

Monitoramento de Abelhas Africanizadas (*Apis mellifera L.*) usando tecnologia de rádio frequência (RFID) em Belém, Pará

Monitoring of Africanized Bees (*Apis mellifera L.*) using radiofrequency identification technology (RFID) in Belem, Para, Brazil

Daniel Santiago Pereira^{1*}; Marcos Enê Chaves Oliveira¹; Max Jorge Moura^{1,2}; Welton de Andrade de Carvalho^{1,3}; Helder Moreira Arruda⁴; Luciano Costa⁵; Jessyca Camilly Silva de Deus^{1,5}; Aline Carla de Medeiros⁶; Rosilene Agra da Silva⁶; Patrício Borges Maracajá⁷; João Paulo de Holanda-Neto⁸; Paulo Said⁹; Carlos Fernandes Xavier¹⁰; Cláudio José Reis de Carvalho^{1,11}; Vera Lúcia Imperatriz Fonseca¹²; Paulo Antônio de Souza Júnior¹³

¹*Embrapa Amazônia Oriental, Belém, Pará, Brasil. E-mail: daniel.pereira@embrapa.br; ²Tecnólogo em Sistemas para Internet; ³Graduando em Gestão do Agronegócio, Faculdade CNA, Capanema, Pará; ⁴Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo; ⁵Instituto Tecnológico Vale, Belém; ⁶Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba; ⁷Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba; ⁸Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Crateús, Ceará; ⁹Federação de Agricultura e Pecuária do Pará, Belém; ¹⁰Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba; ¹¹Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará; ¹²Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo; ¹³CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia; School of Information Communication Technology, Griffith University, Gold Coast, QLD, Australia.

ARTIGO

Recebido: 01/08/2022

Aprovado: 26/11/2022

Publicado: 29/12/2022

Palavras-chave:

Abelhas Melíferas
Comportamento de abelhas
Microchips

RESUMO

Este trabalho objetivou acompanhar o comportamento das abelhas africanizadas (*Apis mellifera L.*), utilizando sensores de rádio frequência – RFID em Belém, Pará, Brasil. A metodologia empregada baseou-se na fixação de rastreadores às abelhas, passando a ser observadas por ondas eletromagnéticas, por meio de um condutor de metal ou carbono que funciona com antena, trocando informações com o sistema através de seus EPCs (Electronic Product Code). A avaliação comportamental dessas abelhas com o uso da tecnologia RFID poderá trazer informações de grande importância para um melhor entendimento da biologia comportamental do inseto e suas relações com o bioma amazônico, as quais também poderão ser utilizadas na potencialização da polinização e da produção de mel para a geração de renda aos apicultores da região da Amazônia Oriental.

ABSTRACT

This work aimed to follow the behavior of Africanized bees (*Apis mellifera L.*) using radio frequency sensors (RFID) at Belem, Para, Brazil. The used methodology is based on the anchoring of trackers to the bees, passing through an observation by electromagnetic waves to the medium of a metal conductor or a system that works with the antenna, exchanging information with the system through its EPCs (Electronic Code of Product). The behavioral evaluation allows the use of RFID technology to bring information to the Amazon biome and that is also used to enhance the production of honey as well as pollination for income generation in the beekeepers of the Eastern Amazon region.

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas brasileiros, em especial o amazônico, possuem muitas características que favorecem a criação das abelhas. Em 2019 o Pará liderou a produção de mel no Norte do Brasil com mais de 60% da produção de toda a região. Considerando os últimos 10 anos, o crescimento da produção foi

de aproximadamente 60% no estado (IBGE, 2019; MONTEIRO, 2013).

A criação de abelhas para a produção de mel e derivados é uma importante atividade da agricultura familiar no Brasil. De acordo com dados do Censo Agropecuário do IBGE (2017) existem no país 113.996 estabelecimentos com atividades de apicultura e criação de abelhas em caixas de colmeias. A maior

parte desses estabelecimentos, em torno de 78%, é relacionada a unidade de produção familiar e/ou empreendimento familiar rural.

A apicultura mundial está ameaçada por conta da Síndrome da Desordem do Colapso das Colônias (CCD – *Colony Collapse Disorder*) (NEUMANN; CARRECK, 2010), e como consequência direta estima-se o declínio da diversidade e da produção de alimentos de origem vegetal dependentes da polinização bióticas realizada por esses insetos (GIANNINI et al., 2015a, GIANNINI et al., 2015b).

Estudos usando métodos manuais são os mais utilizados para observar a colmeia, com algumas dificuldades não apenas na mão de obra, mas também na produção de registros. Um sistema de monitoramento automático para analisar a entrada e saída das abelhas, é uma ferramenta importante; com um sistema de monitoramento automático, informações quantitativas sobre o comportamento das abelhas podem ser obtidas de forma eficiente, o que permite a modelagem e análise de atividade de forrageamento e memória geográfica (ADEVA, 2012).

Sensores de rádio frequência (RFID) tem sido utilizados para estudar a relação de diversos grupos taxonômicos de Hymenoptera com o meio ambiente por meio do monitoramento de atividades (BROMENSHENK et al., 2015; COSTA et al., 2021; DECOURTYE et al., 2011; HE et al., 2012; HENRY et al., 2012; LUVISI, 2016; NUNES-SILVA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021; ROBINSON et al., 2009; SCHNEIDER et al., 2012; STELZER et al., 2010; THOMPSON et al., 2016; VAN GEYSTELEN et al., 2016; VAN OYSTAEYEN et al., 2013).

Entre os sistemas de monitoramento automático até agora utilizados, o método mais eficaz demonstrou ser os sensores de radiofrequência (RFID). Nestes tipos de sistemas, um RFID leitor é colocado na entrada de uma colmeia para detectar as etiquetas em miniatura presas ao dorso das abelhas e é usado para interpretar os dados armazenados (COSTA et al., 2021; DECOURTYE et al., 2011; HENRY et al., 2012; HE et al., 2012; NUNES-SILVA et al., 2019).

Além disso, essa tecnologia fornece uma ferramenta eficiente para estudos experimentais para comparar vários fatores que afetam o comportamento das abelhas (COSTA et al., 2021; HENRY et al., 2012; PAHL et al., 2011).

