



## Efeitos tóxicos dos praguicidas para abelhas

*Toxic effects of pesticides to bees*

Idalécio Pacífico-da-Silva<sup>1</sup>, Marília Martins Melo<sup>2</sup>, Benito Soto-Blanco<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN.

<sup>2</sup>Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinárias, Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG.  
Autor para correspondência - \* benito.blanco@pq.cnpq.br

**Resumo:** Os polinizadores estão entre os componentes essenciais para o funcionamento dos ecossistemas em geral, pois é essencial para a reprodução e manutenção da diversidade de espécies de plantas e provê alimentos para humanos e animais, influenciando, também, o aspecto qualitativo da produção. Atualmente, a densidade populacional de muitos polinizadores está sendo reduzida a níveis que podem comprometer os serviços de polinização. O declínio das populações de abelhas melíferas (*Apis mellifera*) e outras abelhas tem impactado na produção agrícola mundial e tem um impacto claro sobre a produção de alimentos e da economia. Uma das causas prováveis para este declínio é o uso indiscriminado de agrotóxicos. Os efeitos dos diferentes grupos de praguicidas sobre as abelhas é discutido.

**Palavras chave:** inseticidas, polinizadores, contaminação ambiental, ecotoxicologia, toxicologia ambiental

**Abstract:** Pollinators are among the essential components for the functioning of ecosystems in general, because it is essential for the reproduction and maintenance of the diversity of plant species and provide food for humans and animals, also influencing the qualitative aspect of the production. Currently, the population density of many pollinators are being reduced to levels that can impair pollination services. The decline of honeybee (*Apis mellifera* L.) and other bees populations impacts global agricultural production and has a clear impact on both food production and the economy. One of the probable causes for this decline is the indiscriminate use of pesticides. The effects of different groups of pesticides on bees is discussed.

**Key words:** insecticides, pollinators, environmental contamination, ecotoxicology, environmental toxicology

Autor para correspondência - \* benito.blanco@pq.cnpq.br

Recebido em 2.1.2016. Aceito em 25.03.2016

<http://dx.doi.org/10.5935/1981-2965.20160013>

## **Introdução**

A contaminação das abelhas por pesticidas ocorre, geralmente, na coleta de néctar e pólen, e pode atingir em maior ou menor extensão a colônia. Ainda em menor proporção, partículas suspensas no ar são interceptadas por estas trabalhadoras e ficam retidos nos pelos superficiais de seu corpo ou são inalados e aderidas em seu aparelho respiratório (JAY, 1986; RISSATO et al., 2006; BONZINI et al., 2011). O envenenamento de abelhas por pesticidas é um problema que ocorre em todo mundo (JOHANSEN et al., 1983; PACÍFICO DA SILVA et al., 2015), devido ao fato das abelhas possuem grande valor como polinizadores de muitas culturas (MAYER & LUNDEN, 1999).

Além dos efeitos de toxicidade aguda, que leva à morte das abelhas, os inseticidas podem, também, provocar alterações comportamentais nos indivíduos, que ao longo do tempo acarretará sérios prejuízos na manutenção da colônia. Em algumas circunstâncias, o efeito de inseticidas nas abelhas pode não ser imediatamente notado, sendo necessárias avaliações empregando doses subletais, para que seja possível observar sua influência na sobrevivência, fisiologia

e comportamento (MEDRZYCHI et al., 2003).

Os inseticidas podem afetar as abelhas pelo contato, pela ingestão e por meio da fumigação. Os efeitos tóxicos também estão intimamente ligados às concentrações administradas, o tempo de exposição, dentre outras características (MALASPINA, 1979). Esses compostos podem causar a morte e alterações fisiológicas como, por exemplo, a diminuição da longevidade das abelhas ocasionada pela exposição a baixas doses de inseticidas (MALASPINA et al., 2008; PINHEIRO & FREITAS, 2010).

## ***Organoclorados***

Inseticidas organoclorados são aqueles que incluem os derivados clorados de difenil etano, hexaclorobenzeno, hexaclorocicloexano, ciclodienos e hidrocarbonetos clorados. Atuam em canais de sódio e potássio dos neurônios, alterando o fluxo normal de entrada e saída desses íons, o que afeta a transmissão dos impulsos. O DDT (diclorodifenilclorotano) é a substância química mais conhecida, utilizada e estudada durante o século XX. Seu uso intensivo na agricultura ocorreu por cerca de trinta anos, e a América de Sul é considerada o continente que mais fez uso do DDT. Em 1985, a

comercialização, o uso e a distribuição de DDT e de outros organoclorados para uso agropecuário foram proibidos em todo território brasileiro (D'AMATO et al., 2002).

