




Polinização, Abelhas robôs e a neutralidade da tecnologia

Pollination, robobees and the neutrality of technology

Denis Marcio Rodrigues Junior ^{a,*} 

José Bento Souza Vasconcellos dos Santos ^a 

Daniele Ornaghi Sant'Anna ^b 

RESUMO: O colapso dos polinizadores, uma das muitas facetas das crises ambientais correntes, traz um enorme desafio para a produção agrícola. Estudos apontam a correlação entre este problema e o uso extensivo de agrotóxicos, mas outra possibilidade além de seu controle mais estrito pode ser apresentada ao grande público como uma solução desta crise: o desenvolvimento de tecnologias de polinização artificial. Este artigo procura, após estabelecer a seriedade desta crise e a fundamentar suas origens antropogênicas a partir de relatórios e revisão bibliográfica, se utilizar de artigos de divulgação científica como fontes primárias para problematizar o desenvolvimento tecnológico como não-neutro, nem baseado puramente em critérios de eficiência, mas influenciado por fatores econômicos e sociais, bem como reprodutor de ideologias.

Palavras-chave: Polinização; Agrotóxicos; Filosofia da tecnologia; Divulgação científica.

ABSTRACT: The collapse of pollinators, one of the many facets of current environmental crises, poses an enormous challenge for agricultural production. Studies point out the correlation between this problem and the extensive use of agrochemicals, but another possibility besides its stricter control can be presented to the public as a solution to this crisis: the development of artificial pollination technologies. This article seeks, after establishing the seriousness of this crisis and its anthropogenic origins through reports and bibliographic review, to use science communication articles as primary sources to problematize technological development as non-neutral, nor based purely on criteria of efficiency, but influenced by economic and social factors and reproducing ideologies.


Keywords: Pollination; Agrochemicals; Technology philosophy; Science communication.

^a Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Tecnologias e Sociedades, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.

^b Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.

* Correspondência para/Correspondence to: Denis Marcio Rodrigues Junior. E-mail: d2019100210@unifei.edu.br.

Recebido em/Received: 22/02/2021; Aprovado em/Approved: 24/05/2021.

Artigo publicado em acesso aberto sob licença [CC BY 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

INTRODUÇÃO

Em seu livro *Capitalismo e Colapso Ambiental*, Luiz Marques (2018) apresenta em forma de dossiês diversas diferentes crises ambientais que convergem em direção ao colapso. Os capítulos 8 e 9, entretanto, ocupam um lugar especial ao apresentarem não uma crise ou tendência, mas uma verdadeira tragédia em ação neste momento: trata-se do colapso da biodiversidade.

Entre as numerosas páginas apresentando dados quanto a diminuição consistente na variedade de seres vivos em quase todos os filões, o trecho dedicado aos artrópodes pode passar despercebido, mas talvez seja o mais catastrófico do livro, quando o autor afirma que o declínio se estende aos polinizadores, responsáveis pela manutenção da biodiversidade. Não se trata de um problema puramente humano, uma vez que essa atividade é essencial para toda a cadeia alimentar, mas é inegável que nossa espécie também se veria em uma situação precária.

A polinização realizada por insetos e outras espécies animais é essencial para a produtividade das culturas alimentícias, além de contribuir na preservação de áreas com vegetação nativa. O grupo de polinizadores mais abundante na agricultura são as abelhas.

Entretanto, elas vêm desaparecendo de forma contínua nas últimas décadas em um fenômeno chamado de Distúrbio do Colapso das Colônias (DCC) ou no original em inglês *Colony Collapse Disorder* (CCD). Caracteriza-se pela morte de colônias inteiras de abelhas, com o desaparecimento dos corpos, mas com uma rainha viva e abundância de alimentos abandonados. Casos já são observados desde a década de 1990, mas a partir de 2006 que passou a ser amplamente reportado e estudado, ganhando este nome (USA 2017). Trata-se, portanto, de uma demanda urgente que inspirará diferentes propostas de solução.

O presente trabalho procura analisar esse problema e certas propostas de solução, problematizando-as a partir de discussões da crítica da tecnologia. Para tal, será utilizado a metodologia de pesquisa bibliográfica e documental, com o uso de artigos jornalísticos como fonte primária na terceira subseção. Nas demais, serão utilizados relatórios, artigos científicos e referenciais teóricos, com discussão dos resultados na quarta subseção, com o objetivo de problematizar o desenvolvimento tecnológico.

Seguir-se-á, portanto, a seguinte estrutura: na primeira parte, demonstra-se o papel crucial da polinização para a alimentação e economia humana, com particular atenção para o Brasil; Na segunda, a relação do desaparecimento das colônias com o uso de agrotóxicos; Em seguida, fala-se sobre uma possível solução apresentada no âmbito da inovação tecnológica, as polinizadoras robôs, como retratadas por artigos de jornais e, finalmente, argumenta-se na quarta e última parte que esse tipo de solução não é neutra, mas calcada em escolhas ideológicas.

POLINIZAÇÃO

Polinização, polinizadores e produção de alimentos

Polinização é a transferência de grãos de pólen entre órgãos masculinos e femininos das flores, um processo importante para a reprodução das plantas que resulta na formação de frutos e sementes. A polinização é realizada tanto por animais como por vento ou água. A maioria das plantas, cultivadas ou nativas, é polinizada por animais e depende destes para sua reprodução (BPBES 2019). Existem outras formas de polinização, a polinização realizada por animais é chamada polinização biótica, enquanto a realizada pela ação da água ou do vento é denominada polinização abiótica.

Polinização cruzada ou xenogamia ocorre quando os grãos de pólen de uma flor são transportados para o estigma da flor de outra planta. Autopolinização ocorre quando os grãos de pólen de uma flor são transportados para o estigma da mesma flor. Geitonogamia ocorre quando os grãos de pólen de uma flor são transportados para o estigma de outra flor na mesma planta (Raven *et al.* 2007). Nas comunidades tropicais, 94% das plantas são polinizadas por animais (Ollerton *et al.* 2006). Os animais polinizadores são em sua maioria insetos, tais como abelhas, moscas, borboletas, mariposas, vespas, besouros e tripes (insetos diminutos com 1 mm de comprimento ou menos, de corpo delgado e asas franjadas), mas também há polinizadores vertebrados, como aves, morcegos, mamíferos não voadores e lagartos.

As abelhas são o grupo de polinizadores mais abundante na agricultura, pois visitam mais de 90% dos 107 principais cultivos agrícolas já estudados no mundo (Klein *et al.* 2007). A biodiversidade de abelhas no mundo todo é muito grande, são conhecidas cerca de 20.000 espécies (ITIS 2018). Destas, a grande maioria tem hábitos solitários, e cerca de 1000 espécies são sociais.

