



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS VETERINÁRIAS
CURSO DE MESTRADO



**ECOTOXICIDADE DO GLIFOSATO EM ABELHAS
SCAPTOTRIGONA POSTICA: ESTUDO DA
CONCENTRAÇÃO LETAL E SUBLETAL SOBRE
BIOMARCADORES DE OXIDAÇÃO**

MIKAELLE DE OLIVEIRA CASTILHO

Campo Grande – MS
2023

MIKAELLE DE OLIVEIRA CASTILHO

**ECOTOXICIDADE DO GLIFOSATO EM ABELHAS
SCAPTOTRIGONA POSTICA: ESTUDO DA
CONCENTRAÇÃO LETAL E SUBLETAL SOBRE
BIOMARCADORES DE OXIDAÇÃO**

***ECOTOXICITY OF GLYPHOSATE IN SCAPTOTRIGONA POSTICA BEES: A
STUDY OF LETHAL AND SUBLETHAL CONCENTRATION ON OXIDATION
BIOMARKERS***

MIKAELLE DE OLIVEIRA CASTILHO

Orientadora: ALDA IZABEL DE SOUZA

Coorientador: RODRIGO ZALUSKI

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Veterinárias da Universidade Federal de
Mato Grosso do Sul, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Mestre em Ciências Veterinárias

Campo Grande – MS
2023

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação e essa conquista aos meus pais, Juraildes e Herli, e ao meu esposo Alan, meus maiores incentivadores. Foi graças a torcida e apoio a mim oferecidos que consegui alcançar voos cada vez mais altos. Minhas palavras não serão suficientes para expressar a minha gratidão.

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, que sempre foi meu guia para os melhores caminhos, que me fortalece e me dá sabedoria.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC, pelo suporte no aprendizado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida.

À mesa de arguição e suplentes, por cada contribuição e pelo tempo destinado à leitura desta dissertação.

Aos meus orientadores- Professora Alda Izabel de Souza e Professor Rodrigo Zaluski, por me incentivarem e apoiarem neste estudo.

Aos professores Carlos A. do Nascimento, Luiz Ubiratan Hepp, Ricardo Orsi e Raquel Soares Juliano.

Às equipes e amigos dos Laboratórios de Patologia Clínica, Parasitologia, Apicultura e Biologia Molecular- FAMEZ/UFMS.

Ao meu esposo Alan, que me impulsionou e não me deixou desistir.

A todos os familiares e amigos que de maneira direta ou indireta me ajudaram nesse caminho e torceram por mim.

Gratidão!!

“Porque o Senhor dá a sabedoria; o saber e o entendimento vêm dos seus lábios. Ele guarda a inteligência para os justos; escudo é para os que caminham na sinceridade.”

Provérbios 2:6-7

CASTILHO, M.O, ECOTOXICIDADE DO GLIFOSATO EM ABELHAS SCAPTOTRIGONA POSTICA: ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO LETAL E SUBLETAL SOBRE BIOMARCADORES DE OXIDAÇÃO, 2023. MESTRADO. Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2023.

RESUMO

Herbicidas representam os defensivos agrícolas mais utilizados tanto no Brasil, quanto no mundo. Entre esses, o glifosato se destaca como o mais comercializado para controle de ervas daninhas, apresentando potencial de comprometer a sobrevivência das abelhas e afetar o processo de polinização. O acúmulo dessas substâncias no meio ambiente e seu contato direto com os polinizadores pode resultar em situações de desequilíbrio na homeostase funcional, gerando o estresse oxidativo. Nesse estudo objetivou-se determinar a concentração letal mediana - CL₅₀ e a concentração subletal - CL₁₀ por ingestão do herbicida glifosato, em testes de 48h, para abelhas *Scaptotrigona postica*, além de mensurar a atividade de duas enzimas antioxidantes: superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) nos indivíduos expostos às concentrações determinadas, em 48h e 120h. Na primeira etapa do experimento, afim de determinar as concentrações letal e subletal foram coletadas abelhas adultas provenientes de cinco colônias localizadas no meliponário da UFMS (Campo Grande, MS, Brasil). Trinta espécimes foram utilizados para cada exposição com seu respectivo grupo controle. As concentrações estabelecidas foram fornecidas aos grupos diluídas em xarope de sacarose por um período de 48h, em doses de 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0 e 16 µg i.a./µL dieta. Para cálculo da CL₅₀ e CL₁₀, a mortalidade foi contabilizada e os dados submetidos à análise de Probit, através do software LdP Line®. Na segunda etapa do estudo, cinquenta espécimes de abelhas, com seu respectivo grupo controle foram expostas as doses CL₅₀ por 48 h e CL₁₀ por 120 h. Os macerados do abdômen, cabeça, asas e membros foram utilizados para dosagem das enzimas antioxidantes. O teste ANOVA foi empregue para efetuar a comparação das variáveis entre os grupos controle e tratamento, considerando os resultados relativos à atividade enzimática. A CL₅₀ em 48 horas para *S. postica* foi de 7,41 µg i.a./µL e a CL₁₀ de 0,70 µg i.a./ µL. A atividade de SOD e CAT nas abelhas não diferiram estatisticamente em relação ao grupo controle nos tempos e doses estabelecidos. Os dados deste estudo mostram que a CL₅₀ de glifosato para *S. postica* se encontra dentro da concentração recomendada em bula para pulverização em lavouras, ressaltando a importância da avaliação de toxicidade desse herbicida em abelhas nativas. Além disto, infere-se que as enzimas SOD e catalase não foram bons marcadores para o estresse oxidativo nessa espécie

Palavras-chave: abelhas nativas, glifosato, concentração letal 50.

CASTILHO, M, ECOTOXICITY OF GLYPHOSATE IN SCAPTOTRIGONA POSTICA BEES: STUDY OF LETHAL AND SUBLETHAL CONCENTRATION ON OXIDATION BIOMARKERS, 2023. MASTER. Graduate Program in Veterinary Sciences. Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science, Federal University of Mato Grosso do Sul, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2023.

ABSTRACT

Herbicides represent the most used agricultural pesticides both in Brazil and around the world. Among these, glyphosate stands out as the most commercialized for weed control, with the potential to compromise the survival of bees and affect the pollination process. The accumulation of these substances in the environment and their direct contact with pollinators can result in situations of imbalance in functional homeostasis, generating oxidative stress. This study aimed to determine the median lethal concentration - LC₅₀ and the sublethal concentration - LC₁₀ due to ingestion of the herbicide glyphosate, in 48-hour tests, for *Scaptotrigona postica* bees, in addition to measuring the activity of two antioxidant enzymes: superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) in individuals exposed to the determined concentrations, at 48h and 120h. In the first stage of the experiment, in order to determine the lethal and sublethal concentrations, adult bees were collected from five colonies located in the UFMS meliponary (Campo Grande, MS, Brazil). Thirty specimens were used for each exposure with their respective control group. The established concentrations were supplied to the groups diluted in sucrose syrup for a period of 48h, in doses of 0.5; 1.0; 2.0; 4.0; 8.0 and 16 µg a.i./µL diet. To calculate LC₅₀ and LC₁₀, mortality was counted and the data was subjected to Probit analysis, using the LdP Line® software. In the second stage of the study, fifty bee specimens, with their respective control group, were exposed to doses LC₅₀ for 48 h and LC₁₀ for 120 h. Macerates from the abdomen, head, wings and limbs were used to measure antioxidant enzymes. The ANOVA test was used to compare the variables between the control and treatment groups, considering the results related to enzymatic activity. The 48-hour LC₅₀ for *S. postica* was 7.41 µg a.i./µL and the LC₁₀ was 0.70 µg a.i./µL. SOD and CAT activity in bees did not differ statistically in relation to the control group at the established times and doses. The data from this study show that the LC₅₀ of glyphosate for *S. postica* is within the concentration recommended in the leaflet for spraying on crops, highlighting the importance of evaluating the toxicity of this herbicide on native bees. Furthermore, it is inferred that the enzymes SOD and catalase were not good markers for oxidative stress in this species.

Keywords: native bees, glyphosate, lethal concentration 50.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
CAPÍTULO I.....	08
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	08
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 Ecologia das Abelhas Nativas.....	10
2.2 Abelha Mandaguari Preta: <i>Scaptotrigona postica</i>	13
2.3 A redução de colônias.....	14
2.4 Glifosato como herbicida.....	15
2.5 Impactos do glifosato sobre organismos não-alvo.....	16
2.6 Ensaio ecotoxicológicos.....	18
2.7 Biomarcadores de estresse oxidativo.....	20
2.8 Superóxido dismutase (SOD).....	21
2.9 Catalase (CAT).....	22
3. OBJETIVOS.....	22
3.1 OBJETIVO GERAL.....	22
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23
CAPÍTULO 2 - Toxicidade do glifosato para abelhas nativas <i>Scaptotrigona postica</i>	32
5. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	48
6. IMPACTO ECONÔMICO, SOCIAL, TECNOLÓGICO E/OU INOVAÇÃO.....	49
ANEXOS.....	50

1 CAPÍTULO I

2

3 1. INTRODUÇÃO

4 As abelhas, principais vetores bióticos da polinização, são extremamente
5 importantes para a manutenção dos sistemas naturais e também para a produção
6 de alimentos (AGUIAR et al., 2020).

7 Mundialmente 75% das culturas alimentares são vinculadas à polinização
8 animal, sendo o valor anual das culturas globais diretamente afetadas pelos
9 polinizadores estimado entre 235 e 577 mil milhões de dólares (IPBES, 2016). No
10 Brasil, 85 de 141 culturas são dependentes de polinizadores, gerando renda
11 agrícola anual de quase 45 bilhões de dólares (GIANNINI et al., 2015).

12 A disponibilidade de alimentos em quantidade suficiente compõe um dos
13 quatro pilares sobre o conceito de segurança alimentar definido pela Organização
14 das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 1996). À vista
15 disso, a polinização é o maior contribuinte para produtividade alimentar em todo o
16 mundo, colaborando muito além do que qualquer outra prática de gestão agrícola,
17 cooperando para a segurança alimentar e nutricional da população mundial, assim
18 como para o fim da pobreza e da fome (FAO, 2018).

19 A abelha melífera ocidental *Apis mellifera* é comumente eleita pelos
20 agricultores, devido ao grande número de indivíduos por colônia, longo raio de voo
21 e capacidade de percorrer vastas distâncias em busca de recursos alimentares.
22 Essas características a consagram como potenciais polinizadoras de um
23 substancial número de flores e extensas áreas de cultivo, que podem ser
24 beneficiadas por meio de uma polinização direcionada (KLEIN et al., 2020).

25 Entretanto, de acordo com MASHILINGI et al. (2022), a demanda de
26 polinização por abelhas aumentou, enquanto que a capacidade de oferta dos
27 serviços de polinização diminuiu em todo o mundo, enfatizando a necessidade do
28 manejo integrado de novas espécies e conjuntos de polinizadores selvagens e
29 nativos para um futuro sustentável e com segurança alimentar.

30 As abelhas nativas sem ferrão – meliponíneos, desempenham um papel
31 importante nos ecossistemas: polinizam diversas espécies vegetais, auxiliam na
32 reprodução e conservação da biodiversidade floral e seus produtos podem ser
33 obtidos e comercializados (ESCAREÑO et al., 2019).

34 De acordo com Sánchez-Bayo & Wyckhuys (2019), esses polinizadores
35 enfrentam uma variedade de desafios como perda de habitat e conversão de terras
36 para agricultura e urbanização, exposição à patógenos, alterações climáticas,
37 poluição do meio ambiente e agrotóxicos

38 Abelhas nativas, incluindo as do gênero *Scaptotrigona*, são vulneráveis à
39 exposição à agrotóxicos, que podem levar a mudanças comportamentais como:
40 alterações na atividade de locomoção, hiperatividade e ainda a longo prazo,
41 alterações na viabilidade e dinâmica das colônias, diminuindo a sua sobrevivência
42 (SOARES et al., 2015; DORNELIS et al., 2016; PERUZZOLO et al., 2021).

43 De acordo com a FAOSTAT (2021), o uso médio total de agrotóxicos
44 aumentou na última década em quase 50% em comparação com a década de 1990.
45 A aplicação global dessas moléculas aumentou para a classe de herbicidas, (de
46 41% para 52%), e teve pequena redução na participação de fungicidas (de 25%
47 para 23%) e inseticidas (de 24% para 18%).

48 O grande número e frequência de resíduos de defensivos agrícolas
49 encontrados no pólen e no néctar das plantas cultivadas representam um risco claro
50 para as abelhas polinizadoras (Sánchez-Bayo & Goka, 2014). Esses produtos
51 induzem alterações bioquímicas, alterando parâmetros relacionados ao estresse
52 oxidativo, sendo estes quantificados por enzimas desintoxicantes, tais como:
53 superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione S-transferase, entre outras
54 (BALIEIRA et al., 2018; OLGUN et al., 2020).

55 O uso de enzimas antioxidantes como biomarcadores bioquímicos, tem sido
56 amplamente utilizado, principalmente no monitoramento ambiental em resposta aos
57 efeitos de xenobióticos (OLIVEIRA & DE SOUZA, 2006; COGO et al., 2009; TOSI
58 et al., 2022; SHARF & KHAN, 2023).

59 Contudo, ainda é notável que pouca atenção tem sido dada ao impacto
60 negativo dos agrotóxicos sobre os agentes polinizadores. A maioria dos dados
61 disponíveis sobre a toxicidade dos herbicidas se concentra na espécie *Apis*
62 *mellifera*; estudos abordando a sensibilidade das espécies nativas de abelhas sem
63 ferrão aos herbicidas são escassos.

64 Neste contexto, propõe-se compreender a toxicidade do herbicida glifosato
65 para abelha nativa *Scaptotrigona postica*, por meio da determinação da
66 concentração letal mediana (CL₅₀) e da concentração subletal (CL₁₀). Além disso,

67 busca-se investigar o potencial uso de enzimas antioxidantes como biomarcadores
68 de estresse oxidativo em abelhas submetidas a exposição por este agrotóxico em
69 condições laboratoriais.

70

71 **2. REVISÃO DE LITERATURA**

72 **2.1 Ecologia das Abelhas Nativas**

73 As abelhas nativas, “abelhas sem ferrão” ou “abelhas indígenas”, são
74 polinizadores naturais das espécies vegetais, caracterizados como insetos sociais,
75 que existem há mais de 120 milhões de anos (ALMEIDA et al., 2023). A importância
76 das abelhas e os desafios para a conservação de sua biodiversidade são temas
77 importantes a serem discutidos (VILLAS- BÔAS, 2018).

78 Esses insetos são também conhecidos como “meliponíneos” ou “meliponas”,
79 conforme documentado por Souza et al. (2009). Tal denominação se deve a
80 classificação taxonômica aplicada: Reino: Animalia; Filo: Arthropoda; Classe:
81 Insecta; Ordem: Hymenoptera; Família: Apidae; Subfamília: Apinae; Tribo: Apini; e
82 Subtribo: Meliponina, na qual podemos encontrar espécies pertencentes ao gênero
83 *Melipona* e espécies pertencentes ao grupo das Não-Meliponas (anteriormente
84 denominadas Trigonini) (SILVEIRA et al., 2002).

85 Os meliponíneos ocupam grande parte das regiões de clima tropical do
86 planeta e ainda algumas partes de clima temperado subtropical, exibindo
87 diversidade em zonas quentes de baixas latitudes (trópicos úmidos), sendo
88 encontrados na grande maioria do território latino-americano (NOGUEIRA- NETO,
89 1997).

90 Segundo Nogueira (2023) a riqueza de espécies de abelhas sem ferrão
91 aumentou desde o último levantamento realizado por Pedro (2014). Entre 2015 e
92 2023, 59 novas espécies de abelhas sem ferrão foram descritas para a região
93 Neotropical, sendo que 16 destas com registros de ocorrência para o Brasil. O
94 maior aumento de novas espécies foi registrado no gênero *Scaptotrigona*, com um
95 total de 26 espécies descritas em um período de oito anos, compreendidos entre
96 2015 e 2022.

