

O valor econômico e a importância do serviço de polinização na Região Metropolitana de Curitiba

The economic value and relevance of pollination service on Curitiba Metropolitan Region

Ágatha Cardoso Hoffmann^{1,2}

Rodrigo Barbosa Gonçalves^{1,3}

Received 11/23/2022 | Accepted 03/23/2023 | Published 03/24/2023 | Edited by Luiz R. R. Faria

Resumo

Grande parte das culturas agrícolas necessita dos serviços ecossistêmicos de polinização realizados por diversos organismos, em especial as abelhas. No presente estudo são estimados os Valores Econômicos dos Serviços de Polinização (VESP) nos cultivos de municípios da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), a partir de dados de produção anual obtidos pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do estado do Paraná (2016-2020) e do coeficiente de dependência de cada cultivo pela polinização animal. O VESP para a RMC foi estimado em média em R\$382,4 milhões/ano (valores de 2020), sendo a maior parte deste valor oriunda do cultivo da soja, que correspondeu a R\$230 milhões. Além da soja, os cultivos de tomate, maçã, pepino, morango, abóbora e feijão mostraram elevados montantes de VESP em ordem decrescente. Os municípios com maiores VESP foram: Lapa, que obteve uma estimativa de R\$85 milhões/ano, seguido por Araucária, com R\$39 milhões/ano, e Rio Negro, com R\$35 milhões/ano. Ao excluir os dados do cultivo da soja, os municípios com maiores VESP foram Rio Negro, com R\$24 milhões/ano, Cerro Azul, com R\$21 milhões/ano, e Lapa, com R\$20 milhões/ano. Com relação aos cultivos mais dependentes de polinizadores, os municípios com maior VESP foram Cerro Azul, R\$6 milhões/ano, Colombo, com R\$5 milhões/ano, e Tijucas do Sul, com R\$5 milhões/ano também. Se, por um lado, o VESP da soja não se mostrou influenciado pela área de vegetação natural em cada município, o VESP dos demais cultivos é impactado pela área natural circundante, indicando que as áreas verdes são importantes repositórios de polinizadores para esses cultivos. Os dados apontam para a importância econômica regional do serviço de polinização, o qual deve ser considerado na elaboração de políticas públicas de produção de alimentos e de conservação da natureza.

Palavras-chave: Agricultura sustentável, Conservação, Economia, Polinizadores, Valoração Agrícola

1. Laboratório de Abelhas, Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná, Cx. Postal 19020, 81531-980, Curitiba, PR, Brazil. 2. E-mail: agthahoff@gmail.com. 3. E-mail: goncalvesrb@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5623-0938>.

Abstract

Most of the world crops requires the pollination ecosystem services provided by several organisms, primarily bees. In this study we estimated the Value of Animal Pollination Services (VESP) for the municipalities of the Metropolitan Region of Curitiba (RMC), Brazil, based on annual production values obtained from the Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná (2016-2020) and on the coefficient of crop dependence by animal pollination. The VESP for the RMC was estimated at US\$ 73 millions/year (2020; US\$ 1 = R\$ 5.20), mainly from soybean crop which corresponded to US\$ 44 millions/year. Apart from soybean, the tomatoes, apples, cucumbers, strawberries, pumpkin and beans crops, in descending order, showed the highest amounts from the VESP. The municipalities with higher VESP values were Lapa (US\$ 16 million/year), followed by Araucária (US\$ 7.5 million/year), and Rio Negro (US\$ 6.7 million/year). When soybean is excluded, the cities with higher VESP were Rio Negro (US\$ 4.6 million/year), Cerro Azul (US\$ 4 million/year), and Lapa (US\$ 3.8 million/year). Regarding crops with essential dependence on pollinators, higher values were obtained for Cerro Azul, Colombo, and Tijucas do Sul with around US\$ 1 million/year. The amount of natural vegetation areas within the municipalities was not related to soybean VESP, while other crops values were positively influenced by natural vegetation. The data obtained here indicates to the regional economic importance of the pollination service, which should be considered in the elaboration of public policies for food production and nature conservation.

Keywords: Crop valuation, Conservation, Economy, Pollinators, Sustainable agriculture

Introdução

A conservação do meio ambiente demanda a necessidade de a sociedade entender a importância direta e econômica da biodiversidade para si. A polinização é um serviço ecossistêmico que nos assegura um aumento de produção e qualidade de grande parte dos cultivos agrícolas existentes (Giannini et al., 2015). Por exemplo, as abelhas tendem a aumentar o número, peso, tamanho de frutos e sementes em todas as classes de dependência de cultivos pela polinização, de acordo com a revisão apresentada de Junqueira et al. (2022). Neste sentido, diversos esforços têm sido realizados ao redor do mundo para estimar o valor da polinização em diferentes escalas geográficas. Para o planeta, os valores estimados flutuam entre US\$ 195 bilhões/ano e US\$ 387 bilhões/ano (Bauer e Wing, 2016; Lautenbach et al., 2012, respectivamente). Na América Latina, o estudo recente de Basualdo et al. (2022) estimou que o valor dos serviços seria de US\$ 23 bilhões/ano. Já o serviço de polinização para o Brasil foi estimado em US\$ 12 bilhões/ano (Giannini et al., 2015). Um estudo feito na Amazônia brasileira aponta que US\$ 983 milhões/ano da produção (Sabino et al., 2022) vem dos serviços ecossistêmicos de polinização, enquanto que no Centro-Oeste brasileiro o valor seria de R\$ 7 bilhões/ano (Barbosa et al. 2021). Estes dados demonstram a importância do serviço da polinização para a produção de alimentos e economia em escalas global e regional.

A ocorrência natural de polinizadores é dependente da conservação da vegetação nativa (Garibaldi et al., 2021b). A mudança de uso do solo leva diretamente ao declínio de espécies e também potencializa outros fatores, como o aquecimento global e surgimento de novos patógenos. O uso profilático e indiscriminado de agrotóxicos, modificações genéticas nas lavouras e a expansão de campos para grandes monoculturas, também compõem a lista das causas de perdas de biodiversidade e, consequentemente, de polinizadores (Dicks et al., 2016; Faita et al., 2021). É muito importante a sensibilização sobre esse tema entre produtores agrícolas, pois o serviço de polinização gera oportunidades de promover uma agricultura mais sustentável e também mais rentável a longo prazo (De Groot et al., 2010; Bennet et al., 2015; Wolowski et al., 2018). As áreas convencionais e intensivas de monoculturas podem fornecer um rendimento alto, mas de curto prazo, devido ao rápido esgotamento de recursos naturais e processos aliados de empobrecimento ecossistêmicos (Bommarco et al., 2013).

Devido à carência de estimativas regionais, que visem a entender o impacto do serviço de polinização em uma escala menor de governança para a criação de políticas públicas objetivas em níveis estaduais e municipais (Porto et al., 2020), o objetivo deste estudo é estimar os Valores Econômicos dos Serviços de

Polinização (VESP) para a Região Metropolitana de Curitiba, uma área sob alta demanda de polinização de culturas (Bergamo et al., 2021). Essa valoração é realizada utilizando o produto do valor anual de produção dos cultivos por um coeficiente de dependência de polinizadores. Buscamos também verificar se as áreas de vegetação natural estão relacionadas com o VESP nos municípios da região. Além de identificar quais municípios dependem mais dos serviços de polinização, buscamos prover recomendações para o manejo dos polinizadores nativos a fim de garantir o aumento do valor da produção na região e uma agricultura mais sustentável.

