

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
SIMONE LEMES DA ROSA

**Uma avaliação dos efeitos advindos de inseticidas
organossintéticos sobre abelhas *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) no
Brasil [Revisão da Literatura]**

Florianópolis
2017

SIMONE LEMES DA ROSA

Uma avaliação dos efeitos advindos de inseticidas organossintéticos sobre abelhas *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) no Brasil [Revisão da Literatura]

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Ciências Biológicas - Licenciatura da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção de grau de Licenciatura no Curso de Ciências Biológicas.
Orientador: Professor Daniel Ferreira Holderbaum

Florianópolis

2017

Simone Lemes da Rosa

**Uma avaliação dos efeitos advindos de inseticidas
organossintéticos sobre abelhas *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) no
Brasil [Revisão da Literatura]**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Licenciado em Ciências Biológicas, e aprovado em sua forma final pelo Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 29 de novembro de 2017.

Prof. Carlos Roberto Zanetti, Dr.
Coordenador do Curso

Prof. Daniel Holderbaum, Me.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina.

Arno Blankensteyn, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina.

Marcia Regina Fanta, Me.^a
Universidade Federal de Santa Catarina.

Dedicatória

Com um carinho imenso,

Primeiramente ao Deus de meu coração, por caminhar sempre comigo nos momentos difíceis e felizes de minha vida e fazer com que esse dia acontecesse.

Ao meu pai, Amilcar (*in memoriam*) que sempre ocupará um lugar especial no meu coração e em minhas lembranças.

Agradecimentos

A minha mãe Fátima, por me ensinar os valores da vida e me ajudar a ser o que sou.

Aos meus irmãos, Cristiane, Fernanda e Júnior, por fazerem parte da minha vida e pelos fortes laços de amizade que nos une.

Ao meu amigo Santiago que esteve sempre presente e não me deixou desistir nos momentos difíceis.

Ao professor Daniel à dedicação dispensada e pela disposta manifestação de auxiliar sempre que foi necessário.

A Márcia e professor Arno por prontamente aceitarem meu convite em integrar a banca.

“Se as abelhas desaparecem da face da Terra, a humanidade seguirá o mesmo destino em um período de quatro anos.”

(Albert Einstein)

RESUMO

Os polinizadores são considerados os principais agentes responsáveis pelo funcionamento e equilíbrio dos ecossistemas. Entre eles, as abelhas constituem um dos componentes principais neste processo. No entanto, o uso indiscriminado de agrotóxicos em culturas agrícolas no Brasil e no mundo têm provocado impactos extremamente nocivos sobre a diversidade e quantidade destes insetos. Inúmeros estudos apontam que a diminuição da produtividade em diversas culturas, e o desaparecimento de várias espécies de abelhas, podem estar diretamente relacionados ao uso de inseticidas. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo revisar informações disponíveis na literatura sobre os efeitos (letais e/ou subletais) de inseticidas utilizados em culturas agrícolas no Brasil sobre as abelhas *Apis mellifera*. Esta revisão encontra-se estruturada em três partes. A primeira parte discorre sobre a origem, biologia e organização social de abelhas *A. mellifera*. A segunda parte contextualiza através de uma abordagem histórica a introdução dos agrotóxicos na agricultura mundial, além disso, apresenta aspectos da Legislação Brasileira para o registro e uso de agrotóxicos. Por fim, foram destacados os principais grupos químicos de inseticidas e seus efeitos sobre abelhas *A. mellifera*.

Palavras-chave: *Apis mellifera*, inseticidas, toxicidade, Legislação, Brasil.

ABSTRACT

Insect pollinators are among the most important agents responsible for maintaining equilibrium in major ecosystems. Naturally, the honey bee is the most vital component of this complex, yet necessary process. Nonetheless, indiscriminate use of pesticides and other chemicals in agriculture has caused a severe impact upon biodiversity, affecting all forms of life, including insects. Numerous studies suggest that the ongoing decrease in cultures productivity, and the disappearing of many different species of bees, may be directly associated with insecticides abuse. Therefore, this review seeks to analyze existing literature regarding the effect (whether lethal or sublethal) provoked by insecticides in Brazilian agriculture upon the western honey bee *A. mellifera*. This literature review has been split into three sections. The first section is dedicated to comprehending the origin, biology and social organization of bees. Second half consists of an historical review and introduction of insecticides into the global agricultural scenario. Furthermore, legislative and regulatory aspects of Brazilian perspective on the subject will be highlighted. Finally, main chemical groups of insecticides and their effects on *A. mellifera* will conclude this review.

Keywords: *Apis mellifera*, insecticides, toxicity, legislation, Brazil.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Período de desenvolvimento (dias) de abelhas <i>Apis mellifera</i>	21
Tabela 2. Raças de abelhas <i>Apis mellifera</i> introduzidas no Brasil.....	23
Tabela 3. Vendas de defensivos agrícolas por Classe de 2011 a 2015.....	31
Tabela 4. Classes toxicológicas dos agrotóxicos com base na DL ₅₀	35
Tabela 5. Inseticidas organofosforados.....	37
Tabela 6. Inseticidas piretróides.....	39
Tabela 7. Inseticidas neonicotinóides.....	40
Tabela 8. Principais grupos químicos de inseticidas, nomes comuns, sítios de ação e os principais efeitos causados em abelhas.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Abelha <i>Apis mellifera</i> L.....	20
Figura 2 - Fases do ciclo de desenvolvimento de <i>Apis mellifera</i>	20
Figura 3 - Polinização biótica.....	24

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABRASCO** - Associação Brasileira de Saúde Coletiva
- AChE** - Acetilcolinesterase
- AGROFIT** - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários
- AIA** - *Apiary Inspectors of America*
- ANVISA** - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- APPA** - Avaliação do Potencial de Periculosidade Ambiental
- CCD** - *Colony Collapse Disorder*
- CL₅₀** - Concentração Letal que mata 50% dos indivíduos em estudo
- DCC** - Desordem do Colapso das Colônias
- DDT** - Dicloro-Difenil-Tricloro-Etano
- DL₅₀** - Dose letal que mata 50% dos indivíduos em estudo
- EPPO** - Organização Europeia e do Mediterrâneo para Proteção das Plantas
- FAO** - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- IAs** - Ingredientes Autorizados
- IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MAPA** - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
- MMA** - Ministério do Meio Ambiente
- MS** - Ministério da Saúde
- ng** - nanograma
- ONU** - Organização das Nações Unidas
- OECD** - *Organisation for Economic Co-operation and Development*
- RET** - Registro Especial Temporário
- SINDIVEG** - Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal
- USDA** - *United States Department of Agriculture*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. JUSTIFICATIVA	16
3. OBJETIVOS	17
3.1 OBJETIVO GERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4. METODOLOGIA	18
5. PARTE I – <i>Apis mellifera</i>: Origem, biologia e organização social	19
5.1 A introdução de <i>Apis mellifera</i> no Brasil.....	22
5.2 A polinização e sua importância na produção agrícola brasileira.....	23
5.3 Desordem do Colapso das Colônias (DDC).....	26
6. PARTE II - Histórico dos agrotóxicos no Brasil e no mundo	28
6.1 A Legislação e o registro de Agrotóxicos no Brasil.....	32
6.2 Principais inseticidas em circulação no Brasil e modos de ação.....	36
6.2.1 Organofosforados.....	36
6.2.2 Pirazóis.....	38
6.2.3 Piretróides.....	39
6.2.4 Neonicotinóides.....	40
7. PARTE III - Avaliação da toxicidade e os efeitos dos inseticidas em <i>Apis mellifera</i>	41
7.1 Acefato.....	43
7.2 Metidationa.....	44
7.3 Fipronil.....	45
7.4 Deltametrina.....	46
7.5 Imidacloprido.....	47
7.6 Tiametoxam.....	47
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1. INTRODUÇÃO

Cerca de 75% das 240.000 espécies de plantas fanerógamas existentes no planeta, dependem da polinização (Freitas; Pinheiro, 2010). Os agentes polinizadores constituem um papel crucial na polinização e conseqüentemente na manutenção e funcionamento de muitas culturas agrícolas, bem como na conservação da biodiversidade vegetal (Moritz et al., 2010).

Uma pesquisa realizada por Klein et al. (2007) em 200 países concluiu que a produção de frutas, vegetais e sementes das 86 culturas mais importantes no cenário mundial, dependem da polinização por animais, enquanto 28 não dependem diretamente de polinizadores. Dentre os vários agentes polinizadores, os insetos apresentam maior eficiência tanto pelo seu número na natureza quanto por sua melhor adaptação.

Abelhas alimentam-se quase que exclusivamente de pólen e néctar, para isso precisam visitar um grande número de flores para satisfazer suas necessidades individuais, das crias e da colônia (Corbet et al., 1991). Responsáveis por 73% das espécies agrícolas no mundo, as abelhas são consideradas os principais agentes polinizadores. As moscas representam 19%, os morcegos 6,5%, as vespas 5%, os besouros 5%, os pássaros 4% e as borboletas e mariposas 4% (FAO, 2004).

Além disso, as abelhas podem influenciar cultivos agrícolas em aspectos qualitativos, como por exemplo: na qualidade dos frutos, na uniformidade das plantas, no encurtamento do ciclo de culturas e na quantidade de substâncias nas sementes. De acordo com De Jong (2000), elas têm influência direta sobre a escala produtiva, podendo elevar a produção em até 500%, dependendo das condições de cultivo, da espécie e variedade da cultura.

A diversidade biológica das abelhas é muito ampla. Atualmente, são conhecidas cerca de 20.000 espécies no mundo. Seus hábitos são solitários, sendo que aproximadamente 1.000 espécies são sociais (Catalogue of life, 2010). Contudo,

nos últimos anos, a diversidade destas espécies encontra-se ameaçada. Inúmeros casos de desaparecimento associados às altas taxas de mortalidade nos agroecossistemas mundiais têm sido observados em diversos países. Este fenômeno ficou conhecido como “Desaparecimento das Abelhas” ou “Síndrome do Colapso das Abelhas” do inglês *Colony Collapse Disorder* (Pires et al., 2016).

Este assunto tem gerado preocupações das autoridades e pesquisadores do mundo inteiro. Sobretudo, porque a perda destes polinizadores ocasionaria prejuízos imensuráveis para a agricultura mundial e colocaria em risco não apenas a segurança alimentar, mas também comprometeria o funcionamento e equilíbrio de múltiplos ecossistemas.

Há vários fatores que podem estar associados ao declínio destes polinizadores em áreas agrícolas. O desenfreado uso de pesticidas é apontado como um dos principais causadores desse desequilíbrio (Pires et al., 2016). Atualmente, o Brasil é o maior consumidor de agrotóxicos do mundo (Carvalho et al., 2017). De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal (Sindiveg), em 2014, foram comercializadas mais de 914 mil toneladas de agrotóxicos no país. Do total, cerca de 30% são inseticidas e, desses, aproximadamente 40% são considerados tóxicos para as abelhas (Freitas e Pinheiro, 2010).

O desaparecimento das abelhas é um fenômeno global. Para autores como Malaspina e Souza (2008) a crescente mortalidade das abelhas estaria relacionada ao uso excessivo de pesticidas na agricultura. Muito embora, o uso de agrotóxicos não seja direcionado a determinadas espécies polinizadoras, estas acabam sendo afetadas diretamente pelos seus efeitos nocivos.