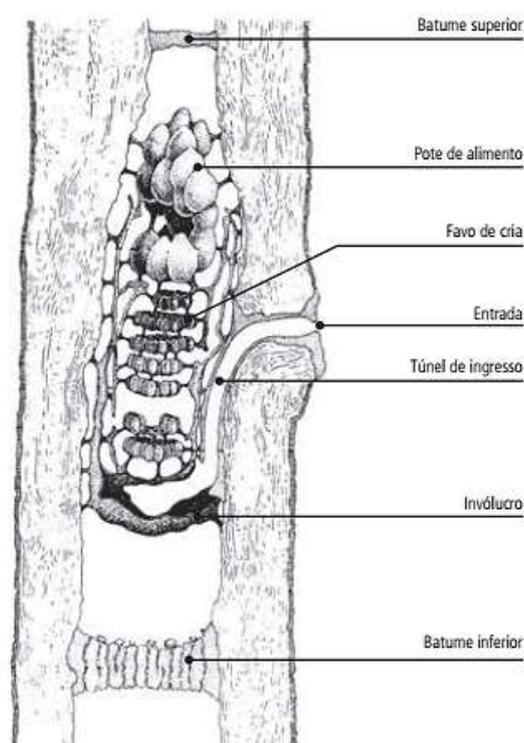
97 De forma geral, as principais espécies de meliponíneos manejadas na região
98 Neotropical pertencem aos gêneros: *Melipona*, *Cephalotrigona*, *Scaptotrigona*,
99 *Tetragona*, *Tetragonisca* e *Plebeia* (OLIVEIRA et al., 2013).

100 Embora as abelhas nativas tenham o ferrão atrofiado, impossibilitando-as de
 101 ferroar, elas apresentam outras formas de autodefesa como utilização das
 102 mandíbulas para ações ofensivas (mordiscar) e o emprego de própolis para
 103 imobilização de pequenos invasores e vedação da colmeia (CELLA et al., 2017).

104 Todas as espécies da subtribo Meliponina são eussociais, embora algumas
 105 delas vivam de alimento roubado de colônias de outras espécies. Seus ninhos são,
 106 em geral, construídos em cavidades pré-existentes (ocos de árvores, ninhos
 107 abandonados de cupins e formigas etc.), mas algumas espécies constroem ninhos
 108 expostos (SILVEIRA et al., 2002).

109 Uma colônia de abelhas sem ferrão é constituída por dois elementos
 110 principais: o ninho com discos ou favos de cria e os potes de alimento; além de
 111 estruturas auxiliares, como o invólucro, o batume, a entrada e o túnel de ingresso
 112 (Figura 1) (VILLAS BÔAS, 2018).

113



114 **Figura 1:** Estruturas básicas de uma colônia de meliponas com as características da maior parte
 115 das espécies existentes

116 **Fonte:** Posey & Camargo, 1985, citado em Villas-Bôas, 2018

117 À semelhança de numerosos insetos sociais, os meliponíneos organizam
 118 suas sociedades em castas distintas: a rainha, encarregada da postura dos ovos e
 119 da coesão da colônia; as operárias, constituindo a vigorosa força laboriosa da

120 comunidade, sendo as únicas detentoras da corbícula, uma estrutura presente nas
121 pernas destinada ao transporte de pólen; e os machos, cujo envolvimento nas
122 atividades da colônia é limitado, sendo sua principal função reduzida à cópula com
123 a futura rainha durante o voo nupcial (VENTURIERI, 2004; VILLAS BÔAS, 2018).

124 As rainhas não fecundadas são chamadas de virgens ou princesas e
125 geralmente estão disponíveis nas colônias para uma eventual substituição da
126 rainha em caso de morte; elas também podem migrar para estabelecer uma nova
127 colônia durante a enxameação (WITTER & NUNES-SILVA, 2014).

128 Um traço distintivo marcante entre as abelhas da subtribo Meliponina é a
129 origem das rainhas. Enquanto abelhas do grupo das Meliponas se caracterizam por
130 não construírem células reais, com todas as rainhas, operárias e machos nascendo
131 e se desenvolvendo até atingirem a maturidade em células de cria de dimensões
132 uniformes, abelhas Não-Meliponas (ou Trigonini) constroem células reais maiores
133 que as demais, nas quais as futuras rainhas emergem (NOGUEIRA- NETO, 1997).

134 O tempo de desenvolvimento das abelhas nativas é muito variável entre as
135 espécies, totalizando entre 35 a 52 dias, sendo: 5 a 8 dias para eclosão do ovo; 12
136 a 18 dias de desenvolvimento larval e 18 a 27 dias de amadurecimento da pupa.
137 Depois de sair das células, as abelhas sem ferrão vivem em média 50 a 55 dias.
138 As rainhas, entretanto, depois de serem fecundadas e tornarem-se rainhas
139 poedeiras, vivem em média de 1 a 3 anos (VILLAS BÔAS, 2018).

140 No Brasil, grande diversidade de espécies é utilizada para a polinização de
141 várias culturas, sendo registradas como visitantes florais de 107 plantios e como
142 polinizadoras de 52. Cultivos como açaí (*Euterpe oleracea*), café (*Coffea arabica*),
143 maçã (*Malus domestica*), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), maracujá (*Passiflora*
144 *edulis*), castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*), morango (*Fragaria x ananassa*),
145 e tomate (*Solanum lycopersicum*) são eficientemente polinizados por abelhas sem
146 ferrão (WOLOWSKI et al., 2019).

147 Além da agricultura, no âmbito florestal, o fluxo polínico promovido durante
148 suas rotas de coleta é fundamental para garantir a reprodução de muitas espécies
149 de plantas nativas, promovendo assim a manutenção dos índices de produção de
150 sementes e a conservação da variabilidade genética (PINHEIRO & SAZIMA, 2007;
151 SCHNELL e SCHÜHLI & MACHADO, 2014).

152 As abelhas sem ferrão eram as únicas produtoras de mel no Brasil até a
153 introdução da abelha doméstica - *Apis mellifera*, em 1839. Os índios foram os
154 primeiros a utilizar os produtos das abelhas sem ferrão para alimentação,
155 confecção de objetos de caça e na impermeabilização de cestos e outros utensílios
156 feitos de fibras vegetais (WITTER et al., 2014).

157 Embora produzindo mel em pequenas quantidades, os meliponíneos têm um
158 papel a desempenhar como fornecedores desse produto natural, que se destaca
159 em relação ao mel de *A. mellifera*, sobretudo pela doçura única, sabor diferenciado
160 e aroma marcante. Além disso, ele atrai um público consumidor distinto, o que
161 proporciona a oportunidade de alcançar preços mais elevados no mercado
162 (MARCHINI et al., 1998). A criação racional e manejo de meliponíneos é
163 denominada Meliponicultura, termo introduzido por Nogueira-Neto em 1953, sendo
164 praticada em várias partes do mundo (NOGUEIRA-NETO, 1997).

165 No Brasil, a Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da
166 Câmara dos Deputados aprovou em 01 de junho de 2022 o Projeto de Lei 4.429/20,
167 que regula os serviços oriundos da Meliponicultura, incentivando a preservação
168 ambiental e das espécies, além de promover sustentabilidade nos domínios social,
169 cultural e econômico (BRASIL, 2022).

170

171 **2.2 Abelha Mandaguari Preta: *Scaptotrigona postica***

172 Com distribuição geográfica neotropical as abelhas *Scaptotrigona postica* são
173 encontradas na Bolívia e Peru, além de registros nas cinco regiões brasileiras. São
174 popularmente conhecidas com canudo, mandaguari, tubi e tubiba (CAMARGO et
175 al., 2013).

176 Estão entre os representantes mais robustos da subtribo Meliponina, dentro
177 do grupo das Não-Meliponas, com capacidade máxima de voo de 1.600m. O
178 comprimento do corpo é de 5 a 7 mm e podem ser reconhecidas visualmente por
179 possuírem no dorso do abdômen muitas cerdas pretas, longas e espessas, além
180 de plumagem dourada (ARAÚJO et al., 2004; MICHENER, 2007; WITTER et al.,
181 2023).

182 A determinação de casta nesta espécie de abelha é trófica, mas a
183 alimentação não difere em qualidade, apenas em quantidade. As diferenças
184 alimentares só se tornam efetivas no final da fase larval, principalmente durante a

185 pupação, quando as larvas rainhas têm a oportunidade de comer mais. Desta forma
186 ocorre a diferenciação dos ovários, entre operárias e rainhas (SANTOS & CRUZ-
187 LANDIM, 2002).

188 A preferência floral dessas abelhas foi descrita por Da Luz et al. (2019) ao
189 analisar mel e pólen oriundos de colmeias em duas regiões distintas do estado de
190 São Paulo, localizadas em ecossistemas de cerrado e mata atlântica. Os recursos
191 tróficos se concentraram em várias famílias botânicas, tais como Myrtaceae,
192 Asteraceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Sapindaceae e Solanaceae.

193 Conforme Macieira & Proni (2004) as operárias de *S. postica* apresentam
194 uma boa capacidade de resistência a altas e baixas temperaturas, observando-se
195 uma maior amplitude na capacidade adaptativa ao frio do que ao calor nos períodos
196 de verão e inverno.

197 Na análise da eficácia da polinização dessa espécie na região amazônica,
198 Muto et al. (2020) introduziram trinta colônias de *S. postica* em um cultivo de açaí
199 (*Euterpe oleracea*), ampliando assim a atividade polinizadora das plantas frutíferas
200 e constataram um acréscimo notável na produtividade, manifestando-se tanto no
201 aumento das dimensões dos frutos quanto na quantidade de frutos por cacho.

202 Os produtos obtidos nessas espécies incluem o cerume, o mel, e a própolis,
203 que se revelam como significativos coadjuvantes no combate a microrganismos
204 patogênicos (FEITOSA et al., 2020).

205 Conforme De Farias et al. (2014) e Araújo et al. (2010), os extratos etanólicos
206 de própolis obtidos das abelhas sem ferrão *S. postica*, reduziram em condições
207 laboratoriais a patologia associada à asma murina e contribuíram de forma
208 significativa na inibição do desenvolvimento do tumor de Ehrlich, uma neoplasia
209 experimental transplantável de origem epitelial maligna.

210 Semelhantemente ao avaliar a atividade antibacteriana de méis produzidos
211 por *S. bipunctata* e *S. postica* contra cepas bacterianas gram-positivas e gram-
212 negativas, Nishio et al. (2016) demonstraram que os méis naturais dessas espécies
213 possuem ação antimicrobiana *in vitro*, inclusive contra cepas multirresistentes.

214

215 **2.3 A redução de colônias**

216 A procura de polinização agrícola aumentou em cerca de 1,78% anualmente
217 entre 1989 e 2019 em todo o mundo. Isso representa quase o dobro da taxa de

218 crescimento das colônias de abelhas manejadas, que se manteve em torno de
219 0,95%, ressaltando assim a indisponibilidade de polinizadores gerenciados para
220 atender plenamente a crescente demanda na agricultura em escala global
221 (MASHILINGI et al., 2022).

222 Em várias regiões do mundo, estudos tem documentado as perdas anuais
223 de colônias de abelhas melíferas, enfatizando as dificuldades contínuas dos
224 apicultores em manter a saúde e a sobrevivência geral das colônias. Bruckner et
225 al. (2023), documentaram os resultados de pesquisa nos E.U.A em três anos
226 (2017–18, 2018–19 e 2019–20). Os autores registraram as maiores taxas de perda
227 de colônias no inverno (37,7%) em 2018–2019, enquanto que em 2019 as maiores
228 perdas foram notadas no verão (32,1%).

229 De acordo com Castilhos (2021), no Brasil, entre 2018 e 2019 as perdas de
230 colônias manejadas somaram um total de 27,2%, sendo a maior incidência de
231 perdas registradas durante a primavera e o verão, quando as atividades agrícolas
232 são intensas.

233 A mortalidade e o desaparecimento das abelhas podem ser causados por
234 diversos fatores. Durante a análise e coleta de amostras de pragas e patógenos de
235 113 colmeias no inverno de 2009 em Israel, Soroker et al. (2011) identificaram a
236 presença do fungo *Nosema ceranae* em 35% das colmeias, enquanto o ácaro
237 *Varroa destructor* foi observado em 21% delas, além da identificação de diversos
238 agentes virais.

239 Após perdas inexplicáveis e generalizadas de colônias manejadas nos
240 Estados Unidos, na ausência de uma causa conhecida, o evento foi nominado
241 como "Distúrbio do Colapso das Colônias" ou "Colony Collapse Disorder" (CCD).
242 Os principais fatores que têm sido associados à síndrome são: estresses causados
243 por patógenos, má nutrição, manejo inadequado das colônias, uso de agrotóxicos,
244 e a combinação entre estes fatores (vanENGELSDORP et al., 2009).

245

246 **2.4 Glifosato como herbicida**

247 O glifosato (N-[fosfonometil]-glicina), é um agente pós-emergente de amplo
248 espectro, herbicida sistêmico não seletivo, que efetivamente mata ou suprime todos
249 os tipos de plantas, incluindo gramíneas, plantas perenes, vinhas, arbustos e
250 árvores. Quando empregado em concentrações reduzidas, o glifosato desempenha

251 um papel como regulador do crescimento vegetal e agente dessecante (IARC,
252 2015).

253 O mecanismo de ação ocorre através da inibição da enzima 5-
254 enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPs) da via metabólica do ácido
255 chiquímico, impedindo a síntese de determinados aminoácidos essenciais ao
256 crescimento das plantas (STEINRÜCKEN & AMRHEIN, 1980; MALIK et al., 1989).

257 A via do chiquimato é encontrada apenas em microrganismos e plantas,
258 nunca em vertebrados (HERRMANN & WEAVER, 1999). Visto que não existe um
259 alvo conhecido para o glifosato em animais superiores, a sua toxicidade para
260 humanos e outros animais é fortemente debatida (LACROIX & KURRASCH, 2023).

261 Em relatório publicado pelo IBAMA (2022), a venda total de produtos
262 formulados em 2022 foi 7% maior em relação ao ano anterior, sendo o glifosato e
263 seus sais o ingrediente ativo mais comercializado no país, com aumento de 13%
264 em relação ao ano de 2021.

265 Dados semelhantes são registrados na União Europeia, onde a utilização do
266 glifosato se destaca nas culturas agrícolas (WYNN & WEBB, 2022). Todavia, há
267 um debate ativo para renovação da licença de uso expirada no final do ano de 2022
268 para o próximo quinquênio, levando a comissão responsável pela regulamentação,
269 decidir por uma aprovação temporária do uso do glifosato, válida somente para o
270 ano de 2023 (VON DER LEYEN, 2022).

271 Esse adiamento na aprovação do uso do herbicida glifosato deve-se
272 principalmente aos recentes estudos que evidenciam o potencial mutagênico e/ou
273 genotóxico da exposição aguda ou crônica ao princípio ativo (BENBROOK et al.,
274 2023; BERNI et al., 2023; MAKRIS et al., 2022; MUÑOZ et al., 2023).

275 Em contrapartida, no Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária
276 reavaliou a utilização do glifosato em culturas convencionais, e através de nota
277 técnica decidiu pela manutenção da comercialização do ingrediente ativo. Como
278 forma de regulamentar os níveis máximos de exposição humana ao herbicida,
279 determinou-se que a dose de ingestão diária aceitável (IDA) via água potável e
280 alimentos seja de 0,5 mg/kg de peso corporal/dia (ANVISA, 2020).

281

282

283

284 **2.5 Impactos do glifosato sobre organismos não-alvo**

285 Os cultivos agrícolas brasileiros demandam alto consumo de agrotóxicos,
286 sendo estes de efeitos variáveis, podendo atingir facilmente organismos não alvos,
287 a exemplo de predadores, organismos de solo, polinizadores, bem como aqueles
288 presentes em ecossistemas aquáticos (BELCHIOR et al., 2017).

289 No solo o glifosato é degradado por microorganismos ao ácido
290 aminometilfosfônico (AMPA), um metabólito que pode se acumular no ambiente
291 (IARC, 2015). Nos mamíferos, o glifosato não é metabolizado eficientemente,
292 sendo excretado principalmente inalterado na urina; no entanto, evidências indicam
293 que o herbicida pode sofrer metabolismo microbiano intestinal em humanos
294 (MOTOJYUKU et al., 2008).