Considerando-se apenas as plantas cultivadas polinizadas por animais, 70% do total de 1.330 cultivos nas regiões tropicais produzem frutos e sementes em maior quantidade e/ou com melhor qualidade quando polinizadas adequadamente (Roubik 2018).

Polinização como serviço ecossistêmico

A polinização é considerada um serviço ecossistêmico regulatório, de provisão e cultural, sendo uma interação ecológica que fornece muitos benefícios aos seres humanos. Estes incluem a manutenção e a variabilidade genética de populações de plantas nativas que sustentam a biodiversidade e as funções ecossistêmicas (serviço ecossistêmico regulatório), a garantia do fornecimento confiável e diversificado de frutos, sementes, mel, entre outros (serviço ecossistêmico de provisão) e a promoção de valores culturais relacionados ao conhecimento tradicional (serviço ecossistêmico cultural) (Costanza *et al.* 2017).

O potencial da polinização como serviço ecossistêmico pode ser ressaltado quando associado à produção de alimentos. O valor das abelhas e demais polinizadores para a manutenção da biodiversidade é incalculável. Muitos deles não foram ainda identificados. Temos uma lacuna de informações grande em relação à biodiversidade principalmente nas regiões tropicais do globo. Os dados existentes na literatura sobre as espécies silvestres que atuam na polinização agrícola mostram que apenas 2% das espécies de polinizadores são responsáveis por 80% dos serviços de polinização (Kleijn *et al.* 2015).

Efeitos das mudanças climáticas

Vários estudos que preveem, com base nos cenários de mudança climática global, como o nicho climático de abelhas brasileiras irão variar nos próximos 100 anos mostram redução da área de distribuição potencial para um grande número de espécies. Por exemplo, um estudo que avaliou alterações no nicho climático de 95 espécies de abelhas importantes para a produção agrícola no Brasil, revelou que haverá declínio de polinizadores agrícolas em aproximadamente 90% dos municípios, causado pelas variações climáticas (Giannini *et al.* 2017).

Efeitos do desmatamento

Todos os ecossistemas brasileiros estão sendo fortemente afetados pelo desmatamento (WWF 2008). As mudanças no uso da terra, tanto para obras de infraestrutura quanto de urbanização ou agricultura (incluindo o manejo florestal), não só levam à perda de áreas naturais como também à fragmentação dos *habitats* remanescentes. Inclusive as práticas agrícolas convencionais, pois não consideram a preservação de áreas remanescentes de vegetação nativa e dos chamados, corredores ecológicos. Todas essas mudanças reduzem a disponibilidade de alimentos e de locais apropriados para a nidificação dos polinizadores (Biesmeijer 2006; Kremen *et al.* 2007).

As práticas agrícolas convencionais têm sido extremamente prejudiciais aos polinizadores (Hagen *et al.* 2012), pois não consideram a preservação de remanescentes de vegetação nativa e de corredores ecológicos, fazendo que diminuam a quantidade e a variedade de alimentos alternativos e fontes de nidificação para abelhas e polinizadores em geral (Alves dos Santos *et al.* 2014; Maués 2014).

Fatores econômicos dos serviços ecossistêmicos

A primeira valoração econômica global do serviço ecossistêmico da polinização apontou o montante de US\$ 70 bilhões/ano (Costanza *et al.* 1997). Mais recentemente, esse serviço ecossistêmico foi avaliado em € 153 bilhões (Gallai *et al.* 2009). Esse número foi atualizado no Relatório de Avaliação sobre Polinizadores, Polinização e Produção de Alimentos da IPBES, sendo estimado entre US\$ 235 bilhões e US\$ 577 bilhões (IPBES 2016).

No Brasil, em termos econômicos, a polinização representou R\$ 43 bilhões em 2018 para o País (Giannini *et al.* 2019). Das 141 espécies de plantas cultivadas no Brasil – para uso na alimentação humana, produção animal, biodiesel e fibras – aproximadamente 60% (85 espécies) dependem em certo grau da polinização animal. Levando-se em conta a produção agrícola brasileira de 2012, estimou-se o valor econômico da polinização para 44 culturas, que apresentam ganhos variados com a polinização animal, em aproximadamente 30% da produção total de 45 bilhões de dólares (CGEE 2017). A soja responde por 60% deste valor, seguida pelo café (12%), laranja (5%) e maçã (4%). Das 191 culturas agrícolas utilizadas para a produção de alimentos no País, 114 (60%) são visitadas por polinizadores. Para chegar a este valor, os pesquisadores calcularam o produto da taxa de dependência de polinização pela produção anual considerando 85 cultivos.

AMEAÇAS

Transgênicos e Insetos

Um importante estudo sobre o comportamento das plantas transgênicas, constatou que as plantas geneticamente modificadas causam sérios danos aos outros seres vivos do *habitat*. De acordo com Firbank *et al.* (2003), os estudos demonstraram que os poderosos pesticidas que essas plantas tolerariam, causam significativos danos a fauna e flora silvestre. O documento final é o resultado de uma série de 4 estudos realizados em grande escala em 65 fazendas (Farm-Scale Evaluations – FSEs) com plantação de colza - *Brassica napus*. A experiência apontou que os Organismos Geneticamente Modificados causam graves danos às flores selvagens, borboletas, abelhas e, provavelmente, às aves canoras afetando toda a cadeia alimentar e de reprodução da biodiversidade natural.

Indústria dos Agrotóxicos e os polinizadores

De acordo com DiBartolomeis *et al.* (2019), a paisagem agrícola dos Estados Unidos da América é atualmente 48 vezes mais tóxica para abelhas melíferas e outros insetos do que há 25 anos, sobretudo pelo uso generalizado dos chamados pesticidas neonicotinoides. Foram encontrados entre 61 e quase 99% da carga total de toxicidade no ambiente pesquisado, representando uma potencial ameaça à saúde das abelhas e outros polinizadores, contribuindo para o declínio nas populações benéficas de insetos, aves insetívoras e outros consumidores de insetos.

Segundo a Associação Brasileira de Saúde Coletiva (ABRASCO 2015) 64% dos alimentos no Brasil são contaminados por agrotóxicos; 34.147 intoxicações por esses produtos foram notificadas no Sistema Único de Saúde entre 2007 e 2014; 288% foi o percentual de aumento do uso dos agrotóxicos no Brasil entre 2000 e 2012, segundo dado publicado pelo IBGE, saltando de 2,7 quilos por hectare (kg/ha) em 2002 para 6,9 quilos por hectare em 2012 (IBGE 2015). O faturamento da indústria de agrotóxicos no Brasil

em 2014 foi de 12 bilhões de dólares. Essa realidade nos coloca na posição de maior mercado mundial de agrotóxicos.