Nesta revisão, serão abordados aspectos históricos do uso de agrotóxicos no mundo com a intenção de contextualizar esta problemática. Além disto, será realizada uma compilação de estudos contemplando os impactos ocasionados por inseticidas em abelhas da espécie *Apis mellifera* no Brasil.

2. JUSTIFICATIVA

O uso de agrotóxicos configura-se nos últimos anos como uma polêmica urgente no meio social e científico. Especialmente, no que diz respeito às implicações advindas dessa tecnologia que até então não apresenta um consenso científico sobre as consequências ao meio ambiente e a saúde humana.

O Brasil é o maior consumidor de agrotóxicos do mundo. Devido à expansão do agronegócio, o uso tem se tornado cada vez mais intensificado. A justificativa da dependência destes produtos químicos na agricultura para combate e controle plantas daninhas, fungos e insetos-praga está em assegurar a produtividade.

Associado a isto, o uso de agrotóxicos, em particular os inseticidas podem estar relacionados ao crescente desaparecimento de abelhas nos últimos anos. Motivo que tem se tornado grande preocupação em todo o mundo, tendo em vista a importância destes insetos na manutenção da biodiversidade. Especificamente da espécie *A. mellifera* que além de fornecer produtos como mel, cera, própolis e geleia real, explorados comercialmente pelo homem, são considerados polinizadores economicamente valiosos para a agricultura mundial.

Todavia, estudos na literatura científica brasileira visando compreender os seus impactos sobre esses agentes polinizadores são escassos. Diante disso, pesquisas que auxiliem no esclarecimento e na ampliação do conhecimento sobre a ação dos inseticidas sobre as abelhas, a fim de minimizar a sua exposição bem como seus efeitos letais e subletais, fazem-se necessárias. Sendo assim, a presente revisão avalia os efeitos de inseticidas sobre as abelhas *A. mellifera*.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

.

Investigar a repercussão decorrente do uso dos principais inseticidas comercializados no Brasil em abelhas da espécie *Apis mellifera*.

3.2 Objetivos Específicos:

- Estimar o valor econômico da polinização por abelhas para a agricultura do país;
- Contextualizar historicamente o uso de agrotóxicos no Brasil e no mundo;
- Identificar os protocolos de toxicidade dos agrotóxicos para abelhas;
- Apresentar os efeitos letais e subletais dos inseticidas organossintéticos (organofosforados, pirazóis, piretróides e neonicotinóides) sobre as abelhas da espécie *Apis mellifera*.

4. METODOLOGIA

Nesta revisão bibliográfica foram utilizadas as seguintes plataformas científicas online: Scielo Brasil <http://www.scielo.org/php/index.php> e Google Acadêmico <http://scholar.google.com.br/>. A literatura consultada limita-se a publicações na língua portuguesa e inglesa. Os descritores e palavras-chave que delinearão os filtros de pesquisa foram: *Apis mellifera*, inseticidas, toxicidade, legislação e Brasil.

Os resultados obtidos a partir dos descritores mencionados trouxeram aproximadamente 120 publicações, dentre as quais 26 foram selecionadas para compor as referências científicas deste trabalho. Os artigos selecionados contemplam aspectos relativos ao uso dos principais grupos químicos de inseticidas comercializados no Brasil e apresentam conclusões relevantes quanto aos efeitos sobre *A. mellifera*. Os dados relativos aos bioensaios aqui apresentados correspondem a testes agudos e testes crônicos de abelhas operárias adultas. Estas publicações são compostas predominantemente por análises de caráter investigativo e revisões sistemáticas da literatura.

O período de extração de dados foi finalizado em outubro de 2017. No entanto, o ano das publicações escolhidas não foi restringido.

5. PARTE I - *Apis mellifera*: Origem, biologia e organização social

A ordem Hymenoptera é a terceira maior em número de espécies da classe Insecta, da qual fazem parte formigas, vespas e abelhas. Por abrigar o maior número de polinizadores, é considerada a classe mais importante em termos de conservação de espécies vegetais e animais (Nogueira, 1997). Acredita-se que a origem das abelhas descende de um grupo de vespas predadoras, que aos poucos abandonaram hábitos alimentares carnívoros e passaram a consumir néctar e pólen para alimentar suas crias (Winston, 2003). Pressupõe-se que as vespas já existiam há pelo menos 135 milhões de anos. Entretanto, o fóssil mais antigo conhecido do gênero *Apis* data 12 milhões de anos e trata-se da espécie *Apis armbruster* (Pereira et al., 2003). Segundo estudos, a abelha *A. mellifera* (Figura 1) provavelmente surgiu na África, tendo posteriormente migrado para a Ásia e Europa (Wiese, 2005), diferenciando-se em novas espécies.

A. mellifera é uma das espécies mais utilizadas para polinização em plantas cultivadas, devido ao fácil manejo, ao tamanho das colônias e seu perfil generalista na busca de recursos. Estes agentes polinizadores universais possuem grande valor econômico, o qual pode ser facilmente evidenciado em bens de consumo, tais como: mel, geléia real, pólen, própolis e cera (Pires et al., 2016).

As raças de *A. mellifera* existentes hoje possuem ampla distribuição geográfica devido à alta capacidade de adaptação. Para Gramacho e Gonçalves (2002), este fenômeno é resultado das interações dos genes com o ambiente, as quais se refletem na morfologia, fisiologia e comportamento, possibilitando a adaptação com as plantas e seu sucesso evolutivo.

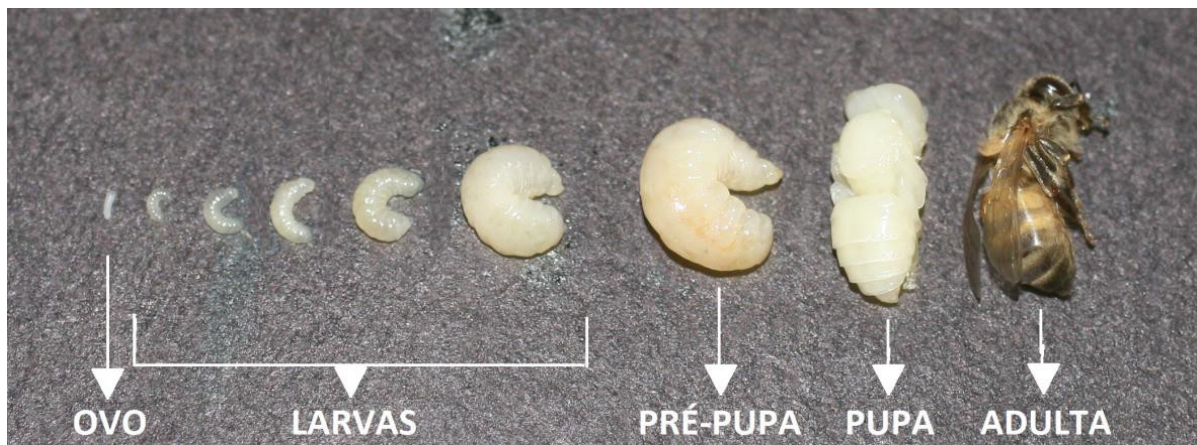
Figura 1- Abelha *A. mellifera* L.



Fonte: Associação Brasileira de Estudos das Abelhas¹

As abelhas *A. mellifera* pertencem ao filo Arthropoda, à Ordem Hymenoptera, família Apidae. Seu ciclo de vida é composto por quatro etapas, são elas: ovo, larva, pupa e adulto.

Figura 2 - Fases do ciclo de desenvolvimento de *Apis mellifera*



Fonte: Cardozo (2014)

Após a fecundação, a rainha inicia a postura dos ovos nos alvéolos. O nascimento da larva ocorre normalmente em três dias após este processo. A larva apresenta cor branca, formato vermiforme e encontra-se posicionada no fundo do

¹ Disponível em: <http://abelha.cria.org.br/index>

alvéolo. Durante a fase larval ocorrem cinco estágios de crescimento com troca de cutícula (pele) em cada um deles (figura 2). Ao final da fase larval, 5 a 6 dias (pré-pupa) a larva posiciona-se com a cabeça para cima, tece um casulo interno e inicia o processo de metamorfose. No estágio de pupa é possível observar a cabeça, o tórax, abdome, olhos, pernas, asas, antenas e aparelho bucal. Em seguida, os olhos e o corpo passam por mudanças na coloração até emergir um indivíduo completamente formado (Pereira, 2003). A duração de cada fase é diferente para rainhas, operárias e zangões (Tabela 1).

Tabela 1. Período de desenvolvimento (em dias) de abelhas

Período de Desenvolvimento (dias)				
Casta	Ovo	Larva	Pupa	Total
Rainha	3	5	7	15
Operária	3	5	12	20
Zangão	3	6,5	14,5	24

Fonte: Embrapa (2003)

Abelhas melíferas são insetos sociais e vivem em uma relação hierárquica. Os indivíduos organizam-se em funções específicas visando a sobrevivência e manutenção dessa sociedade. Em uma colmeia, em condições normais, existem aproximadamente 60 mil abelhas. Constituída por uma única rainha, centenas de zangões, e milhares de operárias (Seeley, 1982). A abelha rainha é responsável pela postura dos ovos após a cópula com o zangão durante o voo nupcial. Após atingir a idade adulta, o zangão copula com a abelha rainha, garantindo a sua perpetuação. Em seguida ele morre, pois perde parte do seu aparelho reprodutor e abdome (Ramos e Carvalho 2007).

Abelhas operárias são responsáveis por todo o trabalho realizado na colmeia. As atividades são divididas de acordo com sua idade fisiológica. Do 1º ao 5º dia realizam limpeza dos alvéolos e de abelhas recém-nascidas. Do 5º ao 10º dia são chamadas abelhas nutrizas porque cuidam da alimentação das larvas em

desenvolvimento. Do 11º ao 20º dia, produzem cera para construção de favos e recebem o néctar trazido pelas campeiras, desidratando-o para elaboração do mel. Entre o 18º e 21º dia, realizam a defesa da colmeia. Nessa fase, as operárias apresentam os órgãos de defesa bem desenvolvidos, com uma quantidade grande de veneno. A partir do 22º dia, até sua morte, são consideradas campeiras e realizam a coleta de néctar, pólen, resinas e água. (Pereira, 2003).

5.1 A introdução de *Apis mellifera* no Brasil

As primeiras *A. mellifera* foram trazidas para o Brasil no século XIX, com a imigração europeia. Em 1839 o Padre Antônio Carneiro trouxe para o Rio de Janeiro as abelhas europeias da subespécie *A. mellifera mellifera* para a produção comercial de mel (Bovi, 2013). No ano de 1879, as abelhas *A. mellifera ligustica* foram introduzidas no Estado do Rio Grande do Sul pelos imigrantes alemães.

A chegada das subespécies de *A. mellifera* não foi capaz de impulsionar a produção de mel como esperado, uma vez que as abelhas provenientes de climas temperados não se adaptaram ao clima tropical brasileiro. O desenvolvimento e o avanço na produção de mel ocorreu em 1956, com a introdução da abelha *A. mellifera scutellata* (abelha africana).

Em 1956, a subespécie *A. mellifera scutellata* foi introduzida no Brasil, pelo biólogo Warwick Estevam Kerr. Após uma expedição à África, o pesquisador, com apoio do governo, trouxe exemplares da espécie para desenvolver pesquisas com o objetivo de obter abelhas com a característica mansa das abelhas europeias e a produtividade das abelhas africanas (Stort e Gonçalves 1979). Além disso, estas deveriam ser capazes de adaptar-se às condições climáticas do Brasil.

