



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



LUCAS TEODORO LOPES

**OS IMPACTOS DOS HERBICIDAS EM ABELHAS NATIVAS: UMA
REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE NOSSA BASE DE DADOS**

ARARAS - 2023



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



LUCAS TEODORO LOPES

**OS IMPACTOS DOS HERBICIDAS EM ABELHAS NATIVAS: UMA
REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE NOSSA BASE DE DADOS**

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Agrônoma – CCA – UFSCar para
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Profa. Dra. Patricia Andrea
Monquero

ARARAS – 2023

Dedico este trabalho a minha família e amigos, que estiveram comigo ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao fim de mais uma etapa, gostaria de agradecer aos principais pilares que me auxiliaram e permitiram esta tão aguardada conclusão, da qual conquisto meu sonhado diploma de Engenheiro Agrônomo e saio para o mundo exercendo esta atividade que tanto amo.

Primeiramente, todo o meu agradecimento aos meus familiares, Adilson X. Lopes (pai), Elaine C. Teodoro Lopes (mãe), Ébony G. Lopes (irmã) e Ana Beatriz C. Grego (namorada), que juntos me apoiaram em todas as dificuldades enfrentadas e nunca deixaram a minha cabeça abaixar, mantendo-a sempre erguida e olhando em frente, no que estaria por vir.

Agradeço as minhas orientadoras durante a graduação, Profa. Dra. Patricia A. Monquero e a Profa. Dra. Roberta C. F. Nocelli, que me apoiaram e ensinaram grande parte de tudo o que sei hoje, permitindo minha evolução profissional em uma área tão importante.

Agradeço aos membros dos grupos “Grupo de Estudo de Ciências Agrárias” (GECA) e “Abelhas e os Serviços Ambientais” (ASAs), por todas as amizades construídas, pelos ensinamentos e apoio nas realizações dos projetos. Nada seria possível sem a participação de vocês.

Por fim, agradeço também ao Gabriel Borghi, Guilherme Feleto, Murilo Biafora, Thiago Alves e Willian Diniz, amizades que sempre estiveram presentes ao longo da graduação, seja nas horas de estudos dentro da biblioteca ou nas risadas durante os intervalos da faculdade.

RESUMO

O conhecimento dos efeitos toxicológicos resultantes dos pesticidas em nossas abelhas nativas é de importância ímpar para a compreensão de suas extensões e consequentemente a realização de um manejo adequado para sua conservação. Este trabalho realizou uma revisão sistemática cobrindo todos os artigos que temos publicados em língua portuguesa e inglesa que avaliaram os efeitos dos herbicidas em abelhas nativas brasileiras, classe esta que possui grande destaque em sua comercialização e aplicação em campos. Assim, após a determinação dos critérios de elegibilidade e a realização de pesquisas nas plataformas "Google Acadêmico" e "SciELO Brasil", identificou-se um total de 24 artigos selecionados. A partir dessa seleção, foi possível observar algumas padronizações e desafios presentes na base atual que utilizamos como fundamento para as discussões sobre o assunto. Dentre os principais pontos discutidos, o foco no uso do glifosato como molécula dominante nas avaliações desta classe chamou a atenção pelos valores óbitos, de modo que, 19 (79,17%) dos 24 artigos eleitos utilizaram esta molécula, seja ele como único herbicida ou junto a outra, e desses dezenove, 17 (70,83%) o utilizaram como único herbicida avaliado. Outras moléculas foram utilizadas em apenas 20,83% dos artigos eleitos, o que representa aproximadamente 10% de todos os artigos levantados. Mesmo com uma fatia de mercado equivalente a 59,24% dentre os dez herbicidas mais comercializados, sua proporção em pesquisas acadêmicas sofreu um acréscimo de 19,56% em sua representatividade. Quando buscamos embasamento dessa desproporção nos riscos ambientais apresentados por cada molécula, constatamos que, de acordo com relatórios oficiais do IBAMA, o glifosato não seria mais danoso que os demais herbicidas, não justificando seu estudo mais intensivo, retirando este possível viés das discussões. Sobre os efeitos subletais observados, ao todo foram levantadas 11 diferentes categorias, indicando uma falta de padronização nos dados obtidos em comparativo aos herbicidas avaliados, gerando poucos dados a serem validados por diferentes trabalhos, o que gera brechas para afirmações em relação aos efeitos gerados por esses ingredientes ativos.

Palavras-chave: comercialização; comparativo; efeitos letais; efeitos subletais; pesticidas.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Proporção entre número de artigos elegíveis e o uso do glifosato em relação aos demais herbicidas.....26
- Figura 2.** Porcentagem dos dez herbicidas mais comercializados no Brasil, informando sua porcentagem dentre o total de t de i.a. (370.692,66).....27
- Figura 3.** Proporção dos tipos de avaliações realizadas nos 24 artigos eleitos.....34

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Descrição das palavras-chave empregadas para busca e seleção dos artigos científicos a serem utilizados neste trabalho, de modo que, temos separado por linha as combinações de palavras utilizadas e por colunas as palavras escritas separadamente.....19
- Tabela 2.** Listagem dos critérios de seleção e classificação de elegibilidade, separando por tópico cada etapa e descrevendo os pontos abordados em cada uma delas.21
- Tabela 3.** Resumo dos trabalhos eleitos avaliados, identificando as principais características avaliadas para sua classificação e para discussão, sendo a identificação do(s) herbicida(s), espécie(s) de abelha(s), grupo de herbicidas, se houve ou não avaliação por ingestão ou exposição tópica, se houve ou não efeito subletal ou letal observado e a referência.22
- Tabela 4.** Continuação da Tabela 3, contendo agora o resumo dos trabalhos classificados como “Não eleitos”, “*Apis mellifera*” e “Revisões/Outro”, identificando as principais características avaliadas para sua classificação e para discussão, sendo a identificação do(s) herbicida(s), espécie(s) de abelha(s), grupo de herbicidas, se houve ou não avaliação por ingestão ou exposição tópica, se houve ou não efeito subletal ou letal observado e a referência.....23
- Tabela 5.** Relação dos 10 herbicidas mais comercializados, indicando sua quantidade e porcentagem, proporcionalmente ao seu total.....26
- Tabela 6.** Classificação das moléculas presentes nos estudos elegíveis e suas posições gerais dentre os demais pesticidas comercializados no Brasil no ano de 2021.....29

Tabela 7. Relação dos dez i.a. da classe dos herbicidas mais comercializados no Brasil em 2021, indicando sua posição e destacando os produtos que não são contemplados nos artigos eleitos.....30

Tabela 8. Classificação da quantidade de artigos eleitos que abordam as abelhas em suas diferentes fases de desenvolvimento, adultos ou larvas, seguido da sua porcentagem quanto ao total de artigos elegíveis.32

Tabela 9. Comparativo entre os diferentes efeitos subletais observados pelos herbicidas para os artigos eleitos.....34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. ABELHAS NATIVAS E A AGRICULTURA BRASILEIRA.....	3
2.2. IMPACTO DAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS.....	7
2.3. INTERAÇÃO PESTICIDAS X ABELHAS	9
2.3.1. HERBICIDAS	12
2.4. REPRESENTATIVIDADE DAS ABELHAS NATIVAS	17
3. OBJETIVO	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1. PREDOMINÂNCIA DO GLIFOSATO	25
5.2. COMPARATIVO DE RISCO AMBIENTAL ENTRE OS HERBICIDAS ...	30
5.3. EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS APRESENTADOS	32
6. CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

A importância das abelhas como polinizadores naturais em diversos ambientes, sejam eles naturais ou agrícolas é uma informação consolidada dentro da comunidade científica após décadas de estudos e conhecimento compilado sobre suas atividades para as comunidades biológicas de forma geral, realizando a polinização como atividade base para a frutificação e reprodução das plantas, principalmente para as angiospermas (FREITAS e NUNES-SILVA, 2012). Dentro da sociedade, esse reconhecimento é muito importante para a compreensão de suas atividades e do seu papel ambiental, onde as pessoas, de uma forma ou de outra, observando as interações entre esses seres e as plantas polinizadas, junto a uma instrução educacional, promovem este nível de percepção, que varia de acordo com suas experiências, mas em comum acordo das atividades exercidas pelas abelhas e seus benefícios para as plantas cultivadas (FERREIRA et al., 2013).

Apesar da necessidade e das vantagens proporcionadas pelas abelhas, sabemos que outras atividades atreladas a agricultura tradicional estão causando danos a estas comunidades, que acabam dividindo o mesmo espaço durante o forrageamento e muitas vezes vivem em colônias localizadas em matas próximas as áreas agrícolas, dentre elas, reconhecemos que a maior causa de morte dessas comunidades tem sua causa gerada pelas diversas aplicações de pesticidas como método de controle fitossanitário (NOCELLI, 2012). Entre os produtos químicos aplicados, talvez a classe mais estudada e reconhecida cientificamente como danosa as abelhas seja a dos inseticidas, utilizada para o combate aos insetos-pragas, seres muito próximos biologicamente/morfológicamente as abelhas e que geram danos em valores que chegam à casa dos bilhões as lavouras todos os anos (OLIVEIRA et al., 2014).

Além dos impactos causados pelos inseticidas, outras categorias de pesticidas também podem representar uma ameaça às abelhas. Os fungicidas, por exemplo, são produtos desenvolvidos com o intuito de proteger as culturas contra doenças fúngicas, mas que já possui dados comprovando sua ação danosa a estes polinizadores, levando os indivíduos a morte ou gerando efeitos subletais, como alterações na capacidade de voo e no reconhecimento de cores (RAMOS, 2021; ALMEIDA, 2017; GOMES, 2017). Da mesma forma, os herbicidas são amplamente

utilizados para o controle de plantas daninhas, alvos completamente diferentes dos insetos, mas que de certa forma, ainda geram efeitos adversos nestes organismos não-alvo (NOCELLI et al., 2019).

Dentro da comunidade científica, é notável uma tendência marcante de estudos que abordam a classe dos inseticidas, visto os fatos abordados anteriormente, em detrimento das demais, especialmente aqueles pertencentes ao grupo dos neonicotinoides, como o tiametoxam, imidacloprido e acetamiprido (DOMINGUES, 2021; JACOB, 2019; MACEDO, 2016; MONTEIRO, 2021; SOUZA, 2022). Quando se estendem estas análises para as avaliações com herbicidas, além da menor proporção como classe, observa-se uma frequência dominante da molécula de glifosato como objeto de estudo, que se destaca como a substância-chave neste grupo, discutido por meio de dados posteriormente. No entanto, é essencial expandir o escopo das pesquisas acadêmicas para englobar uma diversidade maior de classes e moléculas de pesticidas, a fim de compreender de maneira mais abrangente os riscos e os impactos potenciais dessas substâncias nas abelhas e como isso pode afetar todo o seu papel dentro da polinização.

A escolha do glifosato como objeto central de investigação é fundamentada, em parte, pela sua predominância como o herbicida mais amplamente comercializado no mercado agrônômico brasileiro (IBAMA, 2022a). Embora o glifosato seja amplamente utilizado no âmbito agrônômico e seus efeitos já tenham sido investigados por diferentes métodos (BATTISTI et al., 2021), hoje é crucial direcionar a atenção para a exploração de outros herbicidas disponíveis no mercado.

Outro ponto de muita relevância em nossa discussão é a utilização de espécies exóticas como parâmetros em estudos que terão impacto em nosso contexto nacional, para tomadas de decisões como a liberação ou não do uso de determinados ingredientes ativos, de modo que as abelhas nativas sem ferrão, predominantes em nosso território, não são representadas nesta avaliação. Nesta situação é comum o uso da *Apis mellifera* (Abelha-europeia), indicada pela OECD (1998) em seu “Guidelines for the testing of chemicals” como representante para compreendermos as interações ocorridas entre abelhas e os demais compostos. Apesar da boa representatividade apresentada, atualmente sabemos que em muitos casos as reações e resultados não são os mesmos para abelhas do gênero *Apis* e as demais espécies, como nossas abelhas sem ferrão, ocorrendo diferentes tolerâncias para

pesticidas como ocorre com o tiametoxam, glifosato e tebuconazol, quando comparado os efeitos em *A. mellifera* e para as espécies *Tetragonisca angustula*, *Scaptotrigona postica* e *Melipona scutellaris* (LOURENCETTI, 2022). Dessa forma, buscando uma melhor representatividade de como as atividades do campo podem atingir nossos polinizadores, o uso de abelhas nativas se mostra como melhor opção a ser utilizadas.

Nesse sentido, é preciso expandir os atuais horizontes de nossas linhas de pesquisas para abranger uma gama mais ampla de pesticidas, principalmente em uma das classes menos representada nos estudos ecotoxicológicos, a dos herbicidas, além de utilizar abelhas nativas sem ferrão como parâmetros de validação, a fim de aumentar nossa compreensão do impacto dessas moléculas e fornecer subsídios para a implementação de estratégias de manejo eficientes e sustentáveis em nosso país. Dessa forma, esse trabalho realizou um levantamento sobre que temos disponível de artigos publicados em nossa comunidade científica sobre o assunto, selecionando diversos artigos publicados, dentro de determinados parâmetros detalhados posteriormente, e discutindo seus principais resultados, buscando obter uma visão mais esclarecida relativo ao que sabemos até o momento e quais lacunas ainda existem em nossa compreensão nesse tópico tão relevante e necessário para nossa comunidade em geral.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ABELHAS NATIVAS E A AGRICULTURA BRASILEIRA

As abelhas nativas representam espécies que se originaram naturalmente no território brasileiro, integrando a fauna autóctone, sem qualquer interferência artificial em sua introdução, ao contrário do que ocorreu com a abelha africanizada (*Apis mellifera*) e outras espécies. Notavelmente, a maioria das abelhas classificadas como nativas exibe características de comportamento solitário, não formando colônias com divisão de castas e atividades específicas, podendo ou não apresentar a presença de ferrão, além de não produzirem mel, embora essa característica não afete

sua relevância na atividade de polinização que desempenham (SILVEIRA et al., 2002).

No contexto científico, a investigação envolvendo abelhas solitárias é consideravelmente mais complexa e realizada em menor escala, em comparação às abelhas sociais, pois, mesmo em algumas situações em que algumas espécies coabitam em ninhos agregados, o espectro amostral é limitado para suportar a análise estatística dos dados, devido à escassez de abelhas disponíveis para testes e avaliações. Como resultado, é mais comum empregar abelhas nativas sem ferrão em estudos aplicados e representativos das abelhas brasileiras, pois suas características sociais, como construção de colônias com muitos indivíduos, permitem o desenvolvimento de estudos mais seguros e facilmente executáveis.