Material & Métodos

A Região Metropolitana de Curitiba (RMC) é composta por 29 municípios (Figura 1), incluindo a capital. Possui mais de 3,7 milhões de habitantes (IBGE, 2021), sendo a nona maior Região Metropolitana do Brasil (IBGE, 2021). O núcleo urbano central da

RMC comporta a mancha urbana com a maior parte da população, com crescimento populacional mais recente em cidades ao redor de Curitiba (Bittencourt, 2003). Ainda assim, a área destinada para a agricultura se estende por aproximadamente 650.000 ha, o que corresponde a 42% da área total da RMC (MapBiomas, 2022).

Para selecionar os valores de produção dos cultivos, foram utilizados os dados fornecidos pela Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB, <https://www.agricultura.pr.gov.br/vbp>), em consonância com as listas de cultivos dependentes de polinizadores apresentadas por Klein et al. (2007), Giannini et al. (2015) e Wolowski et al. (2019). De um total de 30 cultivos considerados como dependentes da polinização e com dados de produção disponibilizados pela SEAB, foram excluídos os cultivos de mamão, acerola, figo e framboesa, os quais apresentaram baixa produção e falta de dados para o período observado. Os seguintes cultivos foram incluídos: Abacate, Abóbora Cabotiá, Abóbora Moranga, Abóbora Seca, Ameixa, Amora, Atemoia,

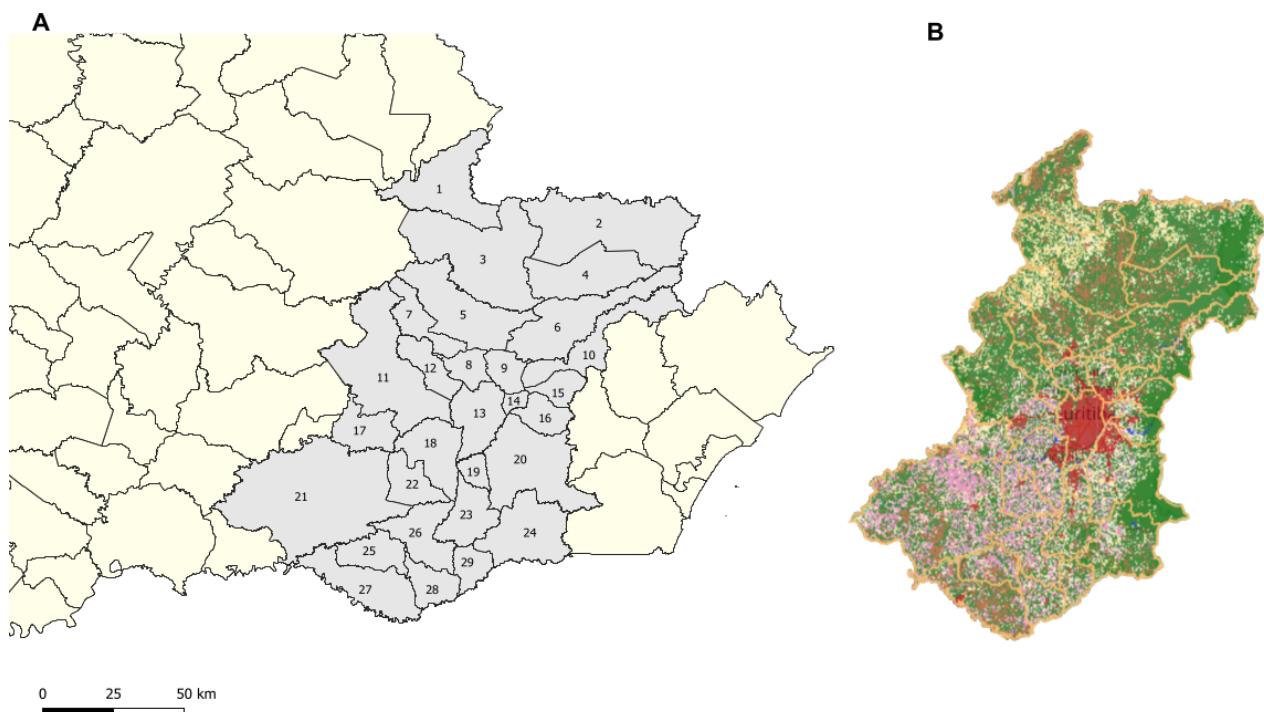


Figura 1. Região Metropolitana de Curitiba (RMC). A) Municípios da RMC, 1. Doutor Ulysses, 2. Adrianópolis, 3. Cerro Azul, 4. Tunas do Paraná, 5. Rio Branco do Sul, 6. Bocaiúva do Sul, 7. Itaperuçu, 8. Almirante Tamandaré, 9. Colombo, 10. Campina Grande do Sul, 11. Campo Largo, 12. Campo Magro, 13. Curitiba, 14. Pinhais, 15. Quatro Barras, 16. Piraquara, 17. Balsa Nova, 18. Araucária, 19. Fazenda Rio Grande, 20. São José dos Pinhais, 21. Lapa, 22. Contenda, 23. Mandirituba, 24. Tijucas do Sul, 25. Campo do Tenente, 26. Quitandinha, 27. Rio Negro, 28. Piê, 29. Agudos do Sul; B) Uso do solo na RMC de acordo com a categorização do MapBiomas.

Berinjela, Caqui, Ervilha, Feijão, Goiaba, Laranja, Limão, Maçã, Maracujá, Melancia, Morango, Palmito, Pepino, Pêra, Pêssego, Pimentão, Soja, Tangerina e Tomate. O período selecionado foi de cinco anos, entre os anos de 2016 e 2020. Para cada cultivo e município da RMC foi extraído da base de dados da SEAB o Valor da Produção Anual (VPA), sumariado em reais (R\$) por ano. Além disso, a produção anual de mel e própolis foi também extraída da mesma base de dados para comparação.

Para determinar o coeficiente de Dependência de Polinização (DP) de cada cultivo, foram utilizados os dados apresentados por Klein et al. (2007), Giannini et al. (2015) e Wolowski et al. (2019), onde para cada cultivo é apresentado um nível de dependência. As classificações adotadas foram como essencial (coeficiente 0,95, DP entre 90%–100%), grande (coeficiente 0,65, DP entre 40%–90%), moderada (coeficiente 0,25, DP entre 10%–40%) e baixa (coeficiente 0,05, DP entre 0,1%–10%). Esses níveis representam o quanto do valor da produção de cada cultura dependem da ação de polinizadores.

