

Estudo do comportamento das abelhas (*Apis mellifera* *L.*) submetidas a variações do campo eletromagnético

Ricardo Leite Pinto Mendes

Mestrado em Engenharia Agronómica

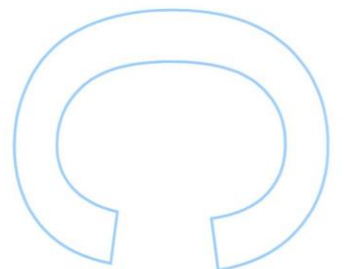
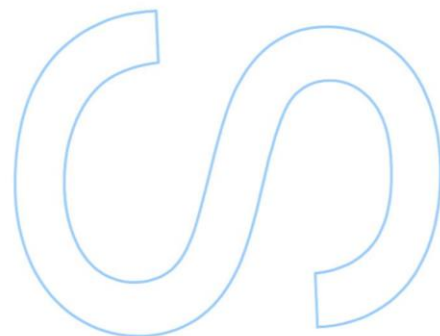
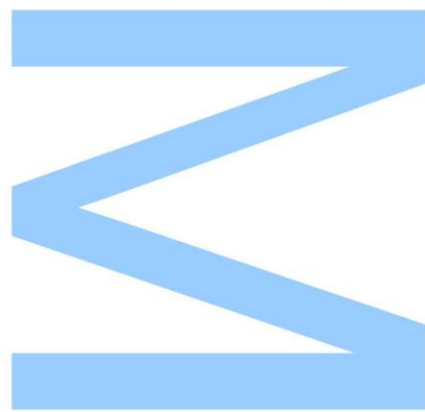
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2014

Orientador

Manuel Joaquim Bastos Marques (FCUP)

Coorientador

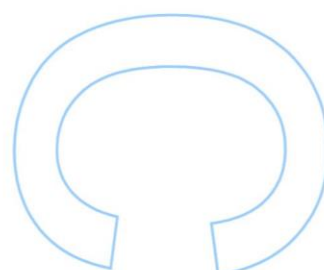
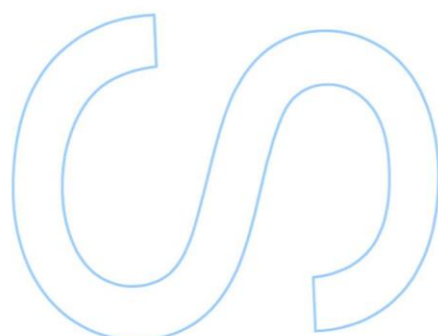
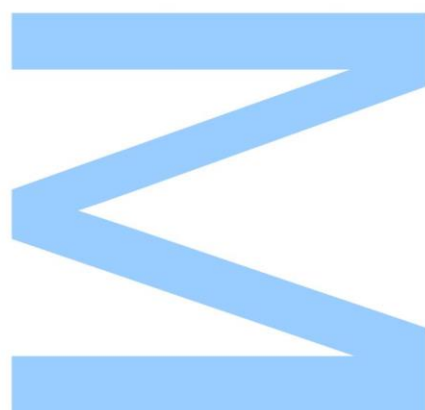
Sância Maria Afonso Pires (IPB)





Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.
O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

Quero agradecer, em primeiro lugar, aos meus orientadores, Prof. Manuel Marque (FCUP) e Prof. Sância Pires (IPB), por me terem aceite como orientando, sempre acreditando na minha proposta de trabalho e prestando o auxílio necessário a todos os níveis.

Quero também agradecer aos funcionários do IPB, Eng. João David, Sr. Mós, Sr. António e Sr. Álvaro, por todo o apoio e dedicação prestados.