As abelhas sem ferrão pertencentes à subfamília Meliponinae (Hymenoptera, Apidae) são espécies que possuem o ferrão atrofiado e exibem comportamento eussocial, ocorrendo naturalmente no território brasileiro (SILVEIRA et al., 2002). Além de prestarem serviços essenciais à polinização e manutenção de uma grande porção de nossa flora, elas também desempenham papel crucial na produção de frutos e sementes em culturas agrícolas, como café, morango, tomate, soja, entre outras, variando em sua dependência e impacto de acordo com as características biológicas das plantas (WOLOWSKI et al., 2019).

A rede de mapeamento de abelhas nativas já abrange um número superior a 1500 espécies, com uma estimativa de 3000 espécies totais ainda não catalogadas (SILVEIRA et al., 2002), evidenciando a riqueza de nossa fauna, a presença do clima tropical e a extensão territorial do país, que abarca proporções continentais.

De modo geral, as atividades de nossas abelhas são semelhantes as demais de todo o planeta, onde sua busca por néctar e pólen as levam a visitar diferentes flores nas proximidades de sua colônia, transferindo, por meio dos seus corpos e estruturas especializadas, o pólen para demais flores presentes em seu caminho durante o forrageamento, vale ressaltar que, essa função é desempenhada especificamente pelas operárias (fêmeas) dentro da colônia, enquanto os zangões possuem o papel de fecundar a abelha rainha e em alguns casos produzem e manipulam cera (CARVALHO-ZILSE et al., 2011).

A polinização é uma atividade biológica essencial para as plantas pertencentes aos grupos das angiospermas, que tem os insetos polinizadores como

principais agentes dessa atividade (RAVEN et. al, 2014). Hoje, sabemos que há entorno de 300 mil espécies catalogadas apenas de angiospermas (WFO, 2022), o que representa um número muito grande de possíveis plantas a serem polinizadas em seu processo de reprodução, mesmo que ainda haja espécies onde essa polinização não seja obrigatoriamente necessária para concluir o seu ciclo (RAVEN et. al, 2014). Seu processo varia de acordo com cada espécie, mas de forma geral, podemos partir do princípio básico da transferência de pólen das anteras, como aparelho reprodutor masculino, para a fecundação dos óvulos que formam o aparelho reprodutor feminino, onde esta movimentação de gametas precisa ser feita por um terceiro agente (RAVEN et. al, 2014).

A importância desta atividade naturalmente realizada pela natureza através do vento, água e principalmente, animais silvestres e insetos, como morcegos e abelhas, é gigantesca para a realização de diversas produções agrícolas e da manutenção natural de florestas no Brasil e em todo o mundo (LIMA, 2019). A evolução das florestas, plantas e seus polinizadores estão intrinsicamente ligadas a alta efetividade desta atividade, que permitiu o avanço desses grupos ao longo dos milhares de anos para nos dias de hoje, dominarem os diferentes territórios e climas em todo o mundo, estando presentes desde regiões frias e de clima temperado, até as regiões tropicais, com temperaturas e umidade mais altas, como vemos em nossa floresta amazônica (RAVEN et. al, 2014).

Em 2019, a Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (BPBES) e a Rede Brasileira de Interações Planta-Polinizador (REBIPP) publicaram um relatório no Brasil. Esse relatório examinou o papel dos polinizadores na agricultura do país e calculou seu valor. Foram consideradas 44 espécies cultivadas e 7 espécies de polinizadores. Cerca de 68% dessas espécies dependiam exclusivamente das abelhas para a polinização. A análise avaliou a importância das abelhas com base em quatro níveis de incremento na produção: Pouca (0-10%), Modesta (10-40%), Alta (40-90%) e Essencial (90-100%). A avaliação econômica atual estimou um valor de 43 bilhões de reais por ano, com dados de 2018 (WOLOWSKI et al., 2019).

Quatro culturas principais - soja, café, laranja e maçã - dominaram 80% desse valor. Embora todas essas culturas dependam das abelhas para polinização, a laranja também pode ser polinizada por borboletas. A soja, o café e a laranja foram

classificadas como "dependência modesta". Mesmo com essa dependência moderada, essas culturas tiveram um impacto econômico significativo devido à sua abundância e produtividade crescente. A soja se destacou, representando 60% do valor total, apesar de não ser essencial. Apenas a cultura da maçã exigiu polinização essencial, contribuindo com 5% do valor total. Entre as dez principais culturas, a melancia (3%) foi classificada como essencial. Maracujá e tangerina (ambas com 2%) ocuparam o sétimo e oitavo lugares em essencialidade. Por fim, o melão (1%) ficou em último lugar entre as dez culturas mais relevantes (WOLOWSKI et al., 2019).

Podemos citar demais aspectos dos impactos da polinização realizada por abelhas, como o aumento na produção ou a notável melhoria na qualidade dos produtos, que são algumas das principais vantagens proporcionadas pelas abelhas aos produtores, mesmo em culturas que não são totalmente dependentes da polinização para sua reprodução (SILVA, 2015; MALAGODI-BRAGA, 2018). Um exemplo notável é o observado em culturas como o tomate (*Solanum lycopersicum*) e o morango (*Fragaria x ananassa*). Embora essas plantas tenham a capacidade de se autopolinizar, a presença de abelhas durante o período de floração pode otimizar a taxa de fertilização e, conseqüentemente, levar a um aumento na produção de frutas e na obtenção de frutos de melhor qualidade. Estudos sugerem que a visita de abelhas as flores dessas culturas promovem uma polinização mais eficiente, resultando em benefícios tanto em termos de quantidade quanto de qualidade dos frutos colhidos (SILVA, 2015; MALAGODI-BRAGA, 2018).

Além das espécies que se beneficiam da polinização, há casos como o que ocorre na cultura do maracujá, onde ela é altamente dependente da polinização de abelhas para gerar seus frutos, mais especificamente das solitárias de grande porte, como as do gênero *Xylocopa* (*Xylocopa frontalis*) e *Bombus*, *Epicharis* (*Epicharis flava*) e *Centris* (*Centris scopipes*), conhecidas popularmente como mamangavas (*Bombus terrestris*), que exercem uma função com qualidade ímpar, não vista por outras espécies de abelhas ou outros animais polinizadores (BENEVIDES, 2009; MELLO, 2006). Pela estrutura de suas flores, a necessidade de polinização cruzada e serem na maioria dos casos autoincompatíveis, não fecundando o pólen de uma flor com ela mesma ou com as demais da mesma planta (DRUMOND et al., 2021), as flores do maracujá são dependentes de abelhas para assim realizá-la, havendo apenas como segunda opção a polinização manual, muito mais custosa em todos os

aspectos (JUNQUEIRA et al., 2001). Seu pólen, por ser mais viscoso que o normal e difícil de ser transportado pelo vento ou chuva, é dependente de abelhas de maior porte, sendo elas altamente requisitadas e bem sucedidas nessa atividade (DRUMOND et. al, 2021). Dessa forma, sendo praticamente obrigatório a presença destes polinizadores em uma área onde é cultivado o maracujá, são aplicadas algumas estratégias pelos produtores para atrair e manter essas abelhas em suas áreas, como a presença de troncos velhos e ocos que sirvam como abrigo para essas solitárias e a proximidade de áreas florestais propriamente ditas (SILVA et. al, 2014).

Nos casos de tomates e morangos, embora não dependam estritamente da polinização por abelhas, essa interação é benéfica. O tomate, estudado por Silva (2015), revelou melhorias em aspectos morfológicos e produtivos através da polinização, como aumento de tamanho, maior quantidade de sementes, formato mais uniforme, proporcionando vantagens comerciais. O morango segue um padrão similar, sendo atrativo comercialmente pelas características visuais. Em pesquisa de Malagodi-Braga (2010), diversas cultivares de morango foram comparadas em campo, considerando métodos de polinização: autopolinização, polinização pelo vento, natural e incrementada por abelhas Jataí (*Tetragonisca angustula*). Resultados evidenciaram aumento médio de frutos com a presença das abelhas (48 > 35 > 25 frutos), além de redução de frutos deformados (86,5% para 2,1%) comparando autopolinização e polinização por *T. angustula*.

2.2. IMPACTO DAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS

Mesmo sabendo do quanto a polinização desses seres enriquecem a agricultura como um todo, suas relações muitas vezes entram em conflito, onde algumas atividades agrícolas acabam gerando danos diretos ou indiretos na sobrevivência e manutenção das colônias de abelhas que possam estar presentes em regiões próximas (KLINE e JOSHI, 2020; BERINGER et al., 2019). Sabemos dos diversos tipos de influências que os pesticidas podem vir a ter sobre as abelhas e este tópico será melhor abordado posteriormente, porém, para além dos pesticidas em geral, outras ações presente na agricultura também geram diferentes impactos nestes polinizadores, como os procedimentos realizados para o preparo das áreas, que incluem o desmatamento e conseqüentemente a diminuição da presença e variedade

de vegetação nativa, importante para a manutenção da diversidade de polinizadores da região (ROSA et. al, 2019)

Ao considerarmos os preparos realizados nas áreas de cultivo, é imprescindível inicialmente determinar o método de cultivo em questão, devido à ampla gama de opções disponíveis atualmente. Cada método possui suas características e impactos específicos nos organismos não-alvo presentes no sistema de cultivo e nas áreas circunvizinhas. A diversidade de abordagens de cultivo demanda uma análise cuidadosa das implicações associadas a cada uma delas, levando em consideração os efeitos sobre a biodiversidade local, a saúde dos ecossistemas adjacentes e a interação com as comunidades próximas. Hoje, temos como principais métodos de cultivo aplicados, o plantio convencional e o plantio direto, onde o primeiro trabalha intensamente com o preparo do solo através de implementos agrícolas, como grades e arados, retirando as coberturas e restos culturais antes a implementação da cultura, e o segundo evita ao máximo fazer qualquer tipo de revolvimento no solo, além de manter as palhadas no local, com o intuito de agregar propriedades benéficas a sua cultura e melhorar a qualidade do solo (CRUZ et al., 2021; FILHO et al., 2021).

Considerando que grande parte das áreas cultivadas ainda adota o método convencional, é crucial reconhecer seu impacto ambiental e sua relação com as abelhas próximas (CONAB, 2022; LOUISE, 2022). O plantio convencional, ao preparar o solo para a produção, visa criar uma área "limpa" sem plantas não econômicas. Isso frequentemente envolve a remoção da vegetação nativa, fragmentando florestas para estabelecer monocultivos. Essa prática não atende às necessidades dos ecossistemas e seres que dependem dos recursos locais (CAMPBELL et al., 2018). Embora menos comum hoje, devido a leis ambientais e avanços tecnológicos, que permitem produção ampliada sem expansão territorial, isso é vital para reduzir nossa pegada ecológica (COSTA, 2022).

Para além dos citados, ainda temos diversos exemplos de práticas agrícolas adotadas em nosso país, como o Sistema de Cultivo Mínimo, que tem seu espaço como mediador entre os dois tipos citados anteriormente (DA SILVA, 2021), métodos de integração entre atividades agrícolas, como o ILP (Integração Lavoura-Pecuária) e o ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta), que buscam harmonizar através de diferentes técnicas, o cultivo de espécies como a soja, capim brachiárias e

a criação de animais, como os gados de leite, cabras e ovelhas, podendo ainda ser incorporado o uso de espécies florestais, que com técnicas silviculturais proporcionam um ambiente ainda mais harmônico (ALMEIDA et. al, 2010). Os exemplos citados influenciam, cada um, de uma forma diferente a flora e fauna ao seu redor, visto suas diferentes propriedades e ações tomadas, impactando de forma muito específica em cada caso mas deixando claro as diferentes pressões exercidas sob os polinizadores, onde alternativas ao monocultivo são sempre opções importantes a serem discutidas.

2.3. INTERAÇÃO PESTICIDAS X ABELHAS

O conhecimento sobre os efeitos causados pelos pesticidas em abelhas assume papel de suma relevância no contexto acadêmico, independentemente de sua classificação como herbicidas, inseticidas, fungicidas ou acaricidas. Essa compreensão ampla possibilita uma análise abrangente das interações entre os pesticidas e as espécies de abelhas nativas, permitindo, assim, a formulação de estratégias mais assertivas para conciliar o necessário uso desses agentes químicos na agricultura com a imprescindível proteção e conservação dos polinizadores em nossos ecossistemas.

Quando discutimos sobre os inseticidas, hoje temos diversos exemplos de moléculas estudadas que após diversas avaliações, geraram resultados que apresentaram com um potencial danoso as abelhas, seja ela uma solitária como a mamangava (*Bombus terrestris*) (ROSA, 2014), do gênero *Apis* (NOMINATO, 2012) ou uma das abelhas eussociais nativas, como as do gênero *Melipona* (ARAÚJO, 2017) ou *Scaptotrigona* (SILVA, 2022), onde inseticidas como o tiametoxam ou outros entre os demais ingredientes ativos presentes no mercado, geraram efeitos letais ou subletais a essas espécies, acarretando diversos danos que influenciam na qualidade de vida desses indivíduos e de suas colônias (SOARES, 2012). Dentre os principais ingredientes ativos comercializados atualmente, temos 5 inseticidas dentre o top 15 geral, com acefato (6º), malationa (7º), clorpirifós (11º), imidacloprido (12º) e metomil (15º), respectivamente em suas colocações gerais. As vendas totais destes cinco mais vendidos corresponde a uma quantidade de 75.309,00 toneladas de i.a. comercializado no ano de 2021, o que representa em torno de 81,3 % do total de comercialização desta classe (92.625,19 toneladas de i.a.) (IBAMA, 2022a).

Trabalhos com esses produtos em abelhas indicam alta toxicidade, com doses letais médias baixas e alterações comportamentais, expondo um efeito subletal que estes inseticidas podem apresentar, acarretando problemas para toda a funcionalidade da colônia como um todo, como é o caso do acefato e imidacloprido, para *Apis mellifera* (BOVI, 2013). Casos como alterações nos perfis de proteínas expressas pelas abelhas também são encontrados, exemplificando a variedade de influências desses pesticidas, como ocorre com a exposição do malation em abelhas nativas sem ferrão *Tetragonisca angustula* (GOMES, 2007). Além dos efeitos em adultos, também foi constatado em trabalho publicado por Dorneles (2020), o que a exposição de clorpirifós em larvas da abelha nativa sem ferrão *Scaptotrigona bipunctata* aumentou significativamente a sua mortalidade, além de reduzir o tamanho e massa corporal dos adultos recém emergidos, indicando um outro estágio de desenvolvimento que esses produtos podem interferir de forma negativa, gerando riscos ao bem-estar da comunidade.