O Valor Econômico do Serviço de Polinização de cada cultivo foi calculado a partir da multiplicação do Valor da Produção Anual pelo coeficiente de Dependência de Polinização (VESP = VPA x DP). Os valores obtidos foram somados entre cultivos e entre municípios para também somar todos os dados para a RMC. A fim de corrigir a inflação entre os anos, foi utilizado o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) de acordo com a publicação pelo IBGE para o período. Sendo assim, para cada ano o VESP foi multiplicado pelo índice acumulado no período até 2020. Os principais valores são também apresentados em dólar na cotação de dezembro de 2020 (US\$ 1 = R\$ 5,20). Os dados de VPA e VESP são

apresentados considerando todos os cultivos (VPA total e VESP total), apenas o cultivo de soja (VPA soja, VESP soja), e os demais cultivos excetuando-se a soja (VPA cultivos, VESP cultivos).

Dados de uso do solo foram obtidos a partir do MapBiomas Brasil (<https://mapbiomas.org/>), selecionando para cada município a área de cultivo agrícola (Agricultura), área de cultivo de soja e área de vegetação natural (Floresta e não florestal). Para verificar a relação das áreas agrícolas e de vegetação natural sobre o VPA e o VESP para os municípios foram realizadas análises de regressão simples utilizando o programa R (R Core Team, 2022), buscando-se detectar relações entre a cobertura vegetal natural e os valores de produção e polinização. Os mapas da RMC foram confeccionados com o programa QGIS (<http://www.qgis.org>).

Resultados

O Valor Econômico dos Serviços de Polinização para a Região Metropolitana de Curitiba foi estimado em R\$ 382 milhões/ano (Tabela 1) em valores de 2020, o que equivale a US\$ 73 milhões/ano. Este VESP corresponde a 13% do VPA anual para a RMC, que foi em média de R\$ 3,5 bilhões/ano (US\$ 654 milhões/ano). Em comparação, a produção anual de mel e própolis média para o período foi de R\$ 8,4 milhões/ano (US\$ 1,6 milhão/ano). Nota-se que a variação do VPA e do VESP entre os anos de 2016 e 2020 foi pequena, não ultrapassando 9,5% do valor médio anual.

Examinando-se os cultivos, o maior VESP foi estimado para a soja, somando R\$ 230 milhões, mais do que os VESP dos demais cultivos somados (Fig.

Tabela 1. Valor de Produção Anual (VPA Total), Valor Econômico dos Serviços de Polinização (VESP Total), e Valor de produção de mel e própolis para a Região Metropolitana de Curitiba entre os anos de 2016 e 2020. Lista de cultivos apresentada no Material e Métodos.

Ano	VPA Total	VESP Total	Mel e Própolis
2016	R\$ 3.750.953.938	R\$ 401.359.707	R\$ 7.111.092
2017	R\$ 3.310.837.452	R\$ 359.203.590	R\$ 9.516.763
2018	R\$ 3.136.518.233	R\$ 368.851.705	R\$ 8.510.887
2019	R\$ 3.494.297.289	R\$ 380.523.461	R\$ 9.267.327
2020	R\$ 3.652.486.328	R\$ 402.534.634	R\$ 7.829.505
Média	R\$ 3.469.018.648	R\$ 382.494.619	R\$ 8.447.115

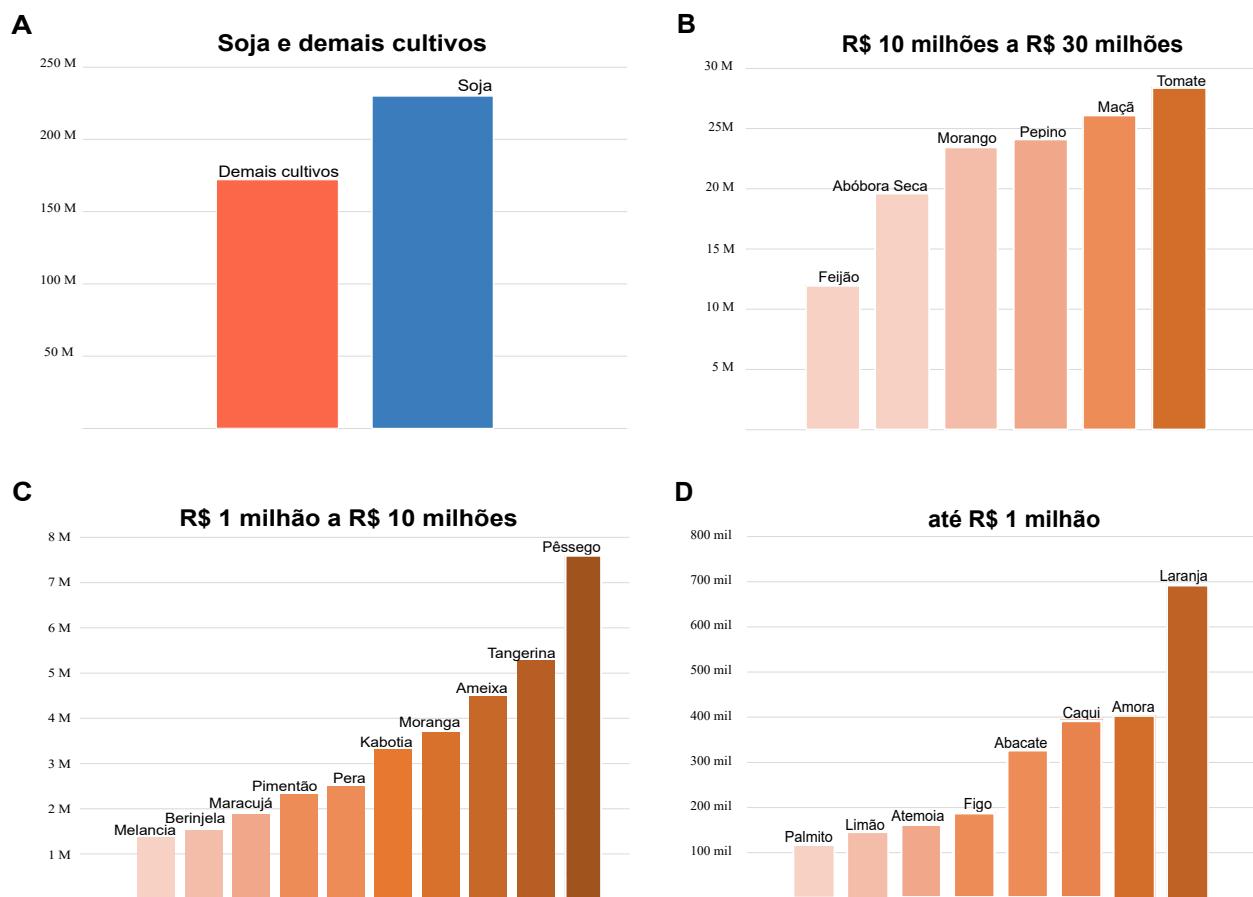


Figura 2. Valor Econômico dos Serviços de Polinização para os cultivos da Região Metropolitana de Curitiba. A) Soja e demais cultivos; B) Cultivos com VESP até R\$ 30 milhões; C) Cultivos com VESP até R\$ 10 milhões; D) Cultivos com VESP até 1 milhão.