295 Em um estudo de avaliação da toxicidade do herbicida glifosato e de seu
296 principal metabólito, AMPA, nos estágios iniciais de desenvolvimento do peixe
297 ameaçado de extinção *Steindachneridion melanodermatum*, Barreto et al. (2023)
298 demonstraram uma notável toxicidade aguda de ambos os compostos para os
299 indivíduos, resultando em mortalidade em ambas as fases, embrionária e larval.

300 Semelhantemente, Cuhra et al. (2013), relataram que baixos níveis de
301 herbicida à base de glifosato induziram efeitos negativos no invertebrado aquático
302 *Daphnia magna*, tendo-se constatado uma redução significativa no tamanho dos
303 organismos juvenis, em todas as concentrações analisadas, além de efeitos sobre
304 o crescimento e a fertilidade.

305 No que tange à extensão da contaminação das fontes de água potável, Panis
306 et al. (2022) conduziram uma avaliação da concentração média de agrotóxicos na
307 água (ppb), bem como da população exposta, abrangendo 127 municípios
308 produtores de grãos no estado do Paraná, Brasil. Os resultados revelaram uma
309 correlação substancial entre os herbicidas glifosato-AMPA e diuron e o total de
310 casos de câncer registrados no mesmo período de análise.

311 A ocupação periférica dos municípios próximos às plantações, propicia um
312 maior grau de exposição à poluição por agrotóxicos, por isso metodologias para
313 criação de indicadores ecológicos do risco de contaminação por agrotóxicos nas
314 cidades próximas às terras agricultáveis estão sendo desenvolvidas. Os resultados
315 mostram que a maioria das cidades apresentam índices altos a muito altos de
316 exposição a agrotóxicos, principalmente devido à proximidade da atividade agrícola

317 e à falta de cobertura arbórea e zonas tampão (AGOST et al.,2020; OKADA et al.,
318 2020; AGOST et al., 2022).

319 O Projeto de Lei 6.288/02, veda a pulverização de herbicidas para capina
320 química em áreas urbanas. Essa ação visa inibir o uso indiscriminado e
321 irresponsável de agrotóxicos como o glifosato, procurando impedir a exposição
322 para adultos, crianças, flora e fauna existentes no ambiente urbano (BRASIL,
323 2002).

324 Em estudo conduzido por De Souza et al. (2021), resíduos de glifosato foram
325 quantificados em amostras de mel de cinco estados brasileiros. Seis amostras
326 apresentaram níveis do herbicida acima do limite máximo de resíduos permitido
327 pela União Europeia ($0,05 \mu\text{g}/\text{g}^{-1}$). A identificação de resíduos de glifosato coincidiu
328 com as regiões que reportaram elevadas perdas de colônias de abelhas e ao
329 mesmo tempo, uso frequente do princípio ativo na agricultura.

330 Abraham et al. (2018) e Nocelli et al. (2019), demonstraram em condições
331 experimentais e de semi-campo, respectivamente, que a utilização de herbicidas à
332 base de glifosato têm o potencial de comprometer diretamente a sobrevivência
333 tanto de abelhas nativas como europeias e indiretamente afetar o processo de
334 polinização, especialmente em concentrações superiores às recomendadas, sendo
335 importante restringir o acesso e uso de tais herbicidas a pessoal treinado que
336 cumpra as diretrizes de pulverização.

337 Semelhantemente, Faita et al. (2023) examinaram, após quatro semanas de
338 exposição das abelhas europeias ao glifosato em condições de campo, a presença
339 do princípio ativo no mel. Além disso, eles observaram uma redução na população
340 de indivíduos adultos e na área de cria, a ausência de uma rainha e a falta de
341 construção de células reais pelas operárias nas colmeias tratadas com o herbicida
342 em comparação com o grupo controle. No grupo controle, as colmeias mantiveram
343 a presença da rainha, uma alta população de adultos e cria, além de estoque de
344 alimentos.

345

346 **2.6 Ensaios ecotoxicológicos**

347 Atualmente a comunidade científica tem se esforçado para padronizar
348 métodos confiáveis, a fim de avaliar e classificar a toxicidade de poluentes no meio
349 ambiente, possibilitando a diminuição do impacto ambiental. Ensaios de

350 biotoxicidade são ferramentas úteis para avaliar o impacto de poluentes em
351 diversos ecossistemas, vislumbrando a prevenção de danos à biota (OGA et al.,
352 2014).

353 Em geral esses testes, nomeados bioensaios, consistem em submeter o
354 organismo a diferentes concentrações do poluente testado, por via oral, dérmica ou
355 peritoneal, por um período de tempo estabelecido, podendo ser classificados de
356 acordo com o tempo de exposição, concentração utilizada e efeitos observados
357 (RIBAS, 2020).

358 Consideram-se ensaios de toxicidade aguda aqueles que avaliam doses
359 elevadas de contaminantes por um curto período de exposição, variando entre 24
360 a 96 horas. Os testes agudos detectam os efeitos imediatos, geralmente
361 irreparáveis sendo as respostas normalmente relacionadas a mortalidade ou
362 imobilização (KNIE & LOPES, 2004).

363 Os testes crônicos permitem avaliar os possíveis efeitos tóxicos de
364 substâncias químicas sob condições de exposição prolongadas a concentrações
365 subletais, ou seja, concentrações que permitam a sobrevivência dos organismos,
366 embora afetem suas funções biológicas (tais como reprodução, crescimento e
367 maturação) (RIBAS, 2020).

368 É fundamental levar em consideração a limitação dos testes de toxicidade
369 em condições controladas, pois estes podem apresentar variações entre as
370 situações observadas no ambiente de cultivo. Os métodos laboratoriais
371 estabelecidos para simular a exposição ou toxicidade são conduzidos com enfoque
372 nos indivíduos, isso possibilita o estabelecimento de uma ligação ou relação dose-
373 resposta mais clara entre um efeito e um estressor. Os testes de semicampo e
374 campo, por sua vez, são mais realísticos, uma vez que focam na população. Porém,
375 essa mesma vantagem impõe desvantagens, pois é altíssima a complexidade de
376 instalação, condução e análise dos resultados, pelo fato de que não é possível
377 controlar todas as interferências do ambiente (CHAM et al., 2017).

378 Ao término de um teste de toxicidade, são obtidos diferentes níveis de um
379 efeito tóxico pré-determinado, os quais estão em função das diferentes diluições do
380 agente químico empregadas no experimento. Dessa forma, a curva dose-resposta
381 permite avaliar a resposta da população estudada a partir das concentrações, às

382 quais 10%, 50%, 90% ou qualquer outra porcentagem da população reage a um
383 determinado efeito (Magalhães e Ferrão Filho, 2008).

384 Para efeito de estudos, termos como CL₅₀ (concentração letal mediana), e
385 DL₅₀ (dose letal mediana), são comumente empregados, representando
386 respectivamente, a concentração letal e dose letal empregadas para causar morte
387 em 50 % dos animais em um estudo (SISINNO, 2013).

388 No ambiente terrestre, além de outros organismos (minhocas, por exemplo),
389 as abelhas são importantes bioindicadores. Atualmente, a espécie *Apis mellifera* é
390 utilizada internacionalmente como espécie-teste padrão para produtos químicos,
391 sendo estes autorizados para uso ambiente quando o risco às abelhas (dentro
392 outros organismos) não ocorra ou possa ser mitigado (PINHEIRO et al., 2008).

393 São escassos os trabalhos que determinam a toxicidade de agrotóxicos para
394 espécies de abelhas sem ferrão, como *Scaptotrigona postica*, não sendo possível
395 comparar a sensibilidade destas aos agrotóxicos. Isso corrobora a necessidade de
396 pesquisa básica sobre abelhas nativas, para diminuir as incertezas quanto ao uso
397 da espécie *A. mellifera* nas avaliações de risco, nos ambientes agrícolas brasileiros,
398 ou até mesmo indicar a necessidade de adicionar novos organismos-teste aos
399 ensaios ecotoxicológicos (PIRES & TOREZANI, 2018).

400

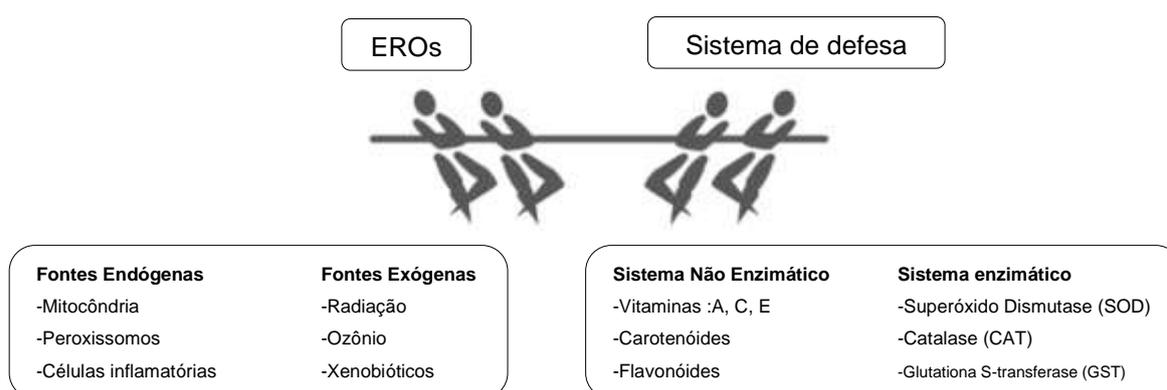
401 **2.7 Biomarcadores de estresse oxidativo**

402 As espécies reativas do metabolismo do oxigênio (EROs), também
403 chamadas de radicais livres, são encontrados em todos os sistemas biológicos. Em
404 condições fisiológicas do metabolismo celular aeróbio, o O₂ sofre redução
405 tetravalente, resultando na formação de H₂O. Durante esse processo são formados
406 intermediários reativos, como os radicais superóxido (O₂⁻), hidroperoxila (HO₂⁻) e
407 hidroxila (OH), e o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (FERREIRA & MATSUBARA,
408 1997).

409 Os antioxidantes compõem um sistema de defesa presente nos organismos
410 aeróbicos, e são definidos como qualquer substância que, presente em menores
411 concentrações que as do substrato oxidável, seja capaz de atrasar ou inibir a
412 oxidação deste de maneira eficaz (BARBOSA et al., 2010). Segundo Ghezzi et al.
413 (2016), a condição de estresse oxidativo existe quando a produção de EROs

414 excede a capacidade dos sistemas antioxidantes (devido a um aumento na geração
415 de EROs ou uma diminuição nos níveis de antioxidantes).

416 Estes elementos antioxidantes podem ser produzidos pela própria célula por
417 meio de um sistema enzimático, ou obtidos pela dieta em um sistema não
418 enzimático. O equilíbrio entre a produção de espécies reativas do metabolismo do
419 oxigênio e a atuação do sistema antioxidante são diretamente responsáveis pela
420 homeostase oxidativa (Figura 1) (DA SILVA & JASIULIONIS, 2014).



429 **Figura 1:** Equilíbrio entre a produção de espécies reativas do metabolismo do oxigênio (EROs) e
430 sistema antioxidante

431 **Fonte:** Adaptado de Da Silva e Jasiulionis, 2014

432 Nesse contexto, Lam & Gray (2003), afirmam que o uso de biomarcadores
433 se revela uma ferramenta eficiente em fornecer um alerta de exposição a doses de
434 substâncias xenobióticas que levam a efeitos biológicos, como o estresse oxidativo.
435 Esses indicadores frequentemente restritos a alterações celulares, bioquímicas,
436 moleculares ou fisiológicas, podem ser aplicados em células, fluidos corporais,
437 tecidos ou órgãos dentro de um organismo.

438 Em um estudo realizado por Mahé et al. (2021) a utilização de biomarcadores
439 possibilitou a identificação de contaminantes presentes em abelhas melíferas de
440 áreas rurais e urbanas, sendo essa ferramenta fundamental na avaliação de
441 defensivos agrícolas, produtos farmacêuticos e metais pesados.

442 Entre os principais métodos utilizados como biomarcadores, destaca-se a
443 quantificação da atividade enzimática, uma vez que mensurar o aumento ou a
444 inibição dessa atividade pode indicar algum tipo de resposta ao estresse ambiental,
445 a partir de ensaios realizados *in situ* ou *in vitro* (WEYDERT e CULLEN, 2010;
446 COGO et al., 2009).

447 A superóxido dismutase (SOD) e a catalase (CAT) atuam no sistema de
448 defesa antioxidante celular, sendo amplamente usadas em células e tecidos

449 cultivados (PIGEOLET et al., 1990), incluindo homogeneizados teciduais de
450 abelhas (WEIRICH et al., 2002; NIKOLIĆ et al., 2015; CHAKRABARTI et al., 2015;
451 STAROŇ et al., 2017; CARVALHO et al., 2013).

452

453 **2.8 Superóxido dismutase (SOD)**

454 A enzima superóxido dismutase (SOD – EC 1.15.1.1), é a principal defesa
455 contra os possíveis danos causados pelo radical livre superóxido (O_2^-), podendo
456 ser encontrada em todos os compartimentos celulares susceptíveis ao estresse
457 oxidativo. A SOD é classificada, de acordo com o seu metal cofator, em quatro
458 isoformas: manganês (MnSOD), ferro (FeSOD), cobre/zinco (Cu/ZnSOD) e o tipo
459 níquel (NiSOD) (FRIDOVICH, 1997).

460 Durante sua atividade, em meio aquoso, a SOD remove o radical livre O_2^- ,
461 catalisando a sua dismutação, produzindo oxigênio e peróxido de hidrogênio, como
462 demonstrado na fórmula: $2O_2^- + 2H^+ = O_2 + H_2O_2$ (FERREIRA & MATSUBARA,
463 1997). A eliminação do ânion superóxido impede a produção de peroxinitrito e
464 danos celulares adicionais (WANG & ZHANG, 2015).

465

466 **2.9 Catalase (CAT)**

467 Responsável por oxidar substratos orgânicos, a catalase (CAT– EC 1.11.1.6)
468 é particularmente eficaz nas células dos organismos vivos, atuando na degradação
469 do peróxido de hidrogênio (H_2O_2). Na presença de altas concentrações de peróxido
470 de hidrogênio, a catalase atua, convertendo-o em água e oxigênio, como ilustrado
471 na fórmula: $2 H_2O_2 \xrightarrow{\text{Catalase}} 2 H_2O + O_2$ (BARREIROS et al., 2006).

472 Por outro lado, quando a concentração de H_2O_2 é baixa e os doadores de
473 hidrogênio apropriados estão presentes (por exemplo, etanol, metanol), a catalase
474 exhibe atividade de peroxidase (ŚCIBIOR & CZECZOT, 2006). CAT é altamente
475 eficiente podendo quebrar milhões de moléculas de peróxido de hidrogênio em um
476 segundo, estando localizada principalmente nos peroxissomos, mas ausente nas
477 mitocôndrias de células de mamíferos (IGHODARO & AKINLOYE, 2017).

478 As catalases são empregadas para sofrer várias biodegradações assistidas
479 de poluentes tóxicos, como fenóis e seus derivados (cresol, piragalol, guaiacol),
480 agrotóxicos, hidrocarbonetos poliaromáticos, corantes têxteis sintéticos entre

481 outros, atuando também como marcadores de estresse oxidativo celular em
482 organismos exposto a xenobióticos (TAKIO et al., 2021).

483 As abelhas, ao forragearem retiram da natureza diversas substâncias como:
484 néctar, pólen, exsudados de plantas, resinas, água e até alimentos roubados de
485 outras colmeias (DA SILVA et al, 2021). Deste modo, os produtos apícolas e as
486 próprias abelhas, são potenciais bioindicadores da presença de contaminantes no
487 ambiente, possibilitando o monitoramento de grandes áreas devido às longas
488 distâncias percorridas na polinização das plantas (OLIVEIRA et al., 2016;
489 NASCIMENTO et al., 2018; ATTAULLAH et al., 2023).

490

491 **3. OBJETIVOS**

492

493 **3.1 Objetivo geral**

494 Avaliar a toxicidade do herbicida glifosato para abelhas *Scaptotrigona*
495 *postica* e o efeito da concentração letal e subletal sobre parâmetros de estresse
496 oxidativo.