Estas abelhas apresentavam uma alta defensividade, característica natural da subespécie e logo após sua chegada, um acidente resultou na fuga de 26 rainhas e suas colônias do laboratório, culminando no cruzamento de abelhas híbridas europeias, dando origem à subespécie africanizada (Da Silva, 2004).

Novas técnicas de manejo precisavam ser desenvolvidas, uma vez que essas abelhas apresentavam alta defensividade. Em contrapartida, a subespécie foi responsável pelo desenvolvimento e aumento da produtividade na apicultura brasileira.

Tabela 2: Raças de abelhas *A. mellifera* introduzidas no Brasil

Raça	Distribuição
<i>Apis mellifera mellifera</i>	Norte da Europa, Alemanha
<i>Apis mellifera ligustica</i>	Itália
<i>Apis mellifera carnica</i>	Sudeste da Áustria, Nordeste da Iugoslávia
<i>Apis mellifera caucasica</i>	Vale do Cáucaso, na Rússia
<i>Apis mellifera scutellata</i>	Leste da África

Adaptado de: Embrapa, 2002.

5.2 A polinização e sua importância na produção agrícola brasileira

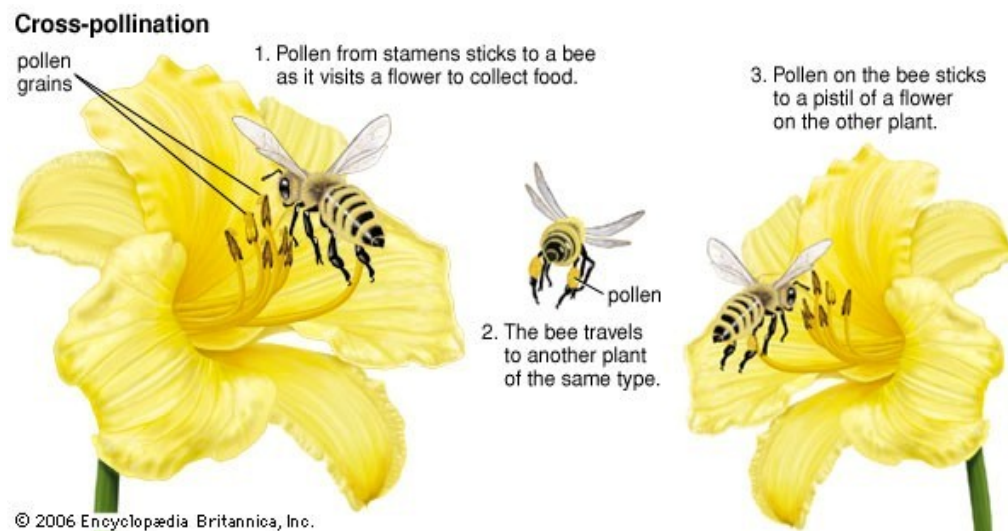
O sucesso evolutivo entre plantas angiospermas e abelhas deu-se em virtude da relação simbiótica existente entre elas há milhões de anos. Desde então essa relação entre plantas e abelhas está intimamente ligada. As plantas garantem sua propagação e variabilidade genética através da polinização cruzada realizada pelas abelhas, que por sua vez são beneficiadas com os recursos fornecidos pelo pólen e néctar das flores, assegurando a sobrevivência mútua de ambas. Certas plantas possuem uma relação intrínseca com as abelhas, sendo capazes de desenvolver mecanismos morfológicos e fisiológicos diferenciados, tais como: cores fortes, perfumes e substâncias adocicadas (néctar), para atrair esses insetos.

A polinização consiste na transferência de grãos de pólen das anteras de uma flor para o estigma da mesma flor ou de outra flor da mesma espécie. Este processo é fundamental para a reprodução sexuada, pois garante a fecundação, a

propagação da espécie e a variabilidade genética vegetal. As síndromes de polinização podem ser classificadas como abiótica e biótica.

A polinização abiótica refere-se à transferência de grãos de pólen para o estigma da flor através do vento e água. A polinização biótica deve-se a presença dos insetos ou outros animais, os quais transportam os grãos de pólen para o estigma da flor. Os agentes polinizadores podem ser: besouros, moscas, vespas, formigas, abelhas, borboletas, mariposas, pássaros e morcegos (Maia et al., 2010). Das espécies vegetais cultivadas no mundo, cerca de 87%, dependem da polinização biótica. As abelhas representam aproximadamente 73% desta estatística (FAO 2004).

Figura 3 - Polinização biótica



Fonte: Scimplifide²

Os benefícios dessa interação para as plantas podem ser medidos por meio do aumento no número de vagens, frutos vingados, número de grãos por vagem, melhora na qualidade dos produtos, aumento do teor de óleos, uniformidade no amadurecimento dos frutos, entre outros (Freitas, 1997). Resultando no aumento da produtividade.

² Disponível em: <http://www.scimplifide.com/blog/2016/5/20>

De acordo com o último levantamento realizado pelo IBGE em 2015, o Brasil possui em áreas plantadas entre lavouras permanentes e temporárias um total de 76,8 milhões de hectares. Deste total, apenas 967 mil hectares não foram colhidos, em decorrência de fatores econômicos e climáticos. Os valores gerados pela produção agrícola alcançaram os R\$ 265,5 bilhões (IBGE, 2015).

Neste cenário, as abelhas constituem um papel importante na manutenção e sustentabilidade da agricultura. Das 115 principais culturas praticadas pelo homem, 87 dependem de polinizadores, em sua grande maioria dependem das abelhas (Klein et al., 2007). Em termos econômicos, as abelhas da espécie *A. mellifera* possuem maior relevância no contexto agrícola (Klein et al., 2007; Potts et al., 2010).

Mensurando os ganhos econômicos da polinização por *A. mellifera*, os Estados Unidos em 2005 geraram um total de US\$ 14,6 bilhões. No Reino Unido, estimou-se o ganho anual de 400 milhões (Breeze et al., 2011). Neste mesmo ano, segundo Potts et al., (2010) a atividade de polinização gerou aproximadamente 153 bilhões de euros que equivale a 9,5% do valor total da produção agrícola mundial.

Na América do Sul o valor da polinização é estimado em aproximadamente R\$ 37,12 bilhões (Freitas e Imperatriz-Fonseca, 2004,2005). No Brasil, oito culturas (maracujá, maçã, acerola, melão, melancia, pepino e cacau) dependentes da polinização por polinizadores são responsáveis por cerca de R\$ 20,46 bilhões em exportações (Freitas e Imperatriz-Fonseca, 2004,2005).

Em 2015, as culturas de soja e milho representaram um total de 46,5% e 40,7% respectivamente na produção agrícola brasileira (IBGE, 2015). Estas culturas, apesar de não dependerem obrigatoriamente da polinização, quando polinizadas por abelhas, podem apresentar aumentos consideráveis na produtividade. Como mostram os estudos a seguir.

Pesquisas apontam que em culturas de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) o número de vagens pode aumentar em aproximadamente 58%, o número de sementes em 82% e em 95.5% para a viabilidade das sementes quando há polinização por *A. mellifera* (Moreti et al., 1998; Ribeiro e Couto, 2002; Favero e Couto, 2000). Corroborando com a pesquisa supracitada, Chiari et al., (2005) a

partir de seus estudos, constataram que polinização por abelhas em cultura de soja (*Glycine max* L. Merrill), aumentaram a produção de sementes e o número de vagens em 50,64% e 61,38%, respectivamente, quando comparados ao tratamento sem a presença das abelhas melíferas.

Outras culturas que dependem diretamente desses polinizadores, apresentam dados ainda mais relevantes. Trindade et al., (2004) demonstraram em sua pesquisa a importância da presença de abelhas *A. mellifera* no processo de polinização na cultura do meloeiro, sendo que na ausência destas praticamente não houve produção. Malerbo-Souza et al., (2003) observaram uma alta atratividade das abelhas melíferas pela flor de laranjeira (*Citrus* spp.). A pesquisa revela que a polinização realizada por elas influenciou na quantidade e qualidade dos frutos, com laranjas mais pesadas, menos ácidas e com maior quantidade de sementes por gomos. No mesmo estudo a polinização por *A. mellifera* em cultura de café (*Coffea arabica* L., var. Novo Mundo) promoveu um aumento na quantidade produzida de grãos.

No Brasil, as abelhas africanizadas desenvolvem um papel essencial em diversas culturas agrícolas, sendo utilizadas em larga escala em culturas economicamente importantes, como exemplo: Maçã (*Mallus comunis*), no Estado de Santa Catarina; laranja (*Citrus* spp.) no Estado de São Paulo e melão (*Cucumis melo*) nos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte.

Neste contexto, a atividade de polinização realizada por abelhas em culturas comerciais, resulta em valores significativos para a economia global. Para alguns autores como Potts et al., (2010) a polinização realizada por estes insetos configura-se em um importante insumo agrícola. Apesar disso, estudos que visam quantificar o serviço de polinizadores, principalmente de abelhas em valores econômicos ainda são escassos no país.

5.3 Desordem do Colapso das Colônias (DDC)

A Desordem do Colapso das Colônias (DCC) ou do inglês *Colony Collapse Disorder* (CCD) ficou conhecida mundialmente em 2006, após o desaparecimento

repentino e aparentemente sem causa específica da população adulta de *A. mellifera* nos campos de amendoeiras no Estado da Califórnia nos EUA.

A síndrome DCC é identificada quando as abelhas operárias campeiras, ao efetuarem a coleta de néctar e pólen, não retornam às colmeias (Nocelli et al., 2010). De acordo com relatos de apicultores, as colmeias aparentemente saudáveis, perdiam suas abelhas adultas em um período relativamente curto (Pires et al., 2016). No ano de 2007, a *Apiary Inspectors of America* (AIA) afirmou que os apicultores americanos teriam perdido aproximadamente 30% (750 mil colmeias) de *Apis mellifera* em 2006. Estima-se que 13% (325 mil colônias) foram atribuídas à DCC (Pires et al., 2016). Em alguns casos os apicultores chegaram a perder de 80 a 100% de suas colônias (Oldroyd, 2007).

Em 2006 o *United States Department of Agriculture* (USDA), realizou um levantamento na tentativa de descobrir a razão desta alta taxa de mortalidade, contudo as causas não foram identificadas (Pires et al., 2016). Para a USDA (2010), essa síndrome não pode ser atribuída a apenas um fator, mas sim a interação de diferentes fatores que agem individualmente e/ou combinados. Estes fatores incluem causas internas como: problemas nutricionais, presença de parasitas e causas externas como: predação, condições climáticas desfavoráveis e o uso de inseticidas que somados desencadeiam um processo que culmina com o enfraquecimento da colônia e morte da mesma (Oldroyd, 2007).

A DCC foi identificada em diversos países, tais como: EUA, Alemanha, Suíça, Portugal. No Brasil já foram registrados vários casos de desaparecimento de abelhas, embora ainda com baixa frequência. A exemplo disso, nos anos de 2008 e 2010, foi registrada a perda de cerca de 5 mil colmeias de abelhas africanizadas na região central do Estado de São Paulo (Malaspina, 2010).

Um dos primeiros casos foi detectado em 2008, em Brotas, na ocasião o apicultor perdeu mais de 200 colônias de abelhas africanizadas após uma pulverização aérea com o inseticida tiametoxam em uma cultura de laranja. Em 2011 novos casos foram registrados em Altinópolis-SP, no Rio Grande do Sul, e em Santa Catarina (Gonçalves, 2012).