2A). Apesar de ser classificado como de moderada dependência, a soja é o cultivo mais produzido na RMC, ocupando 134 mil ha, o que corresponde a 20% da área destinada à agricultura na região, e o seu Valor de Produção Anual é estimado em R\$ 380 milhões. O VESP dos demais cultivos, excetuando-se a soja, foi de R\$ 178 milhões/ano a partir do VPA de R\$ 2,8 bilhões/ano. Considerando a interação dos diferentes níveis de dependência e do VPA (Fig. 2 B-C), o VESP entre os diferentes cultivos variou entre R\$100 mil e R\$ 30 milhões de reais por ano, sendo os cultivos com maiores valores: tomate, maçã, pepino, morango, abóbora e feijão, em ordem decrescente (Fig. 2). No caso particular das abóboras, três tipos diferentes foram discriminados pela SEAB, cuja soma posiciona o VESP próximo daquela do cultivo da maçã.

Os municípios com maiores valores de VESP foram Lapa, que obteve uma estimativa de R\$85 milhões/ano, seguida por Araucária com R\$39

milhões/ano e por Rio Negro com R\$35 milhões/ano (Tabela 2, Fig. 3). Estes municípios apresentaram uma grande produção de soja, o que influenciou na sua colocação. Considerando-se apenas os demais cultivos, isto é, excetuando-se a soja, os maiores VESP foram obtidos para os municípios de Rio Negro, com R\$24 milhões/ano, Cerro Azul, com R\$21 milhões/ano, e Lapa, com R\$20 milhões/ano (Tabela 2, Fig. 3C). Também indicamos as cidades que possuem maior valores a partir da seleção de cultivos classificados com dependência essencial de polinizadores, como Cerro Azul, com VESP de R\$6 milhões/ano, Colombo, com R\$5 milhões/ano, e Tijucas do Sul, com R\$5 milhões/ano.

A extensão na qual os produtos agrícolas são plantados na RMC é de aproximadamente 560.440 ha, sendo que nesta área contemplam-se plantações dependentes ou não da polinização. Como esperado, o VPA e, indiretamente, o VESP são relacionados

Tabela 2. Dez municípios da Região Metropolitana de Curitiba com os maiores Valores Econômicos dos Serviços de Polinização de todos os cultivos (VESP total), da soja (VESP soja) e demais cultivos exceto soja (VESP cultivos).

Município	VESP total	VESP soja	VESP cultivos
Lapa	R\$ 85.462.951	R\$ 65.080.251	R\$ 20.382.699
Araucária	R\$ 38.914.564	R\$ 18.807.161	R\$ 20.107.402
Rio Negro	R\$ 35.247.215	R\$ 11.361.772	R\$ 23.885.442
Campo Largo	R\$ 22.306.185	R\$ 11.074.739	R\$ 11.231.445
Cerro Azul	R\$ 22.172.171	R\$ 689.098	R\$ 21.483.072
Campo do Tenente	R\$ 21.727.340	R\$ 11.645.871	R\$ 10.081.468
São José dos Pinhais	R\$ 18.239.594	R\$ 1.756.302	R\$ 16.483.291
Campo Magro	R\$ 14.122.797	R\$ 7.121.585	R\$ 7.001.211
Colombo	R\$ 12.763.529	-	R\$ 12.763.529
Rio Branco do Sul	R\$ 11.306.911	R\$ 443.513	R\$ 10.863.397

com a área de cultivo agrícola. Quanto à cobertura de vegetação natural, esta influenciou apenas o Valor Econômico dos Serviços de Polinização dos demais cultivos, isto é, excluindo-se a soja (Fig. 4).

Discussão

Os Valores Econômicos dos Serviços de Polinização para a RMC foram de R\$ 382 milhões/ano. Essa estimativa corresponde a 13% do valor da produção agrícola total dos cultivos com qualquer grau de dependência. Uma comparação interessante é que o VESP foi 45 vezes maior do que os valores de produção de mel e outros derivados (R\$ 8,4 milhões/ano), um contraste que aponta para uma importância muito maior desses organismos como polinizadores do que como fornecedores diretos de produtos apícolas. Esta comparação demonstra a magnitude

da importância econômica das abelhas como polinizadores. Com a valoração econômica podemos então traçar estratégias de manejo de polinizadores beneficiando a lucratividade e a biodiversidade local, em uma agricultura sustentável. São três formas principais de manejo sugeridos: a conservação ou restauração de áreas de vegetação nativa; o manejo agrícola com redução no uso de agroquímicos e monoculturas; e a oferta de locais de nidificação para os polinizadores das culturas a serem beneficiadas (da Silva et al., 2021). As ações passam por entender as necessidades do serviço de polinização de cada cultivo, mas também de políticas coordenadas, visto que cada município apresenta uma configuração particular de culturas e uso do solo.

O cultivo da soja é um dos cultivos mais importantes no mundo em termos de valor econômico, sendo que o Brasil é o maior produtor mundial (Safra 2020/2021), e o estado do Paraná é o terceiro maior

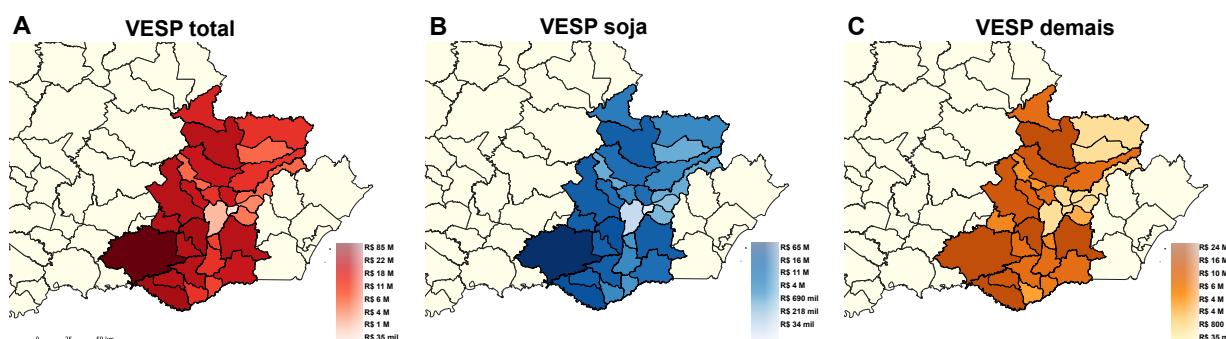


Figura 3. Valores Econômicos dos Serviços de Polinização para os municípios da Região Metropolitana de Curitiba. A) todos os cultivos (VESP total); B) soja (VESP soja); C) demais cultivos exceto soja (VESP cultivos).