497

498 **3.2 Objetivos específicos**

499 I. Estabelecer a concentração letal mediana (CL₅₀) e a concentração subletal (CL₁₀)
500 em 48h, por meio da exposição oral ao herbicida glifosato em abelhas
501 *Scaptotrigona postica*;

502

503 II. Determinar a resposta da atividade de enzimas antioxidantes - superóxido
504 dismutase e catalase - em abelhas *Scaptotrigona postica* submetidas à
505 concentração letal e subletal do herbicida glifosato em 48h e 120h,
506 respectivamente.

507

508 **4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

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

512 AGOST, L.; VELÁZQUEZ, G. A., Peri-urban pesticide contamination risk index,
513 **Ecological Indicators**, v. 114, n. 106338, p. 1-11, 2020.

- 514 AGOST, L.; ESTRABOU, C.; AIASSA, D. Use of satellite indicators to monitor the
515 proximity of agro-industrial crops to urban and rural educational establishments over
516 large areas, **Landscape and Urban Planning**, v. 219, n. 104318, p.1-9, 2022.
- 517 AGUIAR, J. M. R. B. V. et al. Como Treinar Sua Abelha: Métodos Aplicados à
518 Biologia Cognitiva da Polinização. **Oecologia Australis**, v. 24, n 24, p. 45-60, 2020.
519
- 520 ALMEIDA, E. A. B. et al. The evolutionary history of bees in time and space. **Current**
521 **Biology**, v. 33, n.16, p.3409-3422, 2023.
- 522 **ANVISA. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA.** Resolução da
523 diretoria colegiada - RDC nº 441, de 2 de dezembro de 2020. Disponível em:
524 https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/5344168/RDC_441_2020_.pdf/e6ea1928-7ab3-4712-8b19-f9dbd3c0e46c#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20manuten%C3%A7%C3%A3o%20do,decorrentes%20da%20sua%20reavalia%C3%A7%C3%A3o%20toxicol%C3%B3gica. Acesso em 08 de janeiro de 2024.
525
526
527
528
- 529 ARAÚJO, E.D. et al. Body size and flight distance in stingless bees (Hymenoptera:
530 Meliponini): inference of flight range and possible ecological implications. **Brazilian**
531 **Journal of Biology**. v. 64, n.3, p. 563-568, 2004.
- 532 ARAÚJO, M.J.A.M. et al. Efeito do tratamento com própolis de *Scaptotrigona aff.*
533 *postica* sobre o desenvolvimento do tumor de Ehrlich em camundongos. **Revista**
534 **Brasileira de Farmacognosia**, v 20, n.4, p.580-587, 2010.
- 535 ATTAULLAH, M. et al. Honey as a bioindicator of environmental organochlorine
536 insecticides contamination. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, e250373, p. 1-8,
537 2023.
- 538 BALIEIRA, K.V.B. et al. Imidacloprid-induced oxidative stress in honey bees and the
539 antioxidant action of caffeine. **Apidologie**, v. 49, n.1, p. 562-572, 2018.
- 540 BARBOSA, K. B. F. et al. Estresse oxidativo: conceito, implicações e fatores
541 modulatórios. **Revista De Nutrição**, v. 23, n.4, p. 629-643, 2010.
- 542 BARREIROS, A.L.B.S.; DAVID, J.M.; DAVID, J.P. Estresse oxidativo: relação entre
543 geração de espécies reativas e defesa do organismo. **Química Nova**, v. 29, n.1,
544 p.113-123, 2006.
- 545 BARRETO, L.S. et al. Toxicity of glyphosate and aminomethylphosphonic acid
546 (AMPA) to the early stages of development of *Steindachneridion melanodermatum*,
547 an endangered endemic species of Southern Brazil. **Environmental Toxicology**
548 **and Pharmacology**. v. 102, n. 104234, p. 1- 9, 2023.
- 549 BELCHIOR, D.C.V. et al. Impactos de agrotóxicos sobre o meio ambiente e a saúde
550 humana. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 135-151,
551 2017.

- 552 BENBROOK, C.; MESNAGE, R.; SAWYER, W. Genotoxicity Assays Published
553 since 2016 Shed New Light on the Oncogenic Potential of Glyphosate-Based
554 Herbicides. **Agrochemicals**, v.2, n 1, p. 47-68, 2023.
- 555 BERNI, I. et al. Exposure of children to glyphosate in Morocco: Urinary levels and
556 predictors of exposure, **Environmental Research**, v. 217, n.114868, p. 1-10, 2023.
- 557 BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 6.288, de 13 de fevereiro de**
558 **2002**. Proíbe a utilização de herbicidas para capina química em áreas urbanas e de
559 agrotóxicos em geral em áreas de proteção de mananciais. Brasília: Câmara dos
560 Deputados, 2002. Disponível em:
561 [https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=4610](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=46104)
562 4. Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.
- 563 BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei nº 4.429, de 01 de junho de**
564 **2022**. Dispõe sobre a criação, manejo, o transporte e o comércio de colônias de
565 abelhas nativas sem ferrão, ou de suas partes, e dos produtos, subprodutos e
566 serviços oriundos da Meliponicultura. Brasília: Câmara dos Deputados, 2020.
567 Disponível em:
568 [https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=192742](https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1927428)
569 8. Acesso em: 07 de fevereiro de 2023.
- 570
571 BRUCKNER, S. et al. A national survey of managed honey bee colony losses in the
572 USA: results from the Bee Informed Partnership for 2017–18, 2018–19, and 2019–
573 20, **Journal of Apicultura Research**, v.62, n.3, p.429-443, 2023.
- 574
575 CAMARGO, J. M. F.; PEDRO, S. R. M.; MELO, G. A. R. 2013. Meliponini Lepeletier,
576 1836. In MOURE, J.S., URBAN, D.; MELO, G.A.R. (Orgs). **Catalogue of Bees**
577 **(Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region - online version**. Disponível
578 em: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. Acesso em 06 de fevereiro de 2023.
- 579 CARVALHO, S.M. et al. Enzymatic biomarkers as tools to assess environmental
580 quality: A case study of exposure of the honeybee *Apis mellifera* to insecticides.
581 **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.32, n. 9, p. 2117-2124, 2013.
- 582 CASTILHOS, D.; BERGAMO, G. C.; KASTELIC, J. P. Honey bee colony losses in
583 Brazil in 2018-2019. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**,
584 v. 4, n 4, p. 5017-5041, 2021.
- 585 CELLA, I.; AMANDIO, D.T.T.; FAITA, M.R. **Meliponicultura**. Florianópolis: Epagri,
586 2017. 56p.
- 587 CHAKRABARTI, P. et al. Pesticide-induced oxidative stress in laboratory and field
588 populations of native honey bees along intensive agricultural landscapes in two
589 Eastern Indian states. **Apidologie**, v.46, p.107-129, 2015.
- 590 CHAM, K. de O. et al. **Manual de avaliação de risco ambiental de agrotóxicos**
591 **para abelhas**. Brasília: Ibama/Diqua, 2017. 105 p.

- 592 COGO, A.J.D. et al. Utilização de enzimas do estresse oxidativo como
593 biomarcadoras de impactos ambientais. **Natureza on line**, v. 7, n. 1, p. 37-42, 2009.
- 594 CUHRA M.; TRAAVIK T.; BØHN T. Clone- and age-dependent toxicity of a
595 glyphosate commercial formulation and its active ingredient in *Daphnia magna*.
596 **Ecotoxicology**, v. 22, n.2, p. 251-262, 2013.
- 597 DA LUZ, C.F.P. et al. Comparative floral preferences in nectar and pollen foraging
598 by *Scaptotrigona postica* (Latreille 1807) in two different biomes in São Paulo
599 (Brazil), **Grana**, v. 58, n.3, p.200-226, 2019.
- 600 DA SILVA, C.T.; JASIULIONIS, M. G. Relação entre estresse oxidativo, alterações
601 epigenéticas e câncer. **Ciência e Cultura**, v.66, p.38-42, 2014.
- 602 DA SILVA, S.J.R. et al. Espécies vegetais utilizadas como pasto apícola por
603 abelhas *Apis mellifera* L. (Hymenoptera, Apidae) em área de savana de Roraima,
604 Brasil, **Boletim do Museu Integrado de Roraima**, v. 14, n.1, p.50-61, 2021.
- 605 DE FARIAS, J.H.C. et al. Effects of Stingless Bee Propolis on Experimental Asthma,
606 **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2014, n. 951478,
607 p.1-8, 2014.
- 608 DE SOUZA, A.P.F.; RODRIGUES, N.R.; REYES, F.G.R. Glyphosate and
609 aminomethylphosphonic acid (AMPA) residues in Brazilian honey. **Food Additives
610 & Contaminants: Part B Surveill**, v.14, n.1, p.40-47, 2020.
- 611 DORNELIS, A.L.; ROSA, A.S; BLOCHTEIN, B. Toxicity of organophosphorus
612 pesticides to the stingless bees *Scaptotrigona bipunctata* and *Tetragonisca fiebrigi*.
613 **Apidologie**, v. 48, n.5, p. 612-620, 2016.
- 614 ESCAREÑO, F. C. et al. Traditional Knowledge and Potential Use of Stingless Bees
615 (Hymenoptera: Meliponinae) in the Manantlan Sierra, Jalisco, Mexico.
616 **Sociobiology**, v. 66, n 1, p. 120-125, 2019.
- 617
618 FAITA, M. R. et al. (2023). Glyphosate residue in honey and impacts on Africanized
619 beehives under field conditions. **Dataset Reports**, v.1, n. 1, p.1-10, 2023.
- 620
621 **FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations**,1996.
622 Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action. World
623 Food Summit. 13-17. Rome. Disponível em:
624 <https://www.fao.org/3/w3613e/w3613e00.htm>. Acesso em 27 de setembro de 2023.
625
- 626 **FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2018.
627 Why bees matter Why bees matter? The importance of bees and other pollinators
628 for food and agriculture. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i9527en/i9527en.pdf>.
629 Acesso em 06 de setembro de 2023.
- 630 **FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2021.
631 Pesticides use, pesticides trade and pesticides indicators Global, regional and

- 632 country trends, 1990–2020. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>.
633 Acesso em 05 de janeiro de 2023.
- 634 FEITOSA, A. DO N.A. et al. Produtos Apícolas E Saúde Humana: Uma Revisão
635 Integrativa. **Brazilian Journal of Production Engineering**, v. 6, n.7, p.34-44, 2020.
- 636 FERREIRA, A.L.A.; MATSUBARA, L.S. Radicais livres: conceitos, doenças
637 relacionadas, sistema de defesa e estresse oxidativo. **Revista Da Associação**
638 **Médica Brasileira**, v. 43, n.1, p.61-68, 1997.
- 639 FRIDOVICH, I. Superoxide Anion Radical (O_2^-), Superoxide Dismutases, and
640 Related Matters, **Journal of Biological Chemistry**, v. 272, n.30, p. 18515-18517,
641 1997.
- 642 GHEZZI, P. et al. The oxidative stress theory of disease: levels of evidence and
643 epistemological aspects. **British Journal of Pharmacology**, v.174, n.12, p. 1784–
644 1796, 2016.
- 645 GIANNINI, T.C. et al. The dependence of crops for pollinators and the economic
646 value of pollination in Brazil. **Journal Economic Entomology**, v.108, n.3, p. 849-
647 857, 2015.
- 648 HERRMANN, K.M., WEAVER, L.M. The shikimate pathway. **Annual Review of**
649 **Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v.50, p.473-503, 1999.
- 650 **IARC International Agency for Research on Cancer**. Monographs on the
651 evaluation of carcinogenic risks to humans- Some organophosphate insecticides
652 and herbicides. v.112, p. 1-464, 2015.
- 653 **IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais**
654 **Renováveis**. Consolidação de dados fornecidos pelas empresas registrantes de
655 produtos técnicos, agrotóxicos e afins, conforme art. 41 do Decreto nº 4.074/2002.
656 Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos/paineis-de-informacoes-de-agrotoxicos#Painel-comercializacao>. Acesso em 13 de fevereiro de
658 2023.
659
- 660 IGHODARO, O.M.; AKINLOYE, O.A. First line defence antioxidants-superoxide
661 dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their
662 fundamental role in the entire antioxidant defence grid, **Alexandria Journal of**
663 **Medicine**, v. 54, n.4, p.287-293, 2017.
- 664 **IPBES**. The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform
665 on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food
666 production. In: POTTS, S.G.; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L.; NGO, H.T. (Eds.).
667 Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and
668 Ecosystem Services, Bonn, Germany, 2016. 552 p.
- 669 KLEIN, A.M. et al. **A Polinização Agrícola por Insetos no Brasil: Um Guia para**
670 **Fazendeiros, Agricultores, Extensionistas, Políticos e Conservacionistas**.

- 671 Albert-Ludwigs University Freiburg: Nature Conservation and Landscape Ecology,
672 2020.
- 673 KNIE, J. L. W.; LOPES, E. W. B. **Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e**
674 **aplicações**. Florianópolis: FATMA / GTZ, 2004.
- 675 LACROIX, R.; KURRASCH, D.M. Glyphosate toxicity: in vivo, in vitro and
676 epidemiological evidence, **Toxicological Sciences**, v.192, n.2, p.131-140, 2023.
- 677 LAM, P.K.S.; GRAY, J.S. The use of biomarkers in environmental monitoring
678 programmes, **Marine Pollution Bulletin**, v. 46, n.2, p.182-186, 2003.
- 679 MACIEIRA, O.J.D.; PRONI, E.A. Capacidade de resistência a altas e baixas
680 temperaturas em operárias de *Scaptotrigona postica* (Latreille) (Hymenoptera,
681 Apidae) durante os períodos de verão e inverno. **Revista Brasileira De Zoologia**,
682 v. 21, n.4, p. 893-896, 2004.
- 683 MAGALHÃES, D.P.; FERRÃO FILHO, A.S. A ecotoxicologia como ferramenta no
684 biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n.3,
685 p. 355-381, 2008.
- 686 MAHÉ, C.; JUMARIE, C.; BOILY, M. The countryside or the city: Which environment
687 is better for the honeybee? **Environmental Research**, v. 195, n. 110784, p.1-12,
688 2021.
- 689 MAKRIS K.C. et al. Oxidative stress of glyphosate, AMPA and metabolites of
690 pyrethroids and chlorpyrifos pesticides among primary school children in Cyprus,
691 **Environmental Research**, v. 212, n. 113316, p.1-8, 2022.
- 692 MALIK, J.; BARRY, G.; KISHORE, G. The herbicide glyphosate. **BioFactors**, v.2,
693 n.1, p. 17-25,1989.
- 694 MARCHINI, L. C.; CARVALHO, C. A. L. de; ALVES, R. M. O. et al. Características
695 físico-químicas de amostras de méis da abelha urucu (*Melipona scutellaris*). In:
696 CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 12., Salvador, 1998. Anais.
697 Salvador: Confederação Brasileira de Apicultura, 1998. p.201.
- 698 MASHILINGI et al. Honeybees are far too insufficient to supply optimum pollination
699 services in agricultural systems worldwide. **Agriculture, Ecosystems &**
700 **Environment**, v.335, n. 108003, p. 1-10, 2022.
- 701 MICHENER, C. D. **The bees of the world** 2ª ed., John Hopkins University Press,
702 Baltimore, 2007.
- 703 MOTOJYUKU M. et al. Determination of glyphosate, glyphosate metabolites, and
704 glufosinate in human serum by gas chromatography-mass spectrometry. **Journal**
705 **of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life**
706 **Sciences**, v.875, n.2, p.509-514, 2008.