Em uma atualização, recente, o número de Agrotóxicos que tiveram seu uso autorizado, teve um crescimento substancial, chegando a 847 novos produtos, liberados até o mês de novembro de 2020 (Pública 2020). A agricultura brasileira usou 539,9 mil toneladas de pesticidas em 2017, segundo os dados mais recentes do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (Ibama 2017). Isso representou um gasto de US\$ 8,8 bilhões (cerca de R\$ 47 bilhões no câmbio atual) no mesmo período, de acordo com a associação que representa os fabricantes a Associação Nacional de Defesa Vegetal (Bombardi 2018).

Agrotóxicos Versus Abelhas

Na maioria dos ecossistemas mundiais, as abelhas são os principais agentes polinizadores. Nas últimas décadas, o declínio de populações de abelhas tem preocupado pesquisadores e apicultores/meliponicultores. Os especialistas têm afirmado que esse declínio não pode ser associado a uma única causa e muito provavelmente envolvem fatores convergentes. Um desses fatores tem sido o uso intensivo de agrotóxicos na agricultura. Como visto no item anterior, o modelo atual da agricultura brasileira é altamente baseado no uso desses insumos. [trecho cortado]

Durante o processo de avaliação e aprovação de um agrotóxico, são realizados diversos testes para que tal insumo possa ser validado e sua comercialização e utilização, chegue ao campo. Um destes testes é uma vertente da avaliação ambiental, chamada de Avaliação de Risco (ARA) que começou a ser implantada de forma sistemática somente a partir de 2010 e teve um maior desenvolvimento na parte de abelhas porque nesse mesmo período vários países estavam revisando seus esquemas de avaliação de risco para polinizadores, em virtude do aumento da preocupação com as possíveis consequências dos efeitos subletais às abelhas (ARA 2017). O Ibama realiza a Avaliação de Riscos Ambientais de agrotóxicos no Brasil com base no Decreto nº 4074/02. Isso tem sido feito desde meados de 2011, porém ainda se encontra em fase de desenvolvimento para que possam ser analisados e chancelados pela comunidade científica.

Assim, o Ibama vem desenvolvendo o esquema de avaliação de risco de agrotóxicos para insetos polinizadores, considerando as características da agricultura brasileira, a fim de implementá-lo como requisito obrigatório para o registro desses produtos. Em 19 de julho de 2012 foi publicado no Diário Oficial da União um comunicado dando início formal ao processo de reavaliação de agrotóxicos por indícios de efeitos adversos em abelhas (DOU 2012). Quatro ingredientes ativos foram então selecionados para reavaliação: Imidacloprido, Tiametoxam, Clotianidina e Fipronil. A publicação do pedido de reavaliação dessas substâncias foi motivada pela citação desses ingredientes ativos em diversos artigos científicos, relacionando-os a efeitos adversos em abelhas, ou pela ocorrência de mortalidade massiva de abelhas, tanto no Brasil como em diversos países. Em 2017 o Ibama colocou em consulta pública uma proposta

de instrução normativa que disciplinasse os procedimentos de avaliação de risco para abelhas. Essa norma se constitui no primeiro regulamento sobre avaliação de risco ambiental de agrotóxicos, e direcionada à proteção de abelhas. Foram propostos como objetivos de proteção a serem alcançados com a avaliação de risco de agrotóxicos para abelhas: a) proteger os insetos polinizadores e sua biodiversidade e b) garantir os serviços ecossistêmicos fornecidos por eles, incluindo o serviço de polinização, a produção de produtos da colônia (mel, própolis, cera etc.) e a provisão de recursos genéticos (DOU 2017).

Dentre os 4 produtos acima citados, gostaríamos de exemplificar o uso do produto denominado fipronil: um inseticida de amplo espectro que danifica o sistema nervoso central do inseto ao bloquear a passagem de íons de cloro através dos receptores GABA e dos canais de glutamato-cloro (GluCl), componentes do sistema nervoso central, em estudos realizados, as abelhas sofreram alteração na atividade motora após serem expostas por ingestão ou contato à DL50 e à DS do inseticida fipronil. A atividade locomotora em insetos é regulada pela sinalização GABAérgica que pode ser bloqueada devido a ligação do fipronil ao neurotransmissor GABA (Narahashi *et al.* 2010). A exposição dos enxames ao fipronil e sua utilização pelas abelhas pode prejudicar diversas atividades na colônia. A coleta de recursos pode ser prejudicada devido a alterações na atividade motora de abelhas campeiras, que ao consumirem os recursos contaminados apresentam maior letargia, além disso, alterações motoras podem ser mais intensas em períodos de escassez de floradas, quando as abelhas são expostas à DS de fipronil presente em alimentos contaminados, devido às repetidas exposições ao inseticida. (Zaluski 2017). A fórmula deste produto foi adquirida em 2005 pela indústria Basf Aktiengesellschaft, a aquisição incluiu todos os ativos do inseticida, e as formulações derivadas de sua composição básica, e envolveu investimento de € 1 bilhão. A operação com o Fipronil no Brasil custou US\$ 2,6 milhões (Castro 2005). A BASF é a maior empresa da indústria química mundial, com um volume de vendas de € 62,7 bilhões em 2018, empregando 115 mil trabalhadores, nas mais de 390 unidades de produção, em mais de 80 países, sendo que 12 destas unidades estão localizadas no Brasil (BASF 2019). Essa substância foi proibida em países como Vietnã, Uruguai e África do Sul, após pesquisas comprovarem que ela é letal para as abelhas.

ABELHAS-ROBÔS

Dessa forma, considerando a importância do uso desses agrotóxicos para a indústria agropecuarista, particularmente poderosa em países como o Brasil em que a economia depende dela, outras soluções mais atraentes ao mercado são buscadas, no caso a polinização artificial. Já praticada há algumas décadas manualmente em casos muito específicos, ela é inviável na escala de produção necessária para manutenção do mercado agrícola, o que leva a busca de soluções mecânicas a partir do desenvolvimento de novas tecnologias.

O primeiro estudo divulgado sobre abelhas-robôs foi desenvolvido em Harvard em parceria com o instituto Wyss e não tinha como objetivo inicial a resolução do

problema das polinizadoras, entretanto ao analisarmos sua caracterização através de notícias, fica claro que o foco muda para esta meta, ao menos na forma como é apresentado para o público. Casos mais recentes, entretanto, deixam claro suas intenções de resolver a crise do DCC. No trecho seguinte deste artigo, serão descritas reportagens de jornal ou comunicados de imprensa a respeito de diferentes modelos de abelhas robôs, procurando descrever como os projetos são divulgados pela mídia e por seus desenvolvedores.

RoboBee

O *Wyss Institute for Biologically Engineering* é uma instituição dentro da Universidade de Harvard para desenvolvimento de novas tecnologias baseadas em formas de *design* encontradas na biologia. Ela se inspira na natureza e procura emular princípios biológicos de construção, organização e regulação para propor soluções tecnológicas para problemas diversos, bem como produtos comercializáveis (Wyss 2019). É dentro dessa instituição que está sendo desenvolvida a RoboBee.