Assim, este trabalho objetivou-se avaliar o uso de sensores de rádio frequência (RFID) para acompanhar o comportamento de abelhas operárias e zangões de abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) em região da Amazônia Oriental.

MATERIAL E MÉTODOS

Tecnologias Utilizadas

Utilizou-se um sistema composto por *hardware* e *software* que permitiu a detecção de abelhas em seu ambiente natural para registro de seu comportamento. O *hardware*, composto por etiquetas eletrônicas, unidades de leitura, antenas, placas de circuito impresso e caixa de proteção. Foi utilizada uma plataforma equipada com antenas RFID para o monitoramento de insetos sociais. As etiquetas RFID usadas possuíam 2,5 mm × 2,5 mm × 0,4 mm de tamanho e peso de 5,4 mg, confeccionados pela Hitachi Chemicals (HITACHI CHEMICAL, 2016) com operação adequada às condições de variação de temperatura e umidade características do clima brasileiro. Os equipamentos que

compõem o sistema de registro do fluxo de atividades das abelhas foram fornecidos por colaborador do projeto, vinculado à Empresa Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) (SOUZA et al., 2018) (Figura 1).

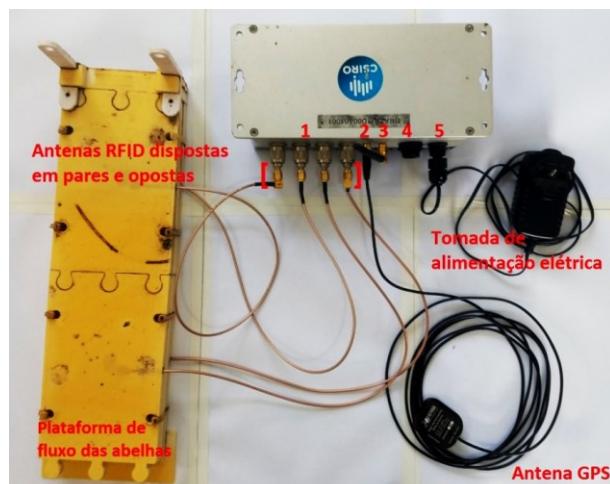


Figura 1: Caixa protetora de alumínio (18,5 cm × 10,5 cm × 5,5 cm) e acessos periféricos: (1) RFID antenas e portas; (2) Antena GPS; (3) Antena Wi-Fi; (4) Porta micro-USB GNSS; (5) Tomada de alimentação elétrica

O *software* usou linguagem de programação Python versão 2.7, multiprocessamento do módulo de IoT (*Internet of Things*) Intel Edison, com processador de dois núcleos (*dual core*) para gerar arquivos de registros diários, conhecidos como *logs*, que armazenaram informações sobre a operação de cada unidade do *hardware* e dados capturados das etiquetas RFID (SOUZA et al., 2018).

Cada etiqueta possuía um Código Eletrônico de Produto (EPC) e, nesse código, foi registrado um identificador hexadecimal exclusivo gravado no *chip* da etiqueta. Metadados sobre as abelhas foram codificados no EPC, descrevendo informações sobre o local onde a abelha foi marcada, em que tipo de plataforma a abelha foi marcada e espécie e tipo informações sobre a abelha (Figura 2).



Figura 2: Aplicativo desenvolvido pela empresa de pesquisa australiana CSIRO para gravar a identidade de cada indivíduo

Unidade Amostral

Os ensaios em abelhas africanizadas ocorreram entre agosto e dezembro de 2017 e setembro e novembro de 2018, utilizando

uma colmeia Langstroth do apiário Iracema (126°10,86"S; 4826'36,05"), Fazenda Experimental da Embrapa Amazônia Oriental, em Belém-PA, Brasil.

O clima da região é Afl de Köppen com temperatura variando de 31,5 a 33,1°C, umidade relativa do ar acima de 78% e ventos predominantes de leste e nordeste com variação de 4 a 6,7 km/h. A precipitação anual varia entre 2.769,4 a 3.775,6 mm com período chuvoso de dezembro a maio e menos chuvoso de junho a novembro (INMET, 2020).

Foi monitorado o comportamento de abelhas de idades diferentes, categorizadas em dois grupos: adultas e recém emergidas. As abelhas operárias adultas foram coletadas na entrada da colmeia e, neste grupo, foram marcadas abelhas fêmeas estéreis (operárias) e machos (zangões). As abelhas eram capturadas em um tubo e, com o auxílio de um bastão, com uma esponja, foram empurradas para uma tela na outra extremidade, onde as etiquetas de RFID eram fixadas ao seu mesotórax. As marcações foram feitas semanalmente, marcando-se 50 abelhas operárias e 10 zangões. O período do experimento foi durante o mês de agosto de 2017. Foram marcadas, no total, 250 abelhas operárias e 50 zangões em idade fisiológica de voo. Para marcar as abelhas operárias recém emergidas, favos de cria em fase de

pupa, foram levadas à uma câmara climática com temperatura 33°C e umidade relativa de 60%. Ao emergirem dos alvéolos, as abelhas com até 24 horas foram marcadas com etiquetas RFID. As operárias jovens, após terem fixados as tag's RFID em seus dorsos, eram dispostas em recipiente plástico fechado, transparente e aerado, em temperatura de 33° e UR70%, aguardando a dissipação do odor da cola para minimizar rejeições na colmeia. A devolução das abelhas marcadas se dava após 2 horas. A avaliação desse grupo ocorreu de setembro a outubro de 2018. As marcações eram feitas semanalmente, marcando-se sempre 50 abelhas, totalizando 250 abelhas marcadas ao final.

A execução dos experimentos se deu no período menos chuvoso para possibilitar o acompanhamento das atividades da colônia concomitante ao fluxo polinífero e nectarífero presente durante o segundo semestre em parte da região amazônica, período que ocorre uma redução dos índices pluviométricos, possibilitando o trabalho de pastejo e o desenvolvimento populacional dos enxames de abelhas africanizadas.

Na Figura 3 observa-se os métodos empregados para fixação das etiquetas no mesotórax das abelhas jovens e adultas.