Embora a DCC não tenha sido totalmente esclarecida, pesquisas apontam as possíveis causas até o momento como sendo: o ácaro *Varroa destructor*, o microsporídio *Nosema ceranae*, estresse causado pelo transporte a longas distâncias, ausência de pólen, ampla relação de vírus (APV-Akute paralysis, IAPV-Israeli akute paralysis virus, DWVDeform wing virus, etc) e o uso de pesticidas (Gonçalves, 2012).

Apesar de ainda não ter sido detectada uma causa principal para a desordem, muitos pesquisadores apontam o uso de inseticidas (principalmente em monoculturas) altamente tóxicos, como um dos principais causadores do desaparecimento das abelhas.

6. PARTE II - Histórico dos agrotóxicos no Brasil e no mundo

A síntese dos primeiros compostos organo-sintéticos surgiu durante a Segunda Guerra Mundial. Inicialmente, os esforços científicos das principais potências econômicas mundiais estavam concentrados na produção de armas químicas (Moragas e Schneider, 2003). O *Dicloro-Difenil-Tricloro-Etano* (DDT)³ foi o composto químico mais amplamente utilizado como pesticida nessa época e que facilitou a inserção de outros agrotóxicos no mercado mundial (Moragas e Schneider, 2003).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, tanto os conhecimentos adquiridos na indústria bélica, quanto a manipulação de substâncias químicas e estruturas laboratoriais foram destinadas para a agricultura (Moragas e Schneider, 2003).

³ DDT - (Dicloro-Difenil-Tricloro-Etano) Composto químico obtido pela primeira vez em 1874, pelo cientista alemão Othmar Zeidler a partir de substâncias extraídas da hulha (carvão fóssil). Em 1939, o químico suíço Paul Müller descobriu as propriedades inseticidas do DDT. O seu sucesso no controle de insetos vetores da malária, febre amarela e tifo levou Müller a receber o Prêmio Nobel em 1948. Entretanto, a bióloga Rachel Carson (1907-1964) alertou o mundo com a publicação do livro Primavera Silenciosa sobre os perigos do uso do DDT).

A expansão populacional e econômica no período pós-guerra gerou aumento na demanda de alimentos e também de matéria-prima. Logo, houve a necessidade de elevar a produção agrícola ampliando as áreas de cultivo, principalmente nos países dominantes no fornecimento desta classe de produtos (Moragas e Schneider, 2003).

Durante este período houve também o surgimento de um projeto político-ideológico: A Revolução Verde, cujas premissas se baseavam em acabar com a fome no mundo. Para isso, era indispensável a utilização dos componentes do pacote tecnológico da agricultura moderna, como: implementos agrícolas, fertilizantes sintéticos, sementes certificadas e pesticidas. Inicialmente, a tecnologia incentivada pela Revolução Verde resultou em um aumento significativo da produtividade agrícola. O uso de técnicas e produtos gerou dependência entre os agricultores, aumentando significativamente os custos de produção (Moragas e Schneider, 2003).

Por outro lado, o otimismo e o exacerbado uso de agrotóxicos ocasionaram uma série de problemas ambientais. À medida que pesticidas visavam exterminar pragas específicas, os mesmos acabavam afetando indiretamente outros animais. Este acontecimento despertou questionamentos acerca da legitimidade desta nova tecnologia.

O alerta sobre os efeitos adversos da utilização de agrotóxicos ocorreu após a publicação do livro Primavera Silenciosa (*Silent Spring*) em 1962, da bióloga norte-americana Rachel Louise Carson. A obra, considerada um marco para a conscientização ambiental, advertia sobre os perigos para o ecossistema devido à utilização de agrotóxicos, que interferiam nas defesas naturais do ambiente natural. Para Carson, o termo adequado para denominar estes agentes é “biocidas”:

Há muitas [substâncias químicas] que são usadas na guerra da humanidade contra a natureza. Desde meados da década de 1940 mais de duzentos produtos químicos básicos foram criados para serem usados na matança de insetos, ervas daninhas, roedores e outros organismos descritos no linguajar moderno como ‘pestes’, e eles são vendidos sob milhares de nomes de marcas diferentes. Esses sprays, pós e aerossóis são agora aplicados quase universalmente em fazendas, jardins, florestas e residências – produtos químicos não seletivos, com o poder de matar todos os insetos, os ‘bons’ e os ‘maus’, de silenciar o canto dos pássaros e deter

o pulo dos peixes nos rios, de cobrir as folhas com uma película letal e de permanecer no solo – tudo isso mesmo que o alvo em mira possa ser apenas umas poucas ervas daninhas ou insetos. Será que alguém acredita que é possível lançar tal bombardeio de venenos na superfície da Terra sem torná-la imprópria para toda a vida? Eles não deviam ser chamados ‘inseticidas’, e sim de ‘biocidas’ (CARSON, 2010, p. 23-24).

O livro traduzia a preocupação da escritora perante o descaso da sociedade frente à contaminação sistêmica advinda do uso de pesticidas:

“nós permitimos que esses produtos químicos fossem utilizados com pouca ou nenhuma pesquisa prévia sobre seu efeito no solo, na água, animais selvagens e sobre o próprio homem”. (Carson, 2010).

Durante este período, a Organização Mundial da Saúde (OMS) criou um programa para erradicar a malária no mundo, fazendo uso do DDT para exterminar o mosquito transmissor. Esta iniciativa resultou no surgimento de cepas de mosquitos resistentes ao inseticida e ocasionou, também, a intoxicação de diversos agentes sanitários (Lucchesi, 2005).

Os historiadores futuros bem poderão sentir-se admirados em face do nosso distorcido senso das proporções. Como poderiam seres inteligentes procurar controlar umas poucas espécies não desejadas, por meio de um método que pode contaminar todo o meio ambiente, e que corporifica ameaça de enfermidades e morte até mesmo para a sua própria espécie? (Carson, 2010).

A denúncia de Carson baseou-se em uma extensa pesquisa científica que também foi apresentada a diversas audiências, incluindo a comunidade não científica. A intenção da autora era evidente, traspasar noções que denunciasses os perigos do uso indiscriminado de DDT, como elemento prejudicial às plantas, às águas, aos animais e aos seres humanos (Carneiro et al., 2015).

Primavera Silenciosa foi decisiva na proibição do DDT nos EUA e em diversos outros países na década de 70. Além de denunciar os prejuízos ambientais e na saúde humana advindos do uso do DDT, o livro fomentou diversas pesquisas, as quais revelaram que os resíduos clorados persistem ao longo de toda a cadeia alimentar e são comprovadamente tóxicos ao meio ambiente.

No Brasil, o DDT teve sua retirada do mercado em duas etapas: em 1985, quando sua autorização foi cancelada para uso agrícola, e em 1998 ao ser proibido para uso em campanhas de saúde pública. Em 2009, foi banido definitivamente com a Lei 11.936/2009 sendo proibida sua fabricação, importação, exportação, manutenção em estoque, comercialização e uso no país (Carneiro et al., 2015).

Atualmente, cerca de 430 ingredientes ativos (IA's) de pesticidas são autorizados pelo Ministério da Saúde (MS), pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e registrados no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Carneiro et al., 2015). Dentre os principais tipos de agrotóxicos utilizados na agricultura, os mais consumidos são os herbicidas, inseticidas, fungicidas e acaricidas.

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal (SINDIVEG), em 2014 foram comercializadas mais de 914 mil toneladas de agrotóxicos no país. Em 2015, as vendas de pesticidas totalizaram US\$ 9,6 bilhões (Tabela 3). Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), dos cinquenta agrotóxicos mais utilizados nas lavouras de nosso país, 22 são proibidos na União Europeia, pois são cientificamente reconhecidos como danosos à saúde pública e ao meio ambiente (Carneiro et al., 2015).

VENDAS DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS POR CLASSE 2011 - 2015									
CLASSES	VALOR - US\$ MM					VARIÇÃO PERCENTUAL			
	2011	2012	2013	2014	2015	15/11	15/12	15/13	15/14
TOTAL	8.488	9.710	11.454	12.249	9.608	13,20	-1,05	-16,12	-21,56
Inseticidas	2.945	3.607	4.554	4.893	3.171	7,67	-12,09	-30,37	-35,19
Herbicidas	2.743	3.135	3.739	3.903	3.086	12,50	-1,56	-17,46	-20,93
Outros	375	398	450	429	347	-7,47	-12,81	-22,89	-19,11
Acaricidas	110	101	119	117	103	-6,36	1,98	-13,45	-11,97
Fungicidas	2.315	2.469	2.592	2.907	2.901	25,31	17,50	11,92	-0,21

Tabela 3- Vendas de defensivos agrícolas por Classe de 2011 a 2015⁴

⁴ Disponível em: <http://sindiveg.org.br/balanco-2015-setor-de-agroquimicos-confirma-queda-de-vendas/>

Embora o uso de agrotóxicos apresente aspectos positivos em termos de produtividade, é inevitável desconsiderar o viés da contaminação ambiental, uma vez que a utilização desses produtos em sistemas abertos impossibilita qualquer medida efetiva de controle. Nesse aspecto, a legislação apresenta-se como um dos principais instrumentos para controlar a situação. Exemplos claros disto podem ser vistos, como dito anteriormente, na União Europeia.

6.1 A Legislação e o registro de Agrotóxicos no Brasil

A Legislação Brasileira de agrotóxicos foi implantada durante o processo de redemocratização da Constituinte de 1988 e representa um grande avanço no que se refere à preservação da saúde pública e ao meio ambiente. Tal legislação possui uma ampla cobertura legal, sendo considerada uma das mais completas no que diz respeito aos agrotóxicos, seus componentes e afins (Ribeiro, 2005), estando em conformidade com a Constituição Federal a qual estabelece em seu Art. 255, parágrafo 1º, inciso V:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

*§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incube ao Poder Público:
V - Controlar a produção, a comercialização e o emprego de técnicas, métodos e substâncias que comportem risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente”.*

O Art. 1º da Lei Federal nº 7.802-1989 de 11 de julho de 1989 dispõe das atividades abrangidas pela Lei, sendo elas: pesquisa, experimentação, produção, embalagem e rotulagem, transporte, armazenamento, comercialização, propaganda comercial, utilização, importação, exportação, destino final dos resíduos e embalagens, o registro, classificação, controle, inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências (BRASIL, 1989).

O Art. 2º da Lei, define agrotóxicos e afins como:

- a) *Os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos;*
- b) *Substâncias e produtos, empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento (BRASIL, 1989).*

A Lei nº 7.802/89, regulamentada pelo Decreto nº 4.074, de 04/01/2002, estabelece que os agrotóxicos somente possam ser utilizados no país se forem registrados em órgão federal competente, de acordo com as diretrizes e exigências dos órgãos responsáveis pelos setores da saúde, do meio ambiente e da agricultura (IBAMA, 2009). Todavia, para que os produtos tenham seus registros aprovados, se faz necessária uma análise complexa para determinar seu perfil toxicológico, ecotoxicológico e de eficiência agrônômica. Os três órgãos envolvidos no registro são: MS, através da ANVISA, MAPA e MMA através do IBAMA.

De acordo com o Art. 3º da Lei:

Cabe aos Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e da Saúde, no âmbito de suas respectivas áreas de competência monitorar os resíduos de agrotóxicos e afins em produtos de origem vegetal.

