

# A VALORAÇÃO ECONÔMICA DA POLINIZAÇÃO AGRÍCOLA COMO FORMA DE ORIENTAR ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO AOS POLINIZADORES

Felipe Deodato da Silva e Silva<sup>1</sup>  
Luísa G. Carvalheiro<sup>2</sup>  
Frédéric Mertens<sup>3</sup>

## Resumo:

O uso sustentável dos serviços ecossistêmicos pela agricultura depende de como o capital natural é manejado nos sistemas agrícolas considerando seus custos e benefícios socioeconômicos. Um desses serviços é a polinização biótica agrícola que, embora contribua para a produção e geração de valor da grande maioria dos produtos agrícolas, está ameaçada pelo declínio de polinizadores ao redor do mundo. Assim, esse estudo busca discutir como a valoração econômica da polinização biótica pode auxiliar na definição de estratégias para maximizar os seus benefícios na agricultura almejando um equilíbrio entre os interesses econômicos e ecológicos. Por meio de uma revisão bibliográfica, o estudo mostra como a valoração econômica pode ser usada nos diferentes níveis (local, da paisagem e nacional/global) para orientar as ações dos tomadores de decisão para a conservação dos serviços de polinização. Como a ação isolada de cada stakeholder é limitada ao seu nível de atuação, o estudo conclui que a proteção dos polinizadores depende da articulação entre diferentes *stakeholders* (e.g., produtores agrícolas e gestores de reservas naturais), que poderá ser facilitada com a atribuição de um valor econômico para as diferentes ações de conservação.

## Palavras-chave:

Polinizadores Nativos. Biodiversidade. Agroecologia. Agricultura Sustentável. Políticas Ambientais.

## ECONOMIC VALUATION OF CROP POLLINATION AS A TOOL FOR DEFINING STRATEGIES OF POLLINATORS PROTECTION

### Abstract:

The sustainable use of ecosystem services in agriculture depends on how natural capital is managed in crop systems considering socioeconomics costs and benefits. One of these services is crop pollination that, although contributes to the production and economic value of many crops, it is under threat due to pollinators decline worldwide. This study aims to discuss how economic valuation of biotic pollination can help to define strategies to maximize its benefits to agriculture and contribute to the balance between economic and ecologic interests. Based on a literature review, this study shows how economic valuation can be used at different levels (local, landscape and national/global) to guide the actions of stakeholders in order to protect pollination services. As the isolated action of each stakeholder is restricted to their own level of activities, we conclude that the protection of pollinators depends on the articulation of different stakeholders (e.g., farmers and natural reserve management), which can better communicate if an economic value clearly attributed to conservation actions

<sup>1</sup> Doutor em Sustentabilidade. Instituto Federal do Mato Grosso. E-mail: felipe.silva@bag.ifmt.edu.br .

<sup>2</sup> Doutora em Ecologia. Universidade Federal de Goiás. E-mail: lgcarvalheiro@gmail.com.

<sup>3</sup> Doutor em Ciências Ambientais. Universidade de Brasília. E-mail: mertens.br@gmail.com.

**Key-words:**

Wild Pollinators. Biodiversity. Agroecology. Sustainable Agriculture. Environmental Politics.

## LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA POLINIZACIÓN AGRÍCOLA COMO FORMA DE ORIENTAR LAS ESTRATEGIAS DE PROTECCIÓN DE LOS POLINIZADORES

**Resumen:**

El uso sostenible de los servicios de los ecosistemas, por parte de la agricultura, depende de cómo se gestiona el capital natural en los sistemas agrícolas teniendo en cuenta sus costos y beneficios socioeconómicos. Uno de esos servicios es la polinización agrícola que, si bien contribuye a la producción y la creación de valor en muchos cultivos agrícolas, se ve amenazada por la disminución de los polinizadores en todo el mundo. Así pues, el presente estudio busca discutir cómo la valoración económica de la polinización biótica puede ayudar a definir las estrategias para aumentar los beneficios en la agricultura con el objetivo de lograr un equilibrio entre los intereses económicos y ecológicos. A través de una revisión de la bibliografía, el estudio muestra cómo se puede utilizar la valoración económica en diferentes niveles (local, paisajístico y nacional/global) para guiar las acciones de los encargados de la adopción de decisiones, para la conservación de los servicios de polinización. Como la acción aislada de cada interesado es limitada pelo su nivel de actuación, el estudio concluye que la protección de los polinizadores depende de la articulación entre diferentes interesados (e.g., agricultores e gerentes de parques naturales), y que puede ser facilitada con la estimativa del valor económico para las diferentes acciones de conservación.

**Palabras clave:**

Polinizadores Nativos. Biodiversidad. Agroecología. Agricultura Sostenible. Políticas Ambientales.

**Introdução**

Nas últimas décadas, o reconhecimento da necessidade de integrar a dimensão ambiental nas estratégias de desenvolvimento cresceu na nossa sociedade, tendo em conta os limites e os benefícios sociais e econômicos da natureza. Por volta da década de 1970, o debate sobre a degradação dos sistemas naturais ganhou escala global com a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano. Inicialmente, a preocupação política girava em torno de temas polêmicos, tais como, a poluição do ar e dos recursos hídricos, buraco na camada de ozônio, impactos com a energia nuclear, aquecimento global, entre outros. A partir da década de 1990, intensificou-se a preocupação com a biodiversidade dos ecossistemas e a importância dos seus serviços, especialmente, com a criação de Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) durante a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas, realizada no Rio de Janeiro em 1992.

A biodiversidade, i.e., a variedade de ecossistemas, de espécies e genética (VEIGA e EHLERS, 2010), contribui para diversos serviços ecossistêmicos (e.g., polinização agrícola, controle biológico de pragas) resultantes de processos e funções dos ecossistemas que beneficiam, direta ou indiretamente, a população humana, estando ela consciente disso ou não (e.g., produção de alimentos) (COSTANZA et al., 1997 e 2017). Em 1997, um estudo pioneiro, embora controverso, estimou o valor econômico global dos serviços ecossistêmicos em no mínimo 33 trilhões de dólares por ano (COSTANZA et al., 1997). Por outro lado, segundo a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005), grande parte desses serviços está ameaçada, principalmente, devido às atividades antrópicas associadas à agricultura (e.g., destruição de habitats naturais, introdução de espécies exóticas, homogeneização de paisagens, uso intensivo de insumos químicos, entre outros). Considerando que os produtos agrícolas são vitais para a humanidade, a proteção da biodiversidade ainda é um grande desafio.

A proteção dos ecossistemas e o uso sustentável de seus serviços na agricultura dependem de como o capital natural é manejado nos sistemas agrícolas. A intensificação agrícola, i.e., uso intenso de insumos químicos, monocultivos, entre outros, trouxe benefícios em termos de ganho em produtividade (TILMAN et al., 2002), porém os benefícios com os serviços ecossistêmicos reduzem devido aos impactos negativos ao meio ambiente (GARIBALDI et al., 2013 e 2016). Com isso, surgiram novas abordagens agroecológicas como uma resposta ao modelo tradicional de produção agrícola (GARIBALDI et al., 2014 e 2016b). Dentre essas abordagens, a intensificação ecológica aplica o conhecimento científico sobre o funcionamento dos ecossistemas e a dinâmica da biodiversidade na formulação de estratégias de manejo que otimizem os serviços ecossistêmicos que contribuem para o aumento da produção agrícola de forma sustentável, minimizando os impactos para o meio ambiente (BOMMARCO et al., 2013). Assim, esse modelo seria uma nova forma de equilibrar as demandas produtivas com a conservação dos ecossistemas.