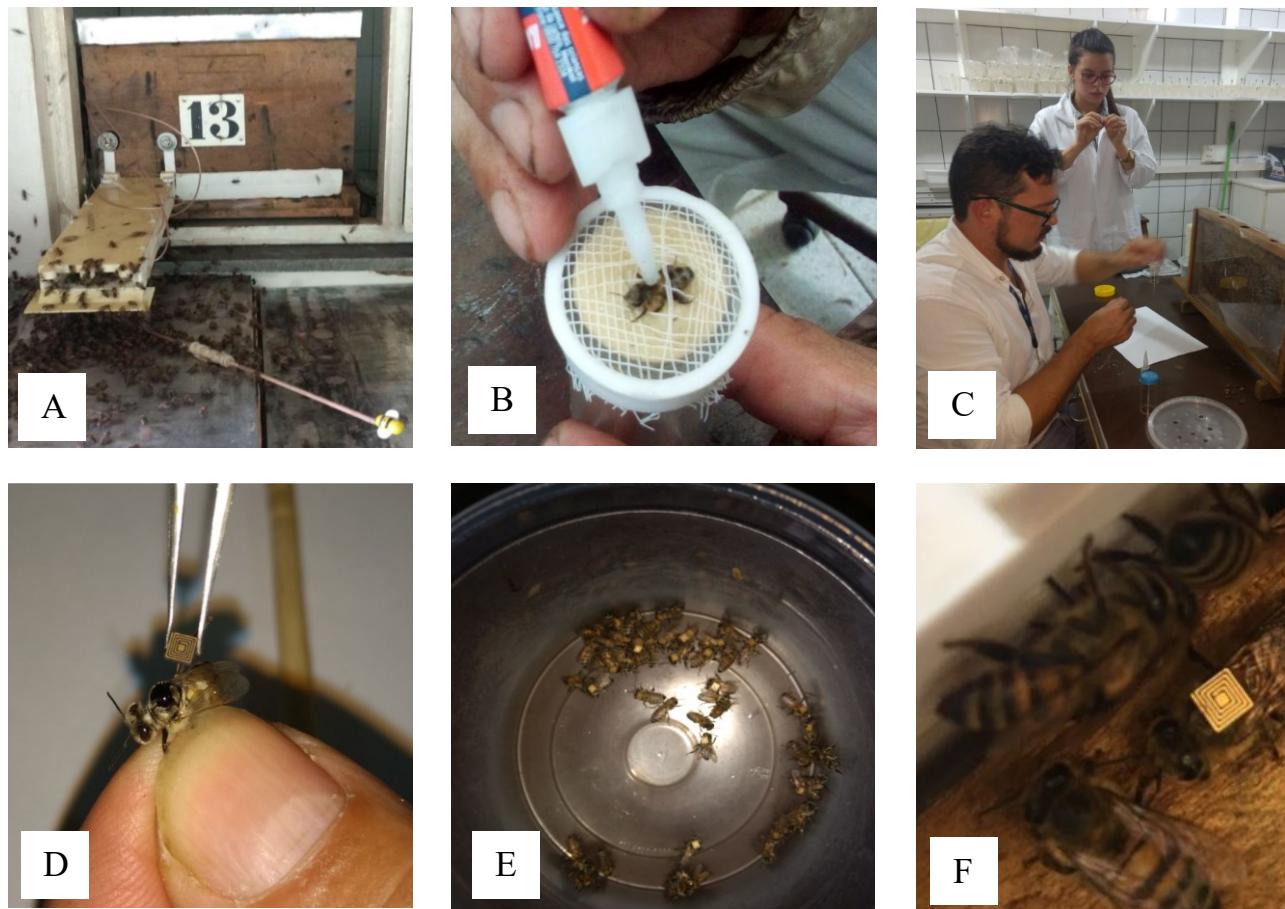


Figura 3. Colmeia equipada com equipamento da CSIRO dotado de plataforma acoplada às antenas incorporadas ao computador para gravar informações (A); Sistema para fixação de sensores em abelhas adultas, no apiário da Embrapa Amazônia Oriental (B); Sistema de fixação de sensores abelhas jovens no Laboratório de Entomologia da Embrapa Amazônia Oriental (C); abelha africanizada recém-emergida sendo marcada com sensor (D); abelhas africanizadas com o sensor fixado aguardando a dissipação do odor da cola para devolução à colmeia (E); abelha com sensor na entrada da colmeia (F).

Obtenção dos Dados e Tabulação das Informações

Um algoritmo de extração lexicográfica, implementado em software escrito na linguagem de programação Python, versão 3.6, extraiu dos *logs* gravados o total de eventos e os armazenou em um cartão de memória.

Avaliação do comportamento de abelhas adultas

Uma vez identificadas ao saírem das colônias, automaticamente, as abelhas adultas foram monitoradas quanto a intensidade de atividades. As operárias adultas que mantiveram os Tags do início ao fim do experimento apresentaram vida útil total estimada de 38 dias.

Os eventos foram normalizados e recompostos numa base de dados com as colunas (com nomes auto-explicativos em referência às informações gravadas nos arquivos de texto): “DateTimeUTC”, “DateTimeBelem”, “Id”, “Exponent1”, “Mantissa1”, “Exponent2”, “Mantissa2”, “Transceiver”, “AnaCtrl” e “GainFlag”. A coluna DateTimeBelem representa o horário de captura do evento já convertido para o fuso horário de Belém, onde o experimento está sendo realizado; e a coluna Id representa a tag RFID utilizada em cada abelha.

Os eventos foram processados pelos filtros (sequenciais e de efeito cumulativo): Foram excluídos todos os registros da tag FFFFFFFFFFFFFFFFFFFF, que serve apenas para efeitos de *debug* do sistema; foram excluídos, para cada abelha, os eventos captados a menos de 30 segundos de diferença do anterior. O objetivo foi mitigar o efeito de a mesma abelha ser captada seguidas vezes enquanto completa seu movimento (de entrada ou saída); e foram eliminadas as tags que não contribuíram com ao menos 10 eventos, após a aplicação dos filtros anteriores.