De acordo com um de seus pesquisadores, o professor de engenharia e ciências aplicadas Robert J. Wood, o projeto está em desenvolvimento desde 2001, com informações ocasionais ao longo dos anos, mas é em 2 de maio de 2013 que ele é divulgado oficialmente através de um comunicado de imprensa (Perry 2013). Na matéria escrita por Caroline Perry, então coordenadora de notícias e divulgação pública da *Harvard School of Engineering and Applied Sciences*, o desenvolvimento do projeto é apresentado como um sucesso, como a culminação de uma década de trabalho duro e superação de dificuldades técnicas, já que agora os pequenos insetos robôs alcançaram o voo controlado, sendo capazes de decolar, planar e se mover no ar. Diversas aplicações úteis são apresentadas como possíveis no futuro: monitoramento ambiental, operação de busca e resgate e, dentro de nosso particular interesse, assistência com polinização, mas os cientistas têm expectativas ainda mais ambiciosas. O artigo deixa claro o ânimo e esperança dos envolvidos: esse é apenas um passo na jornada mais ampla, até porque, apesar do sucesso do voo, essa tecnologia é ainda bem limitada neste momento, já que o robô só funciona conectado por um cabo a uma fonte de energia e de comandos.

Como se vê, a polinização de culturas agrícolas não é apresentada como um objetivo central do projeto neste artigo de divulgação oficial: as aplicações práticas são apresentadas apenas de passagem. Entretanto, um artigo da revista *Business Insider* publicado pouco mais de um ano depois, já inicia falando sobre a crise da população das abelhas, deixando claro que essa é a principal demanda que corresponde diretamente à solução apresentada pelas RoboBees (Spector 2014). Eles admitem a possibilidade de robôs substituírem os insetos no rumo da extinção, afirmando que “não existe solução perfeita, mas que a tecnologia moderna oferece esperança”. Kevin Ma, um pesquisador de Harvard envolvido no projeto, afirma para a jornalista Dina Spector que, a despeito das dificuldades encontradas, estão prestes a fazer um grande avanço e que vê possibilidade dessas abelhas mecânicas serem capazes de

polinizar um campo em cerca dez anos, mas primeiro precisam fazê-las capazes de se mover em grandes números. O entrevistado não vê as abelhas como uma solução definitiva para o DCC, mas uma ajuda temporária até resolver o problema. Embora não assuma um caráter final, a relação aqui já é direta e clara: as RoboBees são apresentadas como uma demanda para manutenção da alimentação humana.

Em maio de 2016, o Wyss Institute lança um novo comunicado de imprensa em relação às RoboBees (Wyss 2016). Inicia apresentando uma das dificuldades encontradas: para a maioria de suas aplicações práticas os drones necessitam permanecer no ar por longos períodos e, devido ao seu tamanho diminuto, eles não são capazes de armazenar energia suficiente. Mais uma vez, os cientistas buscam inspiração na biologia, observando que diversos animais param para descansar se empoleirando e aplicam o princípio através da adesão eletrostática. Nesta atualização, acrescentam um eletrodo e uma espuma que absorve energia estática aumentando ligeiramente o peso do objeto, ainda semelhante ao de uma abelha. Neste momento, o drone só pode se fixar em tetos e saliências, já que o acréscimo está instalado em seu topo, mas intentem fazê-lo mais versátil. A maior limitação continua sendo a continuidade do seu controle e alimentação por cabos externos.

Em nenhum momento do artigo as possíveis aplicações práticas do projeto são apresentadas, apenas aludidas como a motivação das alterações. Já uma matéria do *World Economic Forum* publicada pouco depois e que reporta esses novos desenvolvimentos tem como manchete “These RoboBees could pollinate crops and save disaster victims” (Soffel 2016). Como a matéria do *Business Insider*, faz imediatamente a conexão com a crise do DCC e sua consequência para o suprimento de alimentos globalmente. Outra matéria, do site de variedades *The Verge*, faz novas estimativas – dois anos em laboratório e de cinco a dez antes dos RoboBees poderem ser usados em aplicações práticas – e foca na ciência por trás da descoberta, apresentando as limitações energéticas dos robôs e afirmando, a partir das palavras do especialista em robótica Mirko Kovac, que se os desenvolvedores pudessem incorporar alguma forma de energia sustentável nos robôs, como painéis solares, esses problemas poderiam ser resolvidos (Vincent 2016).

Em 2019, essa dificuldade é superada e, em um novo comunicado de imprensa, o Wyss Institute avisa que o RoboBee fez o primeiro voo sem estar conectado por fios e com minúsculos painéis solares anexados, ainda que estes ainda estejam longe da eficiência necessária para realmente utilizar a luz do sol (Wyss 2019). Para possibilitar isso, o drone teve de passar por grandes alterações de *design*, com mudança no número de asas, de formato e tamanho, passando a pesar mais do que o dobro das versões anteriores. Destacando a dificuldade técnica de voos em escala tão pequena, novamente o artigo não menciona quaisquer utilidades práticas do objeto.

Outros projetos: foco na polinização

O objeto tecnológico tratado no último trecho merece destaque ao ser o primeiro e mais abertamente divulgado projeto de insetos robôs. Entretanto, recentemente

outros semelhantes têm aparecido na mídia, apresentando um discurso mais claramente focado nas demandas causadas pelo declínio das populações de abelhas.

Um artigo de março de 2017 apresenta o projeto de um time japonês (Ponti 2017). Ele parte da descoberta de um gel adesivo, que havia falhado quanto à utilidade para a qual tinha sido inicialmente criado, mas que por suas propriedades duradouras é reavaliado como útil para a polinização artificial. Eles se utilizam de pelo de cavalo para carregar mais eficientemente o pólen e de drones comerciais, que devem ser controlados por uma pessoa. Devido a essa limitação, que inviabiliza seu uso, o artigo não demonstra o mesmo otimismo do anterior, entrevistando, além do cientista responsável pela criação do gel Eijiro Miyako, entomologistas que se mostram céticos quanto ao sucesso da empreitada. Marla Spivak aponta o número de acres de florestas só na Califórnia e as centenas de milhões de abelhas que são necessárias para polinizá-las, questionando a viabilidade do número de robôs necessários. Afirma também, conforme já mencionado neste trabalho, que há mais de 20 mil espécies diferentes de abelhas, muitas das quais são especializadas em polinizar plantas específicas. Outro entomologista, Quinn McFrederick, não acredita que a empreitada é impossível, mas vê muito mais sentido em proteger os polinizadores naturais do que desenvolver uma nova tecnologia. Embora reconheça a validade dessa crítica, Miyako diz que seu objetivo para os drones não é substituir as abelhas, mas como um aliado potencial tendo em vista a diminuição das espécies.