Em geral, quero agradecer a todos os meus familiares (em particular à minha mãe) e amigos que me ajudaram e me incentivaram a realizar esta tese.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer à Ana por me ter aturado nos momentos críticos desta experiência, mas também por ter partilhado comigo os bons momentos proporcionados por esta aventura. Sempre crente e sempre disponível foi, sem sombra de dúvida, o meu maior apoio durante este ano.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo estudar influência da variação da intensidade de um campo magnético, gerado por uma frequência elétrica de 50 Hz (nomeadamente um campo magnético gerado por uma linha de alta tensão), no comportamento social e/ou individual em colónias de abelhas melíferas, numa tentativa de responder ao atual fenómeno de perda de colónias conhecido por Síndrome do Colapso das Colónias. Planeou-se e desenvolveu-se uma experiência que consistiu em construir e colocar 3 plataformas de monitorização na entrada de 3 colmeias, dividindo as entradas em duas partes, nas quais se gerava um campo magnético através de uma espira. O movimento das abelhas foi monitorizado por vídeo, contabilizando-se o número de passagens de abelhas por cada um dos lados das entradas, avaliando eventuais diferenças provocadas pela alteração da intensidade do campo magnético. Os resultados apontam para uma possível relação entre as preferências de passagens das abelhas e o campo magnético mas sem significado estatístico. Concluiu-se que, consoante as condições do ensaio, o comportamento social e/ou individual de colónias de abelhas melíferas não é afetado pela presença de um campo magnético gerado por uma frequência eletromagnética de 50 Hz.

Palavras-chave

Abelhas Melíferas, Campo Eletromagnético, Radiação Eletromagnética, Síndrome do Colapso das Colónias

Abstract

The present work aims to study how the variation of intensity of a magnetic field generated by a 50 Hz electrical frequency (similar to a magnetic field generated by a high voltage power line) influence the social and/or individual behaviour in honey bee colonies, in attempt to respond to the current phenomenon known as Colony Collapse Disorder. It was performed and developed an experimental plan which was to build 3 monitoring platforms to put in the entrance of 3 hives, dividing entries into two parts, in which a magnetic field was generated by a coil. Bees movements were monitored by video, by counting the number of bees passages through each side of the entries, and evaluating potential differences caused by changes in the magnetic field strength. The results points to a possible relationship between the preferences of bees passages and the magnetic field but without statistical significance. It was concluded that, depending on this test conditions, the social and/or individual behaviour in honeybee colonies is not affected by the presence of a magnetic field generated by a 50 Hz electromagnetic frequency.

Key words

Colony Collapse Disorder, Electromagnetic Field, Electromagnetic Radiation, Honeybees

Índice

Agradecimentos.....	I
Resumo.....	III
Abstract.....	V
Lista de tabelas.....	IX
Lista de figuras	XI
Capítulo 1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Estrutura.....	3
Capítulo 2 Abelhas e magnetismo	5
Capítulo 3 Estudo de campo.....	13
3.1 Desenho experimental.....	13
3.1.1 Definição de critérios e condicionantes	13
3.1.2 Plataforma de monitorização.....	14
3.1.3 Ligações elétricas e de dados.....	17
3.1.3.1 Ligações locais	17
3.1.3.2 Ligações globais	17
3.1.4 Planificação cronológica.....	18
3.2 Concretização da experiência	20
3.2.1 Etapas.....	20
3.2.2 Construção das plataformas de monitorização	21
3.2.3 Seleção e preparação das colónias	24

3.2.4	Montagem das plataformas de monitorização	25
3.2.5	Configuração e calibração das câmaras de vídeo.....	26
3.2.6	Execução e monitorização da experiência	28
3.3	Processamento de dados	30
Capítulo 4	Resultados.....	35
4.1	Análise empírica dos resultados.....	35
4.1.1	Alteração ao plano original	35
4.1.2	Dinâmica populacional e produtividade	35
4.2	Análise estatística dos resultados	37
4.2.1	Métodos estatísticos	37
4.2.2	Caraterização inicial das colónias	38
4.2.3	Resultados estatísticos da experiência.....	46
4.2.3.1	Colónia 2	47
4.2.3.2	Colónia 3	50
4.2.3.3	Colónia 1	52
4.2.3.4	Análise global.....	55
Capítulo 5	Conclusões	57
	Referências bibliográficas	61
	Anexos	67