Art. 4º Cabe aos Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e do Meio Ambiente registrar os componentes caracterizados como matérias-primas, ingredientes inertes e aditivos, de acordo com diretrizes e exigências dos órgãos federais da agricultura, da saúde e do meio ambiente.

Das competências do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, prescrito no Art. 5º da Lei:

I - Avaliar a eficiência agrônômica dos agrotóxicos e afins para uso nos setores de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas florestas plantadas e nas pastagens; e

II - Conceder o registro, inclusive o Registro Especial Temporário (RET), de agrotóxicos, produtos técnicos, pré-misturas e afins para uso nos

setores de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas florestas plantadas e nas pastagens, atendidas as diretrizes e exigências dos Ministérios da Saúde e do Meio Ambiente.

Cabe ao Ministério da Saúde, prescrito no Art 6º:

I - Avaliar e classificar toxicologicamente os agrotóxicos, seus componentes, e afins;

II - Avaliar os agrotóxicos e afins destinados ao uso em ambientes urbanos, industriais, domiciliares, públicos ou coletivos, ao tratamento de água e ao uso em campanhas de saúde pública, quanto à eficiência do produto;

III - Realizar avaliação toxicológica preliminar dos agrotóxicos, produtos técnicos, pré-misturas e afins, destinados à pesquisa e à experimentação;

IV - Estabelecer intervalo de reentrada em ambiente tratado com agrotóxicos e afins;

V - Conceder o registro, inclusive o RET, de agrotóxicos, produtos técnicos, pré-misturas e afins destinados ao uso em ambientes urbanos, industriais, domiciliares, públicos ou coletivos, ao tratamento de água e ao uso em campanhas de saúde pública atendidas as diretrizes e exigências dos Ministérios da Agricultura e do Meio Ambiente; e

VI - Monitorar os resíduos de agrotóxicos e afins em produtos de origem animal (BRASIL, 1989)

Das competências do Ministério do Meio Ambiente, Art 7º:

I - Avaliar os agrotóxicos e afins destinados ao uso em ambientes hídricos, na proteção de florestas nativas e de outros ecossistemas, quanto à eficiência do produto;

II - Realizar a avaliação ambiental, dos agrotóxicos, seus componentes e afins, estabelecendo suas classificações quanto ao potencial de periculosidade ambiental;

III - Realizar a avaliação ambiental preliminar de agrotóxicos, produto técnico, pré-mistura e afins destinados à pesquisa e à experimentação;

IV - Conceder o registro, inclusive o RET, de agrotóxicos, produtos técnicos e pré-misturas e afins destinados ao uso em ambientes hídricos, na proteção de florestas nativas e de outros ecossistemas, atendidas as diretrizes e exigências dos Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e da Saúde (BRASIL, 1989).

Apesar da Lei dos agrotóxicos ser considerada uma das mais completas, para alguns autores ela ainda apresenta deficiências e retrocessos em alguns aspectos. De acordo com Garcia et al., (2005), um dos pontos preocupantes na

regulamentação, consta na eliminação da necessidade de reavaliação periódica (5 anos) para renovação do registro de agrotóxicos que estava prevista no Decreto inicial nº 98.83/90, e que foi alterada pelo Decreto nº 911/93, e posteriormente pelo Decreto nº 4.074/02, o qual vigora atualmente. Entretanto, o Decreto prevê a possibilidade de reavaliação do registro a qualquer tempo, caso surjam indícios da ocorrência de riscos à saúde ou ao meio ambiente, ou ainda apresentem redução da eficiência agronômica.

Outro tópico importante, diz respeito à empregabilidade da Classificação Toxicológica. Os agrotóxicos possuem quatro Classes Toxicológicas, são elas: Extremamente tóxico; altamente tóxico; medianamente tóxico e pouco tóxico (Tabela 3). A toxicidade é expressa em valores referentes à Dose Média Letal (DL₅₀)⁵. Os parâmetros de classificação definidos pelo Ministério da Saúde possuem classificações similares aos recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Classe toxicológica	Toxicidade	DL50 (mg/Kg)	Faixa colorida
I	Extremamente tóxico	≥ 5	Vermelha
II	Altamente tóxico	Entre 5 e 50	Amarela
III	Mediamente tóxico	Entre 50 e 500	Azul
IV	Pouco tóxico	Entre 500 e 5.000	Verde

Tabela 4 - Classes toxicológicas dos agrotóxicos com base na DL₅₀.⁶

Entretanto, a aplicabilidade da Classificação Toxicológica, a qual deveria assegurar a distinção dos agrotóxicos de acordo com seu grau de periculosidade, garantindo a utilização destes sob condições controladas, tem servido basicamente para definir a comunicação de riscos nas rotulagens (Garcia et al., 2005).

Recentemente, uma nova Lei nº 12.873/13 e Decreto n. 8.133/13 foram aprovados, trazendo modificações na legislação que regula o uso de agrotóxicos no país. O Decreto permite que o registro temporário de novos agrotóxicos em casos de

⁵ A dose letal (DL₅₀) é a dose de uma substância, expressa em mg/kg de peso vivo, necessária ingerir ou administrar para provocar a morte de pelo menos 50% da população em estudo.

⁶ Disponível em: <http://qnint.s bq.org.br/novo/index.php?hash=tema.55>

emergência fitossanitária ou zoossanitária sejam concedidos apenas pelo MAPA, sem a avaliação prévia e aprovação das diretrizes e exigências dos Ministérios da Saúde e do Meio Ambiente.

Tais alterações na Legislação provocaram de imediato preocupação de Instituições como a Fiocruz, que veio a público, através de uma carta aberta se manifestar:

(...) a Fiocruz contesta, pugnando por sua revogação imediata, a Lei n. 12.873 /13 e o Decreto n. 8.133/13, que permitem o registro temporário de agrotóxicos no país em casos de emergência fitossanitária ou zoossanitária, sem a avaliação prévia dos setores reguladores da saúde e do meio ambiente. A Fundação se coloca contrária também a outros projetos de lei que tenham o mesmo sentido, como o PL 209/2013 do Senado, o qual pretende retirar definitivamente (ou mesmo restringir) a atuação das áreas de saúde e meio ambiente do processo de autorização para registro de agrotóxicos no Brasil. A Fiocruz convoca a sociedade brasileira a tomar conhecimento sobre essas inaceitáveis mudanças na lei dos agrotóxicos e suas repercussões para a saúde e a vida⁷ (Carneiro et al., 2015).

6.2 - Principais inseticidas em circulação no Brasil e modos de ação

Os Inseticidas são classificados de acordo com a sua estrutura química, estão divididos nas seguintes categorias: Inseticidas de origem vegetal; Inseticidas inorgânicos; Inseticidas organossintéticos. Os organossintéticos pertencem, na sua maioria, aos seguintes grupos químicos: Organofosforados; Pirazóis; Piretróides e neonicotinóides. Estes grupos correspondem a 40% dos compostos utilizados no combate às pragas em áreas agrícolas brasileiras. Atualmente, centenas de ingredientes ativos e formulações estão disponíveis no mercado mundial.

6.2.1 Organofosforados

⁷ Carta aberta da Fiocruz está disponível na íntegra no Anexo IX do Dossiê Abrasco, 2015 Disponível em: http://www.abrasco.org.br/dossieagrototoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf

Os inseticidas organofosforados representam uma das principais classes químicas utilizadas no controle de pragas em cultivos agrícolas. São empregados em culturas como: algodão, batata, café, cevada, feijão, trigo, maçã, soja, pimentão, tomate, entre outros. De acordo com o Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários (2017), são eles:

Tabela 5 - Inseticidas organofosforados

Nome Comum	Grupo químico	Classes(s)
acefato	organofosforado	Acaricida/Inseticida
cadusafós	organofosforado	Inseticida/Nematicida
clorpirifós	organofosforado	Acaricida/Formicida/Inseticida
diazinona	organofosforado	Acaricida/Inseticida
dimetoato	organofosforado	Acaricida/Inseticida
dissulfotom	organofosforado	Acaricida/Fungicida/Inseticida
etiona	organofosforado	Acaricida/Inseticida
etoprofós	organofosforado	Inseticida/Nematicida
fenamifós	organofosforado	Nematicida
fenitrotiona	organofosforado	Formicida/Inseticida
fentiona	organofosforado	Acaricida/Cupinicida/Formicida/Inseticida
fentoato	organofosforado	Acaricida/Inseticida
forato	organofosforado	Acaricida/Inseticida/Nematicida
fosmete	organofosforado	Acaricida/Inseticida
fostiazato	organofosforado	Inseticida/Nematicida
isazofós	organofosforado	Inseticida/Nematicida
malationa	organofosforado	Acaricida/Inseticida
metamidofós	organofosforado	Acaricida/Inseticida
metidationa	organofosforado	Acaricida/Inseticida
mevinfós	organofosforado	Acaricida/Inseticida
monocrotofós	organofosforado	Acaricida/Inseticida
nalede	organofosforado	Acaricida/Inseticida
parationa-metílica	organofosforado	Acaricida/Inseticida
piridafentiona	organofosforado	Acaricida/Inseticida
pirimifós-metílico	organofosforado	Acaricida/Inseticida
profenofós	organofosforado	Acaricida/Inseticida
protiofós	organofosforado	Acaricida/Inseticida
tebupirinfós	organofosforado	Inseticida
terbufós	organofosforado	Inseticida/Nematicida
triazofós	organofosforado	Acaricida/Inseticida/Nematicida
triclorfom	organofosforado	Acaricida/Inseticida

Fonte: Agrofit⁸

⁸ Disponível em http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons

As células nervosas utilizam variados neurotransmissores para a transmissão de sinais. Nos insetos os principais são: Ácido gama-aminobutírico (GABA) que atua na comunicação de células nervosas com as células musculares, e a acetilcolina que transmite sinais entre células nervosas (Coutinho et al., 2005). Após a transmissão do sinal químico promovido pela acetilcolina, esta é removida da sinapse pela enzima acetilcolinesterase (AChE). Os inseticidas organofosforados atuam na inibição irreversível dessa enzima, ligando-se fortemente a ela, impedindo assim, a degradação da acetilcolina. Com o acúmulo de acetilcolina nas sinapses, ocorre uma superestimulação no sistema nervoso.

6.2.2 Pirazóis

O inseticida Fipronil é principal inseticida pertencente à classe dos pirazóis, disponível para venda atualmente no mercado brasileiro. Utilizado para o controle de formigas, baratas, pulgas, carrapatos e cupins, sua modalidade de emprego consiste em: Aplicação no solo nas culturas de batata, cana-de-açúcar e milho; Aplicação foliar nas culturas do algodão, arroz, cana-de-açúcar, eucalipto, milho e soja; Aplicação em sementes de arroz, cevada, feijão, milho, pastagens, soja e trigo; Aplicação na água para o arroz irrigado (AGROFIT, 2017).

O Fipronil apresenta ação sistêmica nas plantas, ou seja, quando aplicados no solo, nas folhagens ou sementes, o ingrediente ativo desloca-se por todas as partes da planta, atingindo inclusive o pólen e néctar, promovendo uma proteção a longo prazo contra os insetos. Atua no sistema nervoso, inibindo os receptores do ácido gama-aminobutírico (GABA), responsável pela comunicação das células nervosas com as células musculares. Ao bloquear o fluxo de íons de cloreto, ocorre uma hiperexcitação neural e conseqüentemente a morte do inseto (Gunasekara et al., 2007).