Os fungicidas, a segunda classe mais comercializada entre os pesticidas, têm como destaque o mancozeb, o principal ingrediente ativo mais vendido, com 50.340,24 toneladas de IA comercializadas em 2021. Em seguida, o fungicida clorotalonil, com ação sistêmica e amplo espectro, alcançou 38.320,40 toneladas de IA comercializadas (IBAMA, 2022a). Esses números realçam a importância de entender as implicações dessas amplamente utilizadas moléculas no ambiente e dentro do manejo agrícola. É fundamental compreender a melhor aplicação para atingir o controle de doenças-alvo, enquanto se mantém a segurança para organismos não-alvo nas proximidades. Estudos com abelhas sem ferrão em relação ao mancozeb indicam efeitos negativos em *Scaptotrigona bipunctata* quando expostas a doses semelhantes às encontradas em campos de citros, afetando sobrevivência e gerando deformidades (RAMOS, 2021). Resultados sobre o clorotalonil em abelhas sem ferrão são menos comuns, apesar da alta comercialização e aplicação. Em Almeida (2017), efeitos de clorotalonil e outros fungicidas, além do inseticida imidacloprid, foram avaliados em *Apis mellifera* e *Partamona helleri*. Alterações na escolha de cores foram observadas em *P. helleri* após exposição a cerconil e clorotalonil, indicando que o fungicida pode influenciar o comportamento das abelhas. Em colônias estabelecidas, exposição a cerconil e clorotalonil resultou em aumento

da mortalidade e perturbação da organização estrutural das atividades da colônia (ALMEIDA, 2017).

Entre os principais acaricidas empregados na agricultura, destaca-se o acefato, um produto organofosforado também usado como inseticida foliar em culturas como algodão e fumo, além de aplicação urbana contra formigas e ácaros domésticos. O acefato ocupa a nona posição entre as moléculas comercializadas, com 35.856,00 toneladas de IA vendidas em 2021 (IBAMA, 2022a), superando até mesmo moléculas populares como o imidacloprido (9.026,25 t de IA). No entanto, em avaliações de acaricidas para impactos em organismos não-alvo, como abelhas, outras moléculas são mais destacadas, provavelmente devido ao uso prevalente como inseticidas. A abamectina e o propargito, apesar de menos comercialmente relevantes, apresentaram resultados significativos em termos de manejo consciente de pesticidas.

Em um estudo de Carvalho et al. (2009), a toxicidade da abamectina (30 mL de p.c./L de H₂O, formulação 18EC) e do propargito (100 mL de p.c./L de H₂O, formulação 720EC) foi avaliada em abelhas *Apis mellifera*. Exposições diretas, alimentos contaminados e contato com superfícies tratadas (vidro e folhas de citros) foram testados, medindo letalidade através da TL₅₀. A abamectina, quando aplicada diretamente, resultou em 99% de letalidade após 30 horas, com TL₅₀ de 13,04 horas. Em exposições a alimentos contaminados, a abamectina foi ainda mais tóxica, causando 100% de mortalidade em 18 horas, com TL₅₀ de 8,77 horas. Contato com superfícies contaminadas também exibiu efeitos tóxicos, com TL₅₀ médio de 27,74 e 42,91 horas para folhas e vidro, respectivamente. Quanto ao propargito, toxicidade foi observada na ingestão de alimentos contaminados, com mortalidade de 75% em 72 horas e TL₅₀ de 64,65 horas. Não foram observados aumentos na mortalidade nos outros testes com esse acaricida.

A constatação dos resultados e o potencial danoso observado dos pesticidas para abelhas nativas destacam a urgência de estudos abrangentes, contemplando diferentes ingredientes ativos, metodologias e validações. Essas investigações são fundamentais para a proteção efetiva das abelhas, sem comprometer sua relevância no contexto agrônômico. A colaboração interdisciplinar entre instituições acadêmicas, órgãos regulatórios e setores agrícolas é essencial para a implementação de medidas de conservação embasadas em evidências científicas.

2.3.1. HERBICIDAS

Os herbicidas são pesticidas utilizados para o controle de plantas daninhas, que podem agir por diferentes vias metabólicas e com diversos mecanismos de ação, alternando o modo com essas moléculas adentram e agem nas plantas, diferenciando-se ainda entre espécies recomendadas, modos de aplicação, período de aplicação, dentre diversas outras variáveis (MARCHI, 2008). Sua principal função é eliminar quaisquer plantas que estejam ou possuam o potencial de ocupar o mesmo espaço que sua cultura, competindo por água e nutrientes ou gerando danos mais específicos, como por exemplo, a diminuição da qualidade e valor do seu produto final, como o amendoim-bravo (*Euphorbia heterophylla*) na soja, que por sua característica produção de látex, durante a colheita, gera um aumento de umidade e impurezas dos grãos, aumentando concomitantemente o gasto necessário para o seu beneficiamento (BRIGHENTI e OLIVEIRA, 2011). As corda-de-viola (*Ipomeae* spp. e *Merrremia* spp.) também geram outros danos além da competição puramente dita, onde, graças a suas morfologias longilíneas, fibrosas, trepadeiras e de rápido desenvolvimento, acabam se enrolando e dominando uma área agrícola facilmente quando não monitorada, o que posteriormente, caso esta infestação ocorra, pode gerar danos as máquinas colheitadeiras, com o embuchamento das lâminas e até a possível queima do motor (ANDOGNINI, 2021).

Quando avaliados os danos causados pela competição entre a cultura e a planta infestante, seus valores podem ser exorbitantes, variando com base em diferentes pontos, como a cultura, planta infestante, nível de infestação, condições ambientais, nutrição do solo, período de competição, dentre outros aspectos. Apesar disso, podemos citar como exemplo a buva (*Conyza* spp.) que quando presente em um nível mais alto de infestação em uma área de soja, pode reduzir, dentre outros aspectos, a produção de grãos em até 48%, valor incompatível com o aceitável para o produtor, podendo gerar danos monetários irreparáveis, caso o mesmo tenha um alto nível de infestação ao longo de sua área (GAZZIERO et. al, 2010). Em Geremia et. al (2013), foi constatado que apenas uma planta de buva (*Conyza Bonariensis*) já foi constatada como suficiente para reduzir a altura de planta de soja em 9,8%, evidenciando a alta capacidade competitiva e sua agressividade para a cultura, necessitando de um controle para podermos cultivá-la de forma adequada.

Como apresentado, a utilização de herbicidas para o controle destas plantas, integrado a outros métodos (MIPD), é essencial para atingirmos a produção estimadas de cada safra, superando este problema que atinge inevitavelmente a grande maioria de todos os produtores. Com a ampla variedade de plantas infestantes, suas diferenças biológicas, as culturas plantadas e os diversos métodos de cultivo, os herbicidas precisam obter uma diversificada gama de características para poderem se adequar as situações que encontramos em nosso dia-a-dia, seja ele em sistemas de plantio tradicional, plantio direto, plantio inundado ou outro sistema de cultivo, além de ser necessário em todas as regiões do país, com culturas perenes, anuais, de ciclo extremamente curto, com solos argilosos, arenosos, siltosos ou com qualquer outra característica que afete de forma direta o desenvolvimento da cultura e toda a dinâmica físico-química de sua região.

Assim, hoje, nós temos mais de 80 moléculas alocadas em 17 grupos diferentes, de acordo com o HRAC-Br (2022), que com base em seus mecanismos de ação foram divididas para melhor compreensão de suas funcionalidades e aplicações. Apesar das características em comum, dentro dos grupos ainda há diferenciações, onde cada uma possui características específicas, seja pela rota metabólica, até atingir seu alvo dentro da planta, sua meia-vida dentro do solo, seus ácidos, solubilidade etc. Esta variedade de herbicidas a serem aplicados permite um balanço consciente entre utilizações de produtos, a partir de uma rotação de moléculas, e mecanismos de ação para a diminuição da pressão de seleção de sua área e conseqüentemente evitar o surgimento de espécies resistentes (INOUE e OLIVEIRA JUNIOR, 2011).

Infelizmente, mesmo com todo o conhecimento gerado ao longo dos diversos anos de pesquisa e comprovações científicas, essa ação já foi muitas vezes ignorada em benefício do comodismo e diminuição de gastos momentâneos com o uso de apenas um herbicida na mesma área durante muito tempo, assim, hoje nós temos cerca de 53 casos de resistência comprovados em nosso território, de acordo com os dados apresentados pelo Weedsience (HEAP, 2023) geradas principalmente pelo popular e eficiente glifosato, utilizado amplamente após a legalização do cultivo da Soja RR em 2005, mas que já estava sendo plantada por muitos produtores já no ano anterior (MORALES, 2013), o que permitiu o seu uso intensivo em grandes áreas por todo o Brasil, criando em resistência em plantas como o azevém (*Lolium perenne*

ssp. *multiflorum*), buva (*Conyza bonariensis*), capim pé-de-galinha (*Eleusine indica*) e caruru (*Amaranthus palmeri*) (HEAP, 2023).

Por serem a classe dentro dos pesticidas mais comercializada e aplicada nas áreas agrícolas, de acordo com o último boletim (Boletim 2021) liberado pelo Ibama em seu “Relatório de comercialização de agrotóxicos”, acabam tendo um papel muito importantes para entendermos a constante morte de abelhas que ocorre em todo o mundo quando descobrimos seus efeitos deletérios nesse organismos não-alvo, mesmo quando desenvolvidos para atingir seres completamente diferentes dos insetos, as plantas daninhas (IBAMA, 2022a).

O glifosato, por ser o mais popular dos herbicidas, sendo o mais comercializado e aplicado nas áreas agrícolas (IBAMA, 2022a), acaba por prevalecer dentre as pesquisas, onde seus diversos aspectos e interações já foram estudados, com diferentes espécies (DA SILVA et al., 2022; FERREIRA, 2021; GUIMARÃES-CESTARO et al., 2020), apresentando de modo geral, um efeito maléfico as abelhas, gerando mortes, alterações cognitivas, etc.

Os herbicidas, quando em contato com as abelhas também podem acarretar injúrias a sua qualidade de vida, podendo inclusive causar efeitos letais como a diminuição de sua longevidade. Podemos citar o trabalho realizado por Nocelli et. al (2019) que avaliou os efeitos da metade da dose, a dose de campo e o dobro da dose de campo dos herbicidas glifosato, 2,4-D, picloram e a mistura de glifosato + 2,4-D para as exposições tópica e oral em operárias de abelhas nativas da espécie *Melipona scutellaris*, concluindo, dentre outras, que para exposição oral, todos os tratamentos reduziram a longevidade, enquanto para o tópico o mesmo resultado ocorreu com a mistura de glifosato + 2,4-D. Além dos efeitos letais associados aos pesticidas, é possível observar também efeitos subletais, tais como a redução da expectativa de vida, alterações morfológicas, perda da capacidade de reconhecimento de alimentos, comprometimento da habilidade de combater infecções e deterioração cognitiva, incluindo a afetação da memória, entre outros efeitos (NOCELLI, 2012). Devido à importância de compreender essas interações e seus desdobramentos, inúmeros estudos têm sido e continuam sendo conduzidos, contribuindo para a ampliação do conhecimento científico nesse tema crucial. Essa compreensão é essencial para promover uma gestão consciente e segura do avanço da agricultura, ao mesmo tempo em que preservamos nossa fauna e flora.

Para os demais herbicidas, temos, comparativamente, poucos trabalhos publicados, mas que já nos permitem observar que, apesar de em alguns casos não gerarem danos diretos e facilmente observáveis como os inseticidas, possuem um potencial muito grande de promoverem danos subletais que acabam enfraquecendo as colônias de modo geral ao longo do tempo, diminuindo suas funcionalidades e levando posteriormente a morte daquele grupo (NOCELLI et al., 2019).

Com os avanços das pesquisas sobre os efeitos causados por pesticidas em abelhas, surgiram diferentes tipos de análises que nos proporcionaram uma visão mais ampla de diversos pontos susceptíveis a possíveis alterações graças a essas moléculas. Hoje, temos consciência de que o efeito agudo, onde a abelha morre rapidamente após o contato com o pesticida, não é o único modo em que esses produtos podem agir, de modo que, efeitos crônicos, onde as abelhas sofrem pequenas alterações em suas funções biológicas ou comportamentais, já são o suficiente para desestabilizar uma colônia e conseqüentemente deixá-las mais susceptíveis a diferentes males (DA SILVA et al., 2022).

Outro ponto comum e que afeta diretamente na qualidade e manutenção da colônia, é a identificação de alimento, função essa testada pela análise de reflexo da extensão da probóscide (REP), que testa a capacidade das operárias, após o contato, seja via oral ou tópica, com os pesticidas, em reconhecer um xarope preparado na proporção de 1:1 (água e açúcar cristal), representando o néctar presente na folha e fonte riquíssima de carboidratos que será levada até a colônia, transformada em mel e alimento para os demais indivíduos, gerando, dentre outras, uma fonte e reserva de alimento. Assim, o efeito dos herbicidas também é testado e em alguns casos, como em Souza (2021), avaliando o efeito do glifosato em *Scaptotrigona* aff. *xanthotricha* indicam uma alteração neste reconhecimento importante para a sobrevivência do indivíduo e manutenção da colônia.

Essas e outras avaliações como as atividades locomotoras, redução no consumo de alimento, alterações celulares, falta de resposta ao estímulo luminoso, diminuição das interações entre indivíduos, podem estar presentes como efeitos gerados pelos herbicidas, e precisam ser monitorados em nossas avaliações para proporcionar maior segurança para nossos polinizadores (ARAÚJO et. al, 2021; PRADO; SILVA, 2022; CHAVES, 2020).

Assim, fica clara a complexa interação entre esses pilares retratados neste estudo, onde os herbicidas e avaliações feitas quando variadas, geram resultados completamente diferentes, que podem ou não refletir o que ocorre em uma situação real de exposição, de modo que, é de grande importância esse entendimento para que seja feito um monitoramento adequado referente aos herbicidas e seus efeitos em nossas abelhas nativas.