Lista de tabelas

Tabela 1 – Resumo dos efeitos provocados por campos eletromagnéticos nas abelhas verificados experimentalmente	11
Tabela 2 – Plano cronológico do esquema de ligações das espiras e gravação de vídeo	20
Tabela 3 – Plano de gravação de vídeos	29
Tabela 4 – Plano cronológico alternativo do esquema de ligações das espiras	30
Tabela 5 – Vídeos analisados por colónia e por esquema de ligação das espiras	32
Tabela 6 – Dias selecionados para análise manual de vídeos e respetivo esquema de ligação das espiras	33
Tabela 7 – Quantidade máxima observada de quadros com abelhas	36
Tabela 8 – Produção de cera e mel por colónia	36
Tabela 9 – Número de passagens pelo lado esquerdo e número total de passagens (lado esquerdo + lado direito) de abelhas registadas na Colónia 1 nos dias 16 e 30 de Maio	38
Tabela 10 – Número de passagens pelo lado esquerdo e número total de passagens (lado esquerdo + lado direito) de abelhas registadas na Colónia 2 nos dias 16 e 30 de Maio	40
Tabela 11 – Número de passagens pelo lado esquerdo e número total de passagens (lado esquerdo + lado direito) de abelhas registadas na Colónia 3 nos dias 16 e 30 de Maio	42
Tabela 12 – Nomenclatura adoptada para os grupos de resultados em função do número da colónia e do esquema de ligação das espiras	47

Tabela 13 – Resumo estatístico dos dados meteorológicos, entre as 8h e as 20h, para a estação meteorológica de Bragança, entre os dias 1 de Maio e 9 de Setembro 49

Lista de figuras

Figura 1 – Esquema e medidas da estrutura da plataforma de monitorização	14
Figura 2 – Esquema da estrutura da caixa superior da plataforma de monitorização .	15
Figura 3 – Esquema da estrutura base da plataforma de monitorização (à esquerda) e esquema de sustentação da estrutura suportada pelo peso da colmeia (à direita)	15
Figura 4 – Esquema e medidas da estrutura da espira: (a) vista frontal, (b) vista lateral e (c) vista de topo	16
Figura 5 – Esquema e medidas da estrutura da área de monitorização: (a) vista frontal (vista do exterior para o interior da colmeia) e (b) vista de base (a quilha aponta para o exterior)	16
Figura 6 – Esquema da instalação de alimentação das espiras no interior de cada plataforma de monitorização	17
Figura 7 – Definição de lado esquerdo e lado direito da entrada da colmeia.....	17
Figura 8 – Esquema das ligações entre o abrigo central e as plataformas de monitorização	18
Figura 9 – Pontos de leitura do campo magnético gerado pela espira.....	21
Figura 10 – Gráfico do perfil da intensidade do campo magnético gerado pela espira	22
Figura 11 – Linhas do campo magnético gerado por um condutor linear.....	23
Figura 12 – Esquema da reinstalação do apiário, orientado para SE. A experiência desenrolou-se com base nas colónias 1, 2 e 3	24
Figura 13 – Montagem das plataformas de monitorização nas colónias.....	25
Figura 14 – Perturbação momentânea na orientação das abelhas motivada pela colocação das plataformas de monitorização.....	26
Figura 15 – Esquema de montagem e calibração da câmara de vídeo	27