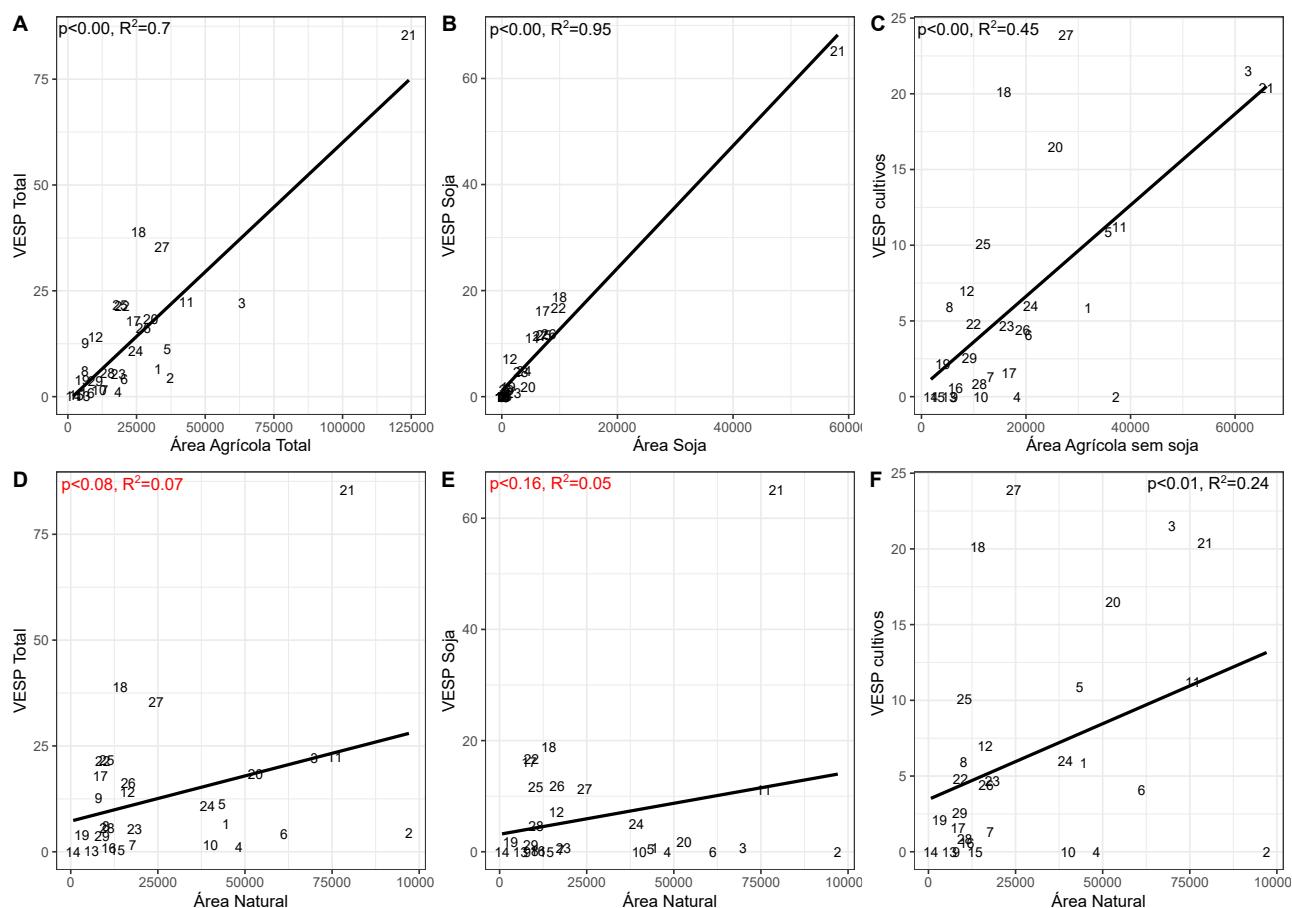


Figura 4. Regressão entre Valores Econômicos dos Serviços de Polinização e a área agrícola e área de vegetação natural de município da Região Metropolitana de Curitiba. A) VESP total e Área Agrícola Total; B) VESP soja e Área Agrícola de soja; C) VESP dos demais cultivos e sua respectiva Área Agrícola; D) VESP total e Área Natural; E) VESP soja e Área Natural; F) VESP dos demais cultivos e Área Natural. Números dos municípios de acordo com a Figura 1.

produtor nacional (Embrapa, 2020). Na RMC, a soja se mostrou como o cultivo com maiores valores de VESP, inclusive superior aos valores dos demais cultivos somados. Este valor se deve à grande extensão de área plantada e consequente elevado valor de produção. A flor da soja pode se autopolinizar e os produtores não reconhecem a relevância da polinização por abelhas. Contudo, sabe-se que algumas flores têm suas partes masculinas estéreis, necessitando receber pólen de outras flores via polinização cruzada (Blettler et al., 2018), o que aumenta a produção de grãos. Recentemente, Garibaldi et al. (2021a) compilaram 23 ensaios analisando a exposição das flores da soja às abelhas, indicando que a maior parte dos estudos encontrou aumento na produtividade com a presença de polinizadores. Outro argumento importante é que a dependência, apesar de parecer baixa ($DP = 0,25$), pode gerar ganhos superiores aqueles advindos

de outros fatores de manejo, como ganhos com o uso de agroquímicos (Garibaldi et al., 2021a). Além da manutenção de áreas naturais para prover polinizadores, o manejo de *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 tem sido empregado para a polinização da soja em algumas regiões do mundo (Blettler et al., 2018).

Não foi observada a influência da área de vegetação natural no VESP da soja para os municípios estudados. A soja é geralmente cultivada em grandes áreas de monocultura, altamente impactadas pelo desmatamento, o que promove o declínio de espécies polinizadoras (Fearnside, 2001). A monocultura de grande escala é importante do ponto de vista do agronegócio, commodities e exportação, mas não necessariamente se compromete com a segurança alimentar brasileira (Pompeia & Schneider, 2021). Ainda, os impactos do déficit de polinizadores devem atingir mais os agricultores familiares do que

grandes produtores (Novais et al., 2016). Podemos inferir então que falta da relação do VESP soja com áreas naturais possa estar primariamente ligada às extensas áreas agrícolas dos municípios produtores de soja e secundariamente com a importância das áreas verdes como estoques de polinizadores. Neste sentido, a restauração de áreas naturais tem espaço para potencializar o valor de produção anual da soja na RMC, bem como prover polinizadores para outros cultivos adjacentes, em um pensamento mais coletivo. No caso das demais culturas foi detectada a influência das áreas naturais no serviço de polinização, indicando que estes cultivos mais dependentes de polinizadores já devem se beneficiar com áreas verdes no seu entorno, como observado por Viana (2012). Reforçamos então que áreas de preservação, mesmo próximas a monoculturas, podem garantir a polinização efetiva de cultivos no seu entorno, beneficiando os aspectos monetários e de diversidade biológica (Bergamo et al., 2021).