Avaliação do comportamento de abelhas jovens

Os eventos foram processados pelos seguintes filtros (sequenciais e de efeito cumulativo): Foram excluídos todos os registros da tag FFFFFFFFFFFFFFFFFFFF, que serve apenas para efeitos de *debug* do sistema; foram excluídos, para cada abelha, os eventos captados a menos de 60 segundos de diferença do anterior. O objetivo foi mitigar o efeito de a mesma abelha ser captada seguidas vezes enquanto completa seu movimento (de entrada ou saída); e foram eliminadas as tags que não contribuíram com ao menos 5 eventos, após a aplicação dos filtros anteriores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação do comportamento de abelhas adultas

Os dados gravados representavam leituras (*logs*) ocorridas durante o mês de agosto de 2017. Contabilizaram-se 254.231 eventos que após aplicados os filtros, restaram 3.812 eventos, que dizem respeitos a 56 abelhas mais ativas, sendo 41 operárias e 15 zangões, as quais foram sintetizadas em *heatmap* (Figura 4).

Como resultado da aplicação dos filtros elencados, foram verificadas 4.079 observações de 56 tag's diferentes, as quais foram sintetizadas em *heatmap* (Figura 04).

Observou-se a rejeição da colônia para algumas das abelhas, provavelmente por conta do odor da cola nos sensores nas abelhas marcadas, já que, as abelhas eram soltas imediatamente após a marcação, identificado através do sistema de comunicação química intraespecífica que as abelhas *A. mellifera* possuem por meio de feromônios (WYATT, 2003).

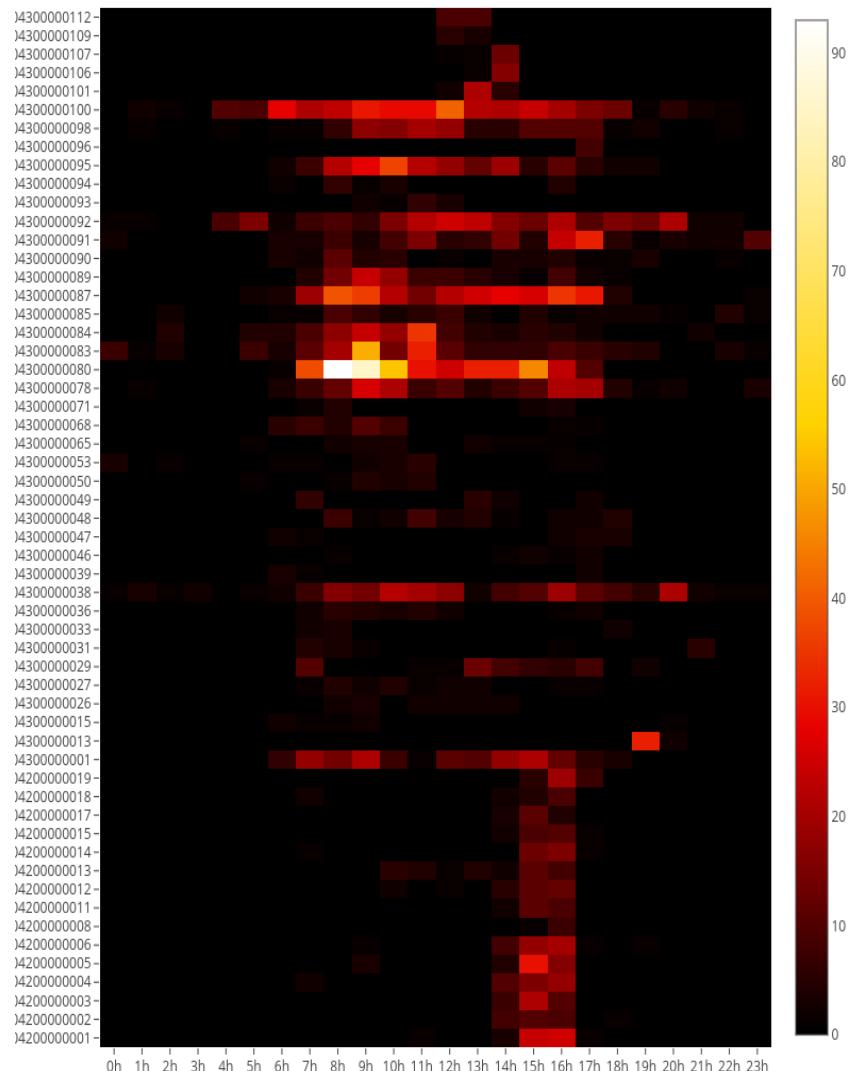


Figura 4. Frequência de detecção de abelhas adultas por hora do dia: tags do grupo 42000000 indicam zangões; tags do grupo 43000000 foram usadas para operárias

Verificou-se ainda muitas perdas em decorrência às ferroadas que as abelhas aplicavam durante a fixação das etiquetas, haja visto que as abelhas que ferroam perdem seu ferro e morrem em seguida.

O comportamento observado das operárias coincidiu com a maior oferta de alimentos (pólen e néctar) no ambiente, o que intensificou a atividade das abelhas no período da manhã.

Apesar das dificuldades apresentadas dos indivíduos registrados no sistema, os resultados demonstraram que a marcação com as etiquetas RFID nas abelhas adultas, coletadas na entrada das colmeias, permitiu um acompanhamento imediato do fluxo de entrada na colônia, uma vez que estes indivíduos já estavam no período fisiológico para executar atividades de abelhas de defesa (guarda) ou de coleta de alimento (campeiras ou forrageiras), porém, como a marcação foi realizada em indivíduos adultos, o período máximo de acompanhamento das abelhas operárias adultas foi 7 dias, sendo que 75% das abelhas foram apenas visualizadas durante três dias.

Souza et al. (2018) observaram que quando se usa RFID para acompanhar a atividade das abelhas, devem ser consideradas as perdas condicionadas ao manuseio na fixação das tags, tipo de cola, tamanho das tags, ou a remoção individual das tags pelas abelhas.

De acordo com Chen et al. (2012) foi observado que o tempo médio de 15 dias visualizações após a fixação do chip RFID, e que houve uma perda gradual das abelhas operárias marcadas com o RFID, entre 24% a 44% por diversas situações: inimigos naturais, expulsão da colmeia, morte natural, ou ocasionada pelo manuseio na fixação do chip.