Figura 16 – Aspeto visual da execução do script de auxílio ao processo de contagem manual de entradas e saídas da colónia, com previsão de trajetos (a verde) e identificação de trajetórias executadas (a vermelho)	32
Figura 17 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 1, no dia 16 de Maio	39
Figura 18 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 1, no dia 30 de Maio	39
Figura 19 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 2, no dia 16 de Maio	41
Figura 20 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 2, no dia 30 de Maio	41
Figura 21 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 3, no dia 16 de Maio	43
Figura 22 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 3, no dia 30 de Maio	43
Figura 23 – Temperatura do ar registada para os dias 16 e 30 de Maio entre as 9 e as 19 horas.....	44
Figura 24 – Humidade relativa do ar registada para os dias 16 e 30 de Maio entre as 9 e as 19 horas.....	45
Figura 25 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 2, ao longo da experiência.....	48
Figura 26 – Gráfico de dispersão entre o total de passagens da colónia 2 e a temperatura do ar às 14 horas e 10 minutos, para 10 observações compreendidas entre 14 de Julho e 12 de Agosto.	49
Figura 27 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 3, ao longo da experiência.....	51
Figura 28 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 1, ao longo da experiência.....	52
Figura 29 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 1, agrupados por esquema de ligação	53
Figura 30 – Temperatura do ar registada às 14h10 entre os dias 14 de Julho e 6 de Setembro	54

Figura 31 – Plataforma de monitorização pronta para montagem nas colónias	67
Figura 32 – Instalação da câmara de vídeo e respetivas ligações	68
Figura 33 – Instalações elétricas e de rede no abrigo central.....	68
Figura 34 – Apiário experimental da Quinta do Pinheiro Manso (IPB) com a experiência em funcionamento	69
Figura 35 – Monitorização da experiência	69
Figura 36 – Inspeção de rotina à plataforma de monitorização	70
Figura 37 – Movimentação de abelhas na área de contagem da plataforma de monitorização	70
Figura 38 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 1, ao longo da experiência.....	71
Figura 39 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 2, ao longo da experiência.....	72
Figura 40 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 3, ao longo da experiência.....	73

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

O mais conhecido produto primário da colmeia é o mel, utilizado na gastronomia e como adoçante, desde a antiguidade, um pouco por todo o mundo. Tal como o mel, o pólen e a geleia real são outros produtos apícolas com grande interesse na indústria alimentar. Destacam-se ainda a cera, a própolis e a apitoxina que, paralelamente ao desenvolvimento da indústria e comercialização de materiais e produtos apícolas, contribuem, positivamente, para o desenvolvimento económico, quer ao nível do produtor, quer a nível global do sector.

Contudo, o mais importante benefício económico resultante da atividade apícola deve-se à função de polinização das abelhas melíferas. Em muitas culturas, a abelha é o inseto polinizador mais eficiente (Pots *et al.*, 2010; Ellis & Delaplane, 2008; Slaa *et al.*, 2006), traduzindo-se os benefícios desta no aumento da produção (quantidade e qualidade de produtos e de culturas, como por exemplo, o girassol). Considera-se que cerca de 30% das culturas utilizadas na alimentação humana (revisto por Slaa *et al.*, 2006) derivam da polinização entomófila. Segundo o Plano Apícola Nacional para o triénio 2014-2016 (PAN 2014-2016), os benefícios da polinização “traduzem-se em aumentos no valor comercial dos frutos, do teor em óleo das sementes, do tempo de conservação dos frutos, entre outros benefícios”. O acréscimo na produtividade pode variar entre 37%, para culturas como o girassol, e os 500%, para a cebola (PAN 2014-2016).

Analogamente deve-se evidenciar também a importante função ambiental das abelhas melíferas na preservação da biodiversidade através da polinização da flora silvestre.