Um ano depois, em março de 2018, é amplamente reportado que o Walmart, uma das maiores companhias dos EUA, registra patentes de insetos robô (CBINSIGHTS 2018). São seis patentes de uma série de drones que teriam como função facilitar a produção agrícola, identificar pestes atacando as plantações, monitorar danos ao cultivo, espalhar pesticidas de maneira controlada e polinizar as plantas. A plataforma CB Insights, a primeira a noticiar as patentes, afirma que investir em alta tecnologia para aumentar seus lucros já é uma tendência da corporação. Com esses objetos em particular, ela estaria apontando para um interesse em produzir seus próprios produtos agrícolas, economizando ao integrar verticalmente sua cadeia de suprimento de alimentos, aumentando seu controle sobre a qualidade e eficiência desses produtos e colocando ênfase em transparência e sustentabilidade para atrair compradores.

Outro artigo, da Business Insider, discorre sobre a crise do DCC e apresenta o projeto das RoboBees de Harvard como uma possível solução direta e intencional para esse problema (Garfield 2018). Sua evolução é apresentada, bem como suas limitações: elas ainda não podem voar sozinhas, mas precisam ser conectadas por cabos (o artigo é de 2018, antes do voo autônomo). Já os robôs polinizadores do Walmart, de acordo com as patentes, seriam capazes de voar sozinhos e detectar pólen, mas maiores detalhes não são dados.

Alguns meses depois, o jornal The Guardian publica uma reportagem sobre um time de cientistas da Universidade Tecnológica de Delft, na Holanda, que tenta desenvolver seus próprios drones, chamado de DelFly, para cumprir o papel de polinizadoras deixado pelas abelhas ameaçadas de extinção (Boffey 2018). De acordo com o artigo,

modelos anteriores, como o de Harvard, são úteis, mas muito frágeis e inábeis de navegar ao redor uns dos outros, enquanto estes podem flutuar, voar em qualquer direção e girar 360°. O pesquisador do projeto Matěj Karásek afirma ser “uma possível solução de longo prazo”, já que a tecnologia ainda possui sérias limitações: seu protótipo é muito grande, com 33 centímetros de envergadura e 29 gramas, 55 vezes maior do que uma mosca, além de se manter no ar por no máximo seis minutos. Ele acredita, entretanto, que em de cinco a dez anos poderá existir tecnologia para fazê-los muito menores e mais eficientes energeticamente.

A NEUTRALIDADE DO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

A partir da forma como o desenvolvimento dessa tecnologia foi representada nos canais de mídia, podemos fazer algumas observações. Nos comunicados de imprensa oficiais lançados pelos pesquisadores responsáveis pelas RoboBees apenas no primeiro deles, ao apresentar o projeto, algumas aplicações práticas são mencionadas de passagem. Nos seguintes, concentra-se completamente no progresso do artefato, sem atenção a sua relação com a sociedade em termos de demanda ou aplicação. Já nos artigos retirados de periódicos voltados ao público geral, o enfoque é claramente no que essas tecnologias podem fazer para a manutenção da alimentação humana, ameaçada pelo declínio no número de abelhas. Alguns apresentam ceticismo quanto à possibilidade desses drones assumirem a função das abelhas, mas não se questiona o desenvolvimento da tecnologia em si, o esforço honesto dos cientistas sempre separados do contexto mais amplo.

Nosso objeto de estudo, portanto, nos convida a pensar a construção do artefato como não-neutro: o que faz algo tão complicado como RoboBees – com todas suas limitações apresentadas em todas as versões e com o tamanho da demanda que é a polinização das plantações – parecer uma opção viável? Essa ideia é alimentada e alimenta alguns mitos associados ao desenvolvimento tecnológico:

Mito do Capitalismo Fênix

Para Renato Dagnino (Dagnino 2011) a Ciência & Tecnologia hoje está dentro da lógica do capitalismo. Ao contrário de como normalmente representada, ela não assume sua forma atual devido a uma racionalidade teleológica, por ser mais eficiente, melhor do que qualquer outra, mas por razões históricas que colocam seu desenvolvimento nas mãos de um pequeno número de pessoas. Para ele, a tecnologia como a conhecemos deveria ser acompanhada pelo adjetivo “capitalista”. Podemos estender essa noção até para algo aparentemente inócuo como robôs polinizadores.

Como apresentado na parte 2, as evidências que conectam o desaparecimento das abelhas ao uso de agrotóxicos amontoam-se, envolvendo na trama atores políticos poderosos nos donos do agronegócio e legisladores conectados a estes. Atacar a causa e controlar mais severamente o uso desses produtos é uma possível estratégia para combater o problema que vem sendo utilizada em diversos países, entretanto ela

implica em uma diminuição da produtividade e, conseqüentemente, do lucro do setor. Dessa forma, qualquer alternativa ou possibilidade ganha maior consideração, seja o negacionismo, seja a crença ingênua na capacidade infinita da tecnologia para resolver todos os problemas e manter o sistema vigente.

De acordo com Luiz Marques (Marques 2018), o sistema capitalista não foi feito para um mundo finito: ele é fundamentado sobre a ideia de crescimento e de lucros eternamente enquanto os recursos naturais têm limites duros e insuperáveis. Seus defensores batem em duas teclas que resolveriam esse aparente paradoxo: a inovação tecnológica e a adaptabilidade do sistema. Elas se baseiam em exemplos históricos das resoluções de suas crises anteriores, através do aumento da eficiência dos processos através do aperfeiçoamento tecnológico e dos ajustes macroeconômicos que permitiram a manutenção do sistema. Para o autor, o limite da biosfera não pode ser superado, entretanto, e um colapso ambiental é a maior ameaça que o capitalismo já enfrentou.

A ideia do capitalismo como uma mitológica fênix, sempre ressurgindo das cinzas após cada crise, continua sendo hegemônica em diversos círculos. De fato, muitos creem que a sua nova forma é o capitalismo sustentável, com a substituição dos modos tradicionais de energia que liberam carbono por energia “limpa” e “renovável”, sem perda nos gastos, uso da reciclagem e de produtos verdes como uma forma de aquecer o mercado e gerar uma nova onda de prosperidade, lucros e empregos. A confiança no progresso tecnológico é essencial aqui: só através dele se resolvem as múltiplas crises causadas pelo contínuo abuso da natureza. Por exemplo, ao invés de provocar a diminuição dos lucros e potencialmente até uma crise econômica ao controlar mais seriamente o uso dos agrotóxicos, a questão é resolvida simplesmente substituindo as polinizadoras naturais pelas mecânicas.

Mito do progresso inevitável e linear da tecnologia

Essa ilusão é, portanto, baseada em outra: na visão hegemônica de que a tecnologia é desenvolvida de forma cumulativa e progressiva, sempre passando de uma versão anterior, pior e menos eficiente, para uma mais avançada e melhor. Dagnino explicita a relação entre os dois primeiros mitos ao apresentar as classificações tradicionais da tecnologia – alta, de ponta – como manifestações de relações assimétricas de poder entre países centrais e países periféricos que favorecem aos primeiros. Para ele, a própria representação do processo de desenvolvimento da tecnologia como progresso etapista reproduz o que chama de tecnociência capitalista.