MALASPINA & STORT (1983) estudaram o efeito do DDT (1%) aplicado topicamente em *Apis mellifera* africanizada, *A. mellifera ligustica*, *Scaptotrigona postica* e *Melipona quadrifasciata*, todas recém-emergidas. Estes autores concluíram que as espécies nativas foram mais tolerantes que as espécies exóticas, e que o inseticida lidano se mostrou mais tóxico para as abelhas africanizadas em comparação com o DDT, causando 100% de mortalidade após quatro horas de aplicação. MACIEIRA & HEBLING-BERALDO (1989) testaram a toxicidade de treze inseticidas (organoclorados, organofosforados, carbamatos e piretroides) sobre *Trigona spinipes* e verificaram que o heptacloro foi o mais tóxico, aumentando a taxa respiratória das operárias, seguido por paralisia e morte. Comparando esses resultados com outros dados na literatura, os autores concluíram que *T. spinipes* foi mais sensível a esses inseticidas que *A. mellifera*.

### ***Organofosforados e carbamatos***

Os organofosforados e carbamatos representam um número significativo (maior que 200) de princípios ativos quimicamente diferentes e encontram-se entre as principais causas de intoxicação aguda de humanos e animais. As principais razões para isto são a alta toxicidade de alguns representantes, a facilidade de aquisição de produtos registrados para uso agrícola, veterinário ou doméstico contendo estas substâncias e a ineficiência da fiscalização da comercialização de agrotóxicos de uso proibido ou restrito (XAVIER et al., 2007).

Organofosforados são compostos fosforados derivados do ácido fosfórico ou pirofosfórico; tiofosforados, derivados do ácido tionofosfórico ou ditionofosfórico; ou clorofosforados, quando possuem átomos de cloro em sua molécula. Já os carbamatos são derivados do ácido carbâmico ou do ácido N-metilcarbâmico (AMARAL, 1998; HEINZOW & ANDERSEN, 2006). Ambas as classes são inibidores da enzima colinesterase, ou agentes anticolinesterásicos. São capazes de inibir ou inativar a atividade da enzima acetilcolinesterase (AChE), uma das enzimas mais importantes e necessárias ao pleno funcionamento do sistema nervoso

de humanos e demais vertebrados e dos insetos, resultando em um aumento da atividade da acetilcolina (HEINZOW & ANDERSEN, 2006).

PINTO & MIGUEL (2008), após observarem relatos de mortalidade de abelhas na ordem de 70% no vale do Jataí, em Santa Catarina, realizaram estudos para verificar a presença de resíduos de inseticidas em abelhas mortas. Assim, verificaram que algumas das amostras apresentavam representantes de organofosforados e carbamatos.

MORAES et al. (2000) avaliaram a toxicidade aguda da malationa sobre *Scaptotrigona tubiba*, verificando que essa molécula foi menos tóxica quando aplicada diretamente sobre a abelha em comparação ao contato contínuo com resíduo. Verificaram, também, que esta espécie é mais susceptível que *Trigona spinipes* e *A. mellifera*, mas é mais tolerante que *Nanotrigona testaceicornis* e *Tetragonisca angustula*.

CARVALHO et al. (2009) avaliaram a toxicidade de inseticidas/acaricidas utilizados na cultura de cítricos para *A. mellifera* africanizada. Estes autores observaram que o organofosforado metidationa, quando aplicado por pulverização, provocou

distúrbios motores durante as primeiras horas da intoxicação, causando mortalidade de 68% das operárias após uma hora de contaminação e de 100% após nove horas. Quando oferecido junto à dieta, sintomas semelhantes foram observados, com 100% de mortalidade após quinze horas de contaminação. Em ensaio de contaminação por resíduos em superfícies, esse organofosforado provocou a morte de 76% das abelhas após quatro horas e 100% de morte após seis horas.

Em outro estudo, BAPTISTA et al. (2009) verificaram a toxicidade de outros inseticidas empregados na citricultura sobre *A. mellifera* africanizada. Independente do modo de exposição, os autores observaram que o acefato foi extremamente tóxico, causando a mortalidade de 100% das abelhas após vinte horas do fornecimento de dieta contaminada e/ou contato com resíduos em superfície. Quando este composto foi pulverizado diretamente sobre as abelhas, a mesma taxa de mortalidade foi observada quarenta horas após.

Em estudo comparativo de avaliação toxicológica, o inseticida metamidofós foi altamente tóxico para *Melipona quadrifasciata* e moderadamente tóxico para *A. mellifera* (DEL SARTO,

2009). Nesse caso, a espécie exótica foi 56 vezes mais tolerante ao metamidofós quando a exposição ocorreu por via oral e cinco vezes quando foi por aplicação tópica, quando comparada com a espécie nativa *M. quadrifasciata*.