Nos últimos anos, apicultores de todo o mundo têm registado perdas massivas de colónias nos seus apiários sem conseguirem identificar as causas de tais perdas. A conjugação de sintomas tais como a perda brusca de abelhas adultas em colónias mortas ou a morrer, a presença da rainha e uma quantidade ínfima de obreiras, a ausência de abelhas mortas na colmeia e no apiário, a ausência de cleptoparasitismo e a abundância de reservas na colmeia (mel e pólen), caracterizam uma situação particular da colónia conhecida por Síndrome do Colapso das Colónias, ou Colony Collapse Disorder (CCD), evidenciando-se o estudo acerca deste fenómeno em 2006, nos Estados Unidos da América (Farooqui, 2013; Tokarz *et al.*, 2011; Stindl & Stindl, 2010; vanEngelsdorp & Meixner, 2010; Naug, 2009). Atualmente ainda não está clarificado o motivo da ocorrência de tal fenómeno (vanEngelsdorp & Meixner, 2010; Sharpe & Heyden, 2009), sendo apontadas inúmeras causas possíveis. A investigação em torno deste fenómeno tem vindo a aumentar na tentativa de se desvendarem as eventuais causas do CCD, especulando-se maioritariamente em torno da combinação de causas (Farooqui, 2013; Favre, 2011).

As doenças, as mortes de abelhas causadas diretamente por parasitas, as infeções indiretas devidas aos danos provocados por parasitas, a exposição prolongada a pesticidas e a fraca alimentação das abelhas motivada por extensas monoculturas ou alterações drásticas na ocupação do solo, são frequentemente apontadas como causas prováveis para a ocorrência do CCD (Farooqui, 2013; Favre, 2011; Stindl & Stindl, 2010; vanEngelsdorp & Meixner, 2010; Naug, 2009; Sharpe & Heyden, 2009; Boecking & Geresch, 2008). Outras possíveis causas para este fenómeno advêm dos organismos geneticamente modificados (Farooqui, 2013; Lai *et al.*, 2012; Favre, 2011). As alterações climáticas (Fründ, Zieger & Tscharncke, 2013) e alguns gases de escape, contendo NO_x, (Girling *et al.*, 2013) também são apontadas como justificações plausíveis para a ocorrência do CCD.

Entre outros fatores não mencionados anteriormente, destacam-se as exposições a radiações eletromagnéticas (Válková & Vácha, 2012; Favre, 2011; Sharma & Kumar, 2010; vanEngelsdorp & Meixner, 2010; Hsu *et al.*, 2007).

É neste contexto, nomeadamente numa hipotética relação causa-efeito entre as radiações eletromagnéticas e o CCD, que surge o presente trabalho, focando-se numa tentativa de desmistificar uma causa provável deste fenómeno, ao avaliar de que forma as radiações eletromagnéticas poderão, eventualmente, causar algum transtorno social ou individual às abelhas melíferas.

1.2 Objetivos

Pretendeu-se estudar a influência da variação da intensidade de um campo magnético, gerado por uma frequência elétrica de 50 Hz, no comportamento social e/ou individual em colónias de abelhas melíferas. Como requisito e desafio para atingir este objetivo, procuraram-se minimizar as perturbações no normal funcionamento da colónia, ou seja, sem recorrer à marcação e/ou ao treino de abelhas, sem restringir o movimento das abelhas a espaços e/ou trajetos demasiadamente confinados, sem necessidade de escolha de indivíduos e sem limitação do número de abelhas a analisar. Não menos importante, foi a necessidade de efetuar um controlo periódico do estado sanitário e evolutivo das colónias, bem como o registo das condições meteorológicas, nomeadamente, temperatura do ar, humidade relativa, precipitação, velocidade e direção do vento e ocorrência de trovoadas.

Assim, era imprescindível desenvolver um método de monitorização que permitisse responder ao problema apresentado através de uma estrutura simples, de fácil manutenção e resistente às condições meteorológicas.

Para se alcançar esta meta foram definidos como objetivos principais (1) o delineamento e execução de um plano experimental, cujos objetivos específicos se prenderam com a criação de uma estrutura de monitorização remota do comportamento social das abelhas, e (2) a análise das variações comportamentais das abelhas causadas por campos magnéticos gerados por uma frequência elétrica de 50 Hz.