2.3.1.1 OS MAIS UTILIZADOS NO BRASIL

De acordo com o Boletim 2021, o mais recente disponibilizado pelo IBAMA (2022a) através dos “Relatórios de comercialização de agrotóxicos”, encontrado em seu site governamental, os herbicidas são, de forma relativamente tranquila e dominante, a classe de produtos formulados mais comercializada dentro do nosso país, com 407.462,73 t de i.a. vendida, representando 56,63% de todos os pesticidas. Logo em seguida, temos os fungicidas com 128.756,61 t de i.a. (17,90%), os inseticidas com 92.625,19 t de i.a. (12,87%) e em quarto lugar os “Acaricida, Fungicida” com 36.175,07 t de i.a., já representando apenas 5,03% do total. Essa proporção, para muitos, pode ser uma surpresa, visto que para o público que possui menos contato com o campo e a agricultura de maneira geral o uso de inseticidas para o controle de pragas e doenças aparentemente é mais necessário e utilizado que herbicidas para o controle de plantas infestantes.

Essa relação persiste e fica mais evidente quando olhamos para os ingredientes ativos mais vendidos no ano de 2021, informação também presente dentro deste Boletim 2021, onde são listados os dez mais vendidos e suas quantidades em ton. i.a.. Dos dez ingredientes ativos, a metade é representada por herbicidas, que além disso, levam o primeiro e segundo lugar, com glifosato (219.585,51 ton. de IA) e 2,4-D (62.165,70 ton. de IA), além das moléculas atrazina, em quinto lugar com 37.298,57 t de i.a. vendidos, cletodim, com 9.750,70 t de i.a. e ocupando a oitava colocação, e o s-metolaclo, comercializado 9.374,02 t de i.a. e fechando a lista em décimo lugar (IBAMA, 2022a).

Todos esses herbicidas são amplamente utilizados em culturas extremamente populares ao longo de todo o território nacional, como a cana-de-açúcar, soja, milho, citros, pastagens, café, algodão, arroz, dentre outros, sendo que,

além disso, a soja e o milho, indicados na bula de praticamente todas as moléculas citadas, estão entre as principais culturas em área plantada em nosso território, com 43,459 milhões de ha e 22,316 milhões de ha respectivamente, nesta safra 2022/2023, concentrados majoritariamente na região centro-oeste do Brasil (CONAB, 2023).

Esses dados evidenciam como que estes produtos acabam sendo tão utilizados, além da necessidade de cada cultura em se desenvolver em um ambiente livre de mato competição para atingir as expectativas de produção estabelecidas, como já apresentado anteriormente (Tópico 2.3.1.). Para além dos dados referentes a 2021, quando levantamos informações sobre as moléculas mais comercializadas nos últimos dez anos, em seus respectivos boletins, vemos que o glifosato se mantinha isolado na primeira colocação já no ano de 2011, seguido até 2013 pelo óleo mineral, também possivelmente utilizado como meio de combate a algumas pragas mas com função principal de ser um solvente aos pesticidas, que foi rapidamente ultrapassado pelo 2,4-D, e que permanece na segunda colocação até os últimos dados disponíveis (IBAMA, 2022a), estabelecendo a dominância dos herbicidas como ferramenta de uso agrícola para o controle fitossanitário de plantas infestantes.

2.4. REPRESENTATIVIDADE DAS ABELHAS NATIVAS

As abelhas *Apis mellifera* são comumente utilizadas em estudos de ecotoxicologia devido à sua disponibilidade comercial, facilidade de manuseio e estabelecimento de colônias em laboratório, além de, ser a espécie indicada pela OECD (1998) em seu “Guidelines for the testing of chemicals” para avaliações ecotoxicológicas. No entanto, elas não são nativas do Brasil e não representam totalmente as características ecológicas e comportamentais das abelhas nativas, como o desenvolvimento de suas colônias, desenvolvimento das crias e alimentação (CHAM et al., 2019).

A utilização de abelhas exóticas pode levar a resultados enviesados e subestimar os riscos reais que os pesticidas, de modo geral, podem representar para as populações de abelhas nativas. Cada espécie de abelha possui uma gama única de respostas aos estressores ambientais e essas respostas podem variar amplamente, principalmente quando comparamos exóticas e nativas. Sendo assim, a avaliação do impacto dessas substâncias em abelhas *Apis mellifera* pode não refletir

adequadamente o impacto nas abelhas nativas do Brasil, expondo-as a possíveis i.a. maléficos, visto a maior sensibilidade dessas espécies em comparativo as abelhas africanizadas (LOURENCETTI, 2022).

Para melhorar a precisão e a representatividade das avaliações de ecotoxicologia relacionadas às abelhas, é fundamental incluir um conjunto diversificado de espécies nativas em estudos de laboratório e campo. Essa abordagem mais abrangente permitirá uma análise mais completa dos efeitos das substâncias químicas sobre as diferentes espécies de abelhas e fornecerá uma base sólida para a formulação de políticas de conservação e uso consciente e seguro dos pesticidas.

Dentre todas as espécies de abelhas nativas, podemos destacar cinco como maiores potenciais para serem aplicadas nestas avaliações, sejam por seus hábitos, características biológicas, sociais, e principalmente por questões práticas de execução das avaliações, de modo que, *Trigona spinipes*, *Tetragonisca angustula*, *Nannotrigona testaceicornis*, *Melipona quadrifasciata* e *Melipona scutellaris* são os potenciais substitutos das *Apis melliferas* em avaliações ecotoxicológicas para abelhas nativas (CHAM et al., 2019). Mesmo integrando a mesma tribo, *Meliponini*, essas abelhas possuem diferenças em suas morfologias, como tamanho e cor, além de diferentes padrões de comportamento e sensibilidades aos pesticidas, todas desempenhando um papel fundamental em nossa agricultura e agregando substancialmente nossa base de informações sobre o assunto.

3. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistemática com base nos dados disponíveis em trabalhos científicos publicados onde foram determinados os efeitos letais e subletais de herbicidas em abelhas nativas, averiguando seus principais ingredientes ativos utilizados, espécies submetidas aos testes, discutindo sua representatividade para abelhas nativas, e os efeitos observados, de modo que, seja realizada uma discussão e reflexão sobre nosso atual estado de conhecimento em relação a este tema e como podemos prosseguir para uma

compreensão mais ampla, que permita um aumento na segurança destes indivíduos em relação ao uso dos pesticidas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas duas das principais ferramentas online de busca para artigos científicos no Brasil, o Google Acadêmico e a plataforma SciELO Brasil, utilizando uma lista de palavras-chave pré-determinadas (Tabela 1), elaborada com base nos principais assuntos e tópicos a serem abordados em nossa linha de pesquisa. A construção dessa lista buscou abordar os diferentes pilares de nosso objetivo central, sendo eles, as abelhas nativas, os herbicidas e os efeitos tóxicos que eles podem surtir, utilizando tanto a língua portuguesa quanto a língua inglesa para a coleta de dados.

Tabela 1. Descrição das palavras-chave empregadas para busca e seleção dos artigos científicos a serem utilizados neste trabalho, de modo que, temos separado por linha as combinações de palavras utilizadas e por colunas as palavras escritas separadamente.

Palavras-chave - Português (PT-BR) 					
	1	2	3	4	5
1	Abelhas	Nativas	herbicidas		
2	Abelhas	Nativas	herbicidas	toxicidade	
3	Abelhas	Nativas	pesticidas		
4	Abelhas	Nativas	pesticidas	toxicidade	
5	Abelhas	Nativas	herbicidas	pesticidas	
6	Abelhas	Nativas	herbicidas	pesticidas	toxicidade
7	Abelhas	Nativas	herbicidas	agrotóxicos	
8	Abelhas	Nativas	herbicidas	agrotóxicos	toxicidade
9	Abelhas	sem-ferrão	herbicidas		
10	Abelhas	sem-ferrão	herbicidas	toxicidade	
11	Abelhas	sem-ferrão	pesticidas		

12	Abelhas	sem-ferrão	pesticidas	toxicidade	
13	Abelhas	sem-ferrão	herbicidas	pesticidas	
14	Abelhas	sem-ferrão	herbicidas	pesticidas	toxicidade

Palavras-chave - Inglês (EN) 

	1	2	3	4	5
1	Native	bees	herbicide		
2	Native	bees	herbicide	toxicity	
3	Native	bees	pesticide		
4	Native	bees	pesticide	toxicity	
5	Native	bees	herbicide	pesticide	
6	Native	bees	herbicide	pesticide	toxicity
7	Stingless	bees	herbicide		
8	Stingless	bees	herbicide	toxicity	
9	Stingless	bees	pesticide		
10	Stingless	bees	pesticide	toxicity	
11	Stingless	bees	herbicide	pesticide	
12	Stingless	bees	herbicide	pesticide	toxicity

Fonte: Elaboração própria.

Para a classificação dos artigos como “Elegíveis” a serem utilizados neste trabalho, ou seja, válidos para avaliação e análise, eles precisaram atingir alguns critérios de elegibilidade (Tabela 2) definidos previamente pelo autor, que ditaram o escopo de forma mais específica, selecionando apenas os que agregariam para a discussão e desenvolvimento do nosso objetivo principal. Dentro dos assuntos abordados, era necessário a utilização de pelo menos uma espécie de abelha nativa brasileira como organismo alvo; pelo menos uma molécula utilizada para exposição classificada como herbicida segundo o MAPA; avaliação de efeitos adversos as abelhas, e análise estatística clara e com procedimentos replicáveis, averiguando a confiabilidade dos resultados. Pontos como, o uso exclusivo de pesticidas não classificados como herbicidas, ou o uso exclusivo espécies de abelhas exóticas, serviram como impedimento para a inclusão do artigo em nossa análise. Os critérios foram determinados pelo autor, com o objetivo de triar e classificar os artigos que

possuíam as informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho, permitindo abordar apenas os tópicos de interesse.

Os artigos selecionados para a análise durante o levantamento foram submetidos a uma nova classificação, dessa vez, com base nos critérios presente na Tabela 2, onde foram avaliados individualmente

Após a triagem, os artigos foram catalogados em nossa planilha de controle (Tabela 3), onde foram lidos e avaliados individualmente, preenchendo uma lista de informações sobre os trabalhos e assim os classificando quanto a trabalhos “Eleitos” e “Não eleitos”.

Tabela 2. Listagem dos critérios de seleção e classificação de elegibilidade, separando por tópico cada etapa e descrevendo os pontos abordados em cada uma delas.

Critérios para exclusão da triagem para Avaliação de Elegibilidade

- Artigos em língua que não seja o inglês ou o português;
- Artigos com publicação anterior ao ano de 2000;
- Artigos indicando exclusivamente avaliações com *Apis mellifera* e/ou qualquer outra abelha exótica em seu título;
- Artigos indicando o uso exclusivo de outras classes de pesticidas no título, não foram selecionados.
- Artigos com "revisões bibliográficas", "revisões sistemáticas" e "meta análises" em seu título*

Dentre os trabalhos analisados, foram classificados como “Não elegíveis”

- Apenas compilavam dados de terceiros, como revisões bibliográficas, meta-análises e revisões sistemáticas;
- Não utilizaram ao menos uma espécie de abelha nativa dentre os indivíduos expostos;
- Não utilizaram moléculas aplicadas para o controle de plantas daninhas de acordo com o MAPA;
- Não avaliaram os danos direcionados aos indivíduos.

Demais classificações

- Artigos como "revisões bibliográficas", "revisões sistemáticas" e "meta análises" foram classificados como "Revisão/Outro";*

- Artigos sem indicação no título, mas que utilizaram *A. mellifera*, foram classificados como "Utiliza *Apis mellifera*".*

Fonte: Elaboração própria.

***Nota:** Alguns critérios da triagem se repetem na classificação, pois, muitos artigos não indicam quais espécies serão avaliadas em seu título, necessitando uma posterior avaliação detalhada.

Todos os artigos encontrados através dos recursos de pesquisa foram posteriormente catalogados em nossa planilha de controle (Tabela 3 e 4), que inclui todos os trabalhos avaliados e um compilados das informações mais pertinentes para o nosso trabalho, como o nome dos artigos, autores, local de publicação, espécies nativas utilizadas, i.a. de herbicidas, dosagens, efeitos subletais apresentados, análise estatística, dentre outros tópicos. Podemos observar nesta planilha que, quando alguns pontos determinantes não foram respondidos de acordo com o pré-determinado, esses trabalhos foram classificados como "Não eleitos", deixando destacado em vermelho o ponto que levou esta tomada de decisão.

Tabela 3. Resumo dos trabalhos eleitos avaliados, identificando as principais características avaliadas para sua classificação e para discussão, sendo a identificação do(s) herbicida(s), espécie(s) de abelha(s), grupo de herbicidas, se houve ou não avaliação por ingestão ou exposição tópica, se houve ou não efeito subletal ou letal observado e a referência.