### ***Piretroides***

Os piretroides são uma das classes de inseticidas mais utilizadas atualmente e são essenciais no controle de vetores de doenças em regiões de clima tropical (NEAL et al., 2010). São empregados frequentemente em combinação com piperonil butóxido e n-octil biciclooptano dicarboxamida, compostos que exercem efeito sinérgico aos piretroides, aumentando sua toxicidade por meio da inibição de enzimas, podendo chegar à completa destruição das mesmas (HEINZOW & ANDERSEN, 2006).

Este amplo grupo de compostos também tem sido avaliado quanto ao impacto negativo sobre as abelhas polinizadoras. CARVALHO et al. (2009) observaram que o inseticida deltametrina promoveu elevadas taxas de mortalidade quando pulverizado sobre *A. mellifera*, provocando o efeito *knock down*. Além disso, também demonstrou-se bastante tóxico quando ingerido e/ou em contato com resíduos sobre superfícies.

DEL SARTO (2009) concluiu que a deltametrina foi altamente tóxica para *A. mellifera* e *M. quadrifasciata*, sendo *A. mellifera* aproximadamente dez vezes mais tolerante quando esse piretroide foi administrado via oral do que por contato. Da mesma forma, MORAES et al. (2000) verificaram que a abelha *S. tubiba* é extremamente sensível à deltametrina. VANDAME & BELZUNCES (1998) verificaram que dosagens subletais de deltametrina provocaram efeitos adversos sobre abelhas, como alteração no voo de retorno à colônia e hipotermia. Ainda, THOMAZONI et al. (2007) concluíram que bifentrina é altamente tóxica para *A. mellifera*, ocasionando 100% de mortalidade.

### ***Neonicotenoïdes e Fenilpirazol***

Estes pesticidas são amplamente utilizados na agricultura e em plantas ornamentais, algumas das quais são comercialmente polinizadas por abelhas (QUARLES, 2008). A aplicação de inseticidas neonicotinoïdes às plantas é conhecida por resultar na concentração residual de pesticida no néctar e pólen das flores, mesmo quando é utilizado apenas para o tratamento de sementes (SCHMUCK et al., 2001; RORTAIS et al., 2005). Além disso, as gotas de gutação do

meloeiro tratado com imidacloprido podem conter elevadas concentrações deste composto (até 37 µg/ml) (HOFFMANN & CASTLE, 2012), resultando em importante exposição para as abelhas (PACÍFICO DA SILVA et al., 2015).

Os neonicotinoides possuem um grande destaque graças à sua eficiência no combate de insetos-pragas, devido ao seu espectro de ação, sistemicidade, relativa baixa toxicidade aos mamíferos e versatilidade de aplicação. Podem ser aplicados como tratamento de sementes e do solo, e diretamente sobre a folhagem da planta (NAUEN & BRETSCHEIDER, 2002). Os inseticidas neonicotinoides atuam como agonistas do receptor nicotínico de acetilcolina (nAChR) de uma maneira semelhante como a nicotina, mas com muito mais potência e seletividade para os receptores de insetos do que em mamíferos (TOMIZAWA & CASIDA, 2008).

A DL50 da exposição oral aguda para imidacloprido em abelhas foi estimada em 3,7-40,9 ng por abelha, ou 0,14-1,57 ppm no alimento (SCHMUCK et al., 2001), e a LD50 da exposição oral aguda de tiametoxam em abelhas foi estimada em 5,0 ng/abelha (GODFRAY et al., 2014). Contudo, as abelhas são muito

mais sensíveis à exposição crônica ao imidacloprido; a taxa de sobrevivência foi reduzida em abelhas que ingeriram uma dose cumulativa de 0,01 ng/abelha por 8 dias (SUCHAIL et al., 2001).

O imidacloprido pode reduzir a resistência das abelhas a patógenos (ALAUX et al., 2010; PETTIS et al., 2012). Doses tão baixas quanto 5 ppb dadas para as abelhas misturadas ao xarope de sacarose aumentaram o número de esporos por abelha do patógeno intestinal *Nosema* (PETTIS et al., 2012). Além aos seus efeitos imunossupressores, o imidacloprido também promove distúrbios comportamentais. As abelhas que ingeriram 50 ppb de imidacloprido na sua alimentação não viajaram tão longe e passaram mais tempo perto das fontes de alimento (TEETERS et al., 2012). Além disso, este composto reduziu a memória olfatória de abelhas, na dose de 12 ng por abelha (DECOURTYE et al., 2005). Ainda, as abelhas *Apis cerana* alimentadas com néctar contendo 34 ppb de imidacloprido apresentaram redução no combate a um inseto predador, e aqueles alimentados com 17 ppb ou 34 ppb coletaram um volume menor de néctar (TAN et al., 2014).