1.3 Estrutura

No capítulo 1 introduz-se e discute-se o contexto, a motivação e os objetivos do estudo. No capítulo seguinte (Capítulo 2), é abordada a forma de orientação da abelha e a sua capacidade de percepção do campo magnético, através de mecanismos de magneto-recepção. Ainda naquele capítulo são também abordados conceitos de eletromagnetismo e a sua interação com os animais, em particular nas abelhas, resumindo os principais estudos efetuados até então no âmbito da interação e influência dos campos magnéticos no comportamento das abelhas. Posteriormente, no Capítulo 3 é sugerido, em detalhe, um plano experimental para avaliar a influência dos campos magnéticos no comportamento social das abelhas. Estão também expostas as várias etapas de execução do plano proposto. O Capítulo 4 refere-se à análise e

discussão dos resultados obtidos experimentalmente, de acordo com o plano delineado no capítulo anterior, seguido das conclusões (Capítulo 5), capítulo no qual se resumem as principais conclusões acerca da experiência, bem como sugestões para trabalhos futuros com o mesmo propósito. Por fim são apresentadas as referências bibliográficas e os anexos, contendo informação adicional acerca de todo o trabalho desenvolvido.

Capítulo 2

Abelhas e magnetismo

A teoria de que diversos animais têm a capacidade de detectar o campo magnético da Terra para orientação e navegação é comumente aceite (Abraçado *et al.*, 2005; Walker, 2008; Hänninen, Huttunen & Ekman, 2011; Begal *et al.*, 2013), contudo, o conhecimento desta capacidade e do seu processamento ao nível das estruturas celulares é vago (Davila *et al.*, 2003; Walker, 2008). Também não é consensual o reconhecimento da existência de um alinhamento do eixo principal do organismo em relação às linhas do campo magnético Terrestre, talvez por este ser um fenómeno subtil mascarado pela orientação e outros factores como o sol, o vento, o declive, etc. (Begal *et al.*, 2013). Abraçado *et al.* (2005) afirmam que "...a magneto-recepção é um mecanismo de orientação sofisticado, envolvendo um magneto-receptor, conectado ao sistema nervoso com amplificação de sinal. Neste contexto, evidenciam-se duas correntes ideológicas relacionadas com o processo primário do alinhamento magnético dos organismos (Barnes, 1998; Válková & Vácha, 2012; Nguyen, Ehrenfreund & Vardeny, 2013): (1) um mecanismo que envolve a presença de uma substância ferromagnética ou ferrimagnética (baseada em magnetite) e (2) outro mecanismo de percepção magnética através de reações químicas. Wiltschko & Wiltschko (2005) definem, ainda, dois tipos de informação sobre os mecanismos de navegação – (1) a informação direcional, que os animais podem utilizar como bússola, e (2) a informação de intensidade e/ou inclinação, que pode ser proporcionada aos animais como uma componente de navegação indicando a sua posição – resumindo os resultados mais importantes e demonstrando o quão vulgarizado é o uso da informação magnética e quais os tipos de informações utilizados por cada grupo de animais.

Os primeiros estudos acerca de uma hipotética percepção do campo magnético por parte das abelhas incidiram sobre as influências do campo magnético Terrestre na direção e regularidade das desorientações nas danças em requadrado ou em forma de

oito das abelhas (Lindauer & Martin, 1968), na redução do ritmo das danças das abelhas (Martin, Korall & Förster, 1989), e na correlação entre as desorientações nas danças das abelhas, e as variações diárias de intensidade do campo magnético Terrestre (Martin & Lindauer, 1977). As danças em requebrado, ou *waggle dances*, são danças executadas pelas abelhas melíferas permitindo-lhes transmitir informações sobre as fontes de alimento, sendo uma forma de comunicação para recrutar abelhas para essa fonte (Wajnberg *et al.*, 2010). Neste tipo de danças, as abelhas convertem o ângulo entre a fonte de alimento e a posição do sol num ângulo de dança em relação ao campo magnético da Terra (Gould, Kirschvink & Deffeyes, 1978). As desorientações nas danças das abelhas são provenientes de pequenos erros regulares, na conversão do ângulo entre a fonte de alimento e a posição do sol para o ângulo em função do campo magnético Terrestre, que dependem da orientação da dança relativamente ao campo magnético Terrestre. Estas desorientações desaparecem quando as danças são realizadas ao longo das linhas do campo magnético (Lindauer & Martin, 1968).