Essa abordagem está presente nos estudos da inovação e na maioria dos estudos em história da tecnologia. Bruun e Hukkinen (2013) identificam no economista austríaco Joseph Schumpeter um pensador fundamental para a teoria da Economia Evolucionista, que coloca importância crucial na tecnologia, nas inovações ou novos produtos, para o desenvolvimento econômico. Já Pinch e Bijker (2013) apontam que estudos mais recentes em sociologia e história da tecnologia continuam a apresentar o mesmo modelo linear de tecnologia: da “ciência pura” a aplicada e daí ao

desenvolvimento tecnológico e de produtos, a produção e utilização. Esse modelo parece lógico, mas segundo os autores gera uma série de distorções como a assimetria de considerar apenas os produtos bem-sucedidos ignorando completamente os demais. Uma variedade de artefatos, desenvolvidos independentemente e simultaneamente, são descritos como uma continuidade racional e progressiva.

Nas notícias apresentadas essa visão hegemônica fica clara: há sempre limitações nas tecnologias disponíveis, mas elas são sempre superáveis, são sempre uma questão de tempo. Faz parte do discurso da maioria dos cientistas entrevistados nos artigos apresentar prazos para o próximo avanço, a versão mais avançada do artefato em que estão trabalhando, o que passa por confiar não apenas em sua própria equipe e laboratório, mas na tecnociência como um todo.

Mito da neutralidade da ciência

Essa desconexão entre o fim do otimismo quanto ao avanço da sociedade no pós-guerra e o avanço dos desenvolvimentos técnicos e científicos, está calcada na ideia hegemônica da separação entre estas duas esferas - a política e a ciência - como mundos diferentes. Bruno Latour questiona no livro *Cogitamus* (Latour 2016) a divisão radical entre história política e história da ciência. Ele usa o exemplo de Arquimedes, onde os “dois mundos” distintos estão intrinsecamente interligados na narrativa quando o rei usa as ideias do sábio para defender a cidade, mas ao final do relato o escritor Plutarco as separa novamente, afirmando que o pensamento enlevado do cientista estava acima das coisas terrenas. Para Latour, essa separação incongruente permaneceria uma constante na filosofia da ciência.

A ideia da autonomia da ciência até hoje persiste no discurso sobre o desenvolvimento científico e tecnológico. Para Silva e Costa (Silva; Costa 2014) a tecnologia se torna cada vez mais um tema da sociologia ao longo do século XX, tanto em suas origens como consequências. Ela se torna um tópico na agenda dos governos e no debate público, como fica evidente nas publicações estudadas: as abelhas-robôs são uma questão de interesse público. Ainda assim, os “dois mundos” permanecem distintos e o que é feito nos laboratórios é visto como neutro.

Já Feenberg aponta as diferentes perspectivas quanto à tecnologia em sua relação com a sociedade (Feenberg 2013). No século XIX, o determinismo é a visão hegemônica, onde o progresso é inevitável conforme já apresentado. No pós-guerra entretanto, o instrumentalismo ganha espaço: o otimismo já não é tão dominante e o artefato tem potencial tanto de conduzir a humanidade a um patamar mais alto como a destruí-la completamente, entretanto isso não diz muito a respeito da ciência e da tecnologia em si, que permanecem neutros. São os humanos, em seu mundo social e político, que determinam o que é feito delas, mas o seu desenvolvimento permanece dado pela eficiência e pelo progresso. O autor (*ibidem*) propõe em vez de a Teoria Crítica da Tecnologia, que abandona, de forma semelhante a Latour, a divisão radical entre os “dois mundos”: o que conduz a construção de novas tecnologias não é a

eficiência, o que é o mais avançado, mas estruturas políticas e sociais que estão intrinsecamente conectadas.

Isso também vale para algo aparentemente tão benigno quanto abelhas robôs, cuja função seria facilitar a polinização dos campos, garantindo a alimentação de milhões de pessoas? As estruturas de pesquisa nesse caso só parecem estar fazendo o seu melhor para resolver uma demanda de grandíssima importância: ninguém perde caso as Robobees sejam um sucesso. Cientistas de Harvard, por exemplo, não têm nada a ver com uso de agrotóxicos e provavelmente são contra e assinariam um abaixo-assinado para acabar com seu uso excessivo, mas isso não significa que o trabalho que façam seja neutro: no desenvolvimento desse artefato tecnológico, eles perpetuam os mitos descritos acima através do seu discurso, não refletem sobre interesses políticos e econômicos por trás dos seus financiadores (não só a Walmart, mas também ela), oferecendo assim uma saída “fácil” para o mercado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desaparecimento das abelhas se tornou um problema tão evidente que ele vazou para a cultura popular, aparecendo na famosa série de ficção científica *Black Mirror*. No terceiro episódio de sua terceira temporada, “Hated by the nation”, drones semelhantes ao conceito apresentado neste trabalho realizam a maior parte da polinização no Reino Unido após a extinção de suas abelhas. Na série não se admite a relação com agrotóxicos e o DCC é apresentado como um mistério, bem como a tecnologia funciona perfeitamente cumprindo seu papel, até o momento que as abelhas são usadas por um *hacker* como armas de assassinato em massa. A visão utilitarista fica clara na narrativa: as tecnologias são capazes de coisas horríveis, mas apenas na medida em que os humanos que as controlam são horríveis.

As limitações do projeto ficam claros em todas as notícias, evidenciando o otimismo necessário para o trabalho científico, mas isso não quer dizer que seja impossível que os problemas sejam resolvidos e que afinal micro drones, capazes de substituir as abelhas dando conta das demandas das polinizações e evitando uma crise alimentícia, sejam desenvolvidos por mais que atualmente o projeto pareça mirabolante, digno de ficção científica e irresponsavelmente otimista. Mas mesmo que isso acontecesse ele ainda seria digno de crítica, assim como as abelhas mecânicas de *Black Mirror*, mesmo que nenhum terrorista tomasse controle delas.

Podemos identificar dois problemas nesse tipo de solução para as crises que enfrentamos atualmente. O primeiro se baseia no antropocentrismo, na postura humana que tem a pretensão de controlar e dominar completamente a natureza. Voltamos ao segundo mito apresentado: a mesma teleologia que aponta para o fim do caminho utópico, onde a tecnologia libertará a humanidade de todos os seus problemas, também aponta para um início, onde a ela foi designado o controle sobre toda a criação. Luiz Marques (2018) afirma que grandes exemplos dessa insensatez podem ser encontrados na bioengenharia e na geoengenharia, onde outras soluções

mirabolantes para problemas complexos são apresentadas. Que espécies inteiras continuem a serem extintas não importa, desde que consigamos resolver o problema da nossa alimentação.