6.2.3 Piretróides

Inseticidas piretróides são compostos comumente empregados em campanhas de saúde pública na erradicação de mosquitos, no armazenamento de grãos e em uso doméstico para a eliminação de insetos em geral. São frequentemente utilizados em culturas como: algodão, batata, café, milho, soja, tomate, alho, amendoim, feijão, trigo, entre outras. A modalidade de emprego nessas culturas baseia-se na aplicação foliar (AGROFIT, 2017). São eles:

Tabela 6 - Inseticidas piretróides

Nome Comum	Grupo químico	Classes(s)
acrinatrina	piretróide	Acaricida/Inseticida
aletrina	piretróide	Inseticida
alfa-cipermetrina	piretróide	Inseticida
beta-ciflutrina	piretróide	Inseticida
Beta-Cipemetrina	piretróide	Inseticida
bifentrina	piretróide	Formicida/Inseticida
ciflutrina	piretróide	Inseticida
cipermetrina	piretróide	Formicida/Inseticida
d-aletrina	piretróide	Inseticida
deltametrina	piretróide	Formicida/Inseticida
esfenvalerato	piretróide	Inseticida
fenproatrina	piretróide	Acaricida/Inseticida
fenvalerato	piretróide	Acaricida/Inseticida
fluvalinato	piretróide	Acaricida/Inseticida
Gama-cialotrina	piretróide	Inseticida
lambda-cialotrina	piretróide	Inseticida
permetrina	piretróide	Formicida/Inseticida
zeta-cipermetrina	piretróide	Inseticida

Fonte: Agrofit

Piretróides são utilizados em uma grande variedade de culturas de interesse comercial. De modo geral, essas substâncias se ligam à proteína associada ao canal

de Na⁺, impedindo o seu fechamento, provocando a alteração nas concentrações dos íons Na⁺ e K⁺. Nestas condições, o neurônio não consegue restabelecer o equilíbrio e retornar ao repouso e, ocorre um bloqueio na transmissão de impulsos nervosos. Este efeito é chamado de “*knock down*” ou de rápida paralisia nos insetos.

6.2.4 Neonicotinóides

Os neonicotinóides são o mais recente grupo químico empregado para uma ampla variedade de culturas no controle de insetos (Pinheiro e Freitas 2010). No Brasil estão registrados seis ingredientes ativos, dos quais imidacloprido e tiametoxam (segunda geração) possuem vasta utilização em cultivos agrícolas. São registrados para o uso de culturas como: algodão, batata, feijão, melancia, melão, tomate, trigo, amendoim, cevada, aveia, milho, soja, mamão, café, pimentão, pepino, uva, entre diversas outras.

A modalidade de emprego pode ser através da pulverização foliar, tratamento de sementes, aplicação em troncos e irrigação no solo (AGROFIT, 2017) Atualmente, o acetamiprido é considerado o inseticida mais utilizado no mundo no controle de pragas e doenças agrícolas (Pinheiro e Freitas 2010). Além deste, outras formulações são encontradas no mercado:

Tabela 7 - Inseticidas neonicotinóides

Nome Comum	Grupo químico	Classes(s)
acetamiprido	neonicotinóide	Inseticida
Clotianidina	neonicotinóide	Inseticida
Dinotefuram	neonicotinóide	Inseticida
imidacloprido	neonicotinóide	Inseticida
tiacloprido	neonicotinóide	Inseticida
tiametoxam	neonicotinóide	Inseticida

Fonte: Agrofite

Os inseticidas neonicotinóides agem contra um número variado de insetos-pragas, mimetizando a ação da acetilcolina. Isso ocorre, pois eles se ligam ao receptor da acetilcolina na membrana das células pós-sinápticas, promovendo a abertura dos canais de Na⁺, impedindo a degradação da acetilcolina pela enzima acetilcolinesterase. Como consequência ocorre a hiperatividade nervosa, seguido de um colapso no sistema nervoso.

7. PARTE III - Avaliação da toxicidade e os efeitos dos inseticidas em *A. mellifera*

As normas e diretrizes para avaliar a toxicidade de agrotóxicos em organismos não alvos seguem orientações do Protocolo Internacional para Testes Químicos da Organização para Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OECD, 1998). As orientações são baseadas principalmente, nas diretrizes da Organização Europeia e do Mediterrâneo para Proteção das Plantas (EPPO) de 2000 (Nocelli, et al., 2010).

Estes estudos utilizam as abelhas *A. mellifera* como modelo, devido ao amplo conhecimento biológico da espécie, a abrangente distribuição geográfica, a facilidade de mantê-las em laboratório e também por serem as abelhas mais frequentes em culturas agrícolas (IBAMA, 2017). Os protocolos utilizados avaliam a toxicidade de agrotóxicos, em abelhas operárias adultas, expostas a diferentes doses em sua alimentação como parâmetro para avaliar a toxicidade oral.

A avaliação pode ser, também, através do contato, em laboratório são avaliadas as curvas de mortalidade determinadas através da DL₅₀ e/ou CL₅₀⁹. Na DL₅₀ o indivíduo é exposto a uma única dose da substância (exposição aguda) e os efeitos são detectados em um intervalo de 72 horas. No caso da CL₅₀ o indivíduo é

⁹ CL₅₀ – Concentração Letal 50: Concentração de uma substância no meio que produz a morte de 50% de uma população de organismos submetidos à experimentação, após exposição por certo período.

exposto gradualmente a dosagens (exposição crônica) em períodos de até 10 dias, sendo observados os sintomas nesse período.

Para Thompson (2003), os protocolos são importantes, pois fornecem um suporte dentro o qual os dados podem ser coletados e analisados, contudo o autor enfatiza que os testes devem ser capazes de explicar e fornecer uma base para avaliar o desempenho dos pesticidas com quociente de risco maior que 50, sob condições de semi-campo e campo. Corroborando com essa afirmativa, Suchail et al. (2000) pontua que os efeitos subletais nem sempre são lineares e, portanto, não podem ser exclusivamente definidos pela determinação da DL_{50} gerados em laboratório.

Deve-se ressaltar ainda que avaliações dos efeitos subletais, decorrentes da exposição de abelhas a baixas doses dos agrotóxicos, principalmente a longo prazo, são pouco conhecidas (Thompson 2003, Malaspina e Silva-Zacarin 2006). Para Desneux et al., (2007) estes protocolos mundialmente aplicados na avaliação de riscos aos polinizadores, precisam ser revistos, sobretudo acerca da atenção que apresentam aos efeitos subletais.

Segundo Malaspina e Souza (2008) no Brasil, os estudos sobre os efeitos letais e subletais dos agrotóxicos nos polinizadores são limitados. A avaliação inclui: Avaliação do Potencial de Periculosidade Ambiental (APPA) e a Avaliação de Risco Ambiental (ARA). A APPA é aplicada desde 1990 atendendo os requisitos necessários do uso de agrotóxicos a partir de uma perspectiva ambiental, conforme determinava a lei de 1989, e baseia-se na toxicidade do produto e no comportamento obtido nos testes laboratoriais (IBAMA, 2017).

A avaliação ARA entrou em vigor em 2011, embora já houvesse sido requerida pela Portaria IBAMA nº 84 de 1996. Entretanto, encontra-se ainda em fases de desenvolvimento e implementação. Esta avaliação considera a exposição potencial do organismo não-alvo aos agrotóxicos e suas possíveis consequências. Recentemente, o IBAMA, através de uma Instrução Normativa (IN) nº 2 de 10/02/2017, estabeleceu novas diretrizes e requisitos para uma avaliação mais abrangente nos estudos de riscos dos agrotóxicos em organismos não-alvos, principalmente em abelhas. Esta avaliação compreende além da toxicidade, a

exposição dos polinizadores aos agrotóxicos, incluindo o modo, os períodos de aplicação, as doses, a cultura e o clima, entre outros fatores (IBAMA, 2017).

Os Estados Unidos e a Europa são pioneiros em estudos sobre a toxicidade de inseticidas sobre as abelhas. Aparentemente, os primeiros estudos surgiram em 1940. No Brasil, as primeiras pesquisas iniciaram na década de 70 (Malaspina, 1979). A subespécie *A. mellifera* africanizada tem sido o principal modelo utilizado em estudos de toxicidade, devido ao conhecimento biológico da espécie e à notável importância econômica. A exposição das abelhas a agentes químicos ocorre durante a atividade de forrageamento. Segundo Malaspina et al., (2008) os inseticidas podem afetar as abelhas principalmente mediante três modos de intoxicação: Contato, ingestão e fumigação.

Cerca de 90% dos inseticidas são considerados neurotóxicos aos insetos (Pereira, 2010), devido a sua atuação em locais ultra-sensíveis. A intoxicação pode ser determinada por efeitos letais ou subletais, que apesar de serem considerados mais sutis, podem causar: paralisia, desorientação, alterações fisiológicas e comportamentais, que a longo prazo comprometem o funcionamento da colônia e a longevidade dos insetos (Nocelli et al.,2010).

Os efeitos estão intimamente ligados às concentrações administradas, o tempo de exposição, dentre outras características (Malaspina, 1979). Os inseticidas apresentados a seguir, correspondem aos produtos mais comumente utilizados em cultivos agrícolas no combate a insetos-pragas no Brasil e os quais, segundo estudos, representam maior risco às abelhas:

7.1 Acefato

Batista et al., (2009) avaliou a toxicidade do inseticida Acefato (entre outros), empregados em cultura de citros, para operárias de *A. mellifera*. A exposição foi por meio de pulverização, contaminação de alimento e contato em superfícies (folhas de citros e placas de Petri). As doses corresponderam às recomendadas no rótulo para a respectiva cultura. Por meio de pulverização, observou-se após 40 horas da

aplicação, a mortalidade de quase todas as abelhas. Além disso, logo nas primeiras horas, efeitos subletais foram notados como: falta de coordenação motora, tremores e prostração. Quando tratadas com alimento contaminado, a mortalidade atingiu quase 100% em um período de 20 horas. Em exposição à superfície contaminada, nas primeiras 20 horas de sua aplicação, causou mortalidade superior a 90% das abelhas. A exposição das abelhas as folhas de citros contaminadas, provocou a mortalidade de 100% destas, após 21 horas do início do contato. O estudo concluiu que o Acefato é extremamente tóxico, independente do modo de exposição.

Em outro estudo realizado por Bovi (2013) visando determinar a dose letal (DL50) através da ingestão e contato do inseticida Acefato (entre outros) em abelhas operárias de *A. mellifera* africanizada e avaliar a ocorrência de alterações comportamentais. Verificou que o inseticida Acefato é extremamente tóxico às abelhas, pois apresentou valor de DL50 abaixo de 2g/abelha após 24 horas. Além disso, promoveu alterações comportamentais significativas após 120 minutos da exposição.

7.2 Metidationa

Carvalho et al., (2009), realizaram pesquisa com operárias de abelhas africanizadas, a fim de verificar a toxicidade de inseticidas como o metidationa empregados na citricultura. Submetendo as abelhas a três modos de exposição: pulverização direta, ingestão de alimento contaminado e contato. Verificou que a substância causou a morte de 68% delas, uma hora após a pulverização, e 100% de morte após nove horas. A avaliação referente à alimentação demonstrou efeitos subletais após 30 minutos, como: tremores, falta de coordenação motora e prostração. Sendo que, logo nas primeiras horas, o inseticida causou mortalidade de 14%, 87% em seis horas e 100% 15 horas, demonstrando ser altamente tóxico por via de ingestão. A exposição via superfície de vidro contaminado, apresentou-se atóxico no período de uma hora. Entretanto, após seis horas ocorreu a morte de 100% das abelhas. A exposição das abelhas em folhas de citros contaminadas

provocou 100% de mortalidade nas primeiras três horas do bioensaio. A pesquisa concluiu que, independente do modo de exposição, metidationa foi considerado extremamente tóxico para abelhas adultas de *A. mellifera*.