O mesmo resultado foi observado com os machos (zangões) que puderam ter seu comportamento visualizado no sistema imediatamente. O período máximo de tempo possível de armazenamento de dados do zangão adulto foi 12 dias, sendo que 75% foram visíveis durante 7-8 dias. Entretanto sabe-se que os zangões apresentam maior longevidade e podem viver aproximadamente o dobro do que as abelhas operárias.

Para esta casta de abelhas o acompanhamento do comportamento de zangões de abelhas africanizadas usando RFID é inédito no Brasil. Segundo Ayup et al. (2021), que realizaram estudos com zangões de *A. mellifera ligustica* (abelha italiana) na Argentina, a maioria dos métodos para mensurar o comportamento de *A. mellifera* são aplicados para abelhas fêmeas, e o levantamento do comportamento dos zangões pode agregar entendimentos acerca do comportamento reprodutivo dessas abelhas. Ademais, este conhecimento gerado com o monitoramento de zangões poderá auxiliar com o fornecimento de informações para determinar a melhor época para suplementar as colônias para potencializar os machos para o acasalamento de abelhas rainha.

De acordo com Martínez Carantó (2006), depois do nascimento os zangões levam 12 dias para atingir a maturidade sexual, apesar de começarem a fazer seus primeiros voos por volta do 6 e 7 dias de vida. Esses zangões podem viver em média 80 a 90 dias.

Verificou-se também que houve diferença no comportamento das duas castas, zangões (machos) e operárias (fêmeas estéreis) adultas, que foram marcadas. Operárias apresentaram comportamento de saída da colmeia entre 5:00 e 19:00 horas com maior intensidade entre 8:00 e 11:00 da manhã.

Chen et al. (2012), estudando operárias de *A. m. ligustica* usando o RFID em Taiwan, relataram que o início das atividades se dava a partir das 5:00h da manhã com pico de atividades às 10:00h e decréscimo até as 19:00h.

Aos horários em que os zangões apresentaram atividade foi entre as 14:00 e 16:00 horas, sendo 15h e 16h as maiores concentrações de atividades. Estes horários corroboram com Heidinger et al., (2014), onde observaram com o uso de RFID que as rainhas deixaram seus enxames para o vôo nupcial entre 13h-16h, sendo observados, em média, dois voos nupciais diários por rainha, com uma duração média de 17 minutos. De acordo com Texeira (1992), Cristino (2003) e Martínez Carantón (2006), o fluxo de zangões ocorre no período da tarde, iniciando por volta de 14:00 com pico às 15:00 até as 16:00h.

Ayup et al. (2021), indicaram que os zangões de *A. m. ligustica* podem apresentar distintos horários de fluxo nas colmeias, podendo iniciar as atividades entre 10:00 e 12:00 horas, e registrando-se seu retorno até as 18:30, com pico de atividade às 15:00 horas. Porém, no verão, as atividades só foram registradas entre 15:00 e 17:30 horas.

O comportamento das abelhas macho (zangões) pode munir de informações os produtores que tem como objetivo a produção de enxames/famílias de abelhas indicando as épocas mais propícias para produção artificial de rainhas na região, local de aglomeração dos zangões, horários mais frequentes do voo nupcial, velocidade e altura média dos zangões durante o voo. Estas informações potencialmente podem otimizar, a produção de enxames, uma vez que as rainhas podem ser fecundadas por um e até diversos zangões, e o acasalamento só ocorre durante o voo nupcial.

Avaliação do comportamento de abelhas jovens

Os dados gravados no cartão de memória representavam leituras (*logs*) ocorridas no período de setembro a outubro de 2018. Contabilizaram-se 20.826 eventos que foram filtrados, e restaram 2.346 eventos, que dizem respeito a 40 abelhas diferentes, as quais foram sintetizadas no gráfico *heatmap* (Figura 5). Durante o período de observação a temperatura variou entre 26 e 28C°, e Umidade Relativa acima de 73% e valores pluviométricos acumulados de 493 mm (INMET, 2020).

Considerando o grupo das abelhas recém-emergidas marcadas, a perda de indivíduos marcados com os sensores foi menor, porém verificou-se uma mortandade após a fixação dos sensores RFID, possivelmente vinculada ao manuseio no ato da marcação de seus corpos ainda em processo de enrijecimento. De acordo com Breed et al. (2015), as abelhas recém emergidas apresentam menos hidrocarbonetos em suas cutículas, e por isso aceitam mais prontamente em uma nova colônia.

Para Sousa et al (2018), a eficiência do uso do RFID em abelhas sociais pode variar de 20% no caso de manuseio inadequado junto às condições de climáticas e abelhas africanizadas (*A. mellifera*), a até 90% usando zangões e abelhas recém emergidas.

Verificou-se que os horários de ação das abelhas iniciaram aproximadamente às 5 h da manhã, estendendo-se até às 18 h, com pico de atividades das 9h às 10h da manhã. Como as abelhas foram marcadas jovens, é possível que as visualizações de

atividades em horário noturno, iniciando sua atuação como abelha guardas, uma vez que, nas abelhas marcadas já adultas, tal comportamento foi pouco observado. Para Chen et al., (2012), o início das atividades se dava a partir das 5:00h da manhã com pico de atividades às 10:00h e decréscimo até as 19:00h.

Constatou-se que estas abelhas levaram em média 7 dias para iniciarem suas atividades no exterior da colmeia, sendo que algumas levaram até 20 dias para serem registradas pela primeira vez, e o tempo máximo de registro das abelhas após marcadas foi de 41 dias, sendo que 75% delas sumiram do sistema após 22-23 dias que foram marcadas.

Considerando a biologia das abelhas, a tecnologia permitiu verificar o amadurecimento das operárias e tempo de vida em atividades fora da colmeia, o que demonstrou ser possível acompanhar as abelhas marcadas durante toda sua vida de atividades externas.

Enquanto que, He et al. (2012), em estudo na China, relataram ter tido êxito no registro de abelhas marcadas ao emergir por até 36 dias. Os autores verificaram que as abelhas só começavam as atividades externas 14 dias após emergidas de suas células.