Capital natural é compreendido como os ecossistemas que fornecem um fluxo de serviços ao longo do tempo (COSTANZA et al., 2017). Com o avanço na problematização ambiental, o manejo do capital natural baseou-se em duas concepções associadas ao seu grau de substituição por outras formas de capitais. Essas duas concepções foram denominadas de sustentabilidade fraca e sustentabilidade forte (PEARCE, 2006). A primeira, baseada na economia neoclássica, argumenta que, mesmo havendo ameaças ao capital natural (e.g., declínio de populações de polinizadores ou destruição de habitat naturais) as necessidades humanas (e.g., consumo de alimentos e produção agrícola) poderão ser satisfeitas com o

avanço tecnológico, pois ele permitirá a substituição parcial do capital natural por outras formas de capitais (e.g., implantação de colmeias de abelhas ou, então, a contratação de pessoas para a polinização manual) (PEARCE, 2006). Por outro lado, a sustentabilidade forte, baseada na economia ecológica, argumenta que, mesmo havendo a possibilidade de substituição, ela ocorreria somente de forma parcial, pois a relação entre os capitais é primordialmente de complementariedade (EKINS et al., 2003). Isso ocorre pelos atributos da absoluta essencialidade (associado ao valor de existência) e da irreversibilidade dos impactos ambientais que são inerentes aos ecossistemas.

Um valioso serviço ecossistêmico dependente da biodiversidade é a polinização agrícola que contribui para a produção de diversos cultivos agrícolas importantes para a segurança alimentar humana (NABAN e BUCHMANN, 1997; MEA, 2003 e 2005). A polinização agrícola é realizada principalmente por insetos que, ao coletar os recursos florais, contribuem para a transferência de pólen entre as flores, resultando em sua fecundação e, portanto, na produção de frutas, legumes, fibras e sementes em diversos cultivos agrícolas (e.g., maçã, limão, melancia, melão, tomate, soja, feijão, abóbora, entre outros) (KLEIN et al., 2007). Embora existam plantas que se reproduzem por meio da autopolinização, a polinização cruzada é importante para a manutenção da diversidade genética (VRANCKX et al., 2011). Cerca de 90% das plantas dependem de fatores bióticos (i.e., insetos, pássaros ou mamíferos) para a troca genética entre os indivíduos (OLLERTON et al., 2011; BAUER, 2014). No entanto, a população e a diversidade de polinizadores estão em declínio ao redor do mundo e isso pode comprometer seus serviços prestados à agricultura (POTTS, et al., 2016), repercutindo nos benefícios concedidos à sociedade.

A proteção da biodiversidade, particularmente dos polinizadores, permanece um desafio para as políticas ambientais, pois depende da capacidade dos *stakeholders* em atuar diversos níveis. Por exemplo, no nível local da propriedade rural, os produtores rurais possuem maior capacidade de atuação na adoção de práticas amigáveis aos polinizadores (GARIBALDI et al., 2014), porém a sua viabilidade econômica, ou a ausência de informação sobre ela, pode restringir o uso de tais práticas (HEIN, 2009). Em um nível mais elevado de atuação, os países mais desenvolvidos possuem condições econômicas e institucionais favoráveis (e.g., Europa e EUA) (COLE et al., 2020; EPA, 2020) se comparados aos países menos desenvolvidos, onde tanto as políticas ambientais (SPITERI e NEPAL, 2006) quanto as informações sobre polinizadores são escassas (POTTS et al., 2016).

Para avançar na compreensão dos impactos associados ao declínio de polinizadores, em termos socioeconômicos, é necessário compreender as diversas abordagens de valoração econômica desse serviço ecossistêmico e como elas podem contribuir para as estratégias adotadas pelos tomadores de decisão para a conservação dos ecossistemas.

O presente estudo busca discutir como a valoração econômica pode auxiliar na definição de estratégias para maximizar os benefícios com os polinizadores silvestres na agricultura almejando um equilíbrio entre os interesses econômicos e de conservação da biodiversidade. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica que comparou diferentes abordagens de proteção aos polinizadores e relacionou com métodos mais apropriados de valoração econômica para cada nível de análise, considerando desde a escala da propriedade rural, passando pela escala da paisagem agrícola até níveis mais elevados, tais como, o nacional e o global. Assim, espera-se que este texto traga importantes *insights* sobre como a valoração econômica pode ser usada como ferramenta de orientação para a adoção de práticas amigáveis aos polinizadores por diferentes tomadores de decisões.

### **O problema do declínio de polinizadores**

Os benefícios dos polinizadores para a agricultura são diversos e envolvem desde o aumento na produtividade, mencionado acima, até o melhoramento da qualidade, como já foi detectado para 39 das 57 maiores culturas agrícola no mundo (e.g., soja, feijão, maçã, tomate, coco, cacau, maracujá, café, melancia, entre outras) (ROUBIK, 1995; KLEIN et al., 2007). Por exemplo, quando a fecundação das flores não é adequada, os frutos resultantes podem ser pequenos e mal formados (e.g., maçã, morango) (GARRATT et al., 2014; KLATT et al., 2014). Outro exemplo é a soja, uma cultura amplamente cultivada, cuja produtividade pode ser aumentada em até 18% com os serviços de polinização (MILFONT et al., 2013). Portanto, este é um serviço importante para a produção agrícola com efeitos benéficos tanto para a formação da renda do produtor quanto para o consumo humano.

A polinização biótica também tem uma contribuição importante para a segurança alimentar humana. Embora o consumo dos produtos agrícolas não dependentes de polinizadores (e.g. milho, trigo, arroz) seja expressivo (GHAZOUL, 2005), a diversificação no consumo de nutrientes depende em grande parte de culturas dependentes de polinizadores (SMITH et al., 2015; ELLIS et al., 2015).

Esse serviço ecossistêmico também é importante para a produção de sementes daquelas culturas que não dependem de polinizadores para a produção de suas partes comestíveis (e.g., milho, arroz, mandioca, cenoura, batata, entre outras) (STEFAN-DEWENTER et al., 2005). Dessa forma, esse serviço é importante para manter a estabilidade da produção (GARIBALDI et al., 2011) e, conseqüentemente, a oferta desses alimentos no mercado.

Embora a polinização agrícola seja de grande relevância, há registros do declínio de insetos polinizadores ao redor do mundo. Inicialmente o uso intenso de insumos químicos foi considerado a principal ameaça aos insetos polinizadores. O livro “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson, de 1962, trouxe a discussão sobre os impactos dos pesticidas para o âmbito político e cultural destacando seus efeitos sobre os polinizadores. Em um dos trechos mais poéticos, a autora diz “(...). As macieiras estavam florescendo, mas não havia abelhas zumbindo ao redor das flores, portanto não havia polinização, e não haveria frutos.” (CARSON, p. 21, 2010). Além do uso de pesticidas, outros fatores também foram apontados como grandes ameaças aos polinizadores, tais como, uso intensivo de fertilizantes químicos, extensas áreas de cultivo nos sistemas agrícolas, aparecimento de doenças, introdução de espécies exóticas e mudança climática (POTTS et al., 2010 e 2016). Tais efeitos são facilmente percebidos em paisagens degradadas com várias áreas isoladas (RICKETTS et al. 2008), porém eles também ocorrem mesmo em regiões mais ricas em biodiversidade (CARVALHEIRO et al., 2010). Por outro lado, em sistemas agrícolas menos agressivos, tais como aqueles que preservam áreas de vegetação e otimizam o uso de insumos químicos, a oferta desse serviço é mais abundante (HOLZSCHUH et al., 2008; GARIBALDI et al., 2016b). Uma alternativa então é reduzir o nível de intensificação convencional da agricultura (i.e., reduzir insumos químicos e o nível de desmatamento) e adotar um manejo agrícola menos prejudicial aos polinizadores, como a intensificação ecológica.