E enquanto os cientistas pensam e projetam duramente em suas torres de cristal, os legisladores brasileiros liberaram mais de 400 novos agrotóxicos desde 2019. Trombamos no segundo problema: não há mais tempo para otimismo. Esse descuido com o meio ambiente e priorização irresponsável da economia é alimentado em parte pelo negacionismo do atual governo que se recusa a enxergar as evidências do colapso, mas também pelos mitos previamente expostos, pela crença que, se os estudos estiverem corretos e a uso indiscriminado de agrotóxicos conduzir ao extermínio das polinizadoras, não tem problema: a tecnociência dará um jeito de resolver a crise.

FINANCIAMENTO

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

REFERÊNCIAS

BASF, 2019. "BASF registra discreto aumento nas vendas de 2018 e queda nos lucros devido a menor contribuição de Químicos". BASF. [Acesso em 25 outubro 2019]. Disponível em: <https://www.basf.com/br/pt/media/news-releases/2019/02/basf-registra-discreto-aumento-nas-vendas-de-2018-e-queda-nos-lu.html>

BIESMEIJER, Jacobus C, 2006. "Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands". *Science*. 21 Jul 2006: Vol. 313, Issue 5785. p. 351-354

BOFFEY, Daniel, 2018. "Robotic bees could pollinate plants in case of insect apocalypse". *The Guardian*. 2018. [Acesso em 15 novembro 2019]. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2018/oct/09/robotic-bees-could-pollinate-plants-in-case-of-insect-apocalypse>

BOMBARDI, Larissa Mies, 2017. *Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia*. São Paulo: Laboratório de Geografia Agrária – FFLCH-USP.

BRASIL, 2017. *DOU - Diário Oficial da União*. [Acesso em 25 outubro 2019]. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=33&data=10/02/2017>

BRASIL, 2017. *Nota Técnica 02001.000062/2017-93 CCONP/IBAMA*. [Acesso em 25 outubro 2019]. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias/noticias2017/nota_tecnica_avaliao_de_risco_de_agrotoxicos.pdf

BRUUN, Henrik; HUKKINEN, Jane, 2013. “Cruzando Fronteras: un diálogo entre tres formas de comprender el cambio tecnológico”. Em: THOMAS, Hernán y BUCH, Alfonso. *Actos, actores y artefatos: sociología de La tecnología*. Ed. Universidad Nacional de Quilmes. P. 185-216.

CASTRO, Fernando C, 2005. “Agroquímicos - BASF conclui compra do negócio Fipronil”. *Química.com*. [Acesso em 23 outubro 2019]. Disponível em: <https://www.quimica.com.br/agroquimicos-basf-conclui-compra-negocio-fipronil-2/>

CBINSIGHTS, 2018. "Is Walmart Moving Into Farming?". *CB Insights*. [Acesso em 15 novembro 2019]. Disponível em: https://www.cbinsights.com/research/walmart-farming-drones-patent/?mc_cid=b65788187a&mc_eid=aafe86284f

CGEE, 2017a. *Importância dos polinizadores na produção de alimentos e na segurança alimentar global*. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. [Acesso em 8 outubro 2019]. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/polinizadores-web.pdf>

CGEE. 2017b. *Importância dos polinizadores na produção de alimentos e na segurança alimentar global*. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. [Acesso em 25 outubro 2019]. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/polinizadores-web.pdf>

CONSTANZA, Robert; D'ARGE, Ralph; GROOT, Rudolf; FARBER, Stephen; GRASSO, Monica; HANNON, Bruce; LIMBURG, Karin; NAEEM, Shahid; PARUELO, Jose; RASKIN, Robert G.; SUTTON, Paul; VAN DEN BELT, Marjan, 1997. “The value of the world's ecosystem services and natural capital”. *Nature* 387. P. 253-260.

COSTANZA, Robert, 2008. “Ecosystem services: multiple classification systems are needed”. *Biol. Conserv.* 141 (2). P. 350–352.

DAGNINO, Renato, 2008. *Neutralidade da ciência e determinismo tecnológico: um debate sobre a tecnociência*. Campinas: Editora da Unicamp.

DAGNINO, Renato, 2011. “Ajudando a desencadear transformações sociais: o que é isso que hoje chamamos de Ciência & tecnologia?” In: MASCIMENTO, D. E.; LUZ, N. S. e QUELUZ, M. (org) *Tecnologia e Sociedade: transformações Sociais*. Curitiba: Ed. UTFPR.

DIBARTOLOMEIS, Michael; KEGLEY, Susan; MINEAU, Pierre; RADFORD, Radford; KLEIN, Kendra, 2019. “Uma avaliação da carga aguda de toxicidade por inseticida (AITL) de pesticidas químicos usados em terras agrícolas nos Estados Unidos”. *PLoS ONE* 14 (8): e0220029.

FEENBERG, Andrew, 2013. “O que é a filosofia da tecnologia?”. Em: NEDER, Ricardo T. *A Teoria Crítica de Andrew Feenberg: racionalização democrática, poder e tecnologia*. Brasília. Observatório pelo Desenvolvimento da Tecnologia Social na América Latina. CDS/UnB/Capes. Pp. 49-66.

FIRBANK, Les G, 2003. “An introduction to the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops”. *J. Appl. Ecol.* 402003b2–16

- GALLAI, Nicola; SALLES, Jean-Michel; SETTELE, Josef; VAISSIERE, Bernard, 2009. "Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline". *Ecol. Econ.* 68. P. 810-821.
- GARFIELD, Leanna, 2018. "Walmart has hinted that it's building crop-pollinating robot bees". *Business Insider*. [Acesso em 15 novembro 2019]. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/walmart-robot-bees-farming-patent-2018-3>
- GIANNINI, Tereza C.; COSTA, Willian França; CORDEIRO, Guaraci Duran *et al.*, 2019. "Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil". *Plos One* 12(8): e0182274. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182274>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0182274>
- HAGEN, Melanie; KISSLING, W. Daniel; RASMUSSEN, Claus, *et al.*, 2012. "Biodiversity, species interactions and ecological networks in a fragmented world". *Advances in Ecological Research*. P. 89–210.
- IBAMA, 2016. "Relatórios de comercialização de agrotóxicos". *Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais*. [Acesso em 23 outubro 2019]. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/relatorios/quimicos-e-biologicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>
- IBGE, 2016. "Indicadores de desenvolvimento sustentável". *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Brasil: 2015. Rio de Janeiro: IBGE. (Série Estudos e Pesquisas. Informação geográfica, 10)
- INTERAGENCY TAXONOMIC INFORMATION SYSTEM - ITIS, 2018. *Catalogue of life: 2018 annual checklist*. [Acesso em 8 outubro 2019]. Disponível em: <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2018/details/database/id/67>
- KLEIJN, David. *et al.*, 2015. "Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation". *Nature Commun*, n. 6, p. 7414.
- KLEIN, Alexandra-Marie; VAISSIERE, Bernard E.; CANE, James H.; STEFFAN-DEWENTER, Ingolf; CUNNINGHAM, Saul A.; KREMEN, Claire; TSCHARNTKE, Teja, 2007. "Importance of pollinators in changing landscapes for world crops". *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences*, 274(1608). P. 303-313.
- KREMEN, Claire; WILLIAMS, Neal M.; AIZEN, Marcelo A. *et al.*, 2007. "Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change". *Ecol Lett* 10:299–314, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x>
- LATOURE, Bruno, 2016. *Cogitamus: seis cartas sobre as humanidades científicas*. São Paulo, Editora 34.
- MARQUES, Luiz, 2018. *Capitalismo e colapso ambiental*. 3ª edição revista e ampliada. Campinas: Editora da Unicamp.
- MAUÉS, Marcia Motta, 2014. "Economia e polinização: custos, ameaças e alternativas". Em: RECH, André Rodrigo; AGOSTINI, Kayna; OLIVEIRA, Paulo Eugênio;