Já os fenilpirazoles, incluindo fipronil, possuem ação inseticida e herbicida, e atuam como antagonista dos receptores do ácido gama-aminobutírico (GABA), bloqueando o fluxo de íons de cloreto, levando a hiperexcitação e morte (GUNASEKARA et al., 2007). Como alguns neonicotinoides, o fipronil possui amplo espectro de ação e versatilidade de aplicação, podendo ser empregado para o tratamento de sementes, aplicação no solo, foliar e em iscas (COLE et al., 1993).

Os inseticidas neonicotinoides e fenilpirazol diferem dos inseticidas clássicos, pois apresentam ação sistêmica na planta (TRAPP & PUSSEMIER, 1991), e podem ser detectados no pólen e néctar durante todo o período de floração (CUTLER & SCOTT-EMPLASTRO, 2007). Como consequência, as abelhas podem sofrer uma exposição crônica a eles ao longo de grandes períodos de tempo após a aplicação (FERREIRA, 2010).

Estudos bioquímicos realizados por HASHIMOTO et al. (2003) demonstraram que o tiametoxam afeta a atividade de algumas carboxilesterases de *A. mellifera*, podendo inibir mais de 60% suas atividades independente de intoxicação por aplicação tópica ou ingestão. RUVOLO-TAKASUSUKI et al. (2009) verificaram

que a inibição dessas enzimas não é exclusiva em adultos. Em larvas expostas aos resíduos de tiametoxam no alimento, foi verificada uma redução de 25% da atividade dessas enzimas. Tal efeito inibitório desse neonicotinoide foi também verificado por CARVALHO (2010).

Com intuito de verificar a toxicidade de inseticidas empregados na citricultura sobre a abelhas africanizada, CARVALHO et al. (2009) concluíram que o inseticida tiametoxam é extremamente tóxico, provocando 71% de mortalidade após uma hora da pulverização sobre as abelhas, e 100% após nove horas. Quando fornecido junto ao alimento, a taxa de mortalidade é de 46% uma hora após o fornecimento, e de 99% após 24 horas. Em contato com resíduos de tiametoxam, a mortalidade das abelhas chegou a 100% nove horas após o início dos ensaios. Da mesma maneira, THOMAZONI et al. (2007) concluíram que tiametoxam não foi seletivo a adultos de *A. mellifera*.

CARVALHO et al. (2009) observaram que operárias adultas de *A. mellifera* em contato com os inseticidas tiametoxam e metidationa, por vias oral e tópica, manifestaram distúrbios de coordenação motora, incapacidade de voo e prostração após as primeiras horas.

Também foram observados movimentos desordenados e trêmulos após uma hora do contato com deltametrina.

Doses subletais de fipronil em *A. mellifera* promovem alterações no nível ultraestrutural em ventrículos, túbulos de Malpighi e glândulas de seda (CRUZ et al., 2010). Em outro estudo, SOUZA (2009) verificou que doses subletais de fipronil podem afetar a capacidade de aprendizado, memória e locomoção de *A. mellifera*, além de aumentar a expressão das proteínas Fos, relacionada à resposta de estresse celular. De forma similar, PEREIRA (2010) conclui que o reflexo de extensão da probóscide e a atividade de locomoção de abelhas africanizadas foram afetados após a administração tópica de doses subletais de acetamiprido, tiametoxam e fipronil.

FERREIRA (2010) observou mortalidade de 100% em operárias de *S. postica* intoxicados com doses subletais de fipronil por 14 dias. As avaliações morfológicas mostraram que esse inseticida pode causar alterações nos túbulos de Malpighi, aumento na porção apical das microvilosidades, dilatações das cisternas dos retículos endoplasmáticos rugosos, presença de vesículas e acúmulo de polirribossomos no citoplasma. No

corpo gorduroso, foram observados aumento da coalescência, depósitos lipídicos e proteicos nos vacúolos e nos trofócitos.

Além disto, os pesticidas neonicotinoides podem reduzir a resposta imune a patógenos. De fato, a exposição das abelhas com doses subletais do inseticida imidacloprido pode afetar os mecanismos de defesa das abelhas, tornando-as mais susceptíveis ao microsporídeo *Nosema ceranea*, o qual provoca uma doença severa, conhecida como nosemose (ALAUX et al., 2010).