- 707 MUÑOZ, J.P. et al. Glyphosate mimics 17β -estradiol effects promoting estrogen
708 receptor alpha activity in breast cancer cells, **Chemosphere**, v. 313, n. 137201, p.
709 1-20, 2023.
- 710 MUTO, N. A. et al. Impact of the introduction of stingless bee colonies
711 (*Scaptotrigona aff. postica*) on the productivity of acai (*Euterpe oleracea*). **Revista**
712 **Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n.3, p.265-273,
713 2020.
- 714 NASCIMENTO, N. D. O. et al. Pollen storage by stingless bees as an environmental
715 marker for metal contamination: spatial and temporal distribution of metal elements.
716 **Sociobiology**, v.65, n.2, p.259-270, 2018.
- 717 NIKOLIĆ, T.V. et al. Environmental effects on superoxide dismutase and catalase
718 activity and expression in honey bee. **Insect Biochemistry and Physiology**, v. 90,
719 n.4, p.181-194, 2015.
- 720 NISHIO, E. et al. Antibacterial synergic effect of honey from two stingless bees:
721 *Scaptotrigona bipunctata* Lepeletier, 1836, and *Scaptotrigona postica* Latreille,
722 1807, **Scientific Reports**, v. 6, n.21641, p.1-8, 2016.
- 723 NOCELLI, R. C. F.; SOARES, S. M. M.; MONQUERO, P. A. Effects of Herbicides
724 on the Survival of the Brazilian Native Bee *Melipona scutellaris* Latreille, 1811
725 (Hymenoptera: Apidae). **Planta Daninha**, v. 37, n. 019220193, p.1-8, 2019.
- 726 NOGUEIRA-NETO, P. **Vida e Criação de Abelhas indígenas sem ferrão**. São
727 Paulo: Editora Nogueirapis, 1997.
- 728 NOGUEIRA, D.S. Overview of Stingless Bees in Brazil (Hymenoptera: Apidae:
729 Meliponini). **EntomoBrasilis**, v. 16, n. 1041, p.1-13, 2023.
- 730 OGA, S.; CAMARGO, M.M.A.; BATISTUZZO, J.A. de O. **Fundamentos de**
731 **toxicologia**. São Paulo, Editora Atheneu, 2014.
- 732 OKADA, E. et al. Glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) are
733 commonly found in urban streams and wetlands of Melbourne, Australia, **Water**
734 **Research**, v.168, n. 115139, p.1-20, 2020.
- 735 OLGUN, T.; DAYIOĞLU, M.; ÖZSOY, N. Pesticide and pathogen induced oxidative
736 stress in honey bees (*Apis mellifera*). **Mellifera**, v.20, n.2, p. 32-52, 2020.
- 737 OLIVEIRA, M.C.; DE SOUZA, V.H.E. Utilização de biomarcadores de estresse
738 oxidativo no monitoramento ambiental. Revista **UNINGÁ**, n.10, 2006.
- 739 OLIVEIRA, F.F. et al. **Guia Ilustrado das Abelhas “Sem-Ferrão” das Reservas**
740 **Amanã e Mamirauá, Brasil (Hymenoptera, Apidae, Meliponini)**, Manaus:Tefé:
741 IDSM, 2013. 267 p.
- 742 OLIVEIRA, R. C. et al. Bee pollen as a bioindicator of environmental pesticide
743 contamination, **Chemosphere**, v.163, n.1, p.525-534, 2016.

- 744 PANIS, C. et al. Widespread pesticide contamination of drinking water and impact
745 on cancer risk in Brazil, **Environment International**, v.165, n.107321, p.1-11, 2022.
- 746 PEDRO, S.R.M. The Stingless Bee Fauna in Brazil (Hymenoptera: Apidae).
747 **Sociobiology**, v. 61, n.4, p.348-354, 2014.
- 748 PERUZZOLO, M.C.; GRANGE, L.; RONQUI, L. Mortalidade de abelhas sem ferrão
749 *Scaptotrigona bipunctata* sob os efeitos dos herbicidas paraquat e diquat. **Arquivos**
750 **de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR**, v. 24, n. 2407, p.1-9, 2021.
- 751 PIGEOLET, E. et al. Glutathione peroxidase, superoxide dismutase, and catalase
752 inactivation by peroxides and oxygen derived free radicals. **Mechanisms of Ageing**
753 **and Development**, v.51, n.3, p.283-297, 1990.
- 754 PINHEIRO, M.; SAZIMA, M. Visitantes Florais e Polinizadores de Seis Espécies
755 Arbóreas de Leguminosae Melitófilas na Mata Atlântica no Sudeste do Brasil.
756 **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n.1, p.447-449, 2007.
- 757 PINHEIRO, S.; DA SILVA, F.M.; GARCIA, M.V.B. Ensaio de Toxicidade Aguda de
758 *Parathion metil* para Abelhas em Condições Tropicais. In: IV JORNADA DE
759 INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 58, 2008,
760 Manaus: **Anais** [...] Manaus, Embrapa Amazônia Ocidental, 2008.
- 761 PIRES, C.S.S.; TOREZANI, K.R.S. **Seleção de espécies de abelhas nativas para**
762 **avaliação de risco de agrotóxicos**, Brasília: IBAMA, 2018.
- 763 POSEY, D. A.; CAMARGO, J.M.F. Additional notes on the classification and
764 knowledge of stingless bees (Meliponinae, Apidae, Hymenoptera) by Kayapó
765 indians of Gorotire, Pará, Brazil. **Annals of Carnegie Museum**, v. 54, n. 8, p. 247-
766 274, 1985.
- 767 RIBAS, J.L.C. **Toxicologia**. Curitiba, Editora Contentus, 2020, p.66-76.
- 768 SÁNCHEZ-BAYO, F.; GOKA, K. Pesticide residues and bees - A risk assessment.
769 **PLoS ONE**, v. 9, n.4, p.1-16, 2014.
- 770 SÁNCHEZ-BAYO, F.; WYCKHUYS, K.A.G. Worldwide decline of the entomofauna:
771 A review of its drivers. **Biological Conservation**, v. 232, n.1, p. 8-27, 2019.
- 772 SANTOS T.C.A.; CRUZ-LANDIM C. DA. Determinação das castas em
773 *Scaptotrigona postica* (Latreille) (Hymenoptera, Apidae, Meliponini): diferenciação
774 do ovário. **Revista Brasileira Zoologia**, v.19, n.3, p.703-714, 2002.
- 775 SCHNELL E SCHÜHLI, G.; MACHADO, A.M.B. **Abelhas nativas sem ferrão**
776 **(Meliponini) e serviços de polinização em espécies florestais**. Colombo:
777 Embrapa Florestas, 2014, p.9-24. Disponível em:
778 [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121211/1/Doc.-264-](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121211/1/Doc.-264-Schuhli.pdf)
779 [Schuhli.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/121211/1/Doc.-264-Schuhli.pdf). Acesso em 06 de fevereiro de 2023.
- 780 ŚCIBIOR, D.; HANNA CZECZOT, H. Catalase: structure, properties, functions.
781 **Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej**, v.60, n.1, p.170-180, 2006.

- 782 SHARF, Y.; KHAN, M.A. Dietary tryptophan requirement of fingerling *Channa*
783 *punctatus* (Bloch) based on growth, hematological parameters, intestinal enzymes,
784 non-specific immune response, and antioxidant capacity, **Aquaculture**, v. 562, n.
785 738745, p.1-10, 2023.
- 786 SILVEIRA, F.A.; MELO, G.A.R.; ALMEIDA, E.A.B.; **Abelhas brasileiras:**
787 **sistemática e identificação**. Belo Horizonte, Depósito Legal na Biblioteca
788 Nacional, 2002.
- 789 SISINNO, C.L.S.; OLIVEIRA-FILHO, E.C. **Princípios de Toxicologia Ambiental**.
790 Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2013, p.90.
- 791 SOARES, H.M. et al. Toxicity of Imidacloprid to the Stingless Bee *Scaptotrigona*
792 *postica* Latreille, 1807 (Hymenoptera: Apidae). **Bulletin of Environmental**
793 **Contamination and Toxicology**, v.94, n.1, p.675-680, 2015.
- 794 SOROKER, V. et al. Evaluation of colony losses in Israel in relation to the incidence
795 of pathogens and pests. **Apidologie**, v. 42, n.1, p.192-199, 2011.
- 796 SOUZA, B. A. et al. **Mundurí (*Melipona asilvai*): a abelha sestroza**. Cruz das
797 Almas: Grupo de Pesquisa INSECTA, 2009.
- 798 STAROŇ, M. et al. Formetanate toxicity and changes in antioxidant enzyme system
799 of *Apis mellifera* larvae. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24,
800 n.1, p. 14060–14070, 2017.
- 801 STEINRÜCKEN, H.C.; AMRHEIN, N. The herbicide glyphosate is a potent inhibitor
802 of 5-enolpyruvyl-shikimic acid-3-phosphate synthase. **Biochemical and**
803 **Biophysical Research Communications**, v.30, n.4, p. 1207-1212, 1980.
- 804 TAKIO, N.; YADAV, M.; YADAV, H.S. Catalase-mediated remediation of
805 environmental pollutants and potential application – a review, **Biocatalysis and**
806 **Biotransformation**, v.39, n.6, p. 389-407, 2021.
- 807
808 TOSI, S. et al. Lethal, sublethal, and combined effects of pesticides on bees: A
809 meta-analysis and new risk assessment tools, **Science of The Total Environment**,
810 v. 844, n. 156857, p.1-12, 2022.
- 811
812 vanENGELSDORP, D. et al. Colony collapse disorder: a descriptive study. **Plos**
813 **One**, v.4, n.8, p.1-17, 2009.
- 814
- 815 VENTURIERI, G.C. **Criação de Abelhas Indígenas sem Ferrão**. Belém: Embrapa
816 Amazônia Oriental, 2004. 36p.
- 817
818 VILLAS-BÔAS, J. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral dos**
819 **Produtos das Abelhas Nativas Sem Ferrão**. Brasília – DF. Instituto Sociedade,
820 População e Natureza (ISPN), 2018. 212p.
- 821 VON DER LEYEN, U. Regulamento de Execução (UE) 2022/2364 da Comissão, de
822 2 de dezembro de 2022, que altera o Regulamento de Execução (UE) n.º 540/2011

- 823 **Jornal Oficial da União Europeia.** Bruxelas, 02 de dezembro de 2022, p. 99-100.
824 Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2022/2364/oj. Acesso em 06
825 de fevereiro de 2023.
- 826 WANG, F.; ZHANG, Y.Q. Chapter Eight - Bioconjugation of Silk Fibroin
827 Nanoparticles with Enzyme and Peptide and Their Characterization. **Advances in**
828 **Protein Chemistry and Structural Biology**, v. 98, n.1, p.263-291, 2015.
- 829 WEIRICH, G.F.; COLLINS, A.M.; WILLIAMS, V.P. Antioxidant enzymes in the honey
830 bee, *Apis mellifera*. **Apidologie**, v.33, n.1, p.3-14, 2002.
- 831 WEYDERT, C.; CULLEN, J. Measurement of superoxide dismutase, catalase and
832 glutathione peroxidase in cultured cells and tissue. **Nature Protocols**, v.5, n.1, p.51-
833 56, 2010.
- 834 WITTER, S.; SILVA, P.N.; BLOCHTEIN, B. et al. **As abelhas e a agricultura.** Porto
835 Alegre: EdiPUCRS, 2014, 143p.
- 836 WITTER, S.; NUNES-SILVA, P. **Manual de boas práticas para o manejo e**
837 **conservação de abelhas nativas (meliponíneos).** Porto Alegre: Fundação
838 Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2014. 141p.
- 839 WITTER, S. et al. **Guia de reconhecimento de abelhas sem ferrão do Rio**
840 **Grande do Sul.** Porto Alegre: SEAPI/DDPA, 2023. 123 p.
- 841 WOLOWSKI, M.; AGOSTINI, K.; RECH, A.R. **Relatório temático sobre**
842 **polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil.** São Carlos, SP:
843 Editora Cubo, 2019, p. 13-24. Disponível em: [https://www.bpbes.net.br/wp-](https://www.bpbes.net.br/wp-content/uploads/2019/03/BPBES_CompletoPolinizacao-2.pdf)
844 [content/uploads/2019/03/BPBES_CompletoPolinizacao-2.pdf](https://www.bpbes.net.br/wp-content/uploads/2019/03/BPBES_CompletoPolinizacao-2.pdf). Acesso em 10 de
845 fevereiro de 2023.
- 846 WYNN, S.; WEBB, E. Impact assessment of the loss of glyphosate within the EU: a
847 literature review. **Environmental Sciences Europe**, v. 34, n.1, p.1-10, 2022.
- 848
- 849
- 850
- 851
- 852
- 853
- 854
- 855
- 856

857 **CAPÍTULO II**

858

859 **Toxicidade do glifosato para abelhas nativas *Scaptotrigona postica***

860

861 **Mikaelle de Oliveira Castilho¹, Polyana Mayume Pereira da Silva², Alda Izabel de**
862 **Souza³, Rodrigo Zaluski⁴**

863

864 1. ORCID: 0000-0002-8460-2070, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS,
865 Avenida Senador Felinto Muller, 2443, CEP: 79070-900, Campo Grande, MS, Brasil.866 E-mail: mikl_veterinaria@hotmail.com867 2. ORCID: 0000-0001-5884-5143, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS,
868 Avenida Senador Felinto Muller, 2443, CEP: 79070-900, Campo Grande, MS, Brasil869 3. ORCID: 0000-0002-8256-826X, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS,
870 Avenida Senador Felinto Muller, 2443, CEP: 79070-900, Campo Grande, MS, Brasil871 4. ORCID: 0000-0002-8372-6047, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande – MS,
872 Avenida Senador Felinto Muller, 2443, CEP: 79070-900, Campo Grande, MS, Brasil

873

874 **Resumo**

875 As abelhas são importantes indicadores da biodiversidade e saúde geral dos ecossistemas.
876 Todavia esses polinizadores sofrem declínios significativos, impulsionados pela perda e
877 fragmentação de habitats, intensificação das práticas agrícolas e alterações climáticas. O
878 glifosato, agrotóxico mais comercializado mundialmente, é usado em diversas práticas
879 agrícolas, resultando na exposição de diversos organismos não alvo, incluindo abelhas.
880 Neste estudo, objetiva-se avaliar a toxicidade do herbicida glifosato em abelhas da espécie
881 *Scaptotrigona postica* por meio da determinação da concentração letal mediana oral (CL₅₀)
882 e da concentração subletal (CL₁₀) em testes de 48h de exposição. Além de avaliar o efeito
883 da concentração letal (CL₅₀) e subletal (CL₁₀) sobre a atividade enzimática da superóxido
884 dismutase (SOD) e da catalase (CAT), em tempos de 48h e 120 horas, respectivamente. A
885 CL₅₀ encontrada em 48 horas foi de 7,41 µg i.a./µL dieta e a CL₁₀ de 0,70 µg i.a./ µL dieta.
886 A atividade enzimática de SOD e CAT nas abelhas não diferiram estatisticamente em relação
887 ao grupo controle nos tempos e doses estabelecidos. Os dados deste estudo mostram que a
888 CL₅₀ de glifosato para *S. postica* se encontra dentro da concentração recomendada em bula
889 para pulverização em lavouras, ressaltando a importância da avaliação de toxicidade desse
890 herbicida em abelhas nativas. Além disto, infere-se que as enzimas SOD e catalase não foram
891 bons marcadores para o estresse oxidativo nessa espécie.

892 **Palavras Chave:** organofosforado, concentração letal mediana, estresse oxidativo.

893

894 **Declaração de conflito de interesses**

895 Os autores do artigo afirmam que não se encontram em situações de conflito de interesse que possam
896 influenciar o desenvolvimento do trabalho, tais como emissão de pareceres, propostas de
897 financiamento, promoções ou participação em comitês consultivos ou diretivos, participação em
898 periódicos patrocinados, assim como qualquer relação financeira ou de outra natureza com pessoas
899 ou organizações que possam influenciar o trabalho de forma inapropriada.

900

901

902

903 **Introdução**

904 No cenário global, as plantas e as abelhas sofrem declínios significativos,
905 impulsionados principalmente pela perda e fragmentação de habitats, intensificação das
906 práticas agrícolas e alterações climáticas (Sihag 2023; Torresani et al. 2023). Esses insetos
907 são importantes indicadores da biodiversidade e saúde geral dos ecossistemas pois fornecem
908 um serviço fundamental para muitas culturas - a polinização das flores (Cao et al. 2023;
909 Miñarro et al. 2023;).