Gould, Kirschvink & Deffeyes (1978) descobrem partículas de magnetite no abdómen das abelhas, também identificadas mais tarde por Desoil *et al.* (2005), impulsionando a teoria da existência de receptores magnéticos baseados na presença de cristais de magnetite (Gould *et al.*, 1980), tendo-se desenvolvido técnicas de treino de abelhas para compreender a resposta fisiológica da abelha aos campos magnéticos descritas por Walker & Bitterman (1985, 1989a, 1989b). Entretanto, no interior do abdómen das abelhas foram encontrados trofócitos, que contêm ferro, tendo sido identificadas como partículas de magnetite superparamagnéticas (Hsu & Li, 1994; Hsu *et al.*, 2007; Chambarelli *et al.*, 2008), cujo tamanho é inferior a 30 nm e que apresentam magnetização apenas na presença de um campo magnético externo que, quando retirado, faz com que as partículas percam a magnetização. Hsu & Li (1994) encontraram partículas superparamagnéticas em grãos de ferro provenientes das vesículas de deposição de ferro dos trofócitos que, sendo estas células enervadas, se suspeita que a percepção do campo magnético seja proveniente de sinais elétricos gerados pela atividade nervosa resultante da força mecânica exercida por cadeias ou grupos de partículas de magnetite ancoradas à sua membrana celular (Wajnberg *et al.*, 2010; Nguyen, Ehrenfreund & Vardeny, 2013).

A teoria alternativa à magneto-recepção através de cristais de magnetite assenta na hipótese da existência de interações entre os campos magnéticos e o estado de excitação de algumas moléculas bioquímicas, nas quais *spins* eletrónicos de um par de radicais, possuem momentos magnéticos e orientam os seus *spins*

segundo um campo magnético (Walleczek, 1995 *apud* Barnes, 1998; Válková & Vácha, 2012). O par de radicais é definido como uma relação dador-receptor de duas moléculas, cada uma com um elétron não emparelhado, onde a absorção da energia de um fóton causa a transferência de um elétron entre essas moléculas (Válková & Vácha, 2012).

Apesar dos estudos efetuados em torno desta hipótese, atualmente prevalece a teoria de que o mecanismo de magneto-recepção das abelhas tem por base a existência de cristais de magnetite (Lohmann & Johnsen, 2000; Abraçado *et al.*, 2005; Hsu *et al.*, 2007; Chambarelli *et al.*, 2008; Walker, 2008; Wajnberg *et al.*, 2010; Favre, 2011; Hänninen, Huttunen & Ekman, 2011).

Independentemente do tipo de mecanismo de magneto-recepção utilizado pelas abelhas, este pode ser perturbado por radiações eletromagnéticas como, por exemplo, as radiofrequências (Cucurachi *et al.*, 2013).

Nas últimas 3 décadas, paralelamente aos estudos realizados no âmbito das hipóteses em torno do funcionamento dos mecanismos de magneto-recepção das abelhas, foram realizados diversos estudos para avaliar diferenças comportamentais eventualmente causadas por radiação eletromagnética, evidenciando-se a investigação em torno de algumas frequências mais utilizadas pelo Homem como, por exemplo, as frequências associadas à rede elétrica (50-60 Hz), às micro-ondas (~2,45 GHz) e às telecomunicações (900-1900 MHz).