#### ***Fatores relacionados à toxicidade dos pesticidas nas abelhas***

O tempo residual (RT) de pesticidas na cultura-alvo exerce grande influencia sobre as abelhas polinizadoras. JOHANSEN & MAYER (1990) estabeleceram um parâmetro para garantir segurança das abelhas nas aplicações, sem comprometer a eficácia contra as pragas, doenças e ervas daninhas na cultura-alvo. Trata-se do tempo de degradação residual do pesticida que causa até 25% (RT25) ou 40% (RT40) na mortalidade de abelhas expostas a estes resíduos. Seguindo este critério, os inseticidas de RT25 de 2 horas ou menos oferecem mínimo risco para as abelhas, desde que não aplicados quando

elas estejam em forrageamento intensivo, enquanto que para inseticidas com RT25 de até 8 horas, o ideal é que as aplicações sejam feitas durante o crepúsculo ou à noite. Os inseticidas que têm RT25 maior que 8 horas não oferecem segurança, podendo afetar drasticamente a atividade de forrageamento das abelhas operárias. Assim estes produtos não devem ser aplicados sobre a cultura-alvo em pleno florescimento, mas bem antes desta fase e durante adiantado crepúsculo ou madrugada, antes das abelhas começarem a atividade de forrageamento (JOHANSEN & MAYER, 1990).

Outro fator que exerce grande influencia é o tamanho da área pulverizada num determinado período de tempo. JOHANSEN & MAYER (1990) verificaram uma mortalidade acentuada numa área de 80ha de macieiras, tratadas com um inseticida, e que foi significativamente maior do que numa área de 0,8ha. Neste aspecto, em áreas de menor extensão e que utilizam a mão-de-obra familiar o impacto negativo sobre as abelhas é reduzido, pois o ritmo de manejo é mais lento, não havendo pulverização na sua plenitude, num único decurso de tempo (PINHEIRO & FREITAS, 2010).

Fatores ambientais, como a umidade relativa e a temperatura do ar,

também alteram o potencial de toxicidade de um ingrediente ativo. Assim, um inseticida que oferece relativa segurança para abelhas pode tornar-se muito tóxico, dependendo da temperatura do ar durante um período específico (PINHEIRO & FREITAS, 2010). De fato, foi observado que as abelhas se tornam mais sensíveis aos neonicotinoides durante as temperaturas mais baixas do inverno (LU et al., 2012, 2014). Da mesma forma, os riscos residuais dos inseticidas carbofuran, clorpirifós e acefato, cresceram vertiginosamente quando pulverizados com temperaturas baixas (10°C) (JOHANSEN & MAYER, 1990).

Por outro lado, em altas temperaturas, os efeitos imediatos de inseticidas em abelhas podem ser mais evidentes, em função da mais rápida quebra do ingrediente ativo tóxico devido à ação da luz, temperatura e do metabolismo da planta, serem elevados em regiões de baixa latitude (HOOVEN et al., 2013). Em regiões com temperaturas elevadas, as abelhas de colônias muito populosas se aglomeram na entrada da colmeia, a fim de reduzir a temperatura interna das mesmas; movimentando suas asas de forma a direcionar uma corrente de ar para o interior da colmeia. Deste modo a deriva de

inseticidas, aplicado naquele momento, pode atingir a colônia (CUNHA, 2008).

Com relação ao estágio de florescimento das culturas-alvo, na fase mais atrativa, quando as abelhas estão em intensa atividade de forrageamento, as pulverizações diurnas com inseticidas de alto risco para as abelhas devem ser evitadas. Assim, o ideal é que as aplicações sejam feitas à noite, muito cedo da manhã ou adiantado crepúsculo, quando as abelhas não estiverem forrageando (JAY, 1986). De um modo geral, pode se classificar como seguras as aplicações feitas em adiantado crepúsculo/noite, de nível intermediário aquelas realizadas da meia noite ao raiar do sol e perigosas as pulverizações feitas logo cedo da manhã (HOOVEN et al., 2013). O conhecimento do período de tempo que cada cultura, em regiões específicas, permanece com suas flores abertas e a definição dos picos para coleta de pólen e néctar são de extrema importância, a fim de se evitar aplicações de pesticidas nesses períodos críticos de visita das abelhas (SOUSA et al., 2012).

A deriva nas aplicações de agrotóxicos é considerada um dos maiores problemas da agricultura. Segundo CUNHA (2008), a deriva pode alcançar a distância horizontal de 38,3 m para gotas de 40  $\mu\text{m}$ , em velocidade do vento de 5 m/s e altura de lançamento de 0,8 m. Essa distância pode ser muito superior se,

durante a trajetória, a gota tiver seu diâmetro diminuído pelo processo de evaporação, como ocorre em altas temperaturas mesmo sob a ação de ventos relativamente fracos. Uma das soluções encontradas para reduzir esse problema é o estabelecimento das chamadas zonas de segurança (SNOO, 1999). Trata-se de uma faixa de vegetação que não pode receber a aplicação de agrotóxico para proteger uma determinada área sensível como, por exemplo, um curso de água. A extensão dessa faixa, no entanto, é variável e depende das condições das aplicações (CUNHA, 2008).