As abelhas operárias de *A. mellifera* executam diversas atividades na colmeia, geralmente passam de uma atividade para outra de acordo com sua maturidade ou desenvolvimento fisiológico e ou com a necessidade na colônia. Para Free (1980) e Winston (2003) as abelhas recém emergidas são responsáveis pela limpeza, entre o 4º e o 14º dias tem como função de alimentar as larvas e a rainha, do 14º ao 19º construir os favos e fechar os opérculos, entre o 19º e o 21º são responsáveis pela defesa da colônia contra inimigos e possíveis invasores, e seus últimos dias como campeira fazendo toda a parte de coleta de recursos florais e água.

Corroborando ao observado no acompanhamento de abelhas adultas, a visualização da intensidade de atividade das abelhas operárias pode indicar a presença de floradas, com oferta de néctar e pólen, para suprir as necessidades da colônia e, consequentemente, gerar acúmulo de reservas de alimento. Esses dados, se bem exploradas, podem munir os apicultores para identificar determinada época do ano ou lugares onde essa intensificação se reflete em produtividade, dando ao produtor uma ferramenta de decisão de grande importância no processo produtivo.

Desse modo, pode-se inferir que durante o período observado em dois anos diferentes, foi possível verificar que existe pico de fluxo de operárias entre 9:00 e 10:00 da manhã.

Desse modo, constatou-se que os dois sistemas se mostraram eficientes e eficazes ao seu propósito, apresentando apenas dificuldades mínimas inerentes a cada um dos sistemas. A marcação das abelhas jovens permite o acompanhamento de toda a vida das abelhas.

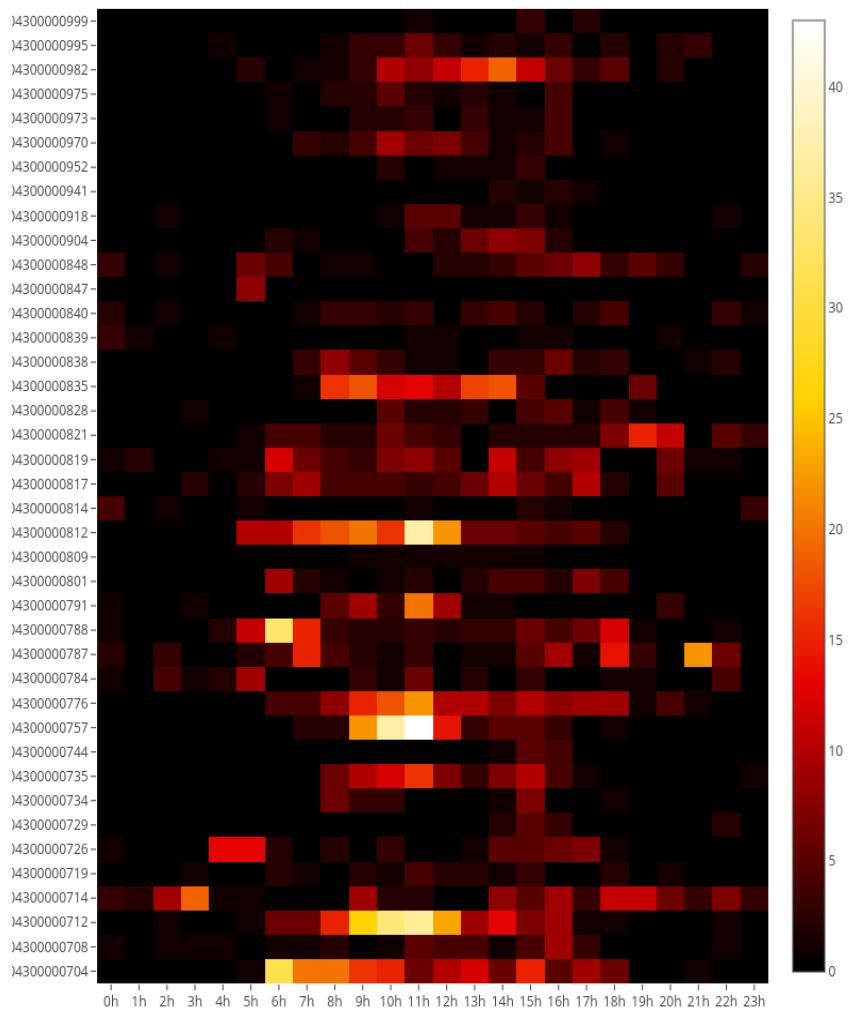


Figura 5: Frequência de detecção de abelhas africanizadas operárias acompanhadas por RFID desde a emersão das células, por hora do dia.

Perspectivas

O uso de *microchips* em abelhas africanizadas na Amazônia é de grande importância para a ciência e para a apicultura, e com o maior uso dessa tecnologia e a com a evolução constante sensores de rádio frequência, mais precisas serão as informações geradas, informações essas essências e valiosas para o entendimento dos diversos microclimas em ambientes amazônicos.

A importância das informações levantadas tem relação com a capacidade de acompanhar tanto o fluxo anual de abelhas, com as floradas existentes no meio ambiente, como também para validação da relação das abelhas com determinadas culturas agrícolas: potencial na comparação da atividade de voo das abelhas, ou a intensidade de atividades desde com a abertura e o fechamento das flores, que poderá ser muito útil para validar a relação positiva das abelhas com determinados fluxos nectaríferos e poliníferos que ocorrem naturalmente para produção dos subprodutos das colmeias em uma determinada região (mel, pólen e própolis); validação da eficiência de polinização nas diversas espécies de cultivos agrícolas pelo serviço de polinização das abelhas e, com isso, valorizar a

conservação das abelhas sociais por serem ferramentas efetivas para aumentar a produção de alimentos no Brasil; identificar o impacto no comportamento de produção de mel em colmeias acometidas por pragas e doenças, como a varroatose, em que o ácaro *Varroa destructor* se alimenta dos corpos gordurosos das abelhas, deixando-as mais fracas e ainda servindo de vetor de doenças; Avaliação do comportamento de polinizadores expostos a pesticidas.

Desse modo, o RFID poderá também se tornar uma ferramenta de auxílio a tomada de decisão para programas de seleção gênica para manutenção de indicadores ambientais, principalmente quando comparados com regiões onde esses insetos podem atuar naturalmente.