O uso de colmeias de abelhas, um capital feito pelo homem, é uma forma de suplementar os serviços dos polinizadores silvestres em campos agrícolas que apresentam elevado déficit de polinização natural devido à degradação ambiental (e.g., *Apis mellifera* e *Bombus terrestris*) (FREITAS e OLIVEIRA FILHO, 2003; CUNNINGHAM e FEUVRE, 2013; GARIBALDI et al., 2013). No entanto, o uso de colmeias manejadas é uma estratégia que não oferece estabilidade na provisão artificial de serviços polinização. Um fenômeno denominado distúrbio do colapso das colônias (DCC ou *Colony Collapse Disorder* – CCD) ocorreu nos EUA em 2006 e consistiu em um grande número de abelhas do mel (*Apis mellifera*) desaparecidas de suas colônias ou encontradas mortas (RUCKER et al., 2016).

Suas colmeias eram usadas para polinizar campos agrícolas, tais como, amêndoa e maçã, e por isso, eram transportadas por todo território norte americano. Até o momento não há um consenso sobre o que gerou esse distúrbio, mas possíveis causas envolvem o ataque de ácaros parasitas (*Varroa destructor* e *Acarapis woodi*), nutrição inadequada das abelhas decorrente de secas e perda de habitats, elevado estresse devido ao transporte das colmeias, toxinas e pesticidas (RUCKER et al., 2016). Além disso, as abelhas manejadas não são polinizadores eficientes para várias culturas (GARIBALDI et al. 2013), podendo atuar como “pilhadores” que roubam o néctar sem polinizar, (e.g. feijão, Ramos et al 2018) ou não sendo muito atraídos pelas características das flores, e.g., cacau (WOLOWSKI et al., 2019) e manga (CARVALHEIRO et al. 2010). Por fim, a introdução de espécies manejadas exóticas pode acarretar diversos impactos negativos aos polinizadores nativos, tais como, doenças e competição por recursos florais (POTTS et al., 2016).

A escassez nos serviços de polinização acarreta na agricultura o déficit de polinização. Esse déficit consiste na diferença entre o máximo potencial produtivo de uma planta e o seu nível atual de produção resultante da ação dos polinizadores, considerando todos os demais fatores produtivos disponíveis em níveis adequados para a produção (VAISSIÈRE et al., 2011). Dependendo da escala em que ocorrem, os impactos negativos podem reduzir a produção no campo agrícola (POTTS et al., 2010; GARIBALDI et al., 2011). Tais efeitos negativos repercutem na lucratividade de produtor e na disponibilidade de alimentos para o consumidor. No entanto, a perspectiva socioeconômica desse processo ainda permanece superficialmente estudada (mas veja, GARIBALDI et al., 2016a; BREEZE et al., 2016; HIPÓLITO et al., 2016). O que se sabe até o momento é que os déficits de polinização afetam tanto os pequenos como os grandes agricultores, apesar de tais impactos serem mais facilmente detectados em pequenas propriedades onde há maior presença de locais com comunidades abundantes de polinizadores silvestres (GARIBALDI et al., 2016a). Tais efeitos do déficit de polinização sobre a produção dos pequenos produtores pode trazer outros impactos socioeconômicos, tais como, a redução no oferta de produtos agrícolas para os mercados locais ou para o autoconsumo (HEIN, 2009). A seguir, são apresentadas as principais iniciativas políticas e recomendações que foram pensadas no sentido de proteger os polinizadores.

## Estratégias de proteção aos serviços de polinização

A particularidade da dimensão socioeconômica está ligada ao modo como as populações humanas são afetadas e como elas poderão reagir aos impactos ambientais, por exemplo, no caso deste estudo, o declínio de polinizadores. Por iniciativa dos brasileiros, a temática de polinizadores foi discutida pela CDB em 1996. Em seguida, em 1998, foi realizado um workshop no Brasil (*Conservation and Sustainable Use of Pollinators in Agriculture, with Emphasis on Bees*) para estudar uma estratégia global de proteção e uso sustentável dos polinizadores que resultou na “Declaração de São Paulo sobre Polinizadores” (DIAS et al., 1999). Essa declaração foi aprovada na V Conferências das Partes da CDB (COP5) em 2000, quando então foi criada a Iniciativa Internacional dos Polinizadores (IPI) (IMPERATRIZ-FONSECA et al., 2012). Assim, diversas iniciativas de proteção aos polinizadores foram estabelecidas ao redor do mundo (Europa, América do Norte, Brasil, África, Oceania, entre outros), incluindo um projeto global de pesquisa financiada pela *Global Environmental Facility* (GEF) que resultou em diversos artigos publicados por revistas científicas de alto impacto e relatórios para a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO-UN) (e.g., VAISSIÈRE et al., 2011; GARIBALDI et al., 2016a).

Com base nesse conhecimento gerado, diversas recomendações foram formuladas especificamente para a gestão ambiental desse serviço ecossistêmico, envolvendo ações do poder público, do setor produtivo e da sociedade civil (POTTS et al., 2016). Mais recentemente, tais ações envolvem a definição de padrões de regulação de pesticidas, o fornecimento de subsídios aos produtores para adotarem práticas amigáveis aos polinizadores, o reconhecimento da polinização como um insumo agrícola, a conservação e a restauração de áreas de vegetação nativa, o controle do comércio de abelhas, entre outras (DICKS et al., 2016; POTTS et al., 2016).

A gestão dos serviços de polinização na agricultura envolvem práticas que aumentem a presença de polinizadores selvagens nos campos agrícolas e elas se dividem em três principais formas. A primeira é baseada na conservação ou restauração de áreas de vegetação nativa, inclusive, pequenas áreas na borda dos campos agrícolas, aumentando a heterogeneidade da paisagem agrícola (GARIBALDI et al., 2014; PYWELL et al., 2015), por exemplo, a conservação da Reserva Legal e das Áreas de Preservação Permanente no Brasil.

A segunda se refere ao manejo agrícola propriamente dito, onde se busca otimizar o uso dos insumos químicos de modo a manter sua função na produção agrícola e reduzir seus impactos sobre os polinizadores (i.e., fertilizantes e pesticidas) (HENRY et al., 2012; RAMOS et al., 2018) ou a adoção de práticas de agricultura orgânica por conta da ausência de insumos químicos (GARIBALDI et al., 2014). E a terceira se refere às outras ações que promovam a oferta de recursos florais ou locais de nidificação dentro ou em redor dos campos agrícolas, e.g., plantio de cercas vivas e aumento de ervas daninhas ao longo dos campos agrícolas, estabelecimento de locais de nidificação artificiais (FREITAS e OLIVEIRA FILHO, 2003; GARIBALTI et al., 2014). Essas formas de manejo da polinização estão relacionadas à intensificação ecológica, ou seja, aumento do serviço de polinização.

### **A valoração econômica dos serviços de polinização agrícola**

Os ecossistemas oferecem uma série de serviços que beneficiam o bem-estar humano de forma direta (e.g., provisão de água, de alimentos, atividades de contemplação, entre outros) ou indiretamente (e.g., serviços que regulam a produção de alimentos, tais como, a polinização agrícola e o controle biológico de pragas). O valor econômico dos ativos ambientais tem sido analisado conforme seus diversos componentes (i.e., valor direto, valor indireto, valor de opção e de existência) que juntos somam o Valor Econômico Total (*Total Economic Value – TEV*) (PEARCE, 1992). Segundo Pearce (1992), esses componentes representam: o valor direto referente à apropriação de um recurso ou serviço (e.g., os produtos que as abelhas produzem, tais como, mel e própolis); o valor indireto associado às funções ecológicas (e.g., serviços de polinização na agricultura); o valor de opção que a sociedade está disposta a pagar para conservar um determinado ecossistema, ou seja, preservando-o para o uso das gerações futuras; e por fim, o valor de existência que é a vontade de conservar um ecossistema ou uma espécie independentemente de seu uso atual ou futuro.

Embora o valor econômico total possa representar toda a importância de um ativo ambiental para a sociedade, o componente de valor indireto é o mais adequado para orientar o manejo e uso sustentável da polinização pela agricultura. O reconhecimento do valor desse serviço em termos do ganho de produtividade e de qualidade nos cultivos agrícolas pode auxiliar na definição das mais apropriadas estratégias para a conservação dos ecossistemas.