910 A intensificação dos plantios resulta em uso mais amplo de defensivos químicos, que
911 incluem herbicidas, inseticidas e fungicidas. O glifosato (N- [fosfometil] glicina) é o
912 ingrediente ativo em vários herbicidas comerciais para controle não seletivo de ervas
913 daninhas (Baer & Marcel 2014). O seu uso tem crescido nas últimas décadas, sendo
914 atualmente o herbicida mais utilizado no mundo (Benbrook 2016). O persistente emprego
915 de produtos herbicidas contendo glifosato tem como resultado o incremento da exposição
916 para uma variedade de organismos não alvo, tanto em ambientes aquáticos quanto terrestres
917 (Kanissery et al. 2019; Rodrigues et al. 2019).

918 No contexto da apicultura brasileira, a espécie introduzida *Apis mellifera* prevalece,
919 sendo frequentemente a escolha inicial na avaliação das características tóxicas de
920 agrotóxicos, seguindo protocolos estabelecidos pela Organização para a Cooperação e
921 Desenvolvimento Econômico (OECD, 1998, 2013 e 2017). No entanto, é importante notar
922 que entre os anos de 2015 e 2023, 59 novas espécies de abelhas sem ferrão foram
923 documentadas na região Neotropical, das quais 16 foram registradas no Brasil (Nogueira
924 2023).

925 Em ensaios de toxicidade, os testes agudos (24 a 96 horas), detectam os efeitos
926 imediatos em exposição a concentrações letais, sendo as respostas normalmente relacionadas
927 a mortalidade ou imobilização (KNIE & LOPES, 2004). Como definição, o termo CL₅₀
928 (concentração letal mediana) representa a concentração letal empregada para causar morte
929 em 50 % dos animais em um estudo (SISINNO, 2013).

930 Já os testes crônicos permitem avaliar os possíveis efeitos tóxicos sob condições de
931 exposição prolongadas a concentrações subletais, ou seja, concentrações que permitam a
932 sobrevivência dos organismos, embora afetem suas funções biológicas (tais como
933 reprodução, crescimento e maturação) (RIBAS, 2020).

934

935 Segundo revisão meta analítica realizada por Battisti et al. (2021) as diferentes
936 formulações a base de glifosato demonstraram afetar negativamente a sobrevivência,
937 desenvolvimento e comportamento tanto de abelhas sem ferrão, quanto de abelhas europeias,
938 mesmo quando utilizadas nas doses e concentrações recomendadas pelo fabricante.

939 Em estudo conduzido por De Souza et al. (2021) foi constatada a presença de resíduos
940 de glifosato no mel proveniente de regiões brasileiras com altas taxas de perda de colônias e
941 que concomitantemente utilizam a pulverização frequente de agrotóxicos nas plantações de
942 soja, inferindo assim o consumo desse herbicida em doses não letais pelas abelhas. Castelli
943 et al. (2021) observaram que a exposição de abelhas *A. mellifera* a doses subletais de
944 glifosato, resulta em alterações significativas na microbiota intestinal desses insetos, o que,
945 por sua vez, tem um impacto direto em sua sobrevivência.

946 Ao examinar os efeitos adversos do inseticida dimetoato em abelhas sem ferrão e
947 europeias, Dorigo et al. (2019) relataram que a concentração letal média (CL₅₀) necessária
948 para causar mortalidade de 50% da população de larvas de *Melipona scutellaris* era 320
949 vezes menor que a requerida para atingir o mesmo efeito em larvas de *Apis mellifera*,
950 indicando assim a importância da padronização dos testes para abelhas, dadas as variações
951 em sua biologia.

952 O emprego de biomarcadores, como a mensuração da atividade enzimática,
953 desempenha um papel importante na avaliação de produtos defensivos utilizados na
954 agricultura. Aferir o aumento ou a inibição da atividade enzimática pode indicar respostas a
955 situações de estresse ambiental, por meio de experimentos tanto *in situ* quanto *in vitro* (Cogo
956 et al. 2009; Weydert & Cullen 2010).

957 As enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT) atuam no sistema de
958 defesa antioxidante celular, sendo amplamente usadas em células e tecidos cultivados
959 (Pigeolet et al. 1990), incluindo homogeneizados teciduais de abelhas (Weirich et al. 2002;
960 Nikolić et al. 2015; Chakrabarti et al. 2015; Staroň et al. 2017; Carvalho et al. 2013).

961 Em pesquisa conduzida por Tavares et al. (2023), a atividade antioxidante foi
962 mensurada frente aos efeitos de exposição a três defensivos amplamente utilizados na
963 agricultura - imidacloprida, glifosato e piraclostrobina - em abelhas nativas - *Melipona*
964 *scutellaris* e *Scaptotrigona postica* - bem como na abelha africanizada *Apis mellifera*. A
965 resposta ao estresse oxidativo variou significativamente entre as três espécies de abelhas,
966 conforme indicado pela divergência na expressão das enzimas testadas.

967 Dados sobre a exposição crônica a doses subletais de herbicidas em abelhas nativas
968 são escassos, os poucos estudos disponíveis avaliaram os efeitos tóxicos de inseticidas e
969 acaricidas nessas espécies (Piovesan et al. 2020; Padilha et al. 2018).

970 A expressiva representatividade dos meliponíneos, tanto no Brasil quanto no mundo,
971 e sua importância ecológica na promoção de práticas agrícolas sustentáveis, conforme
972 ressaltado por Mashilingi et al. (2022), justifica uma investigação mais aprofundada sobre a
973 sensibilidade desses insetos aos defensivos agrícolas (Pires & Torezani 2018).

974 Devido às demandas atuais, esta pesquisa tem como objetivo avaliar a toxicidade do
975 herbicida glifosato para abelhas nativas *Scaptotrigona postica* e investigar o efeito das
976 concentrações letal e subletal sobre parâmetros de estresse oxidativo.

977 **Materiais e Métodos**

978 **Local do Experimento**

979 O projeto foi desenvolvido no Meliponário da Faculdade de Medicina Veterinária e
980 Zootecnia da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (Protocolo SISGEN
981 A978DAB/2023) (Anexo A), localizado no município de Campo Grande MS, cujas
982 coordenadas geográficas são: 20°30'31.25"S, 54°37'15.02"W, com clima tipo Am (clima
983 tropical de monção) de acordo com a classificação de Köppen e altitude média de 592
984 metros.

985

986 **Determinação da Concentração Letal Mediana via Oral**

987 Foram utilizadas neste estudo abelhas adultas de *Scaptotrigona postica*, provenientes
988 de cinco colônias não parentais de tamanho médio que se encontravam em condições
989 fisiológicas normais, livres de doenças, com cria em todos os estágios de desenvolvimento
990 e rainha jovem em postura. As coletas foram realizadas no período matutino entre outubro e
991 dezembro de 2022, com auxílio de uma garrafa plástica instalada na entrada das colônias.

992 Após a captura, as abelhas foram transportadas para o laboratório, anestesiadas em
993 freezer à -2°C por 30 segundos, sendo então acondicionadas em caixas plásticas de 250 mL
994 (9,5 × 11,5 × 2,5 cm), dotadas de orifícios para ventilação e equipadas com microtubos
995 fenestrados para suprimento de água e alimento (Fig.1). A fim de minimizar o estresse
996 ocasionado pelo confinamento, as abelhas permaneceram em adaptação por um período de
997 15 horas antes do início do fornecimento do agrotóxico, recebendo água e xarope de sacarose
998 (1:1) *ad libitum*.

999

1000

1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040



Figura 1. Abelhas *S.postica* em caixas plásticas para serem expostas ao herbicida

Fonte: Elaborado pelo autor

A metodologia empregada para determinação da CL_{50} via ingestão seguiu as diretrizes da OECD (2017) e de Medrzycki et al. (2013), com algumas adaptações. Para determinação das concentrações apropriadas para os testes de toxicidade, ensaios preliminares com glifosato (Roundup Original DI® 445 g i.a./L, concentrado solúvel,) foram realizados, utilizando cinco diluições de fator 4 da solução estoque ($1\mu\text{g i.a./}\mu\text{L}$ água). As concentrações escolhidas foram de: 0,0625; 0,25; 1,0; 4,0 e $16\mu\text{g i.a./}\mu\text{L}$ água.

A partir do conhecimento das concentrações responsivas nos testes preliminares, na segunda etapa do experimento, uma série de seis concentrações (com fator não excedente a 2) foram estipuladas, sendo essas de: 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0 e $16\mu\text{g i.a./}\mu\text{L}$ dieta. Cada grupo experimental recebeu uma das concentrações *ad libitum* diluídas em xarope de sacarose, fornecida em microtubo fenestrado tipo eppendorf de 1,5 ml, preenchido com algodão embebido na solução contaminada, durante 48 horas.

Para cada concentração foram utilizados 10 indivíduos e os testes realizados em triplicata, totalizando 21 unidades experimentais e 210 abelhas. O grupo controle recebeu apenas água e xarope de sacarose livre de glifosato.

As abelhas foram mantidas em estufa de demanda bioquímica de oxigênio (BOD) a $30^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $70\% \pm 5\%$, protegidas da luz, em condições semelhantes às da colmeia. A mortalidade foi observada e contabilizada a cada 12 horas, quando houve também reposição do alimento para os grupos. Abelhas que permaneceram imóveis por um período superior a 15 segundos foram consideradas mortas.

Análise da Atividade Antioxidante

Amostragem

Para análise da atividade das enzimas superóxido dismutase e catalase, um novo experimento foi realizado. O método de coleta, transporte, acondicionamento, adaptação e fornecimento de alimento às abelhas seguiram os mesmos protocolos adotados para a determinação da concentração letal mediana via oral.

1041 As concentrações administradas foram aquelas previamente determinadas nos testes
1042 de toxicidade oral aguda, nomeadamente, a CL₅₀ (concentração letal mediana) fornecida por
1043 um período de 48 horas e a CL₁₀ (concentração subletal), fornecida por um período de 120
1044 horas. O grupo controle foi alimentado exclusivamente com água e xarope de sacarose livre
1045 de glifosato. Para cada concentração testada, foram utilizadas 10 indivíduos e os testes
1046 realizados em quintuplicata, totalizando 15 unidades experimentais e 150 abelhas.

1047 Durante o experimento, nos grupos testes e controle a oferta de água e alimento foi
1048 constante, com reposição a cada 12 horas. Abelhas que morreram durante esse intervalo
1049 foram removidas e excluídas das análises. Após a conclusão do período de exposição
1050 estipulado para cada grupo, as abelhas foram congeladas (-80°C) até a realização dos testes
1051 enzimáticos.

1052

1053 **Ensaio Enzimático**

1054 A metodologia empregada para a extração das enzimas seguiu o protocolo descrito
1055 por Farder-Gomes et al. (2021), com o cuidado de manter a temperatura das amostras a um
1056 máximo de 8°C. Os macerados provenientes do abdômen, cabeça, asas e membros de cada
1057 unidade experimental (10 abelhas), foram diluídos em 1 mL de solução tampão fosfatada
1058 (4°C a 8°C).

1059 Na sequência, o homogeneizado resultante foi submetido a centrifugação em 10.000
1060 g por um período de 10 minutos, utilizando uma centrífuga refrigerada a 4°C, sendo o
1061 sobrenadante resultante usado nos testes.

1062 Na avaliação da atividade da SOD, foi empregado o kit Superoxide Dismutase
1063 Colorimetric Activity Kit (Invitrogen, ThermoFisher Scientific®), o qual permite a medição
1064 de todos os tipos de atividade dessa enzima, abrangendo as formas Cu/Zn, Mn e FeSOD. As
1065 amostras diluídas foram misturadas com um substrato, seguido pela adição do reagente
1066 contendo xantina oxidase, sendo então incubadas à temperatura ambiente durante um
1067 período de 20 minutos. A leitura da intensidade da coloração gerada foi posteriormente
1068 realizada utilizando um leitor de microplacas, com a leitura feita no comprimento de onda
1069 de 450 nm.

1070 Para avaliação da atividade da CAT, empregou-se o kit Amplex Red Catalase Assay
1071 Kit (Invitrogen, ThermoFisher Scientific®). No decorrer do ensaio, as amostras contendo
1072 catalase inicialmente reagem com o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), resultando na produção
1073 de água e oxigênio. Posteriormente, o reagente denominado Amplex Red reage com

1074 qualquer H₂O₂ não consumido na presença de peroxidase de rábano, dando origem a um
1075 produto de oxidação altamente fluorescente, conhecido como resorufina. A quantificação da
1076 coloração gerada foi conduzida mediante a utilização de um leitor de microplacas, com a
1077 leitura efetuada a um comprimento de onda de 560 nm.

1078

1079 **Análise estatística**

1080 Para a determinação da CL₅₀ por ingestão, procedeu-se à contagem do número de
1081 abelhas mortas, sendo esses dados submetidos a análise Probit do tipo dose resposta,
1082 utilizando o software LdP Line®. A partir do modelo matemático obtido, foram calculados
1083 igualmente os valores da CL₁₀. Além disso, para a comparação das variáveis referentes à
1084 atividade enzimática nas exposições letal e subletal foi empregado o teste de análise de
1085 variância (ANOVA).

1086

1087 **Resultados e Discussão**

1088 **Concentração Letal Mediana**

1089 Considerando a mortalidade de *S. postica* por ingestão, foi notado um efeito
1090 significativo na interação entre a concentração do princípio ativo e a morte dos indivíduos
1091 (Fig. 2). O ensaio foi validado segundo normas da OECD (2017), com limite de confiança
1092 de 95% e mortalidade do grupo controle inferior a 10%.

1093

1094

1095

1096

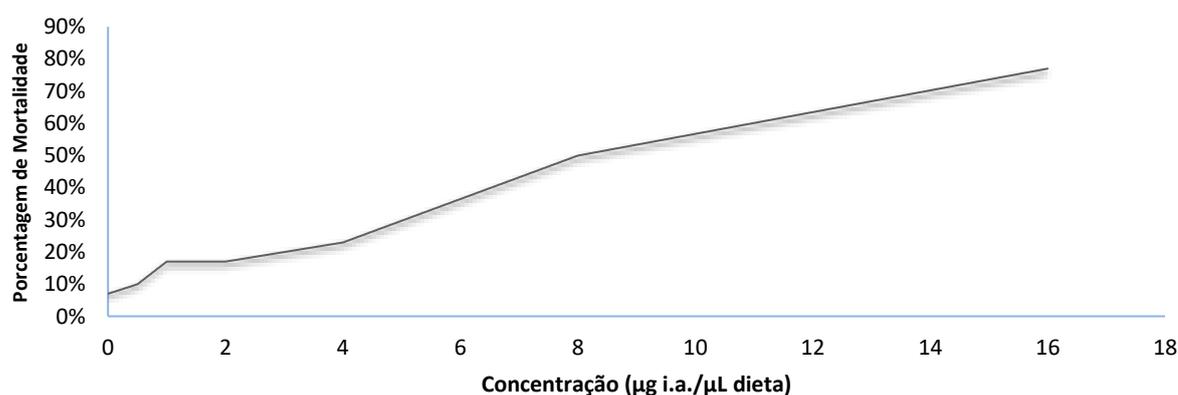
1097

1098

1099

1100

1101



1102

1103

1104

1105

Fig. 2: Toxicidade oral do herbicida glifosato para indivíduos adultos de *S. postica* após 48 h de exposição a diferentes doses.

Fonte: Elaborado pelo autor

1106

1107

1108

1109

A partir dos dados de mortalidade das abelhas em 48h de exposição, os valores para concentração letal mediana (CL₅₀) e concentração subletal (CL₁₀) foram determinados (Tabela 1).

1110 **Tabela 1:** Concentrações orais ($\mu\text{g i.a./}\mu\text{L}$ dieta) de glifosato necessárias para mortalidade de 50% e
 1111 10% de abelhas *S. postica* após 48 h de exposição.

Tempo de Exposição	CL ₅₀ $\mu\text{g i.a./}\mu\text{L}$ dieta (95%) I.C.	CL ₁₀ $\mu\text{g i.a./}\mu\text{L}$ dieta (95%) I.C.
48 h	7,41	0,70

1112 I.C. Intervalo de confiança.

1113

1114 A análise dos resultados com base na CL₅₀ é independente da quantidade de alimento
 1115 consumida por cada abelha, ao contrário da DL₅₀, que se fundamenta em estimativas do
 1116 consumo por indivíduo, presumindo que todas as abelhas ingeram quantidades idênticas em
 1117 um período específico (Stevenson,1978).Trabalhos recentes têm empregado o cálculo da
 1118 concentração letal mediana em estudos toxicológicos para abelhas nativas (Piovesan et al.
 1119 2020; Al Naggar et al. 2022; Lourencetti et al. 2023).