O tomate foi o segundo cultivo com maior VESP, atingindo quase 30 milhões de reais anuais. O tomateiro é autocompatível, contudo suas anteras são poricidas e a planta depende de abelhas capazes de realizar a vibração nas anteras para liberar o pólen e realizar a polinização efetiva (DP=0,65). Na análise da literatura de Cooley & Vallejo-Marín (2021) foi encontrado que a polinização aumenta o tamanho dos frutos de forma significativa. As abelhas brasileiras mais frequentemente relatadas realizando a polinização vibrátil nesta solanácea são espécies de *Augochloropsis*, *Bombus*, *Exomalopsis*, *Melipona*, *Oxaea* e *Pseudaugochlora* (Gaglione et al., 2018). Ainda que *Apis mellifera* e muitos Meliponini não sejam capazes de vibrar as anteras, já foi observado que o comportamento de forrageio da *A. mellifera* pode contribuir na polinização do tomate (Vinícius-Silva et al., 2017). Como a maior parte dos polinizadores do tomate não apresenta técnicas de manejo, recomenda-se a manutenção de áreas naturais para captar polinizadores. No caso de *Bombus*, a espécie *B. pauloensis* Friese, 1913, que ocorre naturalmente na região de Curitiba, tem sido investigada quanto à viabilidade de criação no Uruguai (Salvarrey et al., 2013) e Argentina, mas não ainda no Brasil. Por fim, o manejo de colônias de *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836 pode ser avaliado para a polinização do tomateiro na RMC.

A maçã é uma das principais frutas consumidas mundialmente (Pardo & Borges, 2020) e, no Brasil, é cultivada em regiões de maior elevação na região sul. A maior parte dos cultivares da macieira são autoestéreis e dependentes de polinizadores para realizar a polinização cruzada (DP=0,65) (Arioli et al., 2015). Maleicultores têm a prática de manejar colmeias de *Apis* durante a floração, inclusive realizando o aluguel com apicultores (Rosa et al. 2018). Por outro lado, alguns estudos têm demonstrado que polinizadores nativos são abundantes durante a floração e podem ser polinizadores tanto ou mais efetivos do que *Apis* (Ortolan & Laroche, 1996; Pardo & Borges, 2020), indicando que a conservação dos estoques naturais da fauna de abelhas é benéfica também para essa cultura.

As cucurbitáceas, pepino e abóboras, estiveram entre os cultivos com maiores valores de VESP na região. O pepino possui flores femininas ou masculinas separadas na mesma planta e é dependente de autopolinização ou polinização cruzada (DP=0,65). Muitos híbridos são partenocápicos, com frutos se desenvolvendo sem formação de sementes e sem a necessidade de polinizadores, porém a frutificação é maior quando ocorre a polinização por abelhas (Nicodemo et al., 2013). Abelhas sem ferrão em casas de vegetação podem aumentar o número, tamanho e peso dos pepinos em comparação a sistema sem polinizadores (dos Santos et al., 2018). Além do manejo de *Apis* e Meliponini, áreas naturais podem oferecer espécies de *Bombus* e *Peponapis fervens* (Smith, 1879) para a polinização do pepino. Existem várias espécies e nomes populares para as abóboras (*Cucurbita*) cultivadas no Brasil (Heiden et al., 2007). Suas flores são monóicas e autocompatíveis, com as abelhas figurando como os principais polinizadores (DP=0,95) (Hurd et al., 2001). As espécies associadas na RMC às abóboras são *Apis mellifera*, *Bombus* spp., *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793), além de *Peponapis fervens* (dados não publicados). Essa última espécie é solitária e especializada na coleta de recursos em abóboras, tendo importância fundamental na polinização da aboboreira na região (Weiss & Melo, 2008).

A produção do morango é muito influenciada pela polinização, por ser um fruto composto, é necessária a visita abundante e frequente de polinizadores (Wittter et al., 2014; Malagodi-Braga, 2018). Apesar disso o seu DP tem sido classificado como 0,25 (Klein et al.,

2007), indicando que os coeficientes de polinização precisam ser estimados para diferentes contextos geográficos e de cultivares, como discutimos abaixo. Os polinizadores registrados em estudos no Paraná incluem *Apis mellifera*, espécies de *Plebeia* e de *Dialictus* (Scheid et al., 2020), sendo que na RMC têm sido observados mais comumente *Apis* como visitantes do morangueiro. No caso particular de cultivo em estufas fechadas é recomendado o manejo de espécies de abelhas durante a floração, sendo as mirins (*Plebeia* spp.) e a jataí, *Tetragonisca fiebrigi* (Schwarz, 1938), as mais recomendadas para a RMC.

O feijão, assim como outras fabáceas, é fonte de proteínas e outros nutrientes sendo um cultivo muito importante para segurança alimentar mundial (Los et al., 2018), em especial no Brasil, por ser um alimento importante inclusive do ponto de vista cultural. Apesar do feijão ser uma espécie parcialmente autogâmica (DP=0,05), autores sugerem que a polinização cruzada pode promover um aumento na produção de sementes, além de redução no aborto de vagens (e.g. Franceschinelli et al., 2021). Abelhas maiores (> 1 cm) costumam ser visitantes legítimos, uma vez que conseguem abaixar as asas e quilha das flores e expor as partes reprodutivas, enquanto *Apis mellifera* e alguns Meliponini podem agir pilhando néctar sem realização a polinização efetiva (Franceschinelli et al., 2021). Os visitantes mais comuns para o feijão na RMC são as espécies *Bombus morio* (Swederus, 1787) e *B. pauloensis*, com *Xylocopa* spp. sendo também comum.

Cada município necessita de um plano estratégico de preservação ambiental e manejo de polinizadores que melhor se adapte às necessidades locais, como a diversidade de culturas e considerando também o déficit vegetacional (Bergamo et al., 2021). Cidades como Cerro Azul, Colombo, Tijucas do Sul e Campo Largo se mostraram as mais dependentes dos serviços de polinização, isto é, com os maiores valores na produção de culturas com dependência essencial. Para estas condições é de extrema relevância a preservação de áreas naturais aliadas à identificação e possível manejo de polinizadores. Para cultivos cujos polinizadores sejam manejáveis, como no caso da macieira, a manutenção de colônias ou o aluguel das mesmas é recomendado (Rosa et al., 2017). No caso de cultivos com polinizadores sem técnicas de manejo, como no caso do tomate e do feijão, a preservação

e o uso de sistemas agroecológicos permanecem como alternativas. Para municípios onde existe uma produção de soja maior, como Lapa, Araucária e Rio Negro faz-se necessário uma ação de conscientização da relevância da polinização biótica. Como já foi discutido, existe evidência que polinizadores aumentam a produtividade da soja, porém o déficit de polinizadores associado à prática da agricultura intensiva reduz a polinização e, consequentemente, os ganhos (Garibaldi et al., 2021a). As ações para todos os casos envolvem a restauração de ambientes naturais e manejo que permita uma diversidade maior de flores, como canteiros e manutenção de plantas ruderáis atrativas (Albrecht et al., 2020). O manejo químico menos agressivo é recomendado em qualquer cenário (Tilman et al. 2002), em especial frente ao papel do Brasil como um dos grandes exportadores de alimentos, sendo, todavia, um dos grandes consumidores mundiais de pesticidas (Braga et al. 2020).