Como se trata de produtos destinados aos diversos mercados (i.e., local, nacional e internacional), a valoração econômica desse componente também é abordada em múltiplos níveis, desde a propriedade rural até o valor da produção agrícola nos países e no mundo.

Um estudo apresentou uma revisão das abordagens metodológicas de valoração da polinização agrícola que são mais adequadas para cada nível espacial de análise (i.e., local, nacional e global) (Hein, 2009). Na escala local, esse serviço beneficia diretamente a formação de renda do produtor rural. Por exemplo, entre 2000 a 2003, um estudo de caso na Costa Rica valorou a polinização em aproximadamente US\$ 62.000,00 por ano (cerca de 7% da renda total do produtor no período) em média para uma propriedade rural produtora de café (RICKETTS et al., 2004). Outro exemplo foi um estudo realizado em Minas Gerais que estimou o valor da polinização no maracujá em R\$ 14.686,02 por hectare no triênio de 2007 a 2009 (VIEIRA et al., 2010). Em níveis mais elevados, a polinização também apresenta valores expressivos para alguns países. O valor desse serviço ecossistêmico, por exemplo, foi estimado em US\$ 119,8 milhões em 2005 para a região do Cabo na África do Sul (ALLSOPP et al., 2008). No Brasil, a polinização contribui em cerca de 30% do valor total da produção do grupo de culturas dependentes de polinizadores e 13% do valor total da produção agrícola brasileira (GIANNINI et al., 2015). Por fim, na escala global, o benefício econômico com a polinização agrícola foi estimado em cerca de 10% do valor total da agricultura (GALLAI et al., 2009; LAUTENBACH et al., 2012). Dessa forma, embora a polinização seja um fenômeno que ocorra na escala local da propriedade rural, esses diversos exemplos demonstram que o seu benefício também repercute em níveis mais elevados, tais como, a economia nacional e global, demandando, assim, metodologias apropriadas para cada nível.

### **Adoção de práticas amigáveis aos polinizadores no nível local**

Segundo Hein (2009), o valor dos serviços de polinização não pode ser visto separadamente da produção agrícola, ou seja, um processo que depende de diversos outros insumos, tais como, fertilizantes, pesticidas, disponibilidade hídrica, entre outros. Nesse sentido, a polinização é também um insumo na produção agrícola e, portanto, uma abordagem baseada na função de produção que demonstre a relação entre a quantidade produzida e a combinação de insumos é a mais coerente para a escala local. Alguns exemplos de estudo com essa abordagem são a polinização no café (RICKETTS et al., 2004; OLSCHESKI et al., 2006) e na produção de melancia (WINFREE et al., 2011).

Esses estudos demonstram que esse método é mais adequado para avaliar a formação da renda do produtor, pois combinando com informações de custo, as estimativas são facilmente adaptadas para calcular o lucro. Outra abordagem ao nível local de análise é estimar o custo para substituir ou suplementar serviços ecossistêmicos de polinização pelo manejo de colmeias de abelhas ou com a contratação de trabalhadores para a polinização manual das flores (e.g., maracujá, VIEIRA et al., 2010). No entanto, por focar no custo da substituição, esse método não considera os benefícios dos polinizadores selvagens em termos de ganho de produtividade e de qualidade na produção agrícola. Portanto, pode não ser útil para traçar estratégias de conservação dos ecossistemas e de seus polinizadores.

Estudos anteriores buscaram sistematizar o processo pelo qual a polinização afeta a produção agrícola e o lucro do produtor, considerando a abordagem da função de produção. Winfree et al. (2011) e Hanley et al., (2014) apresentaram uma aplicação da teoria microeconômica da função de produção ao contexto da polinização agrícola como um insumo de produção. Nesses estudos, a lucratividade do produtor foi estimada pelo valor da produção em função dos serviços de polinização menos os custos de produção. Embora tais estudos reconheçam a existência dos custos associados à gestão dos serviços de polinização (e.g., via reflorestamento ou conservação das áreas de vegetação, manejo de colmeias de abelhas), esses componentes não foram considerados pelos modelos conceituais nem incorporados nas aplicações nos estudos de caso. Além disso, o reflorestamento ou a conservação das áreas de vegetação impõem ao produtor um custo de oportunidade que representa o quanto o produtor está deixando de lucrar por não estar explorando essas áreas com atividades agropecuárias (NAIDOO et al., 2006; KAMAL et al., 2015). Além desses custos, outros processos não foram discutidos, tais como, a interação entre a polinização e os demais insumos agrícolas e o efeito dessa interação na produtividade e a qualidade agrícola. Todos esses componentes precisam ser incorporados em futuras análises para gerar informações valiosas e aprimorar o processo de tomada de decisão do produtor rural (BREEZE et al., 2016).

Dessa forma, algumas lacunas ainda se colocam no que tange à adoção de práticas amigáveis aos polinizadores no nível da propriedade rural (local). Nesse sentido, é importante investigar como o manejo dos serviços de polinização, em interação com o manejo convencional agrícola, afeta o resultado econômico do produtor. Tal análise deve considerar tanto os aspectos da produtividade quanto da qualidade dos produtos agrícolas, além de incorporar os custos associados ao manejo de polinizadores e ao manejo convencional.

Nesse sentido, em relação ao manejo de polinizadores selvagens, é importante considerar o custo de oportunidade das áreas de conservação e a viabilidade econômica da restauração da vegetação nativa. Estudos futuros poderão ajudar a preencher a lacuna de informação sobre a viabilidade da implantação das práticas amigáveis aos polinizadores e servir de base para os produtores planejarem o seu manejo considerando a polinização como um insumo agrícola.

### **Conservação da natureza no nível da paisagem**

No nível de análise da paisagem, o uso de informações geográficas seria de grande utilidade para identificar áreas naturais que possam ser conservadas de modo a preservar os polinizadores e manter os benefícios econômicos na produção agrícola (GIANNINI et al., 2013). Essa abordagem foi usada por estudos anteriores em três principais maneiras: estimando a oferta de polinização mediante o percentual de área de vegetação na paisagem e, assim, assumindo uma oferta constante desse serviço em toda a área agrícola dentro dessa mesma paisagem; usando modelos espaciais de polinização cuja oferta desse serviço varia conforme a distância em relação às áreas de vegetação; e por fim, pela combinação de ambos os modelos (RICKETTS et al., 2004; MORANDIN e WINSTON, 2006; OLSCHESKI et al., 2006; CHAPLIN-KRAMER et al., 2011). O uso de informações da paisagem para avaliar o resultado econômico com a conservação tem o potencial de auxiliar na avaliação da atratividade das políticas ambientais, tendo em vista, a perspectiva do produtor rural.

No nível da paisagem, a conservação/restauração da natureza é fundamental, especialmente daquelas áreas localizadas dentro das terras agrícolas pertencentes aos agentes privados, pois elas abrigam grande parte da biodiversidade (SOARES-FILHO et al., 2014). Contudo, proteger tais áreas é um desafio porque os custos são individualizados enquanto os benefícios são coletivos (LIU et al., 2008; EHRLICH et al., 2012). A conservação em terras privadas gera externalidades positivas em termos de serviços de polinização para os produtores vizinhos. Além disso, diversos outros serviços ecossistêmicos são gerados, beneficiando a sociedade como um todo (e.g., sequestro de carbono, proteção aos recursos hídricos, entre outros). As externalidades positivas, nesse caso, se referem aos benefícios gerados fora do sistema de produção agrícola e que, portanto, não são apropriados pelo produtor que pratica as ações de conservação/restauração da vegetação. Portanto, os agentes que desenvolvem e estabelecem as políticas ambientais são essenciais na criação de

mecanismos de internalização de tais benefícios, pois estes tem o potencial de motivar os produtores a adotarem as ações de proteção aos polinizadores.

