2072-2081.
- Schmitz, O. J., Krivan, V., & Ovadia, O. (2004). Trophic cascades: the primacy of trait-mediated indirect interactions. *Ecology Letters*, 7(2), 153-163.

- Schrama, M., De Haan, J. J., Kroonen, M., Verstegen, H., & Van der Putten, W. H. (2018). Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 256, 123-130.
- Smit, C., Vandenberghe, C., Den Ouden, J., & Müller-Schärer, H. (2007). Nurse plants, tree saplings and grazing pressure: changes in facilitation along a biotic environmental gradient. *Oecologia*, 152(2), 265-273.
- Smith, B. D. 1997. Reconsidering the Ocampo Caves and the Era of Incipient Cultivation in Mesoamerica. *Latin American Antiquity* 8:342-383.
- Smith, B. D. (2001). Documenting plant domestication: The consilience of biological and archaeological approaches. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(4), 1324-1326.
- Splawski, C. E., Regnier, E. E., Harrison, S. K., Goodell, K., Bennett, M. A., & Metzger, J. D. (2014). Mulch effects on floral resources and fruit production of squash, and on pollination and nesting by squash bees. *HortTechnology*, 24(5), 535-545.
- Stachowicz, J. J. (2001). Mutualism, facilitation, and the structure of ecological communities: positive interactions play a critical, but underappreciated, role in ecological communities by reducing physical or biotic stresses in existing habitats and by creating new habitats on which many species depend. *AIBS Bulletin*, 51(3), 235-246.
- Stanton, M., Young, H. J., Ellstrand, N. C., & Clegg, J. M. (1991). Consequences of floral variation for male and female reproduction in experimental populations of wild radish, *Raphanus sativus* L. *Evolution*, 45(2), 268-280.
- Steffan-Dewenter, I., Münzenberg, U., Bürger, C., Thies, C., & Tschardt, T. (2002). Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology*, 83(5), 1421-1432.
- Steffan-Dewenter, I., Potts, S. G., & Packer, L. (2005). Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. *Trends in ecology & evolution*, 20(12), 651-652.
- Strauss, S. Y., & Irwin, R. E. (2004). Ecological and evolutionary consequences of multispecies plant-animal interactions. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 35, 435-466.
- Thébault, E., & Fontaine, C. (2010). Stability of ecological communities and the architecture of mutualistic and trophic networks. *Science*, 329(5993), 853-856.

- Ton, J., D'Alessandro, M., Jourdie, V., Jakab, G., Karlen, D., Held, M., ... & Turlings, T. C. (2007). Priming by airborne signals boosts direct and indirect resistance in maize. *The Plant Journal*, 49(1), 16-26.
- Trenbath, B. R. (1993). Intercropping for the management of pests and diseases. *Field crops research*, 34(3-4), 381-405.
- Tsubo, M., & Walker, S. (2002). A model of radiation interception and use by a maize–bean intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110(3), 203-215.
- Vandermeer, J., & Perfecto, I. (1997). The agroecosystem: a need for the conservation biologist's lens. *Conservation Biology*, 11(3), 591-592.
- Vandermeer, J., & Perfecto, I. (2017). *Ecological complexity and agroecology*. Routledge.
- Van Der Putten, W. H. (2009). A multitrophic perspective on functioning and evolution of facilitation in plant communities. *Journal of Ecology*, 97(6), 1131-1138.
- Waser, N. M. (1978). Competition for hummingbird pollination and sequential flowering in two Colorado wildflowers. *Ecology*, 59(5), 934-944.
- Webb, P.J.R. (2009). *Fiat Panis: For a World Without Hunger*, ed Eiselen H (Hamp Media/Balance Publications, Stuttgart), pp 410–434.
- Webster, B. D., Ross, R. M., & Evans, T. (1982). Nectar and the nectary of *Phaseolus vulgaris*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107, 497-503.
- Weiner, J., Griepentrog, H. W., & Kristensen, L. (2001). Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity. *Journal of Applied Ecology*, 38(4), 784-790.
- Weiner, J. (2004). Allocation, plasticity and allometry in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6(4), 207-215.
- Weiner, J. (2017). Applying plant ecological knowledge to increase agricultural sustainability. *Journal of Ecology*, 105(4), 865-870.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., & David, C. (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for sustainable development*, 29(4), 503-515.
- Wien, H. C. (1997). *The cucurbits: cucumber, melon, squash and pumpkin*.