7.3 Fipronil

De acordo com Souza (2009), doses subletais de fipronil provocam diminuição na capacidade de aprendizado, memória e locomoção de *A. mellifera*, além disso, a ação tóxica do inseticida, tanto em dose letal 0,5 e 10 ng/abelha quanto em dose subletal 0,1 ng/abelha, aumenta a expressão da proteína-fos, relacionada à resposta de estresse celular. A pesquisa conclui que o fipronil é altamente tóxico para as abelhas africanizadas, uma vez que a DL50 oral do inseticida é de 3,27 ng/abelha e para aplicação tópica de 0,157 ng/abelha. Mesmo em baixas concentrações provocou grande taxa de mortalidade. Outra pesquisa semelhante, concluiu que o reflexo de extensão da probóscide bem como a atividade de locomoção de abelhas africanizadas foram afetados após a administração tópica de doses subletais dessa substância (Pereira, 2010).

Zaluski (2014) em estudo para avaliar a toxicidade do inseticida fipronil em abelhas *A. mellifera*, verificou que o composto é altamente tóxico independente da via de exposição. Observou-se alterações comportamentais como: agitação, convulsão, tremores e paralisia em um período de 30 a 120 minutos após exposição. Havendo ainda, redução da atividade motora de abelhas expostas às doses letais e subletais.

Em outra pesquisa realizada por Roat et al., (2013) para avaliar a toxicidade de dose subletal de fipronil na atividade metabólica dos neurônios de *A. mellifera*, foi observado que, mesmo em concentrações baixas, o fipronil é prejudicial, podendo induzir vários tipos de lesões na fisiologia das abelhas. Da mesma forma, Roat et al., (2014) concluíram que a exposição de *A. mellifera* ao fipronil, mesmo por um curto período de tempo (5 dias) e em baixas doses, foi suficiente para causar desregulação em proteínas importantes para o cérebro das abelhas e que estão potencialmente relacionadas à susceptibilidade a patógenos, ao estresse químico

neuronal, deficiência visual, formação de sinapses danificadas, degeneração cerebral, perda de memória e deficiência de aprendizagem.

7.4 Deltametrina

Carvalho et al., (2009), ao analisar a toxicidade de deltametrina em *A. mellifera* por meio de três modos de exposição: pulverização, ingestão de alimento contaminado e contato com superfícies tratadas, observaram que, pela pulverização, o composto induziu o efeito *knock down* fazendo com que os insetos ficassem no fundo das gaiolas com movimentos desordenados e trêmulos, durante o período de uma hora, após esse período voltaram ao normal. Quando tratadas com alimento contaminado, provocou mortalidade de 67% das abelhas em um período de 72 horas. Ao expor as abelhas em contato com superfície de vidro contaminadas com o produto, deltametrina causou efeito *knock down*, permanecendo nessa condição durante grande parte do experimento, com mortalidade final de 64% em 48 horas. Em contato com folhas contaminadas, a mortalidade atingiu 88% com TL50 médio de 27,74 horas. Deltametrina foi considerado mais tóxico às abelhas quando em contato com superfícies contaminadas e ingeridas, e menos tóxicas quando pulverizadas.

Del Sarto (2009), em teste para avaliação da toxicidade aguda por via de exposição oral, tópica e de contato para *A. mellifera*, concluiu que Deltametrina é altamente tóxico em exposição via oral, apresentando DL50 < 1,0 ng/abelha. Na exposição tópica o inseticida mostrou-se virtualmente atóxicos com DL50 > 100 ng/abelha e por exposição de contato moderadamente tóxico com DL50 1-10 ng/abelha. Os testes para avaliação tiveram duração de 24 horas.

Em uma revisão realizada por Freitas e Pinheiro (2010), constataram que doses subletais de Deltametrina, além de causar mortalidade em *A. mellifera*, compromete a atividade de forrageamento, dificuldade de retorno à colmeia, diminui a fecundidade da rainha, alteram a coordenação motora e comprometem o aprendizado.

7.5 - Imidacloprido

Assim como o inseticida Fipronil da classe dos pirazóis, o neonicotinóide imidacloprido possui ação sistêmica em plantas, podendo ser detectados no pólen e néctar durante todo o período de floração. A consequência disto, segundo Ferreira (2010) está na exposição crônica que as abelhas podem sofrer ao longo de grandes períodos de tempo após aplicação.

O imidacloprido é considerado extremamente tóxico para as abelhas. A alta mortalidade em baixas concentrações, pode ser explicada pela alta toxicidade dos seus metabolitos (Faucon et al., 2005). Soares (2009) em trabalho com *A. mellifera* campeiras, verificou uma elevada taxa de mortalidade quando expostas a doses de 80 ng/abelha do inseticida. Além disso, o autor relata que durante o ensaio foi possível observar reações adversas como: hiperexcitação, tremores e desorientação.

Para Rossi et al., (2013) após avaliar os efeitos da exposição crônica a doses subletais de imidacloprido no cérebro de *A. mellifera* africanizada, concluiu que as doses subletais tem efeitos citotóxicos no cérebro das abelhas, e que os lóbulos ópticos são os mais sensíveis a essa substância.

7.6 - Tiametoxam

Carvalho et al., (2009), no mesmo estudo que avaliaram outros inseticidas (metidationa e deltametrina). Constataram, após uma hora da pulverização a morte de 71% das abelhas e mortalidade de 100% das abelhas após nove horas. Efeitos subletais também foram observados durante as primeiras horas como: distúrbios na coordenação motora, incapacidade de voo e prostração.

Na ingestão de alimento contaminado, após 30 minutos as abelhas apresentaram tremores, falta de coordenação motora e prostração. Sendo que, uma

hora depois, a mortalidade atingiu 46%, seis horas depois 89% e após 24 horas a mortalidade atingiu 99% das abelhas. Em contato com superfície contaminada, Tiametoxam, na avaliação de uma hora provocou mortalidade de 56% das abelhas. Entretanto, quatro horas após o início do experimento, verificou-se a mortalidade de 76% das abelhas. A morte total dos insetos foi observada após 15 horas. Para os autores, tiametoxam mostrou-se extremamente tóxico para *A. mellifera* africanizada, independentemente do modo de exposição. Corroborando com essa pesquisa, Thomazoni et al., (2007), concluíram que tiametoxam provou a morte de 100% de abelhas após 330 minutos da sua exposição a planta de algodoeiro pulverizada.

Outro estudo realizado por Gomes (2017), avaliou a toxicidade do inseticida tiametoxam, sobre operárias de *A. mellifera* a partir de bioensaios de sobrevivência mediante exposição por contato e ingestão. A pesquisa conclui que independentemente da via de exposição, tiametoxam provocou a diminuição da sobrevivência das abelhas, sendo considerado extremamente tóxico.

Tabela 8 - Nomes comuns, grupo químico, sítios de ação e os principais efeitos causados em abelhas.

Nome comum	Grupo Químico	Sítio de ação	Principais efeitos sobre abelhas
Acefato	Organofosforado	Inibidores de acetilcolinesterase	- Falta de coordenação motora, tremores e prostração (Batista et al., 2009).
Fipronil	Pirazol	Antagonistas de receptores	- Diminuição na capacidade de aprendizado, memória e locomoção (Souza 2009); - Reflexo de extensão da probóscide e atividade de locomoção afetados (Pereira, 2010); - Agitação, convulsão, tremores e paralisia; - Deficiência visual, formação de sinapses danificadas, perda de memória e deficiência de aprendizagem (Roat et al. 2014).
Deltametrina	Piretróides	Moduladores de canais de sódio	- Falta de coordenação motora e tremores (Carvalho et al., 2009); - Dificuldade de retorno à colmeia, decréscimo do forrageamento, redução na postura de ovos, falta de coordenação motora, compromete a aprendizagem (Freitas & Pinheiro (2010).
imidacloprido e tiametoxam.	Neonicotinóides	Agonistas de receptores	- Hiperexcitação, tremores e desorientação (Soares, 2009); - Distúrbios na coordenação motora, incapacidade de voo e prostração (Carvalho et al., 2009).

8. Considerações finais

Com base nesta revisão, é possível afirmar que o uso dos principais grupos de inseticidas amplamente utilizados em culturas agrícolas brasileiras, são considerados em sua maioria extremamente tóxicos às abelhas *A. mellifera*. Além dos efeitos subletais sistematizados neste trabalho, essas substâncias podem provocar a morte desses insetos. Entretanto, estudos na literatura sobre os efeitos subletais, e principalmente avaliações em condições de semi-campo e campo nas condições ambientais brasileiras, são escassos.

Embora o trabalho tenha sido especificamente direcionado aos principais grupos químicos de inseticidas, devido sua ampla utilização na agricultura brasileira, vale ressaltar que outras classes como herbicidas, acaricidas e fungicidas podem influenciar no comportamento e sobrevivência das abelhas. Neste sentido, torna-se de extrema importância identificar o alcance dos pesticidas no ambiente e entender os impactos que os mesmos têm sobre as abelhas, principalmente como estas reagem às doses subletais, visto que, a longo prazo pode comprometer o funcionamento e sobrevivência das colônias.

Compreender o papel das abelhas como agentes polinizadores na manutenção da biodiversidade, na produção agrícola mundial, e, portanto, na segurança alimentar, é um fator indispensável para garantir a sustentabilidade das gerações futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROFIT - SISTEMA DE AGROTÓXICOS FITOSSANITÁRIOS - Sistema de informação sobre Agrotóxicos. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Brasília, DF. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em 31 out 2017.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução-RE n. 477, de 23 de fevereiro de 2005. Brasília, Diário Oficial da União, 24 fev. 2005.

BATISTA, A.P.M.; et al. Toxicidade de produtos fitossanitários utilizados em citros para *Apis mellifera*. Revista Ciência Rural, v.39, n.4, p.955-961, 2009.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, Senado, 1998

BRASIL. Lei n. 7.802, de 12 de julho de 1989 (lei federal dos agrotóxicos). Brasília, Diário Oficial da União, 12 julho de 1989.

BOVI, T. S. Toxicidade de inseticidas para abelhas *Apis mellifera* L. 2013. 69f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2013.

BREEZE, T.D.; et al. Pollination services in the UK: How important are the honeybees? Agriculture, Ecosystems and Environment, v.142, p.137-143, 2011.

CARNEIRO, F. F.; et al. Dossiê ABRASCO: Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2015. 2º parte. Disponível em: <http://www.abrasco.org.br/dossieagrotoxicos/wp-content/uploads/2013/10/DossieAbrasco_2015_web.pdf>. Acesso em 20 ago de 2017.

CARSON, R. Primavera silenciosa. São Paulo: Gaia Editora, p. 23-24, 2010.

CARVALHO, M. M. X.; et al. “Defensivos” ou “agrotóxicos”? História do uso e da percepção dos agrotóxicos no estado de Santa Catarina, Brasil, 1950-2002. História, Ciências, Saúde – Manguinhos, Rio de Janeiro, v.24, n.1, jan.-mar. 2017, p.75-91, 2017.