Nº	Status	Ingrediente Ativo (Herbicida)	Espécie(s) de abelha(s)	Grupo de Herbicidas	Ingestão?	Tópico?	Efeito subletal?	Efeito letal?	Referência
1	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	DA SILVA et al. (2022)
2	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Não	Sim	SEIDE et al. (2018)
3	Eleito	Glifosato	Nannotrigona testaceicornis, Tetragonisca angustula e Tetragona elongata	G	Não	Não	Não	Não	GUIMARÃES-CESTARO et al. (2020)
4	Eleito	Glifosato	<i>Melipona Capixaba e Apis mellifera</i>	G	Sim	Sim	Sim	Sim	GOMES (2017)
5	Eleito	Mesotriona + Atrazina	<i>Partamona helleri</i>	F e C1	Sim	Não	Sim	Não	ARAÚJO; BERNARDES; MARTINS (2021)

6	Eleito	Nicosulfuron e Paraquat	<i>Tetragonisca angustula</i> e <i>Tetragonisca fiebrigi</i>	B e D	Sim	Não	Sim	Sim	FERMINO et al. (2011)
7	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	BERNARDES et al. (2022)
8	Eleito	Glifosato	<i>Plebeia lucii</i> Moure	G	Sim	Não	Sim	Sim	FERREIRA (2021)
9	Eleito	Glifosato, 2,4-D e Picloram	<i>Melipona scutellaris</i>	G, O e O	Sim	Sim	Não	Sim	NOCELLI; SOARES; MONQUERO (2019)
10	Eleito	Fluazifope-P-butílico, cletodim e metribuzin	<i>Melipona quadrifasciata</i>	A, A e C1	Sim	Não	Não	Sim	LOPES (2021)
11	Eleito	Glifosato	<i>Melipona scutellaris</i> e <i>Apis mellifera</i>	G	Sim	Não	Não	Sim	BARSOTTI; GRELLA; NOCELLI (2021)
12	Eleito	Paraquat e Diquat	<i>Scaptotrigona bipunctata</i>	D	Sim	Sim	Não	Sim	PERUZZOLO; GRANGE; RONQUI (2021)
13	Eleito	Glifosato	<i>Tetragonisca angustula</i>	G	Sim	Não	Sim	Sim	SOUSA PRADO et al. (2022)
14	Eleito	Glifosato	<i>Frieseomelitta varia</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	SILVA (2021)
15	Eleito	2,4-D e Glifosato	<i>Scaptotrigona aff. xanthotricha</i>	G e O	Não	Sim	Sim	Sim	SOUZA (2021)
16	Eleito	Glifosato	<i>Tetragonisca angustula</i>	G	Sim	Não	Sim	Sim	CHAVES (2020)
17	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Não	Não	MATOS (2020)
18	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	GRELLA (2022)
19	Eleito	haloxifope-P-metílico	<i>Apis mellifera</i> , <i>Trigona spinnipes</i> , <i>Paratrigona lineata</i>	A	Não	Não	Sim	Não	OLIVEIRA (2021)
20	Eleito	Glifosato	<i>Scaptotrigona postica</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	GRANDO (2022)
21	Eleito	Glifosato	<i>Nannotrigona testaceicornis</i> .	G	Não	Sim	Sim	Sim	DOS SANTOS et al. (2022)
22	Eleito	Glifosato	<i>Partamona helleri</i>	G	Sim	Não	Sim	Não	BOTINA et al. (2023)
23	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	G	Sim	Não	Não	Sim	SEIDE (2017)
24	Eleito	Glifosato	<i>Bombus terrestris audax</i>	G	Não	Sim	Não	Não	STRAW; CARPENTIER; BROWN (2021)

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 4. Continuação da Tabela 3, contendo agora o resumo dos trabalhos classificados como “Não eleitos”, “*Apis mellifera*” e “Revisões/Outro”, identificando as

principais características avaliadas para sua classificação e para discussão, sendo a identificação do(s) herbicida(s), espécie(s) de abelha(s), grupo de herbicidas, se houve ou não avaliação por ingestão ou exposição tópica, se houve ou não efeito subletal ou letal observado e a referência.

Nº	Status	Ingrediente Ativo	Espécie(s)	Grupo de Herbicidas	Ingestão?	Tópico?	Efeito subletal?	Efeito letal?	Referência
25	Utiliza <i>Apis mellifera</i>	Glifosato	<i>Apis mellifera</i>	---	---	---	---	---	ANTUNES (2021)
26	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	BOFF et al. (2018)
27	Não eleito	Glifosato	<i>Apis mellifera</i> e <i>Hypotrigena ruspollii</i> (Magretti)	---	---	---	---	---	ABRAHAM et al. (2018)
28	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	ALMEIDA S et al. (2021)
29	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	CHAM et al. (2019)
30	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	GRELLA et al. (2019)
31	Não eleito	---	Abelhas nativas dos EUA	---	---	---	---	---	HLADIK; VANDEVER; SMALLING (2016)
32	Não eleito	---	Abelhas nativas dos EUA	---	---	---	---	---	PAUL (s.d.)
33	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	HALL et al. (2021)
34	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	TOMÉ et al. (2017)
35	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	SHIMIZU e MOURÃO (2022)
36	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	VALDOVINOS-NEÚÑZ et al. (2009)
37	Não eleito	Não utiliza herbicidas	---	---	---	---	---	---	DE SOUZA ROSA et al. (2015)
38	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	BOTINA et al. (2020)
39	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	BELSKY e JOSHI (2020)
40	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	DA LUZ et al. (2019)
41	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	REAL-LUNA et al. (2022)
42	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	LIMA et al. (2016)
43	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	PINTO (2015)
44	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	MONQUERO e OLIVEIRA (2018)
45	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	FAITA; CHAVES; NODARI (2021)

46	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	FREITAS e PINHEIRO (2010)
47	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	RUIZ-TOLEDO e SÁNCHEZ;PENILLA- NAVARRO (2022)
48	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	ROSA-FONTANA et al. (2020)
49	Revisão/ Outro	---	---	---	---	---	---	---	DEVILLERS e PHAM-DELEGUE (2002)

Fonte: Elaboração própria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

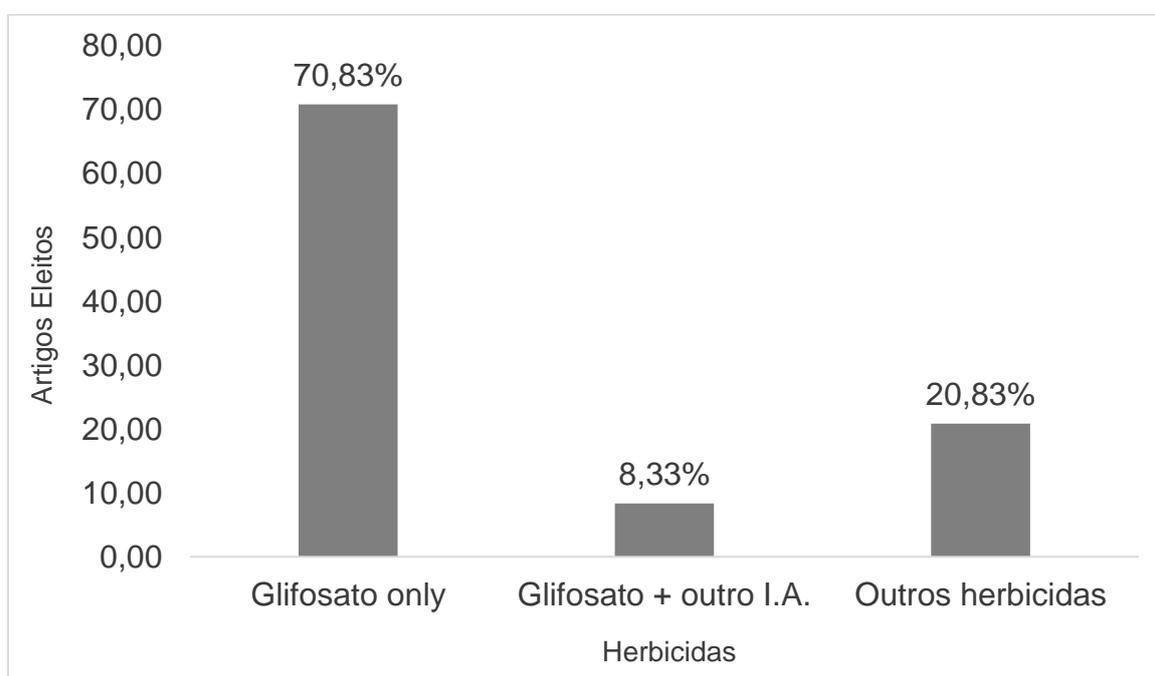
5.1. PREDOMINÂNCIA DO GLIFOSATO

Com base nos artigos escolhidos para integrarem essa revisão sistemática, onde, se encaixam nos critérios apresentados no tópico anterior, podemos observar alguns padrões quando falamos sobre estudos que abordam a interação entre herbicidas e abelhas nativas. O primeiro dele e talvez o mais importante, se diz respeito ao constante uso do glifosato como molécula a ser testada em nossas abelhas nativas, seja ele de forma tópica (DOS SANTOS et al., 2022), oral (MATOS, 2020), em dosagem de campo (SEIDE, 2017) ou com subdoses (GOMES, 2017), onde são utilizados diversos métodos de avaliação, como os efeitos agudos e crônicos.

A fim de comparação, foram selecionados 24 artigos científicos eleitos para a realização deste trabalho, onde, 19 (79,17%) deles utilizaram glifosato para a realização dos testes, seja como único herbicida ou junto de outras moléculas, e desses dezoito, 17 (70,83%) utilizaram apenas o glifosato como herbicida exclusivo para suas avaliações (Figura 1). Trabalhos que não utilizaram o glifosato dentre os herbicidas avaliados são apenas 20,83% dos artigos eleitos, o que representa apenas o valor de 5 artigos dentre os 49 totais avaliados (Tabela 3 e 4), aproximadamente 10%. Quando comparamos a quantidade comercializada (Tabela 5) dentre os ingredientes ativos mais vendidos de herbicidas do Brasil, a proporção entre os artigos que abordam o uso exclusivo de glifosato e a sua representatividade comercial, essa desproporção também está presente em relação aos demais, visto que, hoje este i.a. representa 59,24% dos dez herbicidas mais comercializados (Figura 2), ocorrendo um acréscimo de 19,56% sobre este valor para atingirmos os 70,83% referentes aos

trabalhos que o utilizam (Figura 1). Além disso, quando tomamos como comparativo o segundo colocado (2,4-D), a diferença fica mais clara, com apenas 8,33% (2) dos artigos abordando sua exposição para as abelhas, enquanto no mercado a sua fatia ocupa 16,77% dentre os herbicidas, necessitando, em tese, de um aumento de 100% dos artigos publicados para sua representatividade igualar a sua proporção de comercialização no mercado.

Figura 1. Proporção entre número de artigos eleitos e o uso do glifosato em relação aos demais herbicidas.



Fonte: Elaboração própria.

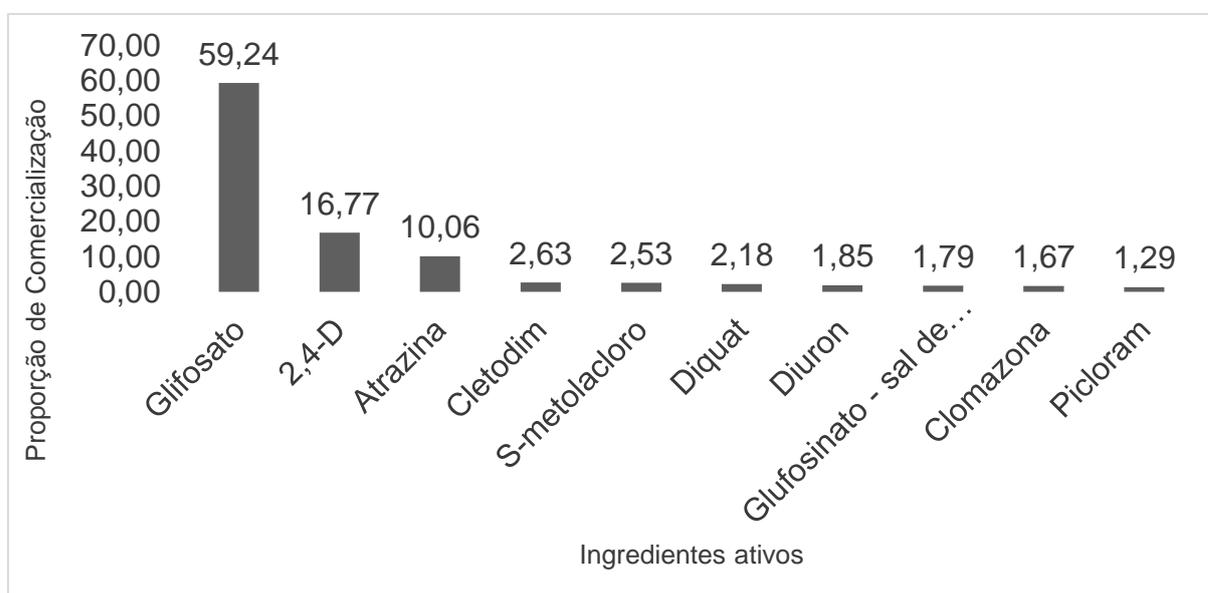
Tabela 5. Relação dos 10 herbicidas mais comercializados, indicando sua quantidade e porcentagem, proporcionalmente ao seu total.

Comercialização de Herbicidas - Brasil 2021		
Ingrediente ativo (i.a.)	t de i.a.	%
Glyphosate	219.581,34	59,24
2,4-D	62.165,70	16,77
Atrazine	37.298,57	10,06
Cletodim	9.750,70	2,63
S-metolaclo-ro	9.374,02	2,53
Diquat	8.091,26	2,18

Diuron	6.847,22	1,85
Glufosinato - sal de amônio	6.627,19	1,79
Clomazona	6.177,63	1,67
Picloram	4.779,02	1,29
Total	370.692,66	100

Fonte: IBAMA (2022a).

Figura 2. Porcentagem total (%) dos dez herbicidas mais comercializados no Brasil em 2021.



Fonte: IBAMA (2022a).

Estes fatos nos mostram como a comunidade científica brasileira está focada em entender os por menores de apenas um herbicida, enquanto os demais são praticamente ignorados, mesmo eles estando entre os demais herbicidas mais comercializados do Brasil (IBAMA, 2022a). Essa prática gera uma brecha enorme para a saúde e manutenção das nossas comunidades de abelhas nativas, onde outros compostos podem ser tão tóxicos ou mais que o próprio glifosato, acabam não recebendo a devida atenção, como já apresentado em Peruzzolo et al. (2021) após testes em *Scaptotrigona bipunctata* com o i.a. Dicamba, que diminuiu a longevidade dos indivíduos expostos a alimentação contaminada. Estes demais efeitos e possíveis problemas acabam passando despercebidos, de forma que as demais moléculas continuam sendo aplicadas sem o devido monitoramento e atenção.

O glifosato, apesar de ser o pesticida mais comercializado do Brasil, não é a única molécula que merece a nossa atenção. Estudos recentes, utilizando o 2,4-D, por exemplo, que possui características muito distintas e possivelmente mais perigosas que o glifosato, como a fácil volatilidade e propensão à deriva quando aplicado de forma incorreta, também gera efeitos deletérios no tempo de vida das operárias, além de efeitos neurotóxicos, como a diminuição do reconhecimento de alimento e a dificuldade de locomoção após o contato (SOUZA, 2021). Este dado serve de exemplo para lacuna que ainda possuímos para os demais herbicidas e seus efeitos reais em campo, de modo que, hoje, temos apenas 2 artigos (NOCELLI, SOARES e MONQUERO, 2019; SOUZA, 2021) abordando esta molécula para avaliação de exposição com nossas abelhas nativas.