Conforme o princípio da adicionalidade, os benefícios econômicos decorrentes de políticas ambientais seriam concedidos somente àqueles que ultrapassassem os níveis de conservação de áreas naturais que fossem estabelecidos pelas leis ambientais (ENGEL et al., 2008). Por exemplo, o Código Florestal Brasileiro determina que as propriedades rurais localizadas no cerrado devam conservar no mínimo 20% de vegetação nativa. Assim, aqueles que conservam acima desse percentual poderiam receber uma compensação econômica devido à restrição aos seus campos agrícolas pelas áreas conservadas adicionais. Nesse sentido, tais compensações poderiam também incluir a internalização das externalidades positivas, assim, as políticas ambientais poderiam equilibrar as demandas por conservação com a viabilidade econômica dos sistemas agrícolas.

Considerando a análise da paisagem, é importante que estudos futuros respondam alguns questionamentos associados às políticas de conservação da natureza. Nesse sentido, é importante avaliar como as atuais políticas de conservação da natureza podem beneficiar economicamente o produtor por meio dos serviços de polinização. O intuito seria de verificar se os serviços de polinização viabilizam a produção mesmo com as áreas protegidas restringindo os campos agrícolas e gerando custos de oportunidade. Além disso, deve-se considerar a inclusão de mecanismos de internalização das externalidades positivas decorrentes da conservação. Esse tipo de análise será importante para a compreensão dos impactos econômicos decorrentes dos instrumentos legais de conservação da natureza e seus efeitos na polinização agrícola.

### **Políticas ambientais no nível nacional/global**

Partindo do nível da paisagem para outros mais elevados, os primeiros estudos de valoração da polinização no nível nacional ocorreram na década de 1940 (e.g., BUTLER, 1943; METCALF et al., 1962; MARTIN, 1973; LEVIN, 1984). A primeira abordagem foi baseada no valor total da produção de culturas agrícolas dependentes de polinizadores (MELATHOPOULOS, et al., 2015). No entanto, os estudos sobre polinização demonstram que o nível de dependência em relação a esse serviço varia amplamente entre os diversos cultivos agrícolas (KLEIN et al., 2007). Por conta disso, outra abordagem foi desenvolvida baseada na taxa de dependência que cada cultura possui em relação aos polinizadores.

O nível de dependência das culturas agrícolas em relação aos polinizadores tem sido alvo de diversos estudos (BORNECK e MERLE, 1989; ROBINSON et al. 1989; MORSE e CALDERONE, 2000), sendo o mais recente o artigo de Klein et al. (2007) que tem sido base para diversas avaliações. Em 2019, a Plataforma de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES) publicou o “Relatório Temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil” com um levantamento atualizado das taxas de dependência para as culturas brasileiras (WOLOWSKI et al., 2019). O método da taxa de dependência, também denominado de abordagem bioeconômica por Gallai et al. (2009), tem sido amplamente usado em análises da contribuição dos polinizadores para o valor agrícola no nível nacional, por exemplo, no México (ASHWORTH et al., 2009), nos EUA (CALDERONE, 2012), na Argentina (CHACOFF et al., 2010), e no Brasil (GIANNINI et al., 2015). Esse método também tem sido usado no nível global (GALLAI et al., 2009; LAUTENBACH et al., 2012). No entanto, ao focar na produção nacional, tais estudos desconsideram como os benefícios da polinização são distribuídos ao redor do mundo, já que o comércio internacional de produtos agrícolas é composto por diversos cultivos dependentes de polinizadores.

Em níveis de análise mais elevados (i.e., nacional e global), um dos grandes desafios do século XXI é regular a produção nacional para diminuir os impactos ao meio ambiente. Tanto a produção agrícola quanto o comércio internacional cresceram nas últimas décadas, mas foi somente durante a criação da Organização Mundial do Comércio (OMC) em 1995 que a proteção do meio ambiente foi considerada como parte importante para a sustentabilidade do comércio internacional (ALMEIDA et al., 2010). No entanto, a economia de grande parte dos países mais pobres está baseada na produção e exportação de commodities agrícolas. Considerando que os países desenvolvidos enriqueceram explorando o capital natural dos atuais países em desenvolvimento, esses últimos demandam o seu direito ao desenvolvimento e sua soberania nacional para explorarem suas riquezas com maior liberdade (ALMEIDA et al., 2010). No entanto, seguir a mesma trajetória de desenvolvimento baseado no uso insustentável dos recursos naturais e dos serviços ecossistêmicos não faz mais sentido no atual contexto em que existem diversas alternativas para conciliar as demandas produtivas com a conservação da natureza. Essa trajetória baseada no uso sustentável da natureza fundamentou a necessidade dos países mais desenvolvidos auxiliarem os países em desenvolvimento, por exemplo, por meio de transferência de recursos financeiros e tecnologias. Assim, a coordenação ambiental entre os países é fundamental para o desenvolvimento sustentável global.

O crescimento populacional impulsionou a produção de produtos dependentes de polinizadores ao redor do mundo, com efeitos também sobre o crescimento da área agrícola dedicada a esses produtos, principalmente nos países em desenvolvimento (AIZEN et al., 2008 e 2009). A agricultura está condicionada às condições ambientais (e.g., oferta de polinizadores pela biodiversidade), porém o consumo é dependente dos padrões de renda e de poder aquisitivo. Esses fatores provocam um deslocamento geográfico entre a esfera produtiva e de consumo via comércio internacional, que tem acelerado a produção nos países exportadores com efeito danoso ao meio ambiente (MAYER et al., 2005; LENZEN et al., 2012). O impacto do comércio internacional no meio ambiente tem sido amplamente avaliado, por exemplo, com as emissões de gases do efeito estufa, exportações de resíduos sólidos e no uso da água e da terra, mas os impactos em relação aos polinizadores permanecem ainda não esclarecidos.

Uma das formas de quantificar os recursos naturais que usados na produção de commodities para a exportação é por meio do conceito de “recurso virtual” (e.g., água virtual HOEKSTRA e HUNG, 2002; e terra virtual, REES, 1992). Esse conceito representa a quantidade do recurso usado durante o processo de produção e que foi virtualmente comercializado. Os fluxos da água e da terra virtuais já foram amplamente estudados, porém os fluxos virtuais dos serviços de polinização ainda não foram explorados. O entendimento desse fluxo contribuirá para uma possível coordenação internacional para estimular a adoção de práticas amigáveis aos polinizadores nos sistemas agrícolas de exportação (e.g., via ajuste de preços internacionais, transferência de recursos ou tecnologia de baixo impacto aos polinizadores). Tais ações serão relevantes principalmente em países em desenvolvimento com baixa capacidade de adotar estratégias de proteção à biodiversidade, pois o esgotamento dos seus ecossistemas pode comprometer tanto a renda gerada via exportação quanto a sua própria segurança alimentar.

Em relação às políticas ambientais que se desenvolvem na escala nacional/global, estudos futuros poderão avaliar como a crescente demanda global por produtos dependentes de polinizadores está pressionando os ecossistemas. Além disso, tais estudos poderão demonstrar como o comércio internacional dos produtos dependentes de polinização está associado à expansão das terras agrícolas nos países exportadores. Por último, eles também poderão buscar compreender a associação entre os impactos ambientais e o comércio internacional de produtos agrícolas dependentes de polinizadores. Nesse sentido, políticas internacionais de conservação dos polinizadores seriam discutidas em função do seu potencial em tornar o comércio internacional mais sustentável.