A distância entre as colmeias e a plantação é outro fator de extrema importância. Quanto mais próximo das culturas as colônias de abelhas são instaladas, maior o risco de intoxicação, o que ocorre por meio da deriva nas correntes de vento. Além disso, quando a cultura-alvo é a única em pleno florescimento na área tratada, a atratividade exercida pelas suas flores sobrepuja até mesmo grandes distâncias, em torno de até 4,5 ou 6 km. Estas considerações conduzem ao fato da perda de alternativa de plantas forrageiras como fonte de néctar e pólen pode agravar o efeito dos pesticidas sobre as abelhas (SOUSA, 2003).

## Conclusão

A exposição aos praguicidas pode representar uma grave ameaça às abelhas, comprometendo a produção apícola. Os efeitos nas abelhas é bastante variável, incluindo alterações do sistema olfatório, distúrbios no vôo, comprometimento da resposta imune e redução na sobrevivência. O uso dos praguicidas na produção agrícola deveria ser melhor controlado para evitar efeitos tóxicos nas abelhas.

## Referências

- ALAUX, C. et al. Interactions between *Nosema* microspores and a neonicotinoid weaken honeybees (*Apis mellifera*). **Environmental Microbiology**, v.12, p.774-782, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1462-2920.2009.02123.x>>. doi: 10.1111/j.1462-2920.2009.02123.x.
- AMARAL, D. A. **Intoxicações por agrotóxicos: diagnóstico e tratamento**. Florianópolis: CIT/SC; 1998. 25 p.
- BAPTISTA, A.P.M. et al. Toxicidade de produtos fitossanitários utilizados em citros para *Apis mellifera*. **Ciência Rural**, v.39, n.4, p.955-961, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000049>>. doi: 10.1590/S0103-84782009005000049.
- BONZINI, S. et al. Predicting pesticide fate in the hive (part 1): experimentally determined  $\tau$ -fluvalinate residues in bees, honey and wax. **Apidologie**, v.42, p.378-390, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s13592-011-0011-2>>. doi: 10.1007/s13592-011-0011-2.
- CARVALHO, S.M. **Honeybee *Apis mellifera* L., 1758 (Hymenoptera: Apidae) enzymes as possible biomarkers for the assessment of environmental contamination with pesticide**. 2010. 105p. Tese (Doutorado em Agronomia/Entomologia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Entomologia, Universidade Federal de Lavras.
- 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. Disponível em: <[http://www.biologico.sp.gov.br/docs/arg/v76\\_4/carvalho.pdf](http://www.biologico.sp.gov.br/docs/arg/v76_4/carvalho.pdf)>.
- COLE, L. et al. Action of phenylpyrazole insecticides at the GABA-gated chloride channel. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v.46, n.1, p.47-54, 1993. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1006/pest.1993.1035>>. doi: 10.1006/pest.1993.1035.
- CRUZ, A.S. et al. Morphological alterations induced by boric acid and fipronil in the midgut of worker honeybee (*Apis mellifera* L.) larvae. **Cell Biology and Toxicology**, v.26,

n.2, p.165-176, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10565-009-9126-x>>. doi: 10.1007/s10565-009-9126-x.

CUNHA, J.P.A.R. Simulação da deriva de agrotóxicos em diferentes condições de pulverização. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.5, p.1616-1621, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000500039>>. doi: 10.1590/S1413-70542008000500039.

CUTLER, G.C.; SCOTT-DUPREE, C.D. Exposure to clothianidin seed-treated canola has no long-term impact on honey bees. **Journal of Economic Entomology**, v.100, p.765-772, 2007. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493\(2007\)100\[765:ETCSCH\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493(2007)100[765:ETCSCH]2.0.CO;2)>. doi: 10.1603/0022-0493(2007)100[765:ETCSCH]2.0.CO;2.

D'AMATO, C. et al. DDT (dicloro difenil tricloroetano): toxicidade e contaminação ambiental-uma revisão. **Química Nova**, v.25, p.995-1002, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422002000600017>>. doi: 10.1590/S0100-40422002000600017.

DECOURTYE, A. et al. Comparative sublethal toxicity of nine pesticides on olfactory learning performances of the honeybee *Apis mellifera*. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v.48, p.242-250, 2005. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1007/s00244-003-0262-7>>. doi: 10.1007/s00244-003-0262-7.

DEL SARTO, M.C.L. **Toxicidade de inseticidas para as abelhas *Melipona quadrifasciata* e *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae)**. 2009. 64p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Curso de Pós-graduação em Entomologia, Universidade Federal de Viçosa.

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.

GODFRAY, H.C.J. et al. A restatement of the natural science evidence base concerning neonicotinoid insecticides and insect pollinators. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v.281, art.20140558, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.0558>>. doi: 10.1098/rspb.2014.0558.