Como outro exemplo, podemos relatar o herbicida metribuzin, foi objeto de estudo para os efeitos em abelhas nativas apenas em um trabalho, junto aos i.a. fluazifope-P-butílico-p-butyl e o cletodim, onde foi constatado um grande aumento na mortalidade e diminuição na expectativa de vida das operárias de *Melipona quadrifasciata* estudadas, mesmo com uma subdose referente a 1/100 da dose de campo. Com 40% de redução em seu TL₅₀, ele foi o mais tóxico dentre os três herbicidas analisados (LOPES et al, 2021). Nesse caso, fica evidente a necessidade de serem realizados novos trabalhos para ampliar o nosso entendimento sobre os malefícios que essas moléculas podem levar as espécies nativas, além da realização de duplicatas, a fim de confirmar e assegurar os resultados primários, e posteriormente testes envolvendo avaliações neurotóxicas.

Dos herbicidas presentes nos estudos levantados, suas posições dentre os pesticidas mais vendidos são variadas, havendo apenas 5 moléculas no 20 primeiros, dentre todos os pesticidas, enquanto os demais variam dentre os 75 primeiros até colocações posteriores a 200ª colocação, além de, o herbicida paraquat, já ser uma molécula proibida em nosso território (Tabela 6).

Tabela 6. Classificação das moléculas presentes nos estudos elegíveis e suas posições gerais dentre os demais pesticidas comercializados no Brasil no ano de 2021

Ingrediente ativo	Mecanismo de Ação	Posição Geral de Venda
Glifosato	Inibição de EPSPS sintase (G)	1º
2,4-D	Mimetizadores de auxina (O)	2º
Atrazina	Inibição da fotossíntese no fotossistema II (C2)	5º
Cletodim	Inibição da acetil CoA carboxilase (ACCase) (A)	8º
Diquat	Inibição da fotossíntese no fotossistema I (D)	14º
Picloram	Mimetizadores de auxina (O)	22º
Haloxifope-P-metílico	Inibição da acetil CoA carboxilase (ACCase) (A)	36º
Mesotriona	Inibição da biossíntese de carotenóides na fitoeno desaturase (PDS) (F)	69º
Metribuzin	Inibição da fotossíntese no fotossistema II (C1)	73º
Nicosulfuron	Inibição da acetolactato sintase (ALS) (B)	172º
Fluazifope-P-butílico	Inibição da acetil CoA carboxilase (ACCase) (A)	236º
Paraquat	Inibição da fotossíntese no fotossistema I (D)	Proibido*

Fonte: IBAMA (2022a).

Apesar do uso concentrado para validações dos efeitos gerados pelo glifosato em nossas abelhas nativas, hoje, não temos cobertura dos dez herbicidas mais vendidos em nosso território (Tabela 7), de modo que, 4 dentre 10 dos i.a. nós não temos dados validados diretamente com nossas espécies, testando seu comportamento, taxa de mortalidade, efeitos subletais dentre outros pontos a serem abordados.

Tabela 7. Relação dos dez i.a. da classe dos herbicidas mais comercializados no Brasil em 2021, indicando sua posição e destacando os produtos que não são contemplados nos artigos eleitos.

Ingrediente Ativo	Mecanismo de Ação	Posição de Vendas
Glifosato	Inibição de EPSPS sintase (G)	1º
2,4-D	Mimetizadores de auxina (O)	2º
Atrazina	Inibição da fotossíntese no fotossistema II (C2)	3º
Cletodim	Inibição da acetil CoA carboxilase (ACCase) (A)	4º
S-metolaclo* [*]	Inibição da divisão celular (K3)	5º
Diquat	Inibição da fotossíntese no fotossistema I (D)	6º
Diuron*	Inibição da fotossíntese no fotossistema II (C2)	7º
Glufosinato - sal de amônio *	Inibição da glutamina sintase (H)	8º
Clomazona*	Inibição da biossíntese de carotenóides na fitoeno desaturase (PDS) (F)	9º
Picloram	Mimetizadores de auxina (O)	10º

*Herbicidas não abordados em nenhum artigo elegível. Fonte: IBAMA (2022a).

5.2. COMPARATIVO DE RISCO AMBIENTAL ENTRE OS HERBICIDAS

Quando buscamos outros parâmetros a serem utilizados como justificativas para a predominância do glifosato em nossas pesquisas, sua ação toxicológica em organismos não-alvo pode ser encontrada em avaliações governamentais, por exemplo, o perfil ambiental liberado pelo IBAMA, documento onde são avaliadas suas diversas características, como composição, propriedades físico-químicas, bioacumulação, toxicidade para organismos não-alvo e comportamento no solo, que geram dados importantes para compreensão do produto utilizado e seu potencial de impacto no ambiente em que será aplicado (IBAMA, 2022b).

Os perfis ambientais de diversos dos herbicidas discutidos neste trabalho revelam alguns pontos interessantes sobre o método da avaliação do IBAMA que serão discutidos abaixo, agregando a discussão sobre a atenção que determinados i.a. recebem, em decadência de outros.

Hoje, temos estabelecido pelo órgão alguns padrões de metodologias (OECD e EPA, NBRs e Manual do Ibama) que são utilizados para avaliação e classificação em abelhas, onde, a espécie *Apis mellifera* foi determinada como a representante deste grupo, sendo aplicada em todos os perfis ambientais publicados, além de, o parâmetro abordado ser a avaliação de DL₅₀ (dose letal média) de contato, oral ou ambas as opções, seguido de limites para classificação indicados como: $0 \leq DL_{50} < 2 \mu\text{g/abelha}$ = Altamente tóxico (I); $2 \leq DL_{50} \leq 11 \mu\text{g/abelha}$ = Medianamente tóxico (II); $DL_{50} > 11 \mu\text{g/abelha}$ = Pouco tóxico (III) (IBAMA, 2022b). Assim, já podemos argumentar que, atualmente, este simples parâmetro de avaliação aguda já não é condizente com as melhores formas de avaliação, não cobrindo diversos aspectos relevantes para a manutenção da colônia e o bem-estar dos indivíduos expostos, gerados por efeitos subletais, além de, a espécie *Apis mellifera* como única e exclusiva representante poder gerar gargalos na compreensão dos efeitos causados em nossas abelhas nativas.

Dessa forma, com base nos dados presentes nos perfis ambientais, temos que, os herbicidas glifosato (todos os sais), cletodim, 2,4-D, atrazina, clomazona, s-metolaclo e metribuzin, sete dos dez i.a. mais comercializados são todos classificados como pouco tóxicos ($DL_{50} > 11 \mu\text{g/abelha}$), indicando uma certa segurança sobre o seu uso, o que, como podemos ver nos artigos apresentados, não representa necessariamente o que ocorre na prática, com nossas espécies nativas (IBAMA, 2022b). Além dos citados, o mesotriona, é o único dos herbicidas aplicado nos trabalhos eleitos e não pertencente aos dez mais comercializados do Brasil, mas que, apesar disto, também foi avaliado e classificado como “pouco tóxico”, apesar de ser o que chegou mais próximo do limite ($> 11 \mu\text{g/abelha}$) dentre todos. Os demais i.a. não citados mas que apareceram nos artigos ou dentre os mais comercializados não possuem perfis ambientais pelo IBAMA, o que pode indicar uma informação importante para nossa compreensão que está em falta (IBAMA, 2022b).

Estes resultados implicam que, apesar do que vemos na prática, o glifosato do ponto de vista estabelecido pelo IBAMA, não é um i.a. mais perigoso que os

demais, sendo encontrado na mesma classe que todos os outros, determinadas pelas mesmas avaliações e metodologias. Isso deixa mais claro que a opção pelo seu uso está muito mais atrelada a sua popularidade, tanto comercial quanto no âmbito científico, do que necessariamente a avaliações governamentais prévias e a classificação quanto ao seu potencial toxicológico.

5.3. EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS APRESENTADOS

Avaliando os danos apresentados nos 24 trabalhos eleitos reunidos nesta revisão, obtivemos diversos resultados, visto as diferentes avaliações propostas para os indivíduos, que, além do método empregado, também alternaram entre aplicações em adultos e larvas, o que gerou um compilado bem heterogêneo, mas que ainda assim permitiu uma compreensão padrão em alguns aspectos.

Classificando primeiramente os grupos estudados (Tabela 8), de acordo com o estágio de desenvolvimento das abelhas, obtivemos 19 artigos (79,17%) que utilizaram adultos para a realização de seus estudos, e que buscaram, de forma geral, avaliar a letalidade dos herbicidas e seus efeitos subletais, como a capacidade de voo, alterações morfológicas, influência nas atribuições celulares das abelhas, dentre outras, expostas por vias orais e tópicas, enquanto os 5 artigos (20,83%) que trabalharam exclusivamente com larvas, além de determinarem a mortalidade quando ocorrida a exposição prematura, buscaram compreender os efeitos dessa exposição via alimentação, replicando cenários onde os pesticidas são levados a colônia por meio de alimentos contaminados e quais seus efeitos nesta fase de desenvolvimento, que comprometeria o futuro da colônia e seu próximo ciclo de indivíduos.

Tabela 8. Classificação da quantidade de artigos eleitos que abordam as abelhas em suas diferentes fases de desenvolvimento, adultos ou larvas, seguido da sua porcentagem quanto ao total de artigos elegíveis.

Fase de Desenvolvimento	Quantidade	Porcentagem
Adultos	19	79,17
Larvas	5	20,83
Total	24	100

Fonte: Elaboração própria.

Dos efeitos listados, podemos dividir entre trabalhos que apresentaram efeitos letais, seja ele agudo ou crônico, diminuindo a expectativa de vida dos indivíduos, trabalhos com resultados referentes a avaliações subletais, que não levaram a morte das abelhas, mas ainda assim geraram algum tipo de alteração, e os que não observaram nenhum efeito adverso nos indivíduos testados, não havendo diferenças estatísticas entre os grupos de exposição e o grupo controle. Com 24 artigos eleitos, foram categorizados os efeitos em 4 diferentes tipos (Figura 3), sendo eles, “apenas letais” (6), “apenas subletais” (8), “letais e subletais” (7) e “nenhum efeito adverso” (3). Os efeitos letais foram observados ao todo em 54% deles (13), enquanto os subletais compreendem uma fatia de 33% (8), quando categorizados como único tipo de efeito observado, e 62% (15) quando incorporamos aos artigos que determinaram efeitos letais + efeitos subletais em suas avaliações. Em apenas 3 (13%) dos artigos nenhum efeito adverso foi observado, sendo estes avaliados exclusivamente com o glifosato.

Dos efeitos subletais avaliados, temos subcategorias que nos indicam quais os principais pontos abordados, sendo elas, alterações celulares e suas funcionalidades (6), alterações na atividade locomotora (4), diminuição da capacidade de voo (2), alterações morfológicas (2), dentre outros, abordados com uma menor frequência, como uma menor resposta a estímulos por luz, alteração no reflexo da extensão da probóscide, onde é avaliada a resposta a alimentos, diminuição de interações entre pares, diminuição no consumo de alimento e menor visitação durante o forrageamento em flores. Estes efeitos, podem coexistir e compartilharem os mesmos artigos, não sendo um trabalho exclusivo para cada ponto abordado (Tabela 9).

Figura 3. Proporção dos tipos de avaliações realizadas nos 24 artigos eleitos.

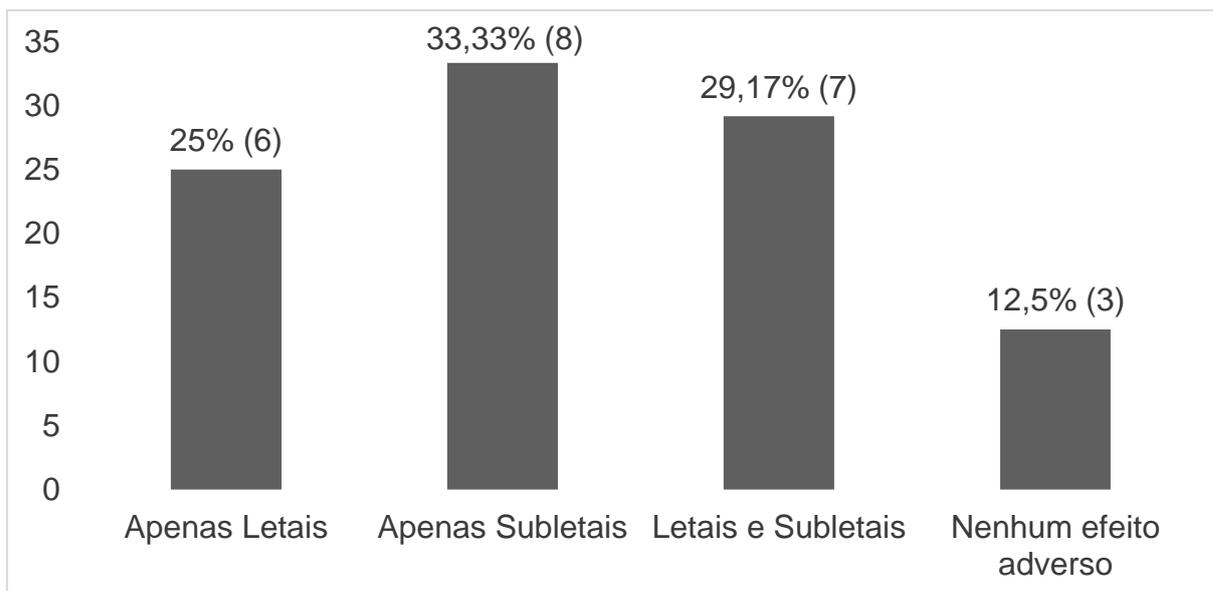


Tabela 9. Comparativo entre os diferentes efeitos subletais observados pelos herbicidas para os artigos eleitos.