CONCLUSÕES

O uso do RFI para abelhas africanizadas em região de tropico úmido mostrou-se uma ferramenta eficiente para registro do comportamento de abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) no Pará

As abelhas operárias adultas realizavam o início de atividades a partir das 5:00 da manhã até as 19:00h, e registro máximo de 38 dias de atividades;

Os zangões realizaram suas atividades externas em horários das 14:00 às 16:00;

As abelhas recém-emergidas realizam atividade externa entre 7 a 20 dias de vida com registro máximo de 41 dias de atividades;

Considerando os dois anos avaliados, 2017 e 2018, foi possível constatar que o horário de pico no fluxo das abelhas foi entre 9 -10 horas da manhã;

A maior eficiência na coleta dos dados foi obtida em abelhas recém emergidas e zangões adultos, devido a melhor facilidade na fixação dos microchips, maior longevidade de coleta dados e na melhor aceitação das abelhas marcadas na colmeia pelo enxame.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) pela disponibilização dos equipamentos para avaliação da tecnologia;

A Federação de Agricultura e Pecuária do Pará - FAEPA, vinculada a Confederação Nacional de Agricultura - CNA, por compartilhar experiências práticas que possibilitaram o avanço nas técnicas de marcação de abelhas africanizadas com chips apresentados neste trabalho;

Ao Instituto Vale e a Embrapa Amazônia Oriental através do projeto: Estudos de planta, solo, revegetação e serviços ambientais em ambientes de canga (Embrapa SEG/Ideare: 03.15.00.088.00.00).

REFERÊNCIA

ADEVA, J. J. G., Simulation modelling of nectar and pollen foraging by honey bees. Biosystems Engineering. 112(4):304-318. 2012. [10.1016/j.biosystemseng.2012.05.002](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.05.002)

ARAUJO NETO, E. R. D. Produção de zangões de abelhas africanizadas *Apis mellifera* L. no semiárido nordestino do Brasil. Dissertação, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2019. 62p.

AYUP, M. M.; GÄRTNER, P.; AGOSTO-RIVERA, J. L.; MARENDY, P.; SOUZA, P.; GALINDO-CARDONA, A. Analysis of Honeybee Drone Activity during the Mating Season in Northwestern Argentina. Insects, 12(6): 566, 2021. [10.3390/insects12060566](https://doi.org/10.3390/insects12060566)

BREED, D. B.; COOK, C. N.; MCCREERY, H. F.; RODRIGUEZ, M. Nestmate Recognition in Eusocial Insects: The Honeybee as a Model System. In: AQUILONI, L.; TRICARICO E. (eds) Social recognition in invertebrates. Springer International Publishing: Switzerland, 2015 p.147– 164.

BROMENSHENK, J. J.; HENDERSON, C. B.; SECCOMB, R. A.; WELCH, P. M.; DEBNAM, S. E.; FIRTH, D. R. Bees as Biosensors: Chemosensory Ability, Honey Bee Monitoring Systems, and Emergent Sensor Technologies Derived from the Pollinator Syndrome. Biosensors, 5(4):678–711, 2015. [10.3390/bios5040678](https://doi.org/10.3390/bios5040678)

CHEN, C.; YANG, E. C.; JIANG, J. A.; LIN, T. T. An imaging system for monitoring the in-and-out activity of honey bees. Computers and Electronics in Agriculture, 89:100-109, 2012. [10.1016/j.compag.2012.08.006](https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.08.006)

COSTA, L.; NUNES-SILVA, P.; GALASCHI-TEIXEIRA, J.; ARRUDA, H.; VEIGA, J.; PESSIN, G. RFID-tagged Amazonian stingless bees confirm that landscape configuration and nest re-establishment time affect homing ability. Insectes Sociaux. 68: 1-8, 2021. [10.1007/s00040-020-00802-4](https://doi.org/10.1007/s00040-020-00802-4)

DECOURTYE, A.; DEVILLERS, J.; AUPINEL, P.; BRUN, F.; BAGNIS, C.; FOURRIER, J.; GAUTHIER, M.. Honeybee tracking with microchips: a new methodology to measure the effects of pesticides. Ecotoxicology 20(2): 429–437, 2011. [10.1007/s10646-011-0594-4](https://doi.org/10.1007/s10646-011-0594-4)

FREE, J. B. A organização social das abelhas (*Apis*). São Paulo: E.P.U, 1980. 79 p.

GIANNINI, T. C.; BOFF, S.; CORDEIRO, G. D.; CARTOLANO JR., E. A.; VEIGA, A. K.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; SARAIVA, A. M. Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions. Apidologie, 46(2):209–223, 2015a. [10.1007/s13592-014-0316-z](https://doi.org/10.1007/s13592-014-0316-z)

GIANNINI, T. C.; CORDEIRO, G. D.; FREITAS, B. M.; SARAIVA, A. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. Journal of Economic Entomology, 108(3):849–857, 2015b. [10.1093/jee/tov093](https://doi.org/10.1093/jee/tov093)

HE, X.; WENXIANG, W.; QIUHONG, Q.; ZHIJIANG, Z.; SHAWU, Z.; ANDREW B. B. Assessment of flight activity and homing ability in Asian and European honey bee species, *Apis cerana* and *Apis mellifera*, measured with radio frequency tags. Apidologie, 44(1):38-51, 2012. [10.1007/s13592-012-0156-7](https://doi.org/10.1007/s13592-012-0156-7)