É importante reconhecer que as estimativas apresentadas aqui são aproximações subestimadas sobre o valor dos polinizadores para as culturas e os municípios. O grau de dependência baseia-se em compilações e estimativas generalizadas (Klein et al., 2007; Gianinni et al., 2015; Wolowski et al., 2019), uma vez que a dependência dos cultivos por polinizadores não é conhecida em escala local. Estudos de valoração necessitam de experimentos de exclusão de polinizadores e medições de taxas de polinização, o que é extremamente custoso em termos de tempo, orçamento, e mão de obra especializada. Um outro ponto importante a ser considerado é o conhecimento da fauna local de polinizadores e a capacidade de manejo de espécies para aumentar a produtividade nas culturas dependentes. No caso do município de Curitiba são reconhecidas hoje 369 espécies de abelhas (Gonçalves et al., 2021), mas este número pode chegar a até 500 espécies para a RMC como um todo. Essa diversidade de espécies se traduz também em uma diversidade de tamanhos, comportamentos, abundâncias e padrões de fidelidade floral que podem ser úteis para a polinização de cultivos agrícolas (Junqueira et al., 2022). Desta forma, para reconhecer as espécies efetivamente polinizadoras são requeridos também estudos científicos. As espécies manejáveis que ocorrem em nossa região (*Apis* e Meliponini) não chegam a uma dúzia e, muitas vezes, não são

reconhecidas como polinizadoras efetivas de um certo cultivo (Junqueira et al., 2022), ou, então, o número de colônias manejadas não é o suficiente para garantir a polinização das culturas (Mashilingi et al., 2022). Nestes casos temos a dependência por espécies não manejáveis e os ambientes naturais que as proveem.

Sugerimos que a preservação de áreas naturais de nidificação e forrageio para todas as abelhas nativas garantirá a sustentabilidade da produção agrícola da Região Metropolitana de Curitiba a longo prazo. Os agricultores precisam adquirir uma forte consciência desta relevância (Hall & Martins, 2020), não só para aumentar a produção de suas lavouras, mas também para manter a sua colaboração com a preservação ambiental. A maior parte do solo que se encontra em uso está sob o controle dos agricultores, os quais apresentam um papel fundamental na conservação dos polinizadores (Tilman et al., 2002).

Agradecimentos

Somos gratos à Universidade Federal do Paraná e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica de ACH e pela bolsa de produtividade de RBG (processo 307671/2021-6). Agradecemos a Marcos Estevan Kraemer de Moura e Nicolle Veiga Sydney pela revisão do manuscrito e a Luiz R. R. Faria e dois revisores anônimos pelos comentários durante o processo de avaliação.

Conflitos de interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse que possam ter influenciado o conteúdo do manuscrito.

Referências

- Albrecht, M., Kleijn, D., Williams, N. M., Tschumi, M., Blaauw, B. R., Bommarco, R., ... & Sutter, L. (2020). The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 23(10), 1488-1498. <https://doi.org/10.1111/ele.13576>
- Arioli, C. J.; Rosa, J. M.; Botton, M. (2015). Mortalidade de *Apis mellifera* e manejo da polinização em mameira. 2015.
- Barbosa, F. R. G. M., de Oliveira Noronha, M., & Piacenti, C. A. (2021). Valoração econômica do serviço de polinização na agricultura no Centro-Oeste brasileiro (2010-2018). *Geosul*, 36(78), 310-332.
- Basualdo, M., Cavigliasso, P., de Avila Jr, R. S., Aldea-Sánchez, P., Correa-Benítez, A., Harms, J. M., ... & Salvarrey, S. (2022). Current status and economic value of insect-pollinated dependent crops in Latin America. *Ecological Economics*, 196, 107395. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107395>
- Bauer, D. M., & Wing, I. S. (2016). The macroeconomic cost of catastrophic pollinator declines. *Ecological Economics*, 126, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.01.011>
- Bennett, E. M., Cramer, W., Begossi, A., Cundill, G., Díaz, S., Egoh, B. N., ... & Woodward, G. (2015). Linking biodiversity, ecosystem services, and human well-being: three challenges for designing research for sustainability. *Current opinion in environmental sustainability*, 14, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.03.007>
- Bergamo, P. J., Wolowski, M., Tambosi, L. R., Garcia, E., Agostini, K., Garibaldi, L. A., ... & Freitas, L. (2021). Areas Requiring Restoration Efforts are a Complementary Opportunity to Support the Demand for Pollination Services in Brazil. *Environmental Science & Technology*, 55(17), 12043-12053. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02546>
- Blettler, D. C., Fagundez, G. A., & Caviglia, O. P. (2018). Contribution of honeybees to soybean yield. *Apidologie*, 49(1), 101-111. <https://doi.org/10.1007/s13592-017-0532-4>
- Bittencourt, J. T. (2003). Perfil produtivo e dinâmica espacial da Região Metropolitana de Curitiba: uma leitura a partir do desenvolvimento regional e das mudanças no padrão de produção. *Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD*, (105), 101-123.
- Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S.G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security *Trends in Ecology and Evolution*, 28: 230-238. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
- Braga, A. R. C., de Rosso, V. V., Harayashiki, C. A. Y., Jimenez, P. C., & Castro, Í. B. (2020). Global health risks from pesticide use in Brazil. *Nature Food*,