## **Considerações finais**

A polinização agrícola é um importante serviço ecossistêmico cujo uso sustentável pela agricultura dependerá da ação conjunta de diversos tomadores de decisões atuantes em diversos níveis. Nesse sentido, o grande desafio é fornecer informações de viabilidade econômica e de impactos sociais para que tais stakeholders possam traçar estratégias que equilibram os interesses econômicos e ecológicos. A valoração econômica é uma importante ferramenta que poderá auxiliar nesse sentido se for usada para avaliar o impacto das estratégias de manejo de polinizadores sobre a lucratividade do produtor. Além disso, ela também tem potencial para avaliar os benefícios socioeconômicos associados ao manejo da paisagem e outras práticas que aumentem a abundância e diversidade de polinizadores e outros agentes de serviços ecossistêmicos. Por fim, a relação entre os países será crucial para compreender como tais benefícios se distribuem ao redor do globo. Assim, uma abordagem multinível, que integra os níveis local, regional e global, torna-se essencial para criar políticas ambientais de preservação dos polinizadores.

Ao analisar o problema considerando diversos níveis, percebe-se que os tomadores de decisão possuem papel crucial na proteção dos polinizadores, porém a sua capacidade de atuação é limitada ao seu nível de atuação. Os produtores rurais atuam diretamente na adoção de práticas amigáveis aos polinizadores, enquanto que os formuladores de políticas ambientais podem atuar em níveis regionais, nacionais e internacionais. Dessa forma, a efetividade da proteção aos polinizadores baseia-se nas limitações de cada agente e como elas podem ser superadas por meio de ações conjuntas e coordenadas.

Nesse sentido, estudos futuros podem focar no desenvolvimento de modelos econômicos que demonstrem os benefícios econômicos com o manejo dos polinizadores. Além disso, é importante testar a viabilidade econômica de determinados instrumentos ambientais e sua efetividade na proteção aos polinizadores, tais como, conservação compulsória de áreas naturais, pagamentos por serviços ambientais, entre outros. Por fim, as relações entre os países, demonstrada por meio dos fluxos comerciais, poderão mostrar como um país depende da biodiversidade dos demais e assim pensar medidas de compensação baseadas na responsabilidade compartilhada entre os países. Dessa forma, ainda permanecem várias lacunas a serem preenchidas por trabalhos futuros.

## **Agradecimentos**

Agradecemos a Mauricio C. Amazonas, Edison R. Sujii, Marcel Bursztyrn e Elisângela Kipper pelas contribuições ao manuscrito. FDSS foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasil - Programa CAPES/DFATD (DEPARTMENT OF FOREIGN AFFAIRS, TRADE AND DEVELOPMENT)). LGC foi financiada pela Fundação para Ciência e Tecnologia (FCT) e pela União Europeia através do programa operacional regional de Lisboa 2014/2020 (EUCLIPO-028360) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq. Universal 421668/2018-0; PQ 305157/2018-3). FM foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq. PQ 311222/2018-8) e pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF, Brasil - projeto 9852.56.31658.07042016).

## Referências

AIZEN, M. A.; GARIBALDI, L. A.; CUNNINGHAM, S. A.; KLEIN, A. M. Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency. **Current Biology**, v. 18, n. 20, p. 1572–1575, 2008.

AIZEN, M. A.; GARIBALDI, L. A.; CUNNINGHAM, S. A.; KLEIN, A. M. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. **Annals of Botany**, v. 103, n. 9, p. 1579–1588, 2009.

ALLSOPP M. H.; DE LANGE, W. J.; VELDTMAN R. Valuing Insect Pollination Services with Cost of Replacement. **PLoS ONE**, v. 3, n. 9, e3128, 2008.

ALMEIDA, L. T. de; FEIX, R. D.; MIRANDA, S. H. G. de. Comércio e meio ambiente: evidências do setor agroexportador brasileiro. In MAY, P. H. (org.) **Economia do Meio Ambiente: Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2ª ed., 2010, p. 245-262.

ASHWORTH, L.; QUESADA, M.; CASAS, A.; AGUILAR, R.; OYAMA, K. Pollinator-dependent food production in Mexico. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1050-1057, 2009.

BAUER, D. M. Valuation of pollination services: a comparison of approaches. In: NINAN, K. N. (org.) **Valuing Ecosystem Services: Methodological Issues and Case Studies**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing/UK, 2014.

BOMMARCO, R.; KLEIJN, D.; POTTS, S. G. Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 28, n. 4, p. 230–238, 2013.

BORNECK, R.; MERLE, B. Essai d'une evaluation de l'incidence economique de l'abeille

pollinisatrice dans l'agriculture Européenne. **Apiacta**, v. XXIV, p. 33–38, 1989.

BREEZE, T. D.; GALLAI, N.; GARIBALDI, L. A.; LI, X. S. Economic measures of pollination services: shortcomings and future directions. **Trends in Ecology & Evolution**, 2016.

BUTLER, C. The position of honey - bee in the national economy: Adult bee diseases. **Ann. Appl. Biol.**, v. 30, p. 189–191, 1943.

CALDERONE, Nicholas W. Insect pollinated crops, insect pollinators and US Agriculture: trend analysis of aggregate data for the period 1992-2009. **PLoS ONE**, v. 7, n. 5, e37235, 2012.

CARSON, Rachel. **Primavera Silenciosa**. São Paulo: Editora Gaia, 1º ed., 2010.

CARVALHEIRO, L. G.; SEYMOUR, C. L.; VELDTMAN, R.; NICOLSON, S. W. Pollination services decline with distance from natural habitat even in biodiversity-rich areas. **Journal of Applied Ecology**, v. 47, n. 4, p. 810–820, 2010.

CHACOFF, N. P.; MORALES, C. L.; GARIBALDI, L. A.; ASHWORTH, L.; AIZEN, M. A. **The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology**, v. 3, n. 1, p. 106-116, 2010.

CHAPLIN-KRAMER, R.; TUXEN-BETTMAN, K.; KREMEN, C. Value of wildland habitat for supplying pollination services to Californian agriculture. **Society for Range Management**, v. 33, n. 3, p. 33-41, 2011.

COLE, L. J.; KLEIJN, Kleijn; DICKS, V.; STOUT, J. C.; POTTS, S. G.; ALBRECHT, M.; BALZAN, M. V.; BARTOMEUS, I.; BEBELI, P. J.; BEVK, D.; BIESMEIJER, J. C.; CHLEBO, R.; DAUTARTÉ, A.; EMMANOUIL, N.; HARTFIELD, C.; HOLLAND, J. M.; HOLZSCHUH, A.; KNOBEN, N. T. J.; KOVÁCS-HOSTYÁNSZKI, A.; MANDELIK, Y.; PANOU, H.; PAXTON, R. J.; PETANIDOU, T.; CARVALHO, M. A. A. P.; RUNDLOF, M.; SARTHOU, J. P.; STAVRINIDES, M. C.; SUSO, M. J.; SZENTGYORGYI, H.; VAISSIÈRE, B. E.; VARNAVA, A.; VILÀ, M.; ZEMECKIS, R.; SCHEPER, J. A critical analysis of the potential for EU Common Agricultural Policy measures to support wild pollinators on farmland. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, p. 681-694, 2020.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). **EPA actions to protect pollinators**. Disponível em: <https://www.epa.gov/pollinator-protection/epa-actions-protect-pollinators>. Acesso em 07 de agosto de 2020.

COSTANZA, R.; ARGE, R.; GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; BELT, M. van den. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253–260, 1997.

COSTANZA, R.; GROOT, R.; BRAAT, L.; KUBISZEWSKI, I.; FIORAMONTI, L.; SUTTON, P.; FARBER, S.; GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem services**, v. 28, p. 1-16, 2017.

CUNNINGHAM, S. A.; FEUVRE, D. Le. Significant yield benefits from honeybee pollination of faba bean (*Vicia faba*) assessed at field scale. **Field Crops Research**, v. 149, p. 269-275, 2013.

DIAS, B. F.; RAW, A.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. International Pollinators Initiative: the São Paulo Declaration on Pollinators. **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, 1999.