MACHADO, Isabel Cristina (eds). *Biologia da Polinização*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Projeto Cultural. P 607–636

NARAHASHI, Toshio; ZHAO, Xilong; IKEDA, Tomoko; SALGADO, Vincent L.; YEH, Jay Z, 2010. “Glutamate-activated chloride channels: unique fipronil targets present in insects but not in mammals”. *Pestic. Biochem. Physiol.* 97 (2). Pp. 149-152.

NEDER, Ricardo T, 2013. *A Teoria Crítica de Andrew Feenberg: racionalização democrática, poder e tecnologia*. Brasília. Observatório pelo Desenvolvimento da Tecnologia Social na América Latina. CDS/UnB/Capes.

OLLERTON, Jeff. *et al.*, 2006. “Geographical variation in diversity and specificity of pollination systems”. Em: Waser, N. M. and Ollerton, J. (eds), *Plant – pollinator interactions: from specialization to generalization*. Univ. Chicago Press. P. 283-308

PERRY, Caroline, 2013. "Robotic insects make first controlled flight". *Harvard School of Engineering and Applied Sciences*. [Acesso em 15 novembro 2019]. Disponível em: <https://www.seas.harvard.edu/news/2013/05/robotic-insects-make-first-controlled-flight>

PONTI, Crystal, 2017. "Rise Of The Robot Bees: Tiny Drones Turned Into Artificial Pollinators". *NPR*. 2017. [Acesso 15 novembro 2019]. Disponível em: <https://www.npr.org/sections/thesalt/2017/03/03/517785082/rise-of-the-robot-bees-tiny-drones-turned-into-artificial-pollinators>

PÚBLICA, 2020. Agência Agrotóxicos liberados no Brasil. [Acesso em 24 novembro 2020]. Disponível em: <https://portrasdoalimento.info/?s=AGROTOXICOS+LIBERADOS+NO+BRASIL>

RAVEN, Peter; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan. E, 2007. *Biologia Vegetal*. 7ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

ROUBIK, David, 2018. “The Pollination of Cultivated Plants”. *A Compendium for Practitioners*. Volume 2.

SANTOS, Isabel Alves dos; AIZEN, Marcelo; SILVA, Cláudia Inês, 2014. “Conservação dos Polinizadores”. Em: RECH, André Rodrigo; AGOSTINI, Kayna; OLIVEIRA, Paulo Eugênio; MACHADO, Isabel Cristina (eds). *Biologia da Polinização*. Rio de Janeiro, RJ: Editora Projeto Cultural. P. 493–524.

SILVA, Renan Gonçalves Leonel; COSTA, Maria Conceição, 2014. “Sociologia da ciência e da tecnologia: instrumentos para a análise do processo de formação de agendas de pesquisa”. Em: V.V.A.A. *Abordagens em Ciência, Tecnologia e Sociedade*, Santo André; Editora UFABC, 2014. Pp. 43-65.

SOFFEL, Jenny, 2016. "These RoboBees could pollinate crops and save disaster victims". *World Economic Forum*. [Acesso em 15 novembro 2019]. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2016/06/the-bees-of-the-future-that-can-pollinate-and-save-disaster-victims/>

SPECTOR, Dina, 2014. "Tiny Flying Robots Are Being Built To Pollinate Crops Instead Of Real Bees". *Business Insider*. [Acesso em 15 novembro 2019]. Disponível em:

<https://www.businessinsider.com/harvard-robobees-closer-to-pollinating-crops-2014-6>

USA, 2017. "Colony Collapse Disorder". *United States Environmental Protection Agency*. [Acesso em 15 novembro 2019]. Disponível em: <https://www.epa.gov/pollinator-protection/colony-collapse-disorder>

VINCENT, James, 2016. "Tiny robot bees can now land anywhere thanks to static electricity". *The Verge*. [Acesso em 15 novembro]. Disponível em: <https://www.theverge.com/2016/5/19/11711858/robobee-electrostatic-perching>

WOLOWSKI, Marina; AGOSTINI, Kayna; RECH, Andre Rodrigo; VARASSIN, Isabela Galarda; MAUÉS, Márcia; FREITAS, Leandro; CARNEIRO, Liedson Tavares; BUENO, Raquel de Oliveira; Hélder Consolaro; CARVALHEIRO, Luisa; SARAIVA, Antônio Mauro; SILVA, Cláudia Inês da; PADGURSCHI, Maíra C.G. (Org.), 2019. *BPBES/REBIPP: Relatório Temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil*. 1ª edição, São Carlos, SP: Editora Cubo. DOI: <http://doi.org/10.4322/978-85-60064-83-0>. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/978-85-60064-83-0>

WWF, 2008. *Relatório Anual WWF – Brasil*. [Acesso em 23 outubro 2019]. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/informacoes/biblioteca/relatorioanual/?19660/Relatorio-Anual-WWF--Brasil-2008>

WYSS, 2013. "Robotic insects make first controlled flight". *Wyss Institute*. [Acesso em 15 novembro 2019]. Disponível em: <https://wyss.harvard.edu/news/robotic-insects-make-first-controlled-flight/>

WYSS, 2016. "Using static electricity, RoboBees cling to surface". *Wyss Institute*. [Acesso em 15 novembro 2019]. Disponível em: <https://wyss.harvard.edu/news/using-static-electricity-robobees-cling-to-surface/>

WYSS, 2019. "The RoboBee flies solo". *Wyss Institute*. [Acesso em 15 novembro 2019]. Disponível em: <https://wyss.harvard.edu/news/the-robobee-flies-solo/>

ZALUSKI, Rodrigo, 2014. *Efeito do inseticida fipronil em abelhas africanizadas e na expressão de gene relacionado ao sistema imunológico*. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Botucatu SP.