1120 De acordo com Thompson et al. (2022), abelhas transitam indiscriminadamente entre
 1121 plantas que foram submetidas ao tratamento com glifosato e aquelas que não foram. Isso as
 1122 coloca em risco de exposição, tanto por via tópica como por via oral, ao coletar recursos
 1123 florais das plantas. Segundo os autores, resíduos de glifosato podem permanecer disponíveis
 1124 no pólen por no mínimo 70 horas após aplicação.

1125 A recomendação para pulverização do glifosato está condicionada ao estágio de
 1126 desenvolvimento da planta infestante, com preferência para pulverização próximo ao início
 1127 da floração, podendo a dose variar entre 240 e 1.920 g de ingrediente ativo para cada 100
 1128 litros de água (Amarante Junior et al. 2002).

1129 A CL₅₀ encontrada no presente trabalho para *S. postica* de 7,41 $\mu\text{g i.a./}\mu\text{L}$ em 48
 1130 horas, equivale a dose de campo do herbicida recomendada para o controle de várias ervas
 1131 daninhas em plantios de milho e soja. Para diversas culturas a dose recomendada na
 1132 aplicação é superior a 740 g de ingrediente ativo para 100 litros de água, aproximando-se
 1133 dos valores de CL₅₀ estabelecidos nesse trabalho, demonstrando assim alto risco de
 1134 toxicidade do glifosato para essa abelha nativa.

1135 No estudo conduzido por Gomes et al. (2023), ao investigar a dose de campo de 1.750
 1136 g de ingrediente ativo de glifosato para 100 litros de água, por meio de exposição oral em
 1137 abelhas nativas *Melipona capixaba*, foi observado um índice de mortalidade de 90% após
 1138 24 horas, ao equivalente de 17,8 $\mu\text{g i.a./}\mu\text{L}$ de xarope contaminado com o herbicida.
 1139 Comparado aos resultados obtidos para *S. postica*, observa-se que abelhas nativas podem
 1140 apresentar diferentes sensibilidades ao produto, devendo-se considerar também que a

1141 variação na dose utilizada em campo e as condições ambientais podem interferir na
1142 mortalidade.

1143 Devido aos escassos trabalhos analisando a toxicidade do glifosato a abelhas do
1144 gênero *Scaptotrigona*, torna-se difícil a análise paralela das pesquisas, visto que, na espécie
1145 mais utilizada em testes de toxicidade- *Apis mellifera* - os valores são calculados em dose
1146 letal mediana (DL₅₀: µg ia/abelha), diferentemente do cálculo do presente estudo (CL₅₀:µg
1147 i.a./µL dieta).

1148 Na análise comparativa dos resultados de toxicidade do nosso estudo e os valores
1149 encontrados por Wesonga et al. (2023) para abelhas *Apis mellifera*, cuja DL₅₀ foi de 229,5
1150 µg i.a/abelha, nossos resultados demonstraram ser até 30 vezes menores, o que pode inferir
1151 uma maior sensibilidade das abelhas sem ferrão ao glifosato. De acordo com resultados de
1152 Lourencetti et al. (2023), a influência da massa corporal e do metabolismo estão
1153 estreitamente relacionados com a variação na tolerância de abelhas nativas a agrotóxicos,
1154 podendo esta apresentar variação entre as espécies.

1155 Segundo revisão realizada por Battisti et al. (2023), a exposição aguda e crônica de
1156 larvas e adultos de abelhas sociais e solitárias ao glifosato e suas formulações, pode
1157 desencadear alterações na expressão gênica, funcionamento enzimático, metabolismo
1158 oxidativo, além de diversos efeitos no desenvolvimento corporal desses insetos. Todavia, as
1159 publicações que avaliam a toxicidade do glifosato em abelhas não *Apis* são limitadas.

1160 No presente estudo, *S. postica* foi mais tolerante ao herbicida glifosato por ingestão
1161 quando comparado a outros estudos onde os inseticidas foram avaliados em espécies do
1162 gênero *Scaptotrigona*. Inseticidas como clorpirifós, fosmete e imidacloprid apresentaram
1163 uma CL₅₀ entre 0,011 e 0,024 µg i.a./µL em 48h (Dorneles et al. 2017, Soares et al. 2015),
1164 em contraste com o valor de 7,41 µg i.a./µL deste trabalho. A elevada sensibilidade de
1165 organismos não alvo aos inseticidas organofosforados e neonicotinoides pode ser atribuída
1166 à forma como esses ingredientes ativos agem no sistema nervoso central dos insetos. Esse
1167 processo resulta em danos irreversíveis nas sinapses nervosas, levando a um desfecho fatal
1168 de maneira mais rápida (Gomes et al. 2023).

1169 Atualmente a liberação do uso e registro de agrotóxicos emprega dados de CL₅₀ e
1170 DL₅₀, utilizando a espécie *A. mellifera* como modelo de referência, todavia é importante
1171 considerar que espécies nativas como *S. postica* apresentam maior sensibilidade a moléculas
1172 amplamente utilizadas como o glifosato.

1182

1183 Testes enzimáticos

1184 Durante a segunda fase do experimento, a concentração letal mediana e a
 1185 concentração subletal do glifosato foram empregadas para mensurar a atividade das enzimas
 1186 SOD e CAT. Os níveis de atividade enzimática nas abelhas *S. postica* não apresentaram
 1187 diferenças estatísticas significantes quando comparados ao grupo controle nos intervalos de
 1188 tempo e concentrações estabelecidas (Tabelas 2 e 3).

1189
 1190 **Tabela 2:** Efeito da concentração letal mediana CL₅₀ (7,41 µg/µL) na atividade das enzimas SOD e
 1191 CAT (µg/µL) em macerados de abelhas *S. postica* após 48 horas de ensaio.

	Controle	CL ₅₀ (7,41 µg/µL)
SOD	0,043±0 ^A	0,043±0 ^A
CAT	0,164±0,001 ^B	0,163±0,0006 ^B

1192 Valores apresentados como média e desvio padrão. Letras iguais indicam valores sem diferença significativa
 1193 pelo teste ANOVA (p>0,05).

1194
 1195 **Tabela 3:** Efeito da concentração subletal CL₁₀ (0,70 µg/µL) na atividade das enzimas SOD e CAT
 1196 (µg/µL) em macerados de abelhas *S. postica* após 120 horas de ensaio.

	Controle	CL ₁₀ (0,70 µg/µL)
SOD	0,043±0 ^A	0,045±0,004 ^A
CAT	0,164±0,001 ^B	0,164±0,001 ^B

1197 Valores apresentados como média e desvio padrão. Letras iguais indicam valores sem diferença significativa
 1198 pelo teste ANOVA (p>0,05).

1200 Enzimas antioxidantes desempenham um papel importante na regulação do nível de
 1201 espécies reativas do oxigênio e são produzidos pelas células em resposta ao estresse. As
 1202 enzimas SOD e CAT constituem o principal sistema de proteção dos organismos contra o
 1203 estresse oxidativo (Prezenská et al. 2019).

1204 A resposta enzimática em sistemas antioxidantes após exposição a herbicidas, com
 1205 foco em abelhas do gênero *Scaptotrigona* até onde sabemos, são inexistentes. O padrão de
 1206 resultados da resposta enzimática aplicada a CL₅₀ do presente estudo assemelha-se ao
 1207 trabalho conduzido por Motta et al. (2023) onde abelhas nativas *Partamona helleri* foram
 1208 expostas à CL₅₀ do piretroide lambda-cialotrina. Após 48 horas de bioensaio não houveram
 1209 diferenças significativas nos resultados das atividades de SOD e CAT em comparação ao
 1210 grupo controle.

1211 Com o mesmo objetivo, Pal et al. (2022) investigaram o dano oxidativo em abelhas
 1212 europeias por meio da análise de enzimas antioxidantes. Os animais foram expostos por 16
 1213 dias a vários agrotóxicos em concentrações subletais, incluindo o glifosato. Em relação as

1214 enzimas SOD e CAT, não foram observadas diferenças significativas na atividade
1215 enzimática nos tecidos intestinais em comparação ao grupo controle.

1216 De acordo com Kodrík et al. (2015), a regulação da secreção de enzimas
1217 antioxidantes em insetos está condicionada a regulação por neurohormônios adipocinéticos,
1218 os quais desencadeiam reações de defesa e são responsáveis pela manutenção da homeostase
1219 nesses indivíduos. No entanto, os mecanismos relacionados a esses eventos permanecem
1220 obscuros, sendo provavelmente específicos da espécie e/ou acompanhado por outros fatores
1221 concomitantes.

1222 Em uma revisão realizada por Gong & Diao (2017), foi destacado que as abelhas
1223 possuem mecanismos de desintoxicação complexos, envolvendo diversos genes e vias
1224 metabólicas. No entanto, abelhas melíferas possuem uma quantidade limitada de genes
1225 relacionados à desintoxicação, tornando-as suscetíveis a agrotóxicos, especialmente quando
1226 expostas a combinações destes em ambientes reais.

1227 O perfil de expressão gênica e o metabolismo oxidativo foi avaliado em larvas de
1228 abelhas *A. mellifera* expostas a dose subletal de glifosato em exposição crônica (120 h). Os
1229 autores observaram que embora 29% das larvas fossem assintomáticas no grupo exposto,
1230 elas apresentaram alterações transcricionais em vários genes, principalmente ligados à
1231 resposta defensiva, mesmo na ausência de sintomas observáveis (Vázquez et al. 2020).

1232 Pesquisas sobre o sequenciamento de abelhas sem ferrão estão em desenvolvimento;
1233 sendo relatado até o momento dados do genoma de somente duas espécies de abelhas nativas,
1234 entre todas da tripo Meliponini, sendo elas *Frieseomelitta varia* e *Melipona quadrifasciata*
1235 (Freitas et al. 2020). A sequência genômica da abelha *S. postica* começa a ser realizada,
1236 entretanto há diversas lacunas no conhecimento de genes de interesse que permitam entender
1237 a tradução de proteínas em um ambiente contaminado com agrotóxicos (Stella 2023).

1238 Farder-Gomes et al. (2021) também realizaram exposições baseadas na CL₅₀, porém
1239 utilizando o inseticida fipronil. Os efeitos agudos sobre a atividade enzimática de abelhas *P.*
1240 *helleri* foram medidos após 24h de bioensaio. Em relação à SOD não houve diferença entre
1241 o grupo controle e o grupo tratado com o inseticida, entretanto houve uma diminuição
1242 importante na atividade da catalase e um aumento na atividade da GST.

1243 Em estudo recente realizado por Pons et al. (2023), resultados contraditórios foram
1244 relatados em relação à resposta antioxidante da SOD e CAT em *A. mellifera*. Os autores
1245 descreveram que após exposição subletal de curto prazo ao herbicida - 48 horas - houve um

1246 aumento significativo nas atividades da SOD e CAT, bem como um aumento de genes
1247 relacionados a resposta antioxidantes após 2 horas de exposição ao glifosato.

1248 Da mesma forma, na exposição crônica por 10 dias de abelhas nativas *Bombus*
1249 *terrestres* ao glifosato em doses subletais, Tang et al. (2023), observaram aumento
1250 expressivo na atividade da enzima SOD e das enzimas polifenoloxidasas, entretanto não
1251 houve aumento relativo à enzima GST nos tecidos corporais mistos dos indivíduos.

1252 A comparação de perfis de resposta ao estresse oxidativo, considerando diferentes
1253 espécies de abelhas é complexa, sugerindo a existência de mecanismos que podem mudar
1254 entre espécies, tempos de exposição e tipo de agrotóxico empregado. Enzimas como a
1255 glutathione S-transferase (GST) que desempenha importante papel na desintoxicação de
1256 abelhas a agrotóxicos (Moural 2023), podem ter tido alterações não avaliadas no presente
1257 trabalho.

1258 **Conclusão**

1259 Os dados deste estudo mostram que a CL₅₀ de glifosato para *S. postica* se encontra
1260 dentro da concentração recomendada em bula para pulverização em lavouras, ressaltando a
1261 importância da avaliação de toxicidade desse herbicida em abelhas nativas. Além disto,
1262 infere-se que as enzimas SOD e catalase não foram bons marcadores para o estresse
1263 oxidativo nessa espécie. Estudos futuros para melhor compreensão do papel das enzimas
1264 sobre a atividade antioxidante de abelhas expostas a agrotóxicos são sugeridos, visto que os
1265 processos de desintoxicação podem sofrer variações entre as diferentes espécies.

1266

1267 **Referências**

1268 Al Naggari Y, Estrella-Maldonado H, Paxton RJ et al (2022). The Insecticide Imidacloprid
1269 Decreases *Nannotrigona* Stingless Bee Survival and Food Consumption and Modulates the
1270 Expression of Detoxification and Immune-Related Genes. *Insects* 13: 972. <https://doi.org/10.3390/insects13110972>.

1271

1272
1273 Amarante Junior OP, Santos TCR, Brito NM et al (2002). Glifosato: propriedades,
1274 toxicidade, usos e legislação. *Química Nova* 25:589–593. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014>.

1275

1276
1277 Baer KN, Marcel BJ (2014) Glyphosate. *Encyclopedia of Toxicology*, 3^a ed. pp 767-769,
1278 ISBN 9780123864550. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00148-2>.

1279 Battisti L, Potrich M, Sampaio AR et al (2021) Is glyphosate toxic to bees? A meta-analytical
1280 review. *Science of The Total Environment* 767:145397.
1281 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145397>.

- 1282 Battisti L, Potrich M, Lozano E R et al (2023) Review on the sublethal effects of pure and
1283 formulated glyphosate on bees: Emphasis on social bees. *Journal of Applied Entomology*
1284 147:1–18. <https://doi.org/10.1111/jen.13089>.
- 1285 Benbrook CM (2016) Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally.
1286 *Environmental Sciences Europe* 28:3. <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>.
- 1287 Cao Z, He G, Mu S et al (2023) Effects of Bee Density and Hive Distribution on Pollination
1288 Efficiency for Greenhouse Strawberries: A Simulation Study. *Agronomy* 13:731.
1289 <https://doi.org/10.3390/agronomy13030731>.
- 1290 Carvalho SM; Belzunces LP; Carvalho GA et al (2013) Enzymatic biomarkers as tools to
1291 assess environmental quality: A case study of exposure of the honeybee *Apis mellifera* to
1292 insecticides. *Environmental Toxicology and Chemistry* 32: 2117-2124.
1293 <https://doi.org/10.1002/etc.2288>.
- 1294 Castelli L, Balbuena S, Branchiccela B et al (2021) Impact of Chronic Exposure to Sublethal
1295 Doses of Glyphosate on Honey Bee Immunity, Gut Microbiota and Infection by Pathogens.
1296 *Microorganisms* 9:845. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040845>.
- 1297 Chakrabarti P; Rana S; Sarkar S et al (2015) Pesticide-induced oxidative stress in laboratory
1298 and field populations of native honey bees along intensive agricultural landscapes in two
1299 Eastern Indian states. *Apidologie* 46:107-129. <https://doi.org/10.1007/s13592-014-0308-z>.
- 1300 Cogo AJD, Siqueira AF, Ramos AC et al (2009) Utilização de enzimas do estresse oxidativo
1301 como biomarcadoras de impactos ambientais. *Natureza on line* 7: 37-42.
- 1302 De Souza APF, Rodrigues NR, Reyes FGR (2021) Glyphosate and aminomethylphosphonic
1303 acid (AMPA) residues in Brazilian honey. *Food Additives & Contaminants: Part B*
1304 *Surveillance* 14:40-47. <https://doi.org/10.1080/19393210.2020.1855676>.
- 1305 Dorigo AS, Rosa-Fontana AdS, Soares-Lima HM, et al (2019) In vitro larval rearing
1306 protocol for the stingless bee species *Melipona scutellaris* for toxicological studies. *PLOS*
1307 *ONE* 14:1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213109>.
- 1308 Dorneles AL, Rosa AS, Blochtein B (2017) Toxicity of organophosphorus pesticides to the
1309 stingless bees *Scaptotrigona bipunctata* and *Tetragonisca fiebrigi*. *Apidologie* 48: 612-
1310 <https://doi.org/10.1007/s13592-017-0502-xf>.
- 1311 Farder-Gomes CF, Fernandes KM, Bernardes RC et al (2021) Harmful effects of fipronil
1312 exposure on the behavior and brain of the stingless bee *Partamona helleri Friese*
1313 (Hymenoptera: Meliponini). *Science of the Total Environment* 794:148678. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148678>.
- 1315 Freitas FCP, Lourenço AP, Nunes FMF et al (2020) The nuclear and mitochondrial genomes
1316 of *Frieseomelitta varia* – a highly eusocial stingless bee (Meliponini) with a permanently
1317 sterile worker caste. *BMC Genomics* 21:386. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06784-8>.
- 1318 Gomes IN, Gontijo LM, Lima MAP et al (2023) The survival and flight capacity of
1319 commercial honeybees and endangered stingless bees are impaired by common
1320 agrochemicals. *Ecotoxicology* 32: 937–947. <https://doi.org/10.1007/s10646-023-02699-8>.