DICKS, L. V.; VIANA, B.; BOMMARCO, R.; BROSI, B.; ARIZMENDI, M. del C.; CUNNINGHAM, S. A.; GALETTO, L.; HILL, R.; LOPES, A. V.; PIRES, C.; TAKI, H.; POTTS, S. G. Ten policies for pollinators: What governments can do to safeguard pollination services? **Science**, v. 354, n. 6315, p. 975-976, 2016.

EHRlich, P. R.; KAREIVA, P. M.; DAILY, G. C. Securing natural capital and expanding equity to rescale civilization. **Nature**, v. 486, p. 68-73, 2012.

EKINS, P.; SIMON, S.; DEUTSCH, L.; FOLKE, C.; GROOT, R. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. **Ecological Economics**, v. 44, p. 165-185, 2003.

ELLIS, A. M.; MYERS, S. S.; RICKETTS, T. H. Do Pollinators Contribute to Nutritional Health? **PLoS One**, v. 10, n. 1, 2015.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological Economics**, v. 65, n. 4, p. 663-674, 2008.

FREITAS, B. M. de; OLIVEIRA FILHO, J. H. de. Ninhos racionais para mamangaba (*Xylocopa frontalis*) na polinização do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis*). **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1135-1139, nov-dez, 2003.

GALLAI, N.; SALLES, J. M.; SETTELE, J.; VAISSIÈRE, B. E. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, v. 68, p. 810-821, 2009.

GARIBALDI, L. A.; AIZEN, M. A.; KLEIN, A. M.; CUNNINGHAM, S. A.; HARDER, L. D. Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 14, p. 5909-5914, 2011.

GARIBALDI, L. A.; STEFAN-DEWENTER, I.; WINFREE, R.; AIZEN, M. A.; BOMMARCO, R.; CUNNINGHAM, S. A.; KREMEN, C.; CARVALHEIRO, L. G.; HARDER, L. D.; AFIK, O.; BARTOMEUS, I.; BENJAMIN, F.; BOREUX, V.; CARIVEAU, D.; CHACOFF, N. P.; DUDENHOFFER, J. H.; FREITAS, B. M.; GHAZOUL, J.; GREENLEAF, S.; HIPÓLITO, J.; HOLZSCHUH, A.; HOWLETT, B.; ISAACS, R.; JAVOREK, S. K.; KENNEDY, C. M.; KREWENKA, K. M.; KRISHNAN, S.; MANDELIK, Y.; MAYFIELD, M. M.; MOTZKE, I.; MUNYULI, T.; NAULT, B. A.; OTIENO, M.; PETERSEN, J.; PISANTY, G.; POTTS, S. G.; RADER, R.; RICKETTS, T. H.; RUNDOLF, M.; SEYMOUR, C. L.; SCHUEPP, C.; SZENTGYORGYI, H.; TAKI, H.; TSCHARNTKE, T.; VERGARA, C. H.; VIANA, B. F.; WANGER, T. C.; WESTPHAL, C.; WILLIAMS, N.; KLEIN, A. M. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1608-1611, 2013.

GARIBALDI, L. A.; CARVALHEIRO, L. G.; LEONHARDT, S. D.; AIZEN, M. A.; BLAAUW, B. R.; ISAACS, R.; KUHLMANN, M.; KLEIJN, D.; KLEIN, A. M.; KREMEN, C.; MORANDIN, L.; SCHEPER, J.; WINFREE, R. From research to action: enhancing crop yield through wild pollinators. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 12, n. 8, p. 439–447, 2014.

GARIBALDI, L. A.; CARVALHEIRO, L. G.; VAISSIÈRE, B. E.; GEMMILL-HERREN, B.; HIPÓLITO, J.; FREITAS, B. M.; NGO, H. T.; AZZU, N.; SÁEZ, A.; ASTROM, J.; AN, J.; BLOCHTEIN, B.; BUCHORI, D.; GARCIA, F. J. C.; SILVA, F. O. da; DEVKOTA, K.; RIBEIRO, M. de F.; FREITAS, L.; GAGLIANONE, M. C.; GOSS, M.; IRSHAD, M.; KASINA, M.; PACHECO FILHO, A. J. S.; KIILL, L. H. P.; KWAPONG, P.; PARRA, G. N.; PIRES, C.; RAWAL, R. S.; RIZALI, A.; SARAIVA, A. M.; VELDTMAN, R.; VIANA, B. F.; WITTER, S.; ZHANG, H. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. **Science**, v. 351, n. 6271, 2016a.

GARIBALDI, L. A.; GEMMILL-HERREN, B.; ANNOLFO, R. D.; GRAEUB, B. E.; CUNNINGHAM, S. A.; BREEZE, T. D. Farming Approaches for Greater Biodiversity, Livelihoods, and Food Security. **Trends in Ecology & Evolution**, p. 1-13, 2016b.

GARRATT, M. P. D.; BREEZE, T. D.; JENNER, N.; POLCE, C.; BIESMEIJER, J. C.; POTTS, S. G. Avoiding a bad apple: insect pollination enhances fruit quality and economic value. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 184, p. 34-40, 2014.

GHAZOUL, J. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 20, n. 7, p. 367–373, 2005.

GIANNINI, T. C.; ACOSTA, A. L.; SILVA, C. I. da; OLIVEIRA, P. E. A. M. de; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M. Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in Brazilian Tropical Savannas under climate change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 171, p. 39-46, 2013.

GIANNINI, T. C.; CORDEIRO, G. D.; FREITAS, B. M.; SARAIVA, A. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. **Journal of Economic Entomology**, p. 1–9, 2015.

HANLEY, N.; BREEZE, T. D.; ELLIS, C.; GOULSON, D. Measuring the economic value of pollination services: Principles, evidence and knowledge gaps. **Ecosystem Services**, v. 14, p. 124-132, 2014.

HEIN, L. The economic value of the pollination service, a review across scales. **The Open Ecology Journal**, v. 2, p. 74–82, 2009.

HENRY, M.; BÉGUIN, M.; REQUIER, F.; ROLLIN, O.; ODOUX, J. F.; AUPINEL, P.; APTEL, J.; TCHAMITCHIAN, S.; DECOURTYE, A. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. **Science**, v. 336, n. 6079, p. 348-350, 2012.

HIPÓLITO, J.; VIANA, B. F.; GARIBALDI, L. A. The value of pollinator-friendly practices: synergies between natural and anthropogenic assets. **Basic and Applied Ecology**, v. 17, n. 8, p. 659-667, 2016.

HOEKSTRA, A.Y.; HUNG, P. Q. Virtual Water Trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. **Value of Water Research Report Series**, n. 11, 2002.

HOLZSCHUH, A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Agricultural landscapes with organic crops support higher pollinator diversity. **Oikos**, v. 117, p. 354-361, 2008.

IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; CANHOS, D. A. L.; ALVES, D. de A.; SARAIVA, A. M. Polinizadores e Polinização – um tema global. In: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; CANHOS, D. A. L.; ALVES, D. de A.; SARAIVA, A. M. (org.). **Polinizadores no Brasil: contribuições e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. São Paulo, **edUSP**, 2012, p. 25-45.

KAMAL, S.; GRODZINSKA-JURCZAK, M.; BROWN, G. Conservation on private land: a review of global strategies with a proposed classification system. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 58, n. 4, p. 576-597, 2015.

KLATT, B. K.; HOLZSCHUH, A.; WESTPHAL, C.; CLOUGH, Y.; SMIT, I.; PAWELZIK, E.; TSCHARNTKE, T. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. **Proc. R. Soc. B**, v. 281, n. 1775, 2014.

KLEIN, A. M.; VAISSIÈRE, B. E.; CANE, J. H.; STEFFAN-DEWENTER, I.; CUNNINGHAM, S. A.; KREMEN, C.; TSCHARNTKE, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, p. 1608, p. 303–313, 2007.