- Winsor, J. A., Davis, L. E., & Stephenson, A. G. (1987). The relationship between pollen load and fruit maturation and the effect of pollen load on offspring vigor in *Cucurbita pepo*. *The American Naturalist*, 129(5), 643-656.
- Wirth, L. R., Waser, N. M., Graf, R., Gugerli, F., Landergott, U., Erhardt, A., ... & Holderegger, R. (2011). Effects of floral neighborhood on seed set and degree of outbreeding in a high-alpine cushion plant. *Oecologia*, 167(2), 427-434.
- Wootton, J. T. (1994). The nature and consequences of indirect effects in ecological communities. *Annual review of ecology and systematics*, 25(1), 443-466.
- Worley, A. C., Baker, A. M., Thompson, J. D., & Barrett, S. C. (2000). Floral display in *Narcissus*: variation in flower size and number at the species, population, and individual levels. *International Journal of Plant Sciences*, 161(1), 69-79.
- Wróblewska, A. (1990). Attractiveness of *Phaseolus* L. flowers for pollinating insects. In VI International Symposium on Pollination 288 (pp. 321-325).
- Zhang, C., Postma, J. A., York, L. M., & Lynch, J. P. (2014). Root foraging elicits niche complementarity-dependent yield advantage in the ancient 'three sisters' (maize/bean/squash) polyculture. *Annals of botany*, 114(8), 1719-1733.
- Zhu, Y., Chen, H., Fan, J., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., ... & Mew, T. W. (2000). Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406(6797), 718.

Apêndices

Apêndice 1: área de plantio do experimento 2

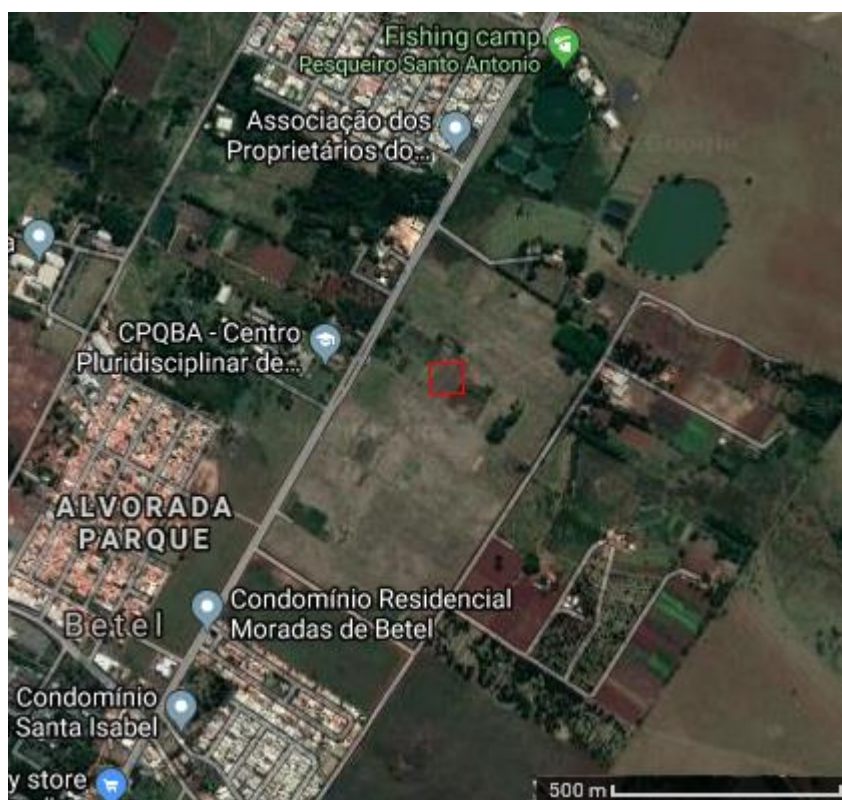


Figura 16. Imagem de satélite da área de plantio no Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas, em Paulínia, mostrando a paisagem de entorno. O quadrado marcado em vermelho corresponde aproximadamente à área de plantio do experimento. Imagem obtida pelo domínio *Google Maps* no ano de 2019.

Apêndice 2: seleção de modelos

1. Experimento 1 – Modelos para os atributos florais das espécies focais

1.1. Comparação de modelos GLM para o número de flores da abobrinha

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: FLORES~TRATAMENTO+(1/DIA:TRATAMENTO), family = Poisson

Modelo 2: FLORES~1+(1/DIA:TRATAMENTO), family = Poisson

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	Pr (>Chisq)
1	93	143.94			
2	95	145.84	-2	-1.8986	0.39

O modelo com a variável preditora não foi melhor para explicar a variável resposta, não sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p = 0.39$).

1.2. Comparação de modelos de GLM para o diâmetro de abertura da corola das flores masculinas de abobrinha

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: DIAMETROAB ~ TRATAMENTO + (1 / PLANTA : TRATAMENTO)

Modelo 2: DIAMETROAB ~ 1 + (1 / PLANTA : TRATAMENTO)

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)
1	45	1106.2				
2	47	1241.7	-2	-135.51	2.7562	0.07

O modelo com a variável preditora não foi melhor para explicar a variável resposta, não sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p = 0.07$).