Gary & Westerdahl (1981) e Westerdahl & Gary (1981) desenvolveram duas experiências que consistiam em submeter abelhas melíferas a radiações eletromagnéticas de micro-ondas (2,45 GHz). A primeira experiência (Gary & Westerdahl, 1981) teve como objetivo avaliar a capacidade de voo, orientação e memória das abelhas, após 30 minutos de exposição a campos magnéticos de várias intensidades (entre 3,5 mG e 14,5 mG), e a segunda experiência (Westerdahl & Gary, 1981) consistia em avaliar o consumo de reservas e a taxa de mortalidade das abelhas, durante 21 dias, após 30 minutos, 6 horas e 24 horas de exposição a campos magnéticos de várias intensidades (entre 3,5 mG e 14,5 mG). Em nenhuma das experiências foi detectada qualquer perturbação significativa, para as variáveis em análise, entre abelhas expostas à radiação eletromagnética e abelhas não expostas.

Bindokas & Greenberg (1984) avaliaram possíveis efeitos ao nível da composição da hemolinfa em colónias de abelhas colocadas debaixo de linhas de alta tensão (Frequência: 60 Hz; Potência: 765 kV; Intensidade do campo elétrico: 7 kV/m).

Apesar de terem verificado distúrbios comportamentais, não registaram diferenças significativas na contagem média de células livres (hemócitos) da hemolinfa.

Posteriormente, Bindokas, Gauger & Greenberg (1988a,b, 1989) realizaram várias experiências para avaliar a percepção do campo elétrico e de choques da corrente induzida por parte das abelhas. As experiências consistiram em replicar o campo elétrico gerado por uma linha de alta tensão em túneis de entrada nas colmeias (Frequência: 60 Hz; Potência: 765 kV; Intensidade do campo elétrico: 7, 100, 200 e 300 kV/m). Observaram que o campo elétrico só causava alterações ao nível do comportamento das abelhas se estas estivessem em contacto direto com o condutor elétrico. Efetivamente, verificaram alterações comportamentais, nomeadamente propolização anormal, redução de movimentos e aumento de mortalidade, nas colónias expostas, concluindo que estes efeitos tinham sido causados pela exposição de patas e abdómenes de algumas abelhas a choques elétricos, quando entravam em contacto com a superfície condutora.

Paralelamente, Martin, Korall & Förster (1989) verificaram, experimentalmente, que os campos magnéticos influenciavam o estado fisiológico das abelhas e, consequentemente, o seu comportamento. Estes autores observaram uma redução da atividade de voo e uma maior longevidade das abelhas sob a influência de (1) um campo magnético estático não homogéneo e de (2) um campo magnético horizontal (intensidades variáveis entre 0,4 G e 1,45 G). Além disso, observaram também uma redução do ritmo de dança sob influência de (1) uma compensação do campo magnético Terrestre e de (2) um campo magnético com direção E-O (intensidades variáveis entre 0,4 G e 1,45 G). No entanto, não foram encontradas diferenças significativas na quantidade de lipofuscina (pigmento depositado na célula que serve para detectar o tempo de vida celular) no cérebro e no tórax das abelhas sujeitas aos diferentes campos magnéticos.

Kobayashi & Kirschvink (1995) resumiram alguns efeitos, identificados até então, de radiações eletromagnéticas no comportamento das abelhas com base em alguns estudos que serviram de base somente para se perceber o funcionamento do mecanismo de magneto-recepção das abelhas, utilizando o campo magnético Terrestre ou campos magnéticos gerados por algumas frequências eletromagnéticas. Discutiram ainda algumas influências, nomeadamente nos movimentos dos cristais de magnetite causadas por determinadas fontes de radiação eletromagnética (linhas de alta tensão) no funcionamento do mecanismo de magneto-recepção. Concluíram que os campos magnéticos gerados pela maioria das linhas de alta tensão são demasiado

fracos para induzir alterações anormais nos cristais de magnetite, uma vez que esses campos magnéticos têm intensidades inferiores às intensidades mínimas necessárias para induzir movimentos nos cristais de magnetite.

Kirschvink *et al.* (1997) prolongaram os trabalhos realizados por Walker