LAUTENBACH, S.; SEPPELT, R.; LIEBSCHER, J.; DORMANN, C. F. Spatial and temporal trends of global pollination benefit. **PLoS ONE**, v. 7, n. 4, e35954, 2012.

LENZEN, M.; MORAN, D.; KANEMOTO, K.; FORAN, B.; LOBEFARO, L.; GESCHKE, A. International trade drives biodiversity threats in developing nations. **Nature**, v. 486, p. 109-112, 2012.

LEVIN, M. D. Value of bee pollination to United States agriculture. **Am. Bee J.**, v. 124, p. 184–186, 1984.

LIU, J.; LI, S.; OUYANG, Z.; TAM, C.; CHEN, X.. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. **PNAS**, v. 105, n. 28, p. 9477-9482, 2008.

MARTIN, E.C. The use of bees for crop pollination. **Am. Bee J.**, v. 113, p. 422–423, 1973.

MAYER, A. L.; KAUPPI, P. E.; ANGELSTAM, P. K.; ZHANG, Y.; TIKKA, P. M. Importing timber, exporting ecological impact. **Science**, v. 308, p. 359-360, 2005.

MEA (Millenium Ecosystem Assessment). **Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment**. Washington DC: Island Press, 2003.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment) **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington DC: Island press, 2005.

MELATHOPOULOS, A. P.; CUTLER, G. C.; TYEDMERS, P. Where is the value in valuing pollination ecosystem services to agriculture? **Ecological Economics**, v. 109, p. 59-70, 2015.

METCALF, C. L., FLINT, W.P., METCALF, R.L. **Destructive and Useful Insects: Their Habits and Control**. Nova York: McGraw-Hill Book Company, 1962.

MILFONT, M. de O.; ROCHA, R. R. M.; LIMA, A; O. N.; FREITAS, B. M. Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and autopollination. **Environ. Chem. Lett.**, v. 11, p. 335-341, 2013.

MORANDIN, L. A.; WINSTON, M. L. Pollinators provide economic incentive to preserve natural land in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 116, p. 289-292, 2006.

MORSE, R. A.; CALDERONE, N. W. The value of honey bees as pollinators of U S Crops in 2000. **Bee Culture**, v. 128, 2000.

NABAN, G. P.; BUCHMANN, S. L. Services provided by pollinators. In: DAILY, G. C. (org.), **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**. Washington, DC: Island Press, 1997.

NAIDOO, R.; BALMFORD, A.; FERRARO, P. J.; POLASKY, S.; RICKETTS, T. H.; ROUGET, M. Integrating economic costs into conservation planning. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, n. 12, p. 681-687, 2006.

OLLERTON, J.; WINFREE, R.; TARRANT, S. How many flowering plants are pollinated by animals? **Oikos**, v. 120, p. 321-326, 2011.

OLSCHEWSKI, R.; TSCHARNTKE, T.; BENITEZ, P. C.; SCHWARZE, S.; KLEIN, A. M. Economic evaluation of pollination services comparing coffee landscapes in Ecuador and Indonesia. **Ecology and Society**, v. 11, n. 1, 2006.

OLSCHEWSKI, R; KLEIN, A. M.; TSCHARNTKE, T. Economic trade-offs between carbon sequestration, timber production, and crop pollination in tropical forested landscapes. **Ecological Complexity**, v. 7, p. 314-319, 2010.

PEARCE, D. Economic valuation and the natural world. **Policy Research - Working Papers: World Development Report**, 1992.

PEARCE, D. Introduction: valuing environments in the rich world. In: PEARCE, D. (org.). **Environmental valuation in developed countries**, Cheltenham UK: Edward Elgar Publishing, 2006.

POTTS, S. G.; BIESMEIJER, J. C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O.; KUNIN, W. E. Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 25, n. 6, p. 345-353, 2010.

POTTS, S. G; IMPERATRIZ-FONSECA, V.; NGO, H. T.; AIZEN, M. A.; BIESMEIJER, J. C.; BREEZE, T. D.; DICKS, L. V.; GARIBALDI, L. A.; HILL, R.; SETTELE, J.;

VANBERGEN, A. J. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. **Nature**, p. 1-10, 2016.

PYWELL, R. F.; HEARD, M. S.; WOODCOCK, B. A.; HINSLEY, S.; RIDDING, L.; NOWAKOWSKI, M.; BULLOCK, J. M. Wildlife-friendly farming increases crop yield: evidence for ecological intensification. **Proc. R. Soc. B**, v. 282, 2015.

RAMOS, D. L.; BUSTAMANTE, M. C.; SILVA, F. D. S.; CARVALHEIRO, L. G. Crop fertilization affects pollination service provision – Common bean as a case study. **PLoS ONE**, v. 13, n. 11, 2018.

REES, W. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. **Environment and Urbanization**, v. 2, p. 121–130, 1992.

RICKETTS, T. H.; DAILY, G. C.; EHRLICH, P. R.; MICHENER, C. D. Economic value of tropical forest to coffee production. **PNAS**, v. 101, n. 34, p. 12579-12582, 2004.

ROBINSON, W. S., NOWOGRODZKI, R.; MORSE, R. A. The value of honey bees as pollinators of U.S. crops. **Am. Bee J.**, v. 129, p. 411-478, 1989.

ROUBIK, D. W. **Pollination of cultivated plants in the tropics. Food and agriculture organization of the United Nations**, Rome, Italy, Bulletin 118, 1995.

RUCKER, R. R., THURMAN, W.N., BURGETT, M. Colony Collapse and the Economic Consequences of Bee Disease: Adaption to Environmental Change. **CEnREP Working Paper No. 16-018.**, 2016.

SPITERI, A.; NEPAL, S. Incentive-based conservation programs in developing countries: A review of some key issues and suggestions for improvements. **Environmental Management**, v. 37, p. 1-14, 2006.

SMITH, M. R.; SINGH, G. M.; MOZAFF, D.; MYERS, S. S. Effects of decreases of animal pollinators on human nutrition and global health: a modelling analysis. **The Lancet**, 2015.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363–364, 2014.

STEFFAN-DEWENTER, I.; POTTS, S. G.; PACKER, L. Pollinator diversity and crop pollination services are at risk. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 20, n. 12, p. 651–653, 2005.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, p. 671, 677, 2002.

VAISSIÈRE, B. E.; FREITAS, B. M., GEMMILL-HERREN, B. **Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use. Global Action on Pollination Services for Sustainable Agriculture**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2011.

VEIGA, J. E. da; EHLERS, E. Diversidade biológica e dinamismo econômico no meio rural. In MAY, P. H. (org.). **Economia do Meio Ambiente: Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2ª ed., 2010, p. 289-308.

VIEIRA, P. F. da S. P.; CRUZ, D. de O.; GOMES, M. F. M.; CAMPOS, L. A. de O.; LIMA, J. E. Valor econômico da polinização por abelhas mamangavas no cultivo do maracujá-amarelo. **Revista de La Red Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 15, p. 43–53, 2010.

VRANCKX, G.; JACQUEMYN, H.; MUYS, B.; HONNAY, O. Meta-Analysis of Susceptibility of Woody Plants to Loss of Genetic Diversity through Habitat Fragmentation. **Conservation Biology**, v. 26, n. 2, p. 228-232, 2011.

WINFREE, R.; GROSS, B. J.; KREMEN, C. Valuing pollination services to agriculture. **Ecological Economics**, v. 71, p. 80-88, 2011.

WOLOWSKI, M.; AGOSTINI, K.; RECH, A. R.; VERASSIN, I. G.; MAUÉS, M.; FREITAS, L.; CARNEIRO, L. T.; BUENO, R. de O.; CONSOLARO, H.; CARVALHEIRO, L.; SARAIVA, A. M.; SILVA, C. I. (2019). **Relatório Temático sobre Polinização , Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil, BPBES**. Disponível em:< <https://www.bpb.es.net.br/produto/polinizacao-producao-de-alimentos/>>. Acessado em 05 de maio de 2020.