- 1(6), 312–314. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0100-3>
- Cooley, H., & Vallejo-Marín, M. (2021). Buzz-pollinated crops: a global review and meta-analysis of the effects of supplemental bee pollination in tomato. *Journal of Economic Entomology*, 114(2), 505-519. <https://doi.org/10.1093/jee/toab009>
- de Azevedo Costa, C. C., & de Oliveira, F. L. (2013). Polinização: serviços ecossistêmicos e o seu uso na agricultura. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 8(3), 1.
- de Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological complexity*, 7(3), 260-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
- Dicks, L. V., Viana, B., Bommarco, R., Brosi, B., Arizmendi, M. D. C., Cunningham, S. A., ... & Potts, S. G. (2016). Ten policies for pollinators. *Science*, 354(6315), 975-976. <https://doi.org/10.1126/science.aai9226>
- dos Santos, S. A., Roselino, A. C., & Bego, L. R. (2008). Pollination of cucumber, *Cucumis sativus* L.(Cucurbitales: Cucurbitaceae), by the stingless bees *Scaptotrigona aff. depilis* Moure and *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in greenhouses. *Neotropical Entomology*, 37, 506-512.
- da Silva, F. D., Silva, L. G. C., & Mertens, F. (2021). A valoração econômica da polinização agrícola como forma de orientar estratégias de proteção aos polinizadores. *Revista Panorâmica online*, v. 2, 2021.
- Faita, M. R., Chaves, A., & Nodari, R. O. (2021). The expansion of agribusiness: harmful impacts of deforestation, pesticides and transgenics on bees. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 57: 79-105. <https://doi.org/10.5380/dma.v56i0.76157>
- Fearnside, P. M. (2001). Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. *Environmental Conservation*, 28(1), 23-38.
- Franceschinelli, E. V., Ribeiro, P. L. M., Mesquita-Neto, J. N., Bergamini, L. L., Madureira de Assis, I., Elias, M. A. S., ... & Carvalheiro, L. G. (2022). Importance of biotic pollination varies across common bean cultivars. *Journal of Applied Entomology*, 146(1-2), 32-43.
- Gaglianone, M. C. Franceschinelli, E., Campos, M. J. O., Freitas, L., Neto, C., Drpra, M. S. ; Elias, M., Bergamini, L., Silva, P.N., Meirelles B. G., Montagnana, P. C., Patrício, G., Campos, L. A. O. (2018). Tomato pollination in Brazil. In: David Roubik. (Org.). *The pollination of cultivated plants-a compendium for practitioners*. 1ed.Roma: FAO, 2018, v. 1, p. 1-297.
- Garibaldi, L. A., Schulte, L. A., Jodar, D. N. N., Carella, D. S. G., & Kremen, C. (2021a). Time to integrate pollinator science into soybean production. *Trends in Ecology & Evolution*, 36(7), 573-575. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.03.013>
- Garibaldi, L. A., Oddi, F. J., Miguez, F. E., Bartomeus, I., Orr, M. C., Jobbágy, E. G., ... & Zhu, C. D. (2021). Working landscapes need at least 20% native habitat. *Conservation Letters*, 14(2), e12773. <https://doi.org/10.1111/conl.12773>
- Gonçalves, R.B., Graf, L.V., Pereira, F. W., Melo G.A.R. (2022) Apidae. In: Prefeitura Municipal de Curitiba, Decreto Municipal N.º 1082/2022. Diário Oficial 144 Sup 1, 29/07/2022. <https://legisladoexterno.curitiba.pr.gov.br/>
- Giannini, T. C., Cordeiro, G. D., Freitas, B. M., Saraiva, A. M., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, 108(3), 849-857. <https://doi.org/10.1093/jee/tov093>
- Hall, D. M., & Martins, D. J. (2020). Human dimensions of insect pollinator conservation. *Current Opinion in Insect Science*, 38, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.04.001>
- Heiden, G., Barbieri, R. L., & Neitzke, R. S. (2007). Chave para a identificação das espécies de abóboras (Cucurbita, Cucurbitaceae) cultivadas no Brasil. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/745868>
- Hurd, P. D., E. G. Linsley, and T. W. Whitaker. 1971. Squash and Gourd Bees (*Peponapis*, *Xenoglossa*) and the origin of the cultivated Cucurbita. *Evolution*, 25:218–234.
- IBGE– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2021. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>

- Junqueira, C. N., Pereira, R. A. S., da Silva, R. C., Alves Cardoso Kobal, R. O., Araújo, T. N., Prato, A., ... & Augusto, S. C. (2022). Do Apis and non-Apis bees provide a similar contribution to crop production with different levels of pollination dependency? A review using meta-analysis. *Ecological Entomology*, 47(1), 76-83. <https://doi.org/10.1111/een.13092>
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Lautenbach, S., Seppelt, R., Liebscher, J., & Dormann, C. F. (2012). Spatial and temporal trends of global pollination benefit. *PLoS ONE*, 7(4), e35954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035954>
- Los, F. G. B., Zielinski, A. A. F., Wojeicchowski, J. P., Nogueira, A., & Demiate, I. M. (2018). Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): Whole seeds with complex chemical composition. *Current Opinion in Food Science*, 19, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.010>
- Malagodi-Braga, K. S. (2018). *A polinização como fator de produção na cultura do morango*. Jaguariúna: Embrapa.
- Mashilingi, S. K., Zhang, H., Garibaldi, L. A., An, J. (2022). Honeybees are far too insufficient to supply optimum pollination services in agricultural systems worldwide. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 335, 108003. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108003>
- Nicodemo, D., Braga, M.E., De Jong, D., Nogueira, C.R.H. (2013). Enhanced production of parthenocarpic cucumbers pollinated with stingless bees and Africanized honey bees in greenhouses. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v.34, n.6, suplemento 1, p.3625-3634.
- Novais, S.M.A., Nunes, C.A., Santos, N.B., D'Amico, A.R., Fernandes, G.W., Quesada, M, et al. (2016). Effects of a Possible Pollinator Crisis on Food Crop Production in Brazil. *PLoS ONE*, 11(11): e0167292. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0167292>
- Ortolan, S. M., & Laroca, S. (1996). Melissocenótica em área de cultivo de macieira (*Pyrus malus* L.) em Lages (Santa Catarina, sul do Brasil), com notas comparativas e experimento de polinização com *Plebeia emerina*. *Acta Biológica Paranaense*, 25: 1-113. <http://dx.doi.org/10.5380/abpr.v25i0.696>
- Pardo, A., & Borges, P. A. (2020). Worldwide importance of insect pollination in apple orchards: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 293, 106839. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106839>
- Pompeia, C., & Schneider, S. (2021). As diferentes narrativas alimentares do agronegócio. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 57: 175-198. <https://doi.org/10.5380/dma.v56i0.77248>
- Porto, R. G., de Almeida, R. F., Cruz-Neto, O., Tabarelli, M., Viana, B. F., Peres, C. A., & Lopes, A. V. (2020). Pollination ecosystem services: A comprehensive review of economic values, research funding and policy actions. *Food Security*, 12(6), 1425-1442.
- Projeto MapBacias – Coleção 2020 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil, acessado em 09/02/2022 através do link: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>
- R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
- Sabino, W., Costa, L., Andrade, T., Teixeira, J., Araújo, G., Acosta, A. L., ... & Giannini, T. C. (2022). Status and trends of pollination services in Amazon agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 335, 108012. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108012>
- Salvarrey, S., Arbulo, N., Santos, E., & Invernizzi, C. (2013). Cría artificial de abejorros nativos *Bombus atratus* y *Bombus bellicosus* (Hymenoptera, Apidae). *Agrociencia (Uruguay)*, 17(2), 75-82.
- Scheid, L., Martarello, N. S., Holdefer, D. R., & Gruchowski-Woitowicz, F. C. (2020). Eficiácia de abelhas na polinização de cultivares de morango no sul do Brasil. *Luminária, União da Vitória*, v. 22, n. 02, p. 06-17
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>
- Viana, B. F., Boscolo, D., Neto, E. M., Lopes, L. E., Lopes, A. V., Ferreira, P. A., ... & Primo, L. (2012). *A polinização no contexto da paisagem: o que de fato sabemos e o que precisamos saber*. Polinizadores no Brasil-contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais, 67-102.

Weiss, G., Melo, G. A. R. (2007). *Comportamento forrageiro de Peponapis servens Smith (Hymenoptera, Apidae, Eucerini) em flores de Cucurbita (Cucurbitaceae)*. In Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil (Vol. 23). Disponível em <http://www.seb-ecologia.org.br/revistas/indexar/anais/viiceb/pdf/300.pdf>

Witter, S., Nunes-Silva, P., Blochtein, B., Lisboa, B. B., & Imperatriz-Fonseca, V. L. (2014). *As abelhas e a agricultura*. Porto Alegre: EDIPUCRS.

Wolowski, M., Agostini, K., Rech, A. R., Varassin, I. G., Mauses, M. M., Freitas, L., Carneiro, L.T, Bueno, R. O., Consolaro, H., Carvalheiro, L. G., Saraiva, A. M., Silva, C. I. 2019. *Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos*. 1. ed. São Carlos: Cubo, 2019. v. 1.