- 1321 Gong Y, Diao Q (2017) Current knowledge of detoxification mechanisms of xenobiotic in
1322 honey bees. *Ecotoxicology* 26:1-12. [https://doi: 10.1007/s10646-016-1742-7](https://doi.org/10.1007/s10646-016-1742-7).
- 1323 Kanissery R, Gairhe B, Kadyampakeni D, et al (2019) Glyphosate: Its Environmental
1324 Persistence and Impact on Crop Health and Nutrition. *Plants Basel* 8:499. [https://doi:](https://doi.org/10.3390/plants8110499)
1325 [10.3390/plants8110499](https://doi.org/10.3390/plants8110499).
- 1326 Kodrík D, Bednářová A, Zemanová M, et al (2015) Hormonal Regulation of Response to
1327 Oxidative Stress in Insects-An Update. *International Journal of Molecular Sciences*
1328 16:25788-25816. [https://doi: 10.3390/ijms161025788](https://doi.org/10.3390/ijms161025788).
- 1329 Knie JLW, Lopes EWB. *Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações*.
1330 Florianópolis: FATMA / GTZ, 2004.
- 1331 Lourencetti APS, Azevedo P, Miotelo L, et al (2023) Surrogate species in pesticide risk
1332 assessments: Toxicological data of three stingless bees species. *Environmental Pollution*
1333 318:120842. [https://doi: 10.1016/j.envpol.2022.120842](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120842).
- 1334 Mashilingi SK, Zhang H, Garibaldi LA et al (2022) Honeybees are far too insufficient to
1335 supply optimum pollination services in agricultural systems worldwide. *Agriculture,*
1336 *Ecosystems & Environment* 335: 108003. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108003>.
- 1337 Medrzycki P, Giffard H, Aupinel P (2013) Standard methods for toxicology research in *Apis*
1338 *mellifera*. *Journal of Apicultural Research* 52: 1-60, [https://doi:10.3896/IBRA.1.52.4.14](https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.4.14).
- 1339 Miñarro M, García D, Rosa-García R (2023) Pollination of exotic fruit crops depends more
1340 on extant pollinators and landscape structure than on local management of domestic bees.
1341 *Agriculture, Ecosystems & Environment* 347:108387
1342 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108387>.
- 1343 Motta JVO, Carneiro LS, Martínez LC et al (2023) Midgut Cell Damage and Oxidative
1344 Stress in *Partamona helleri* (Hymenoptera: Apidae) Workers Caused by the Insecticide
1345 Lambda-Cyhalothrin. *Antioxidants (Basel)*. 12:1510. [https://doi: 10.3390/antiox12081510](https://doi.org/10.3390/antiox12081510).
- 1346 Moural TW, Koirala BK, Bhattarai G (2023) Contribution of the delta-class glutathione S-
1347 transferase to agrochemical adaptation in *Apis mellifera*. *bioRxiv* 549922: 1-26.
1348 <https://doi.org/10.1101/2023.07.20.549922>.
- 1349 Nikolić TV; Purać J, Orčić S et al (2015) Environmental effects on superoxide dismutase
1350 and catalase activity and expression in honey bee. *Insect Biochemistry and Physiology*
1351 90:181-194. [https://10.1002/arch.21253](https://doi.org/10.1002/arch.21253).
- 1352 Nogueira DS. (2023) Overview of Stingless Bees in Brazil (Hymenoptera: Apidae:
1353 Meliponini). *EntomoBrasilis* 16:1-13. <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v16.e1041>.
- 1354 OECD, Guidelines for the testing of chemicals, section 2, effects on biotic systems.
1355 Honeybees, Acute Oral Toxicity Test, n.213, sep. 1998.
- 1356 OECD, Guidelines for the testing of chemicals, section 2, effects on biotic systems. Honey
1357 bee (*Apis mellifera*) larval toxicity test, single exposure, n.237, jul. 2013.

- 1358 OECD, Guidelines for the testing of chemicals, section 2, effects on biotic systems. Honey
1359 Bee (*Apis mellifera L.*), Chronic Oral Toxicity Test (10-Day Feeding), n.237, oct. 2017.
- 1360 Padilha AC, Piovesan B., Morais MC (2018) *Plebeia emerina* (Friese) (Hymenoptera:
1361 Apidae), como outras abelhas sem ferrão, é um importante polinizador de plantas nativas e
1362 cultivadas no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 27.;
1363 CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ENTOMOLOGIA, 10., 2018, Gramado, RS.
1364 Saúde, ambiente e agricultura: Anais. Santo Antônio de Goiás: SEB: UFSM, 2018. v. 2.
1365 resumo. p. 1295.
- 1366 Pal E, Almasri H, Paris L. et al (2022) Toxicity of the Pesticides Imidacloprid,
1367 Difenconazole and Glyphosate Alone and in Binary and Ternary Mixtures to Winter Honey
1368 Bees: Effects on Survival and Antioxidative Defenses. *Toxics* 10:104. [https:// doi:
1369 10.3390/toxics10030104](https://doi.org/10.3390/toxics10030104).
- 1370 Pigeolet E, Corbisier P, Houbion A et al (1990) Glutathione peroxidase, superoxide
1371 dismutase, and catalase inactivation by peroxides and oxygen derived free radicals.
1372 *Mechanisms of Ageing and Development* 51: 283-297. [https://doi.org/10.1016/0047-
1373 6374\(90\)90078-T](https://doi.org/10.1016/0047-6374(90)90078-T).
- 1374 Piovesan B, Padilha AC, Morais MC et al (2020) Effects of insecticides used in strawberries
1375 on stingless bees *Melipona quadrifasciata* and *Tetragonisca fiebrigi* (Hymenoptera:
1376 Apidae). *Environmental Science and Pollution Research* 27: 42472–42480
1377 <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10191-7>.
- 1378 Pires CSS, Torezani KRS (2018) Seleção de espécies de abelhas nativas para avaliação de
1379 risco de agrotóxicos, Brasília: IBAMA.
- 1380 Pons, DG, Herrera, C, Torrens-Mas M et al (2023) Sublethal doses of glyphosate modulates
1381 mitochondria and oxidative stress in honeybees by direct feeding. *Archives of Insect.
1382 Biochemistry and Physiology* 114:1-14. <https://doi.org/10.1002/arch.22028Pr>.
- 1383 Prezenská M, Sobeková, Sabová L (2019) Antioxidant enzymes of honeybee larvae exposed
1384 to oxamyl. *Folia Veterinaria* 63: 9-14. [https:// doi: 10.2478/fv-2019-0032](https://doi.org/10.2478/fv-2019-0032).
- 1385 Ribas JLC. *Toxicologia*. Curitiba, Editora Contentus, 2020, p.66-76.
- 1386 Rodrigues LB, Costa GG, Thá EL et al (2019) Impact of the glyphosate-based commercial
1387 herbicide, its components and its metabolite AMPA on non-target aquatic organisms.
1388 *Mutation Research/Genetic. Toxicology and Environmental Mutagenesis* 842: 94-101,
1389 <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2019.05.002>.
- 1390 Sihag RC (2023) Two native andrenid bee pollinators face severe population declines in the
1391 semi-arid environments of Northwest India. *EUREKA: Life Sciences* 5: 25-34.
1392 <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2023.003032>.
- 1393 Sisinnio CLS, Oliveira-Filho EC. *Princípios de Toxicologia Ambiental*. Rio de Janeiro,
1394 Editora Interciência, 2013, p.90.
- 1395 Soares HM, Jacob CR, Carvalho SM et al (2015) Toxicity of Imidacloprid to the Stingless
1396 Bee *Scaptotrigona postica* Latreille, 1807 (Hymenoptera: Apidae). *Bulletin of*

- 1397 Environmental Contamination and Toxicology 94: 675-680. [https://doi: 10.1007/s00128-](https://doi.org/10.1007/s00128-015-1488-6)
1398 015-1488-6.
- 1399 Staroň M; Sabo R; Sobeková A et al (2017) Formetanate toxicity and changes in antioxidant
1400 enzyme system of *Apis mellifera* larvae. Environmental Science and Pollution Research
1401 24:14060–14070. [https: doi:10.1007/s11356-017-8966-9](https://doi.org/10.1007/s11356-017-8966-9).
- 1402 Stella AA, Montagem e anotação do genoma de *Scaptotrigona postica*, uma importante
1403 abelha nativa sem ferrão [Dissertação de Mestrado] USP / Escola Superior de Agricultura
1404 Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2023.
- 1405 Stevenson JH (1978) The acute toxicity of unformulated pesticides to worker honey bees
1406 (*Apis mellifera* L.). Plant Pathology 27: 38-40. doi:10.1111/j.1365- 3059. 1978.tb01070.x.
- 1407 Tang QH, Li WL, Wang JP et al (2023) Effects of spinetoram and glyphosate on
1408 physiological biomarkers and gut microbes in *Bombus terrestris*. Frontiers in Physiology
1409 13:1-10. [https://doi: 10.3389/fphys.2022.1054742](https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1054742).
- 1410 Tavares D, Grela T, Dorigo A. et al (2023) Imidacloprid, Glyphosate and Pyraclostrobin
1411 Alone or in a Mixture Induce Differential Toxicity and Modulation of Biomarkers in Honey
1412 Bees and Stingless Bees. SSRN 1:1-28. <http://doi.org/10.2139/ssrn.4522803>.
- 1413 Thompson LJ, Smith S, Stout JC et al (2022) Bumblebees can be Exposed to the Herbicide
1414 Glyphosate when Foraging. Environmental Toxicology and Chemistry 41: 2603-2612.
1415 [https:// doi: 10.1002/etc.5442](https://doi.org/10.1002/etc.5442).
- 1416 Torresani M, Kleijn D, De Vries JPR et al (2023) A novel approach for surveying flowers
1417 as a proxy for bee pollinators using drone images. Ecological Indicators 149:110123.
1418 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110123>.
- 1419 Vázquez DE, Latorre-Estivalis JM, Ons S et al (2020) Chronic exposure to glyphosate
1420 induces transcriptional changes in honey bee larva: A toxicogenomic study. Environmental
1421 Pollution 261:114148. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114148>.
- 1422 Wesonga ZM, Bargul JL, Paredes JC et al (2023) Impact of acute oral exposure to paraquat
1423 and glyphosate on food consumption and survival rates of the African honeybee *Apis*
1424 *mellifera scutellata* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae). International Journal of Tropical
1425 Insect Science 43:1513–1521. <https://doi.org/10.1007/s42690-023-01064-w>.
- 1426 Weirich GF, Collins AM, Williams VP (2002). Antioxidant enzymes in the honey bee, *Apis*
1427 *mellifera*. Apidologie 33:3-14. [https://doi: 10.1051/apido:2001001](https://doi.org/10.1051/apido:2001001).
- 1428 Weydert C, Cullen J (2010) Measurement of superoxide dismutase, catalase and glutathione
1429 peroxidase in cultured cells and tissue. Nature Protocols 5:51-66. [https://doi:](https://doi.org/10.1038/nprot.2009.197)
1430 10.1038/nprot.2009.197.
- 1431
- 1432
- 1433

1434 5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

1435 A análise de risco do glifosato para abelhas nativas *S. postica* conduzida
1436 neste experimento, evidencia uma alta sensibilidade desses polinizadores ao
1437 herbicida. Destaca-se que este é o primeiro estudo a relatar dados sobre a
1438 concentração letal mediana para essa espécie. O estudo demonstra também que
1439 *A. mellifera* não representa o único modelo para as avaliações de toxicidade
1440 exigidas para a autorização do uso de agrotóxicos

1441 Além disso, os dados aqui apresentados evidenciam que é necessário
1442 aprofundar o conhecimento dos sistemas metabólicos que desempenham papéis
1443 nos processos de desintoxicação de agrotóxicos nesses insetos. Esse
1444 aprimoramento contribuirá não apenas para uma avaliação mais abrangente dos
1445 riscos associados ao uso do glifosato, mas também para o desenvolvimento de
1446 estratégias de conservação desses polinizadores.

1447 Diante dos prejuízos da aplicação de glifosato durante o período de floração,
1448 torna-se importante a implementação de práticas de manejo integrado de pragas
1449 como estratégia para preservar a apifauna. Além disso, a adoção de novas
1450 tecnologias para o controle de ervas daninhas, que minimizem ou eliminem a
1451 necessidade de herbicidas, representa uma abordagem positiva para promover a
1452 coexistência entre agricultura e biodiversidade.

1453

1454

1455

1456

1457

1458

1459

1460

1461

1462

1463 **6. IMPACTO ECONÔMICO, SOCIAL, TECNOLÓGICO E/OU**
1464 **INOVAÇÃO**

1465 A análise de risco ecológico de agrotóxicos sobre abelhas nativas fornece
1466 *insights* sobre os potenciais prejuízos na produção agrícola associados à
1467 diminuição de polinizadores. Isso não apenas afeta os agricultores em termos de
1468 rendimentos e custos, mas também influencia os preços dos alimentos e a
1469 sustentabilidade da agricultura.

1470 A redução das populações de polinizadores nativos pode prejudicar as
1471 comunidades locais que dependem da agricultura como meio de subsistência.
1472 Agricultores familiares, em particular, podem enfrentar desafios econômicos e
1473 sociais devido à diminuição da produtividade de suas colheitas. Portanto, a análise
1474 de risco ecológico não apenas resguarda a biodiversidade, mas também
1475 desempenha um papel efetivo na manutenção da estabilidade econômica e social
1476 em comunidades agrícolas.

1477

1478

1479

1480

1481

1482

1483

1484

1485

1486

1487

1488

1489

1490

1491



Ministério do Meio Ambiente
CONSELHO DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO

SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO DO PATRIMÔNIO GENÉTICO E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL ASSOCIADO

Comprovante de Cadastro de Acesso

Cadastro nº A978DAB

A atividade de acesso ao Patrimônio Genético, nos termos abaixo resumida, foi cadastrada no SisGen, em atendimento ao previsto na Lei nº 13.123/2015 e seus regulamentos.

Número do cadastro: **A978DAB**
Usuário: **UFMS**
CPF/CNPJ: **15.461.510/0001-33**
Objeto do Acesso: **Patrimônio Genético**
Finalidade do Acesso: **Pesquisa**

Espécie

Scaptotrigona postica

Título da Atividade: **Determinação da Toxicidade aguda (DL50) em abelhas Scaptotrigona postica exposta a agrotóxicos**

Equipe

Alda Izabel de Souza **UFMS**
Mikaelle de Oliveira Castilho **UFMS**

Data do Cadastro: **01/03/2023 10:40:46**
Situação do Cadastro: **Concluído**

Conselho de Gestão do Patrimônio Genético
Situação cadastral conforme consulta ao SisGen em 10:41 de 01/03/2023.



SISTEMA NACIONAL DE GESTÃO
DO PATRIMÔNIO GENÉTICO
E DO CONHECIMENTO TRADICIONAL
ASSOCIADO - **SISGEN**