- HEIDINGER, I. M. M.; MEIXNER, M. D.; BERG, S.; BÜCHLER, R. Observation of the Mating Behavior of Honey Bee (*Apis mellifera* L.) Queens Using Radio-Frequency Identification (RFID): Factors Influencing the Duration and Frequency of Nuptial Flights. *Insects*, 5(3): 513-527, 2014. [10.3390/insects5030513](https://doi.org/10.3390/insects5030513)
- HENRY, M.; BEGUIN, M.; REQUIER, F.; ROLLIN, O.; ODOUX, J. F.; AUPINEL, P.; APTEL, J.; TCHAMITCHIAN, S.; DECOURTYE, A. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science*, 336(6079): 348-350, 2012. [10.1126/science.1215039](https://doi.org/10.1126/science.1215039)
- HITACHI CHEMICAL Product Specification for UHF Ultra Small Package Tag (IM5-PK2525), version 3.0. Hitachi Chemical Co. Ltd. Tokyo, Japan. 2016.
- HOSSAM, F. A. S.; MONA, I. E. Factors impacting survival of mature honey bee drones kept in small laboratory cages. *Environmental and Experimental Biology*, 16:39-44, 2018. [10.2236/eeb.16.05](https://doi.org/10.2236/eeb.16.05)
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. Pesquisa Pecuária Municipal. 2019. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/74#resultado>. Acesso em 30 de novembro de 2020.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/74#resultado>. Acesso em 30 de novembro de 2020.
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. Dados da Rede INMET. Estação: BELEM (A201) Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/>. Acesso em: 30 nov. 2020.
- LUVISI, A. Electronic identification technology for agriculture, plant, and food. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1):13, 2016. [10.1007/s13593-016-0352-3](https://doi.org/10.1007/s13593-016-0352-3)
- MARTÍNEZ CARANTÓN, O. A. Dinâmica Reprodutiva e Influência das Áreas de Congregação de Zangões na Africanização de *Apis mellifera* (Apidae: Apini) no Brasil. Dissertação, Universidade de São Paulo, 2006, 69p.
- MONTEIRO, E. S. Indicadores de inovação e tecnologia: O arranjo produtivo local de apicultura no Nordeste paraense. Dissertação, Universidade Federal do Ceará, 2013.108p.
- NEUMANN, P.; CARRECK, N. L. Honey bee colony losses. *Journal of Apicultural Research*, 49(1):1-6, 2010. [10.3896/IBRA.1.49.1.01](https://doi.org/10.3896/IBRA.1.49.1.01)
- NUNES-SILVA, P.; HRNCIR, M.; GUIMARÃES, J. T.; ARRUDA, H.; COSTA, L.; PESSIN, G.; SIQUEIRA J. O.; SOUZA, P.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Applications of RFID technology on the study of bees. *Insectes sociaux*, 66(1):15-24, 2019. [10.1007/s00040-018-0660-5](https://doi.org/10.1007/s00040-018-0660-5)
- NUNES-SILVA, P.; COSTA, L.; CAMPBELL, A. J.; ARRUDA, H.; CONTRERA, F. A. L.; TEIXEIRA, J. S. G.; GOMES, R. L. C.; PESSIN, G.; PEREIRA, D. S.; SOUZA, P.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Radiofrequency identification (RFID) reveals long-distance flight and homing abilities of the stingless bee *Melipona fasciculata*. *Apidologie*, 51: 240-253, 2020. [10.1007/s13592-019-00706-8](https://doi.org/10.1007/s13592-019-00706-8)
- OLIVEIRA, R. C.; CONTRERA, F. A. L.; ARRUDA, H.; JAFFÉ, R.; COSTA, L.; PESSIN, G.; VENTURIERI, G. C.; SOUZA, P. D.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Foraging and Drifting Patterns of the Highly Eusocial Neotropical Stingless Bee *Melipona fasciculata* Assessed by Radio-Frequency Identification Tags. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9:e708178, 2021. [10.3389/fevo.2021.708178](https://doi.org/10.3389/fevo.2021.708178)
- PAHL, M.; ZHU, H.; TAUTZ, J.; ZHANG, S. Large scale homing in honey bees. *PLoS ONE* 6(5):e19669. 2011. [10.1371/journal.pone.0019669](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019669)
- ROBINSON, E. J. H.; RICHARDSON, T. O.; SENDOVA-FRANKS, A. B.; FEINERMAN, O.; FRANKS, N. R. Radio tagging reveals the roles of corpulence, experience and social information in ant decision making. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 63(5):627-636, 2009. [10.1007/s00265-008-0696-z](https://doi.org/10.1007/s00265-008-0696-z)
- SCHNEIDER, C. W.; TAUTZ, J.; GRÜNEWALD, B.; FUCHS, S. RFID tracking of sublethal effects of two neonicotinoid insecticides on the foraging behavior of *Apis mellifera*. *PloS one* 7(1): e30023, 2012. [10.1371/journal.pone.0030023](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030023)
- STELZER, R. J.; CHITTKA, L.; CARLTON, M.; INGS, T. C. Winter active bumblebees (*Bombus terrestris*) achieve high foraging rates in urban britain. *Plos One*, 5(3):1-7, 2010. [10.1371/journal.pone.0009559](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009559)
- SOUZA, P.; MARENDY, P.; BARBOSA, K.; BUDI, S.; HIRSCH, P.; NIKOLIC, N.; GUNTHORPE, T.; PESSIN, G.; DAVIE, A. Low-Cost Electronic Tagging System for Bee Monitoring. *Sensors*, 18(7):2124, 2018. [10.3390/s18072124](https://doi.org/10.3390/s18072124)
- THOMPSON, H.; MIKE, C.; NATALIE, R.; SELWYN, W.; HARKIN, S. Thiamethoxam: assessing flight activity of honeybees foraging on treated oilseed rape using radio frequency identification technology. *Environmental Toxicology and Chemistry* 35(2):385-393, 2016. [10.1002/etc.3183](https://doi.org/10.1002/etc.3183)
- VAN GEYSTELEN, A.; BENAETS, K.; GRAAF, D. C.; LARMUSEAU, M. H. D.; WENSELEERS, T. Track-a-Forager: a program for the automated analysis of RFID tracking data to reconstruct foraging behaviour. *Insectes Sociaux*, 63(1):175-183, 2016. [10.1007/s00040-015-0453-z](https://doi.org/10.1007/s00040-015-0453-z)
- VAN OYSTAEYEN, A.; ALVES, D. A.; OLIVEIRA, R. C.; NASCIMENTO, D. L.; NASCIMENTO, F. S.; BILLEN, J.; WENSELEERS, T. Sneaky queens in *Melipona* bees selectively detect and infiltrate queenless colonies. *Animal Behaviour*, 86(3):603-609, 2013. [10.1016/j.anbehav.2013.07.001](https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2013.07.001)
- WYATT, T. D. Pheromones and animal behaviour: communication by smell and taste. 2nd edn. Cambridge: University Press. 2013.
- WINSTON, M. L. A biologia da abelha. Porto Alegre: Magister, 2003. 276p.