Nº	Status	Herbicida(s)	Espécie(s)	Apresenta efeito subletal?	Alteração celular	Diminuição visita floral	Diminuição das interações	Alteração da Capacidade de vôo	Redução do consumo de alimento	Alteração atividade locomotora	Diminuição da longevidade	Não responder estímulo luz	REP	Alteração morfológica	Referência
1	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata quadrifasciata</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	DA SILVA et al. (2022)
4	Eleito	Glifosato	<i>Melipona Capixaba e Apis mellifera</i>	Sim	NA	NA	NA	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	GOMES (2017)
5	Eleito	Mesotriona + Atrazina	<i>Partamona helleri</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	ARAÚJO; BERNARDES; MARTINS (2021)
6	Eleito	Nicosulfuron e Paraquat	<i>Tetragonisca angustula e Tetragonisca fiebrigi</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	FERMINO et al. (2011)
7	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	BERNARDES et al. (2022)
8	Eleito	Glifosato	<i>Plebeia lucii</i> Moure	Sim	NA	NA	NA	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	FERREIRA (2021)
13	Eleito	Glifosato	<i>Tetragonisca angustula</i>	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	Sim	NA	Sim	NA	NA	SOUZA PRADO et al. (2022)
14	Eleito	Glifosato	<i>Frieseomelitta varia</i>	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Sim	SILVA (2021)
15	Eleito	2,4-D e Glifosato	<i>Scaptotrigona aff. xanthotricha</i>	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	Sim	NA	NA	Sim	NA	SOUZA (2021)
16	Eleito	Glifosato	<i>Tetragonisca angustula</i>	Sim	NA	NA	Sim	NA	NA	NA	Sim	NA	NA	NA	CHAVES (2020)
18	Eleito	Glifosato	<i>Melipona quadrifasciata</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	GRELLA (2022)

19	Eleito	Haloxifope-P-metilico	<i>Apis mellifera, Trigona spinnipes, Paratrigona lineata</i>	Sim	NA	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
20	Eleito	Glifosato	<i>Scaptotrigona postica</i>	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Sim	GRANDO (2022)
21	Eleito	Glifosato	<i>Nannotrigona testaceicornis.</i>	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	Sim	NA	NA	NA	NA	DOS SANTOS et al. (2022)
22	Eleito	Glifosato	<i>Partamona helleri</i>	Sim	Sim	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	BOTINA et al. (2023)

Fonte: Elaboração própria.

Para fins quantitativos, é notado que, apesar da quantidade relativamente baixa de avaliações concernentes aos efeitos causados por herbicidas em abelhas nativas e do uso predominante do glifosato como principal ingrediente ativo estudado, as avaliações, especialmente as subletais e voltadas para efeitos além da mortalidade, demonstram uma ampla diversidade. Isso proporciona uma compreensão abrangente das possíveis consequências adversas que esses produtos podem estar provocando nas abelhas nativas, porém com uma limitada capacidade de comparação entre as avaliações para diferentes ingredientes ativos.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou uma visão abrangente do que temos disponível hoje em nossa literatura científica sobre os efeitos toxicológicos que os herbicidas causam em nossas abelhas nativas, evidenciando as forças e fraquezas que possuímos sobre o assunto, de modo que, a partir dos dados apresentados, é possível traçar diversos caminhos a serem seguidos, afim de construir uma base mais sólida e embasada. Um dos caminhos mais recomendados consiste em investigar ao menos os efeitos sobre a sobrevivência das abelhas frente aos dez principais herbicidas comercializados no Brasil, realizando as análises nos faltantes, dessa maneira, ampliaremos nosso escopo de análises para englobar a parcela mais significativa de pesticidas empregadas nas práticas agrícolas. Outra abordagem que pode agregar nossa base científica seriam as padronizações para determinações de efeitos subletais, visto que, hoje, temos uma ampla gama de análises realizadas para os herbicidas, mas que, não se comunicam entre si, dificultando a comparação para esses efeitos.

Hoje, temos mapeado os efeitos do glifosato como nenhum outro, com diversas avaliações e metodologias aplicadas, muito influenciado por sua fatia de mercado expressiva, que proporcionou um entendimento muito completo de sua ação nestes polinizadores, apesar disso, é preocupante a pobreza e até a inexistência dos dados que temos quando falamos de outros herbicidas. Estes demais ingredientes ativos, apesar de não possuírem o mesmo peso comercial, podem apresentar um potencial destrutivo considerável, com efeitos letais e subletais observáveis, quando testados, e o seu uso estando presente em muitas áreas agrícolas do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, J. et al. Commercially formulated glyphosate can kill non-target pollinator bees under laboratory conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 166, n. 8, p. 695–702, 1 ago. 2018.

ALMEIDA, C. H. DA S. **Exposições subletais a pesticidas alteram comportamentos de abelhas a nível de indivíduos e de colônias.** 18 ago. 2017.

ALMEIDA, C. H. S. et al. Sublethal agrochemical exposures can alter honey bees' and Neotropical stingless bees' color preferences, respiration rates, and locomotory responses. *Science of The Total Environment*, v. 779, p. 146432, 20 jul. 2021.

ALMEIDA, R. G. de et al. Sistemas agrossilvipastoris: benefícios técnicos, econômicos, ambientais e sociais. *Encontro Sobre Zootecnia De Mato Grosso Do Sul*, v. 7, p. 1-10, 2010.

ANDOGNINI, J. **O que você precisa saber sobre identificação, danos e controle da planta daninha corda-de-viola.** Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/planta-daninha-corda-de-viola/>>. 21 de fev de 2021. Acesso em: 5 fev. 2023.

ANTUNES, B. C. O herbicida glifosato pode causar alterações em invertebrados polinizadores? Um estudo comportamental com abelhas operárias. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de São Carlos, Lagoa do Sino, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/14946>.

ARAÚJO, J. F. Efeitos isolados e combinados dos inseticidas fipronil e tiametoxam para a abelha brasileira *Melipona scutellaris* Latreille, 1811 (Hymenoptera, Apidae). Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – UFSCar, Araras. 24 nov. 2017.

ARAÚJO, R. DOS S.; BERNARDES, R. C.; MARTINS, G. F. A mixture containing the herbicides Mesotriona and Atrazine imposes toxicological risks on workers of *Partamona helleri*. *Science of The Total Environment*, v. 763, p. 142980, 1 abr. 2021.

BARSOTTI, G.; GRELLA, T. C.; NOCELLI, R. C. F. Determinação da TL50 de agrotóxicos para *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 e *Melipona scutellaris* Latreille, 1811 (Hymenoptera, Apidae). XXVII CIC e XII CIDTI, 25 fev. 2021.

BATTISTI, L. et al. Is glyphosate toxic to bees? A meta-analytical review. *Science of The Total Environment*, v. 767, p. 145397, 1 maio 2021.

BELSKY, J.; JOSHI, N. K. Effects of Fungicide and Herbicide Chemical Exposure on *Apis* and Non-*Apis* Bees in Agricultural Landscape. *Frontiers in Environmental Science*, v. 8, p. 522888, 28 jul. 2020.

BENEVIDES, C. R.; GAGLIANONE, M. C.; HOFFMANN, M.. Visitantes florais do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg. Passifloraceae) em áreas de cultivo com diferentes proximidades a fragmentos florestais na região Norte Fluminense, RJ. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 53, n. 3, p. 415–421, 2009.

BERINGER, J.; MACIEL, F. L.; TRAMONTINA, F. F. O declínio populacional das abelhas: causas, potenciais soluções e perspectivas futuras. *Revista Eletrônica Científica da UERGS* , v. 5, n. 1, p. 18-27, 16 abr. 2019.

BERNARDES, R. C. et al. Toxicological assessment of agrochemicals on bees using machine learning tools. *Journal of Hazardous Materials*, v. 424, p. 127344, 15 fev. 2022.

BOFF, S. et al. Changes in social behavior are induced by pesticide ingestion in a Neotropical stingless bee. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 164, p. 548–553, 30 nov. 2018.

BOTINA, L. L. et al. The impact of early-life exposure to three agrochemicals on survival, behavior, and gut microbiota of stingless bees (*Partamona helleri*). *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 27, p. 70143–70158, 2023.

BOTINA, L. L. et al. Toxicological assessments of agrochemical effects on stingless bees (Apidae, Meliponini). *MethodsX*, v. 7, p. 100906, 1 jan. 2020.

BOVI, T. de S. Toxicidade de inseticidas para abelhas *Apis mellifera* L. 2013. vii, 55 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu, 2013. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/104999>>.

BRIGHENTI, A. M.; OLIVEIRA, M. F. Biologia de plantas daninhas. In: OLIVEIRA JR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Eds.). **Biologia e manejo de plantas daninhas** Curitiba: Omnipax, 2011. p. 1-36.

CAMPBELL, A. J. et al. Anthropogenic disturbance of tropical forests threatens pollination services to açai palm in the Amazon river delta. *Journal of Applied Ecology*, v. 55, n. 4, p. 1725–1736, 2018.

CARVALHO, S. M. et al.. Toxicidade de acaricidas/inseticidas empregados na citricultura para a abelha africanizada *Apis Mellifera* L., 1758 (HYMENOPTERA: APIDAE). *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 76, n. 4, p. 597–606, out. 2009.

CARVALHO-ZILSE, G. A. et al. **Meliponicultura : perguntas mais frequentes sobre as abelhas sem ferrão - I**. Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. 1ª ed. 2011.

CHAM, K. O. et al. Pesticide Exposure Assessment Paradigm for Stingless Bees. ***Environmental Entomology***, v. 48, n. 1, p. 36–48, 2019.

CHAVES, M. A. Bioensaios em laboratório para análise do comportamento de *Tetragonisca angustula* sob influência de glifosato BioCarb®. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2020.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira-Grãos, 4o Levantamento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2022/23 - Quarto levantamento**, v. 10, p. 1–83, 2023.

CONAB. **Produção nacional de grãos é estimada em 312,2 milhões de toneladas na safra 2022/23**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4847-producao-nacional-de-graos-e-estimada-em-312-2-milhoes-de-toneladas-na-safra-2022-23>>. 2022. Acesso em: 13 jun. 2023.

COSTA, A. Em 40 anos, agricultura brasileira produz 5 vezes mais e área plantada sequer dobra. **Revista Cultivar**, fev. 2022.

CRUZ, J. C. et al. **Plantio Direto**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-direto>>. 2021. Acesso em: 13 jun. 2023.

DA LUZ, C. F. P. et al. Comparative floral preferences in nectar and pollen foraging by *Scaptotrigona postica* (Latreille 1807) in two different biomes in São Paulo (Brazil). *Grana*, v. 58, n. 3, p. 200–226, 4 maio 2019.

DA SILVA, J. G. **Preparo do solo**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/preparo-do-solo>>. 2021. Acesso em: 13 jun. 2023.

DA SILVA, P. C. et al. Glyphosate-Based Herbicide Causes Cellular Alterations to Gut Epithelium of the Neotropical Stingless Bee *Melipona quadrifasciata* (Hymenoptera: Meliponini). *Neotropical Entomology*, v. 51, n. 6, p.

860–868, 2022.

DE SOUZA ROSA, A. et al. The stingless bee species, *Scaptotrigona aff. depilis*, as a potential indicator of environmental pesticide contamination. *Environmental toxicology and chemistry*, v. 34, n. 8, p. 1851–1853, 1 ago. 2015.

DEVILLERS, J.; PHAM-DELEGUE, M.-H. Impact of agrochemicals on non-*Apis* beesle. In: *Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals*. 1. ed. [s.l.] CRC Press, 2002. p. 352.

DORNELES, A. L. Riscos da exposição crônica a resíduos de clorpirifós para operárias imaturas e adultas de abelha sem ferrão *Scaptotrigona bipunctata*. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 11 mar. 2020.

DOMINGUES, C. E. DA C. Análise dos efeitos do fungicida piraclostrobina e do inseticida acetamiprida em abelhas eussociais (Hymenoptera: Apidae). 3 mar. 2021.

DOS SANTOS, J. A. et al. TOXICIDADE DO GLIFOSATO EM *NANNOTRIGONA TESTACEICORNIS*. In: *OPEN SCIENCE RESEARCH IX*. [s.l.] Editora Científica Digital, 2022. v. 9p. 49–59.

DRUMOND, P. M.; MAUES, M. M.; JUNQUEIRA, NTV. Flor do maracujazeiro-azedo e polinização natural. 2021.

FAITA, M. R.; CHAVES, A.; NODARI, R. O. The expansion of agribusiness: harmful impacts of deforestation, pesticides and transgenics on bees. Special issue - *Agribusiness in times of planetary collapse: critical approaches*, v. 57, p. 79–105, 2021.

FERMINO, F. et al. Isoenzymes and cytochemical analysis in *Tetragonisca angustula* and *Tetragonisca fiebrigi* after herbicide contamination. *Sociobiology*, v. 58, n. 2, p. 353–366, 2011.

FERREIRA, E. A.; PAIXÃO, M. V. S.; KOSHIYAMA, A. S.; AFFONSO LORENZON, M. C. MELIPONICULTURA COMO FERRAMENTA DE APRENDIZADO EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL. *Ensino, Saude e Ambiente*, v. 6, n. 3, 28 dez. 2013.

FERREIRA, L. M. N. Toxicity effects of glyphosate and acephate to the stingless bee *Plebeia lucii* Moure, 2004 (Hymenoptera, Apidae). 2021. 37 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2021.

FILHO, M. R. DE A. et al. **Plantio Convencional**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-convencional>>. 2021. Acesso em: 13 jun. 2023.

FREITAS, B.; PINHEIRO, J. EFEITOS SUB-LETAIS DOS PESTICIDAS AGRÍCOLAS E SEUS IMPACTOS NO MANEJO DE POLINIZADORES DOS AGROECOSSISTEMAS BRASILEIROS. *Oecologia Australis*, v. 14, p. 282–298, 1 mar. 2010.

FREITAS, B. M.; NUNES-SILVA, P. Polinização agrícola e sua importância no Brasil. **Polinizadores no Brasil: contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**, v. 1, p. 103-118, 2012.

GAZZIERO, D. L. P. et al. (2010). Interferência da buva em áreas cultivadas com soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 27., 2010, Ribeirão Preto. Responsabilidade social e ambiental no manejo de plantas daninhas. Ribeirão Preto: SBCPD, 2010. p. 1555-1558. Trab. 329. 1 CD-ROM. CBCPD.

GEREMIA, D.; TELLECHEA MARTINI, A.; CARPES MEUS, N.; DE BASTOS PAZINI, J.; FELISBERTO DA SILVA, F. Interferência Da Buva (*coniza Bonariensis*) No Desenvolvimento Da Soja (*glycine Max*) Durante A Fase Vegetativa. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 1, n. 1, 1 fev. 2013.

GOMES, I. N. **Bioensaios em laboratório indicam efeitos deletérios de agrotóxicos sobre as abelhas *Melipona capixaba* e *Apis mellifera***.. 51f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários) - Universidade Federal de Viçosa, Florestal. 2017.