1.3. Comparação de modelos de GLM para a profundidade da corola das flores masculinas de abobrinha

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: PROFUNDIDADE ~TRATAMENTO+(1/PLANTA:TRATAMENTO)

Modelo 2: PROFUNDIDADE ~ 1+(1/PLANTA:TRATAMENTO)

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)
1	45	230.10				
2	47	259.56	-2	-29.455	2.8802	0.06

O modelo com a variável preditora foi melhor para explicar a variável resposta, sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p \leq 0.06$).

1.4. Comparação de modelos de GLM para o número de flores do feijoeiro

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: FLORES~TRATAMENTO+(1/DIA:TRATAMENTO), family = “poisson”

Modelo 2: FLORES ~ 1+(1/DIA:TRATAMENTO), family = “poisson”

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	Pr (>Chisq)
1	60	203.95			
2	62	227.56	-2	-23.611	7.464e-06***

O modelo com a variável preditora foi melhor para explicar a variável resposta, sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p \leq 0.06$).

1.5 Comparação de modelos de GLM para o comprimento vertical das flores de feijoeiro

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: COMPRIMENTO~TRATAMENTO + (1/PLANTA:TRATAMENTO)

Modelo 2: COMPRIMENTO ~ 1 + (1/PLANTA:TRATAMENTO)

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)
1	45	9.8438				
2	47	11.0192	-2	-1.1754	2.6867	0.08

O modelo com a variável preditora não foi melhor para explicar a variável resposta, não sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p = 0.08$).

1.6 Comparação de modelos para o diâmetro da pétala estandarte do feijoeiro

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: DIAMETROF ~ TRATAMENTO + (1/PLANTA:TRATAMENTO)

Modelo 2: DIAMETROF ~ 1 + (1/PLANTA:TRATAMENTO)

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)
1	45	38.849				
2	47	62.658	-2	-23.809	13.789	2.134e-05 ***

O modelo com a variável preditora foi melhor para explicar a variável resposta, sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p \leq 0.06$).

2. Experimento 2 – Modelos para visitação

2.1 Comparação de modelos de GLM para as visitas por hora dos tratamentos

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: VH ~ TRATAMENTO + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

Modelo 2: VH ~ 1 + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)

1	17	2710.1				
2	20	6624.3	-3	-3914.1	8.1841	0.001371 **

O modelo com a variável preditora foi melhor para explicar a variável resposta, sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p \leq 0.06$).

2.2 Comparação de modelos para visitas/hora apenas do feijoeiro

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: $VH \sim \text{TRATAMENTO} + (1 / \text{BLOCO} : \text{TRATAMENTO})$

Modelo 2: $VH \sim 1 + (1 / \text{BLOCO} : \text{TRATAMENTO})$

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)
1	11	388.22				
2	14	500.14	-3	-111.92	1.057	0.41

O modelo com a variável preditora não foi melhor para explicar a variável resposta, não sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p = 0.41$).

2.3 Comparação de modelos para visitas/hora apenas da abobrinha

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: $VH \sim \text{TRATAMENTO} + (1 / \text{BLOCO} : \text{TRATAMENTO})$

Modelo 2: $VH \sim 1 + (1 / \text{BLOCO} : \text{TRATAMENTO})$

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)
1	13	4522.1				
2	16	6279.5	-3	-1757.4	1.6841	0.22

O modelo com a variável preditora não foi melhor para explicar a variável resposta, não sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p = 0.22$).

3. Experimento 2 – Modelos para a produção

3.1 Comparação de modelos de GLM para o peso das abobrinhas

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: PESO ~ TRATAMENTO + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

Modelo 2: PESO ~ 1 + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)
1	15	350997				
2	18	389264	-3	-38268	0.5451	0.66

O modelo com a variável preditora não foi melhor para explicar a variável resposta, não sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p = 0.66$).

3.2 Comparação de modelos de GLM para o comprimento das abobrinhas

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: COMPRIMENTO ~ TRATAMENTO + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

Modelo 2: COMPRIMENTO ~ 1 + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)
1	15	71.086				
2	18	83.777	-3	-12.691	0.8926	0.47

O modelo com a variável preditora não foi melhor para explicar a variável resposta, não sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p = 0.47$).

3.3 Comparação de modelos de GLM para o diâmetro maior das abobrinhas

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: DIAMETRO ~ TRATAMENTO + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

Modelo 2: DIAMETRO ~ 1 + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)
1	15	5.5643				
2	18	6.3406	-3	-0.77628	0.6976	0.57

O modelo com a variável preditora não foi melhor para explicar a variável resposta, não sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p = 0.57$).