CARVALHO, S.M. Honeybee *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae) enzymes as possible biomarkers for the assessment of environmental contamination with pesticide. Tese (Doutorado em Agronomia/Entomologia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Entomologia, Universidade Federal de Lavras. p. 105, 2010.

CARVALHO, S.; et al. Toxicidade de acaricidas/inseticidas empregados na citricultura para a abelha africanizada *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae). Arquivos do Instituto Biológico, v.76, n.4, p.597-606, 2009.

CATALOGUE OF LIFE. 2010. Disponível em: <<http://www.catalogueoflife.org/col/browse/tree/id/eedef362dadba1e330f18348289a5eba>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

CHIARI, W.C.; et al. Pollination of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill by honeybees (*Apis mellifera* L.) Braz. Arch. Biol. Technol., Curitiba, v. 48, n. 1, p. 31-36, 2005.

CORBET, S.A.; et al. Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European Community. *Bee World* 72(2): 47-59, 1991.

COUTINHO, C.F.B.; et al. Pesticidas: mecanismos de ação, degradação e toxidez. *Revista Toxicologia Meio Ambiente*, v. 15, p.65-72, 2005.

DA SILVA, N. R. Aspectos do perfil e do conhecimento de apicultores sobre manejo e sanidade da abelha africanizada em regiões de apicultura de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - SC. 115 p. 2004

DECRETO 8133/2013. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/decreto/D8133.htm>. Acesso em 20 ago 2017.

DE JONG, D. Desaparecimento de abelhas, pesticidas agrícolas afetam insetos, safras e saúde humana. *Scientific American Brasil*, v.84, 48-49. 2009.

DEL SARTO, M.C.L. Toxicidade de inseticidas para abelhas *Melipona quadrifasciata* e *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). Dissertação (Doctor Scientiae) - Programa de Pós-graduação em Entomologia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2009.

DESNEUX, N.; et al. The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods. *Annu. Rev. Entomol.* 52, 81–106, 2007.

FAO (Food and Agriculture Organization). Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture – the international response. p. 19-25, 2004

FAUCON, J. P.; et al. Experimental study on the toxicity of imidacloprid given in syrup to honey bee (*Apis mellifera*) colonies. *Pest Management Science*, v. 61, n. 2, p. 111-125, 2005.

FAVERO, A.C.; COUTO, R.H.N. Polinização entomófila em soja (*Glycine max* L. var. FT2000). In: Anais do 13º Congresso Brasileiro de Apicultura. CBA, 2000. CD-Rom. Florianópolis, Brasil. 2000.

FERREIRA, R.A.C. Análise morfológica e histoquímica do corpo gorduroso e dos túbulos de Malpighi de operárias adultas de *Scaptotrigona postica* (Latreille, 1807) (Hymenoptera, Apidea) tratadas com fipronil e ácido bórico. 2010. 73p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Curso de Pós-graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista.

FREITAS, B.M; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. A importância econômica da polinização. *Mensagem Doce*, São Paulo, n.80, 44-46. 2005.

FREITAS, B. M. Changes with time in the germinability of cashew (*Anacardium occidentale*) pollen grains found on different body areas of its pollinator bees. *Revista Brasileira de Biologia*, v.57, n.2, p.289-294, 1997.

FREITAS, B.M; IMPERATRIZ-FONSECA, V.L. Economic value of Brazilian cash crops and estimates of their pollination constrains. In: Food and Agriculture Organization (FAO) report 02, Agreement. Economic Value of pollination and pollinators. São Paulo: Food and Agriculture Organization (FAO) - Fundação da Universidade de São Paulo (FUSUP). PP. 1-4. 64p.2004.

FREITAS, B.M; PINHEIRO, J.N. Efeitos sub-letais dos pesticidas agrícolas e seus impactos no manejo de polinizadores dos agroecossistemas brasileiros. *Oecologia Australis*, 14:282-298. 2010.

GOMES, I. N. BIOENSAIOS EM LABORATÓRIO INDICAM EFEITOS DELETÉRIOS DE AGROTÓXICOS SOBRE AS ABELHAS *Melipona capixaba* E *Apis mellifera*. Dissertação (mestrado) Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG. 2017.

GRAMACHO, K.P.; GONÇALVEZ, S. Fatores que interferem no comportamento higiênico em abelhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 14, 2002, Campo Grande. Anais ... Campo Grande: FAASC, CBA, 2002, p. 170-178.

GUNASEKARA, A.; et al. Environmental fate and toxicology of fipronil. *Journal of Pesticide Science*, v.32, p.189-199, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agrícola 2015. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2015/default_xls.shtm. Acesso em 20 ago. 2017>.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Manual para requerimento de avaliação ambiental: agrotóxicos e afins/DIQUA CGASQ - Brasília: IBAMA 180 p. 2009.

KLEIN, A. M.; et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 274, p. 303-313, 2007.

LUCCHESI, G. Agrotóxicos—construção da legislação. Brasília, DF: Consultoria Legislativa, 2005.

MALASPINA, O. E SILVA-ZACARIN, E.C.M. 2006. Cell markers for ecotoxicological studies in target organs of bees. *Brazilian Journal of Morphological Sciences*, 23: 303-309.

MALASPINA, O.; et at. Efeitos provocados por agrotóxicos em abelhas no Brasil. Pp. 41-48. In: Anais do VIII Encontro sobre Abelhas. Ribeirão Preto, SP, Brasil. 763p, 2008.

MALASPINA, O.; SOUZA, T. F. Reflexos das aplicações de agrotóxicos nos campos de cultivo para a apicultura brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 27.; e MELIPONICULTURA, 3.; Belo Horizonte, 2008. Anais... Belo Horizonte, 2008.

MALERBO-SOUZA, D. T.; et al. Polinização em cultura de laranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck, var. Pera-rio). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, v. 40, n. 4, p. 237-242, 2003.

- MORAGAS, W.M; SCHNEIDER, M.O. Biocidas: suas propriedades e seu histórico no Brasil. *Caminhos de Geografia* 3(10) 26-40. 2003.
- MORETI, A.C.C.C.; et al. Observações sobre a polinização entomófila da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *B. Industria Animal, Nova Odessa*, v. 55, n. 1, p. 91-94, 1998.
- Moritz, R. F. A., J.; et al. Research strategies to improve honeybee health in Europe. *Apidologie* 41, 227-242, 2010.
- NOCELLI, R. C. F.; et al. Riscos de pesticidas sobre as abelhas. In: SEMANA DOS POLINIZADORES, 3., 2012, Petrolina. Palestras e resumos... Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012.
- NOGUEIRA P. N. Características diversas, distribuição geográfica e aclimação. In: NOGUEIRA NETO, P. Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão. São Paulo: Ed. Nogueirapis, p. 33 - 38, 1997.
- OLDROYD, B. P. What's killing American honey bees? *Plos Biology*, San Francisco, v. 5, n. 6, p. 1195-1199, 2007.
- PEREIRA, A.M. Efeitos de inseticidas na sobrevivência e no comportamento de abelhas. 125f. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.
- PEREIRA, F. M.; et al. Produção de mel. EMBRAPA, 2003. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/80709/1/sistemaproducao-3.PDF> > Acesso em: 23 de set. 2017.
- PIRES, C. S. S.; et al. Enfraquecimento e perda de colônias de abelhas no Brasil: há casos de CCD? *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 51, n. 5, p.422-442, maio 2016.
- POTTS, S.G.; et al. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology and Evolution*, v.25, n.6, p.345-353, 2010.
- Ramos, J. M.; Carvalho, N. C. Estudo Morfológico e Biológico das fases de desenvolvimento de *Apis mellifera*. *REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA FLORESTAL* - ISSN 1678-3867. ANO VI, NÚMERO, 10, 2007.
- RIBEIRO, R. O princípio da precaução e a avaliação de risco no Decreto 4.074/2002. Dissertação (Mestrado, Política e Gestão Ambiental). Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília. Brasília - DF, 115 p. 2005.
- RIBEIRO, A. M.F.; COUTO, R.H.N. Polinização entomófila de soja (*Glycine max*), cultivar Conquista. In: Anais 14º Congresso Brasileiro de Apicultura. CBA, 2002. CD-Rom. Campo Grande, Brasil. 2002.
- ROAT, T. C.; et al. Effects of Sublethal Dose of Fipronil on Neuron Metabolic Activity of Africanized Honeybees. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 64, n. 3, p. 456-466. Citações Web of Science: 17. APR 2013.

ROAT, T. C.; et al. Modification of the brain proteome of Africanized honeybees (*Apis mellifera*) exposed to a sub-lethal doses of the insecticide fipronil. *ECOTOXICOLOGY*, v. 23, n. 9, p. 1659-1670, Citações Web of Science: 6. NOV 2014.

ROSSI, C.A.; et al. Effects of sublethal doses of imidacloprid in malpighian tubules of africanized *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae). *MICROSCOPY RESEARCH AND TECHNIQUE*, v. 76, n. 5, p. 552-558. Citações Web of Science: 15. MAY 2013.

Seeley, T.D. Adaptive significance of the age polyethism Schedule in honey bee colonies. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 11, 287-293, 1982.

SOUZA, T. F. Efeitos das doses subletais do fipronil para abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) por meio de análises morfológicas e comportamentais. Dissertação (Mestrado) - Ciências Biológicas, ênfase em Biologia Celular e Molecular, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro. 2009.

SOARES, H. M. Avaliação dos efeitos de imidaclopride, sobre o sistema nervoso de *Apis mellifera* africanizada, através da expressão da proteína fos. 2009. 46 f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Biociências, Rio Claro.

STORT, A. C.; GONÇALVES, L.S. A abelha africanizada e a situação atual da apicultura no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE APICULTURA EM CLIMA QUENTE, 1978, Florianópolis-SC. Anais... Florianópolis: APIMONDIA, 1979. p. 155-172.

THOMAZONI, D.; et al. Seletividade de inseticidas sobre adultos de *Apis mellifera* (Linnaeus, 1758) (Hymenoptera: Apidae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 6., Uberlândia, MG. Anais...Uberlândia :EMBRAPA, 2007.

THOMPSON, H.M. Behavioural effects of pesticides in bees—their potential for use in risk assessment. *Ecotoxicology*. 12, 317-330, 2003.

TRINDADE, M.S.A.; et al. Avaliação da polinização e estudo comportamental de *Apis mellifera* L. na cultura do meloeiro em Mossoró, RN. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.4, n.1. 2004.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Colony Collapse Disorder Progress Report. CCD Steering Comitee.2010.

ZALUSKI, R. EFEITO DO INSETICIDA FIPRONIL EM ABELHAS AFRICANIZADAS E NA EXPRESSÃO DE GENE RELACIONADO AO SISTEMA IMUNOLÓGICO. Dissertação (Mestrado) - Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2014.

WARE, G.W.; WHITEACRE, D. The Pesticide Book. 2004. 6th ed. MeisterPro Information Resources. 488. p. 1978. Disponível em <<http://pesticidabook.com/>>. Acesso em 25 ago 2017.

WIESE, H. Apicultura: novos tempos. 2. ed. Guaíba: Agrolivros, p.378, 2005.

WINSTON, M. L. A Biologia da Abelha. Tradução de Carlos A. Osowski. Porto Alegre: Editora Magister, p. 427, 2003.