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

HASHIMOTO, J.H. et al. Evaluation of the inhibition esterase activity on *Apis mellifera* as bioindicators of insecticide thiamethoxam pesticide residues. **Sociobiology**. v.42, n.3, p. 693-699, 2003.

HEINZOW, B.; ANDERSEN, H.R. Biocides and Pesticides. In: DUFFUS, J.H.; WORTH, H.G.J. **Fundamental Toxicology**. Londres : Royal Society of Chemistry, 2006. Cap.22, p.291-302.

HOFFMANN, E.J.; CASTLE, S.J. Imidacloprid in melon guttation fluid: a potential mode of exposure for pest and beneficial organisms. **Journal of Economic Entomology**, v.105, p.67-71, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1603/EC11251>>. doi: 10.1603/EC11251.

HOOVEN, L.; SAGILI, R.; JOHANSEN, E. **How to reduce bee poisoning from pesticides**. Corvallis : Oregon State University, PNW (Pacific Northwest Extension) n.591, 2006. 26p.

JAY, S.C. Spatial management of honeybees on crops. **Annual Review of Entomology**, v.31, p.49-65, 1986. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.en.31.010186.000405>>. doi: 10.1146/annurev.en.31.010186.000405.

JOHANSEN, C.A.; MAYER, D.F. **Pollinator protection: a bee and pesticide**. Cheshire : WicwasPr, 1990. 212 p.

JOHANSEN, C.A. et al. Pesticides and bees. **Environmental Entomology**, v.12, p.1513-1518, 1983.

LU, C. et al. In situ replication of honeybee colony collapse disorder. **Bulletin of Insectology**, v.65, n.1, p.99-106, 2012. Disponível em: <<http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol65-2012-099-106lu.pdf>>.

LU, C. et al. Sub-lethal exposure to neonicotinoids impaired honey bees winterization before proceeding to colony collapse disorder. **Bulletin of Insectology**, v.67, n.1, p.125-130, 2014. Disponível em: <<http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol67-2014-125-130lu.pdf>>.

MACIEIRA, O.J.D.; HEBLING-BERALDO, M.J.A. Laboratory toxicity of insecticides to workers of *Trigona pinipes* (F., 1793) (Hymenoptera: Apidae). **Journal of Apicultural Research**, v.28, n.1, p.3-6, 1989. Disponível em: <<http://www.ibra.org.uk/articles/Toxicity-of-insecticides-to-Trigona>>.

MALASPINA, O. **Estudo genético da resistência ao DDT e relação com outros caracteres em *Apis mellifera* (Hymenoptera, Apidae)**. 1979. 81p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas/Zoologia) - Curso de Pós-graduação em Ciências Biológicas/Zoologia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

MALASPINA, O.; STORT, A.C. DDT tolerance of africanized bees, italian bees (*Apis mellifera linguistica*) and their F1 hybrids (Hymenoptera: Apidae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, v.56, n.1, p.74-79, 1983.

MAYER, D.F.; LUNDEN, J.D. Field and laboratory tests of the effects of fipronil on adult female bees of *Apis mellifera*, *Megachile rotundata* and *Nomia melanderi*. **Journal of Apicultural Research**, v. 38, p. 191-197, 1999. Disponível em: <[http://www.ibra.org.uk/articles/20100319\\_7](http://www.ibra.org.uk/articles/20100319_7)>.

MEDRZYCHI, P. et al. Effects of imidacloprid administered in sub-lethal doses on honey bee behaviour. Laboratory test. **Bulletin of Insectology**, v.56, n.1, p.59-62, 2003. Disponível em: <<http://www.entomology.umn.edu/cues/pollinators/pdf-HBfor/2003Medrzycki.pdf>>.

MORAES, S.S. et al. Avaliação da toxicidade aguda (DL50 e CL50) de inseticidas para *Scaptotrigona tubiba* (Smith) (Hymenoptera: Apidae): via de contato. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.29, n.1, p.31-37, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0301-80592000000100004>>. doi: 10.1590/S0301-80592000000100004.

NAUEN, R.; BRETSCHEIDER, T. New modes of action of insecticides. **Pesticide Outlook**, v.13, p.241-245, 2002. Disponível

em: <<http://dx.doi.org/10.1039/B211171N>>. doi: 10.1039/B211171N.

NEAL, A.P. et al. Allethrin differentially modulates voltage-gated calcium channel. **Toxicological Sciences**, v.116, n.2, p.604-613, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/toxsci/kfq139>>. doi: 10.1093/toxsci/kfq139.

PACÍFICO DA SILVA, I. et al. Pesticide exposure of honeybees (*Apis mellifera*) pollinating melon crops. **Apidologie**, v. 46, p. 703-715, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s13592-015-0360-3>>. doi: 10.1007/s13592-015-0360-3.