3.4 Comparação de modelos de GLM para o número de vagens do feijoeiro

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: NUMERO ~ TRATAMENTO + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

Modelo 2: NUMERO ~ 1 + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	Pr (>Chisq)
1	15	187.88			
2	18	208.28	-3	-20.402	0.0001401 ***

O modelo com a variável preditora foi melhor para explicar a variável resposta, sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p \leq 0.06$).

3.5 Comparação de modelos de GLM para o peso das vagens do feijoeiro

Modelo com variável preditora vs. modelo nulo:

Modelo 1: PESO.VAG ~ TRATAMENTO + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

Modelo 2: PESO.VAG ~ 1 + (1 / BLOCO : TRATAMENTO)

	Resid.Df	Resid.Dev	Df	Deviance	F	Pr (>Chisq)
1	15	1382.9				
2	18	1716.3	-3	-333.41	1.2055	0.34

O modelo com a variável preditora não foi melhor para explicar a variável resposta, não sendo significativamente diferente do modelo nulo ($p = 0.34$).

Apêndice 3: matrizes de contraste para os modelos de GLM

Experimento 1 – Número de flores e atributos florais

Feijoeiro como planta focal

	[1]	[2]
FAb	-1	-1
FF	-1	1
FV	2	0

Abobrinha como planta focal

	[1]	[2]
AbAb	-1	-1
AbF	-1	1
AbV	2	0

Experimento 2 – Visitação

Visitação total

	[1]	[2]	[3]	[4]
Tratamento 2	3	3	0	0
Tratamento 1	3	0	3	0
Tratamento 4	-2	-1	-1	-1
Tratamento 3	-2	-1	-1	2
Tratamento 5	-2	-1	-1	-1

Visitação só do feijoeiro

	[1]	[2]	[3]
Tratamento 1	3	0	3
Tratamento 4	-1	1	1
Tratamento 3	-1	-2	0
Tratamento 5	-1	1	-1

Visitação só da abobrinha

	[1]	[2]	[3]
Tratamento 2	3	0	3
Tratamento 4	-1	1	1
Tratamento 3	-1	-2	0
Tratamento 5	-1	1	-1

Experimento 2 – Produção

Frutos da abobrinha

	Tratamento 4	Tratamento 3	Tratamento 5
Tratamento 2	0	0	0
Tratamento 4	1	0	0
Tratamento 3	0	1	0
Tratamento 5	0	0	1

Frutos do feijoeiro

	Tratamento 4	Tratamento 3	Tratamento 5
Tratamento 1	0	0	0
Tratamento 4	1	0	0
Tratamento 3	0	1	0
Tratamento 5	0	0	1

ANEXOS**Anexo 1: declaração de direitos autorais****Declaração**

As cópias de artigos de minha autoria ou de minha co-autoria, já publicados ou submetidos para publicação em revistas científicas ou anais de congressos sujeitos a arbitragem, que constam da minha Dissertação/Tese de Mestrado/Doutorado, intitulada **"Efeitos do plantio consociado de abobrinha-de-tronco (*Cucurbita pepo* L.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre suas características florais, atração de visitantes e produção de frutos**, não infringem os dispositivos da Lei n.º 9.610/98, nem o direito autoral de qualquer editora.

Campinas, 04/03/2020

Assinatura : _____

Nome do(a) autor(a): **Gabriela B. P. Rabeschini**

RG n.º 40.345.861-4

Assinatura : _____

Nome do(a) orientador(a): **Martín Pareja**

RG n.º **24563761-P**

Anexo 2: declaração de bioética e biossegurança

COORDENADORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
INSTITUTO DE BIOLOGIA
Universidade Estadual de Campinas
Caixa Postal 6109, 13083-970, Campinas, SP, Brasil
Fone (19) 3521-6378, email: cpgib@unicamp.br

**DECLARAÇÃO**

Em observância ao §5º do Artigo 1º da Informação CCPG-UNICAMP/001/15, referente a Bioética e Biossegurança, declaro que o conteúdo de minha Dissertação de Mestrado, intitulada "*Efeitos do plantio consociado de abobrinha-de-tronco (Cucurbita pepo L.) e feijão-comum (Phaseolus vulgaris L.) sobre suas características florais, atração de visitantes e produção de frutos*", desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ecologia do Instituto de Biologia da Unicamp, não versa sobre pesquisa envolvendo seres humanos, animais ou temas afetos a Biossegurança.

Assinatura: _____

Nome do(a) aluno(a): Gabriela B. P. Rabeschini

Assinatura: _____

Nome do(a) orientador(a): Martín Pareja

Data: 04/03/2020