GOMES, W. S. **Efeitos de inseticidas, acaricidas e fungicidas utilizados na cultura do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duchesne) na abelha *Tetragonisca angustula* (Hymenoptera, Trigonini)**. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

GRANDO, G. C. Efeitos da combinação de agrotóxicos glifosato e imidacloprido no desenvolvimento, sistema imunológico e digestório de abelhas *Scaptotrigona postica* (Latreille, 1807). 2022. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17938>.

GRELLA, T. C. Coexposição de abelha nativa e exótica ao imidacloprido e glifosato: uma avaliação do sistema imune. [s.l.] UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”, 2022.

GRELLA, T. C. et al. Semi-quantitative analysis of morphological changes in bee tissues: A toxicological approach. *Chemosphere*, v. 236, p. 124255, 1 dez. 2019.

GUIMARÃES-CESTARO, L. et al. Occurrence of virus, microsporidia, and pesticide residues in three species of stingless bees (Apidae: Meliponini) in the field. *Science of Nature*, v. 107, n. 3, 2020.

HALL, M. A. et al. Temporal changes in the microbiome of stingless bee foragers following colony relocation. *FEMS Microbiology Ecology*, v. 97, n. 1, p. f1aa236, 8 jan. 2021.

HEAP, I. **THE INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS.**

Disponível em: <www.weedscience.com>. Acesso em: 07 de fev de 2023.

HLADIK, M. L.; VANDEVER, M.; SMALLING, K. L. Exposure of native bees foraging in an agricultural landscape to current-use pesticides. *Science of The Total Environment*, v. 542, p. 469–477, 15 jan. 2016.

HRAC-BR. **CLASSIFICAÇÃO DOS HERBICIDAS QUANTO AOS MECANISMOS DE AÇÃO**HRAC-BR. Folder. 2022. Disponível em:

<https://drive.google.com/file/d/1oMUqR_SML6M6hHeijLx9ZpswVF9UpKz-/view>.

Acesso em: 7 fev. 2023.

IBAMA. **Perfis Ambientais de Agrotóxicos.** Disponível em:

<<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/perfis-ambientais#lista-perfis>>. 29 de nov de 2022b. Acesso em: 30 jul. 2023.

IBAMA. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos.** Governo Federal - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

Disponível em: <<https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>>. 29 de nov de 2022a. Acesso em: 5 fev. 2023.

INOUE, M.H.; OLIVEIRA JUNIOR, R.S. Resistência de plantas daninhas a herbicidas. In: OLIVEIRA JUNIOR, R.S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M.H. (Eds.). *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Curitiba: Omnipax, p. 193-214, 2011.

JACOB, C. R. de O. Impacto de inseticidas neonicotinoides em abelhas africanizadas e nativas sem ferrão (Hymenoptera: Apoidea): toxicidade, alterações na atividade de locomoção e riqueza de espécies em pomares de citros. 2019. Tese (Doutorado em Entomologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2019. doi:10.11606/T.11.2019.tde-03092019-100801. Acesso em: 2023-09-14.

JUNQUEIRA, N. T. V. et al. A Importância da Polinização Manual para Aumentar a Produtividade do Maracujazeiro Planaltina, DF 2001. Embrapa Cerrados, v. 1, p. 16, 2001.

KLINE, O.; JOSHI, N. K. Mitigating the Effects of Habitat Loss on Solitary Bees in Agricultural Ecosystems. *Agriculture*, v. 10, n. 4, p. 115, 5 abr. 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/agriculture10040115>>.

LIMA, A. L. Relatório aponta a importância da polinização para a agricultura brasileira. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/41144724/relatorio-aponta-a-importancia-da-polinizacao-para-a-agricultura-brasileira>>. 2019. Acesso em: 10 jun. 2023.

LIMA, M. A. P. et al. Agrochemical-induced stress in stingless bees: peculiarities, underlying basis, and challenges. *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology*, v. 202, n. 9–10, p. 733–747, 2016.

LOPES, L. T.; MONQUERO, P. A.; NOCELLI, R. C. F. Avaliação da toxicidade residual de herbicidas sistêmicos da cultura do tomate (*Solanum lycopersicum* L) para a abelha *Melipona quadrifasciata* Lepeletier, 1836. In: XXVII CIC e XII CIDTI. 2021.

LOUISE, A. **Sistema de Plantio Direto completa 50 anos no Brasil, garantindo maior produtividade e sustentabilidade para agro**. Disponível em: <<http://www.agricultura.mg.gov.br/index.php/ajuda/story/5091-sistema-de-plantio-direto-completa-50-anos-no-brasil-garantindo-maior-produtividade-e-sustentabilidade-para-agro>>. 2022. Acesso em: 13 jun. 2023.

LOURENCETTI, A. P. S. Sensibilidade de abelhas brasileiras a agrotóxicos: avaliação de risco ambiental baseada no modelo *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera, Apidae). 2022. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) –

Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2022. Disponível em:
<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17211>.

MACEDO, R. C. Toxicidade do acetamiprido e dimetoato para abelha *Scaptotrigona postica* Latreille, 1804. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

MALAGODI-BRAGA, K. S. A polinização como fator de produção na cultura do morango. Jaguariúna: Embrapa, 2018.

MALAGODI-BRAGA, K. S. A Polinização do Morangueiro (*Fragaria x ananassa*). SEMANA DOS POLINIZADORES, v. 2, p. 36-48, 2010.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARAES, T. G. **Herbicidas: mecanismos de ação e uso**. Embrapa Cerrados ed. Planaltina: Embrapa, 2008.

MATOS, I. V. de. Bioensaio de toxicidade do herbicida glifosato (n-(phosphonomethyl) glycine) para abelha nativa sem ferrão *Melipona quadrifasciata quadrifasciata* (Lepelletier 1836) (Meliponinae, Apidae). 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2020.

MELLO, G.A.R.; et al. Polinizadores de maracujás no Paraná. In: VII Encontro sobre Abelhas, Ribeirão Preto, CD-ROM. 2006.

MONQUERO, P. A.; OLIVEIRA, A. S. Os herbicidas causam impactos na sobrevivência e desenvolvimento de abelhas? *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 1, n. 1, p. 95, 2018.

MONTEIRO, V. M. TOXICIDADE DE DUAS FORMULAÇÕES COMERCIAIS DE NEONICOTINOIDES PARA AS ABELHAS NATIVAS SEM FERRÃO *Trigona aff fuscipennis* Friese 1900 e *Scaptotrigona aff depilis* Moure 1942 (Hymenoptera: Apidae). [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2021.

MORALES, D. Soja transgênica de forma legalizada só foi permitida em 2005 . Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/soja-transgenica-forma-legalizada-foi-permitida-2005-25263/>>. 2013. Acesso em: 7 fev. 2023.

NOCELLI, R. C. et al. Riscos de pesticidas sobre as abelhas. *Semana dos Polinizadores*, v. 3, p. 196-212, 2012.

NOCELLI, RCF; SOARES, SMM; MONQUERO, P. A. Efeito de Herbicidas na Sobrevivência de Abelhas Nativas Brasileiras *Melipona scutellaris* Latreille, 1811 (Hymenoptera: Apidae). *Planta Daninha*, v. 37, 2019.

NOMINATO, F. C. Estudo da ação do inseticida Tiametoxam na sobrevivência e no comportamento de operárias de *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae) em diferentes idades. 2012. 43 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/120206>>.

OLIVEIRA, A. C. DE. Efeitos tóxicos de produtos fitossanitários aplicados com diferentes espectros de gotas sobre polinizadores no girassol. [s.l.] UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2021.

OLIVEIRA, C. M. et al. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50–54, 1 fev. 2014.

PAUL, N. Impacts of Herbicides on Bees: Implications of Glyphosate on Wild Bee Populations. Experiment-Uploads.S3.Amazonaws ..., n. 40132933, [s.d.].

PERUZZOLO, M. C.; GRANGE, L.; RONQUI, L. MORTALIDADE DE ABELHAS SEM FERRÃO *Scaptotrigona bipunctata* SOB OS EFEITOS DOS HERBICIDAS PARAQUAT E DIQUAT. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, v. 24, n. 1cont, p. 1–9, 2021.

PINTO, D. da S. Análise dos méis de abelhas do gênero *Melipona* (abelhas sem ferrão) através de LC-SPE/NMR, LC-BPSU/NMR e RMN aliada à quimiometria.. 2015. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12260>.

PRADO, I. S.; SILVA, L. A. Glyphosate affects *Tetragonisca angustula* (Latreille , 1811) (Hymenoptera : Apidae) worker ' s locomotion , behavior and biology. p. 1–12, 2022.

RAMOS, J. D. **Potenciais efeitos da exposição a fungicidas agrícolas para abelhas-sem-ferrão imaturas : conservação de polinizadores e políticas públicas.** [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 24 ago. 2021.

RAVEN, P.H.; EICHHORN, S.E.; EVERT, R.F. *Biologia Vegetal*. 8ª Edição. Guanabara Koogan, 867p, 2014.

REAL-LUNA, N. et al. Stingless bees (Tribe Meliponini) in Latin American agroecosystems. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, v. 13, n. 2, p. 331–344, 2022.

ROSA, A. de S. Efeitos da exposição de *Bombus terrestris audax*, *Apis mellifera carnica* e *Scaptotrigona bipunctata* ao neonicotinóide tiametoxam e uso de *Scaptotrigona aff. depilis* como bioindicador. 2014. Tese (Doutorado em Entomologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2014. doi:10.11606/T.59.2014.tde-31082014-184702. Acesso em: 2023-02-05.

ROSA, J. M. da; ARIOLI, C. J.; NUNES-SILVA, P.; GARCIA, F. R. M. Desaparecimento de abelhas polinizadoras nos sistemas naturais e agrícolas: Existe uma explicação?. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v. 18, n. 1, p. 154-162, 2019. DOI: 10.5965/223811711812019154. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/10301>. Acesso em: 13 jun. 2023.

ROSA-FONTANA, A. et al. What is the most suitable native bee species from the Neotropical region to be proposed as model-organism for toxicity tests during the larval phase? *Environmental Pollution*, v. 265, p. 114849, 1 out. 2020.

RUIZ-TOLEDO, J.; SÁNCHEZ, D.; PENILLA-NAVARRO, R. P. The honey bee , *Apis mellifera* , cannot be used as a surrogate for the stingless bee *Scaptotrigona mexicana* to evaluate the effects of pesticide exposure in agricultural landscapes in Southern Mexico. p. 1–13, 2022.

SEIDE, V. E. et al. Glyphosate is lethal and Cry toxins alter the development of the stingless bee *Melipona quadrifasciata*. *Environmental Pollution*, v. 243, p. 1854–1860, 1 dez. 2018.

SEIDE, V. E. Is the stingless bee *Melipona quadrifasciata* harmed by Bt toxins and glyphosate?. 2017. 28 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

SHIMIZU, M. Y., MOURÃO, M. A. N. . (2022). Gestão ambiental como ferramenta mitigadora de impactos ambientais provocados por pesticidas que afetam populações da espécie de abelha sem ferrão *Tetragonisca Angustula* (HYMENOPTERA: APIDAE) . *Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação*, 8(4), 1731–1749. <https://doi.org/10.51891/rease.v8i4.5190>.

SILVA, C. I. da et al. **Manejo dos polinizadores e polinização de flores do maracujazeiro**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP. Disponível em: <http://www.iea.usp.br/pesquisa/grupos/servecosystemas/publicacoes/manejo-dos-polinizadores-e-polinizacao-de-flores-do-maracujazeiro/view>. 2014. Acesso em: 11 jun. 2023.

SILVA, G. M. da. Efeitos toxicológicos da exposição oral do tiametoxam na abelha sem ferrão *Scaptotrigona postica* Latreille, 1807 (Hymenoptera, Apidae, Meliponini).

Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022. Disponível em:
<<http://hdl.handle.net/11449/238052>>.

SILVA, J. A. da. Criação in vitro da abelha sem ferrão *Frieseomelitta varia* Lepeletier 1836 (Apidae, Meliponini) e efeitos de doses subletais de glifosato na morfologia. 2021. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2021.

SILVA, Paula Netto. Fauna de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) em áreas de cultivo de tomateiro e o seu papel na polinização. 2015. 73 f. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2015.

SILVEIRA, F. A.; MELO, G. A. R.; ALMEIDA, E. A. B. Abelhas brasileiras: sistemática e identificação. Belo Horizonte. Min. Meio Ambiente/Fund. Araraucária. p. 253, 2002.

SOARES, H. M. Avaliação dos efeitos do inseticida imidacloprido para abelhas sem ferrão *Scaptotrigona postica* Latreille, 1807 (Hymenoptera, Apidae, Meliponini): Hellen Maria Soares. -. 2012. 87 f. Dissertação - (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2012. Disponível em:
<<http://hdl.handle.net/11449/87695>>.

SOUSA PRADO, I. et al. Glyphosate affects *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) (Hymenoptera: Apidae) worker's locomotion, behavior and biology. 10 out. 2022.

SOUZA, F. C. DE. Avaliação da interação polinizador-agrotóxico por meio da toxicidade do Tiametoxam em *Frieseomelitta varia* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). 16 nov. 2022.

SOUZA, G. C. Efeitos de herbicidas na sobrevivência e comportamento de *scaptotrigona* aff. *Xanthotricha* (apidae, meliponini). Orientador: Alanna Socorro Lima da Silva. 2021. 52f. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida) - Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida,

Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufopa.edu.br/jspui/handle/123456789/566>

STRAW, E. A.; CARPENTIER, E. N.; BROWN, M. J. F. Roundup causes high levels of mortality following contact exposure in bumble bees. *Journal of Applied Ecology*, v. 58, n. 6, p. 1167–1176, 2021.

TOMÉ, H. V. V. et al. Agrochemical synergism imposes higher risk to neotropical bees than to honeybees. *Royal Society Open Science*, v. 4, n. 1, 2017.

VALDOVINOS-NEÚÑZ, G. R. et al. Comparative toxicity of pesticides to stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Journal of economic entomology*, v. 102, n. 5, p. 1737–1742, out. 2009.

WFO Plant List | World Flora Online. Disponível em: <<https://wfoplantlist.org/plant-list/taxon/wfo-9949999999-2022-12?page=1>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

WOLOWSKI, M. et al. Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil. **BPBES - Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**, 2019.