PEREIRA, A.M. **Efeitos de inseticidas na sobrevivência e no comportamento de abelhas**. 2010. 124f. Tese (Doutorado em Zoologia) - Curso de Pós-graduação em Zoologia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

PETTIS, J. et al. Pesticide exposure in honey bees results in increased levels of the gut pathogen *Nosema*. **Naturwissenschaften**, v. 99, p. 153-158, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00114-011-0881-1>>. doi: 10.1007/s00114-011-0881-1.

PINHEIRO, J.N.; FREITAS, B.M. Efeitos letais dos pesticidas agrícolas sobre polinizadores e perspectivas de manejo para os agroecossistemas brasileiros. **Oecologia Australis**, v.14, p.266-281, 2010.

PINTO, M.R.; MIGUEL, W. Intoxicação de *Apis mellifera* por organofosforado na região do Vale do Itajaí-SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MEDICINA VETERINÁRIA, 35., 2008, Gramado, RS. **Anais...** Gramado : Sovergs, 2008. CD. R1080-2.

RORTAIS, A. et al. Modes of honeybees exposure to systemic insecticides: estimated amounts of contaminated pollen and nectar consumed by different categories of bees. **Apidologie**, v.36, p.71-83, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1051/apido:2004071>>. doi: 10.1051/apido:2004071.

RUVOLO-TAKASUSUKI, M.C.C. et al. Avaliação da utilização de larvas de abelhas africanizadas (*Apis mellifera*) como bioindicadores na presença de resíduos de Thiamethoxan. **Click Ciência**, n.17, p.1-10, 2009. Disponível em: <[http://www.clickciencia.ufscar.br/portal/educacao17/artigo1\\_detalle.php](http://www.clickciencia.ufscar.br/portal/educacao17/artigo1_detalle.php)>.

SCHMUCK, R. et al. Risk posed to honeybees (*Apis mellifera* L, Hymenoptera) by an imidacloprid seed dressing of sunflowers. **Pest Management Science**, v.57, p.225-238, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/ps.270>>. doi: 10.1002/ps.270.

SNOO, G.R. Unsprayed field margins: effects on environment, biodiversity and agricultural practice. **Landscape and Urban Planning**, v.46, n.1, p.151-160, 1999. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046\(99\)00039-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00039-0)>. doi: 10.1016/S0169-2046(99)00039-0.

SOUSA, R.M. **Polinização do meloeiro (*Cucumis melo* L.) por abelhas melíferas (*Apis mellifera* L.): requerimentos da cultura e manejo das colônias**. 2003. 119p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Curso de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal do Ceará.

SOUSA, R.M. et al. Comportamento de pastejo das abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) em flores de melão amarelo (*Cucumis melo* L.). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n.1, p.233-238, 2012. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2962>>.

SOUZA, T.F. **Efeitos das doses subletais do fipronil para abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) por meio de análises morfológicas e comportamentais**. 2009. 38f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Curso de Pós-graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

SUCHAIL, S. et al. Discrepancy between acute and chronic toxicity induced by imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera*. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.20, p.2482-2486, 2001.

TAN, K. et al. Imidacloprid alters foraging and decreases bee avoidance of predators. **PLoS One**, v. 9, art.e102725, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0102725>>. doi: 10.1371/journal.pone.0102725.

TEETERS, B.S. et al. Using video-tracking to assess sublethal effects of pesticides on honey bees (*Apis mellifera* L.). **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.31, p.1349-1354, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/etc.1830>>. doi: 10.1002/etc.1830.

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. CD-ROM. E65.

TOMIZAWA, M.; CASIDA, J.E. Molecular recognition of neonicotinoid insecticides: the determinants of life or death. **Accounts of Chemical Research**, v.42, p.260-269, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/ar800131p>>. doi: 10.1021/ar800131p.

TRAPP, S.; PUSSEMIER, L. Model calculations and measurements of uptake and translocation of carbamates by bean plants. **Chemosphere**, v.22, p.327-339, 1991. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0045-6535\(91\)90321-4](http://dx.doi.org/10.1016/0045-6535(91)90321-4)>. doi: 10.1016/0045-6535(91)90321-4.

VANDAME, R.; BELZUNCES, L.P. Joint actions of deltamethrin and azole fungicides on honey bee thermoregulation. **Neuroscience Letters**, v.17, n.251, p.57-60, 1998. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3940\(98\)00494-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3940(98)00494-7)>. doi: 10.1016/S0304-3940(98)00494-7.

XAVIER, F.G. et al. Toxicologia do praguicida aldicarb (“chumbinho”): aspectos gerais, clínicos e terapêuticos em cães e gatos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 4, p. 1206-1211, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782007000400051>>. doi: 10.1590/S0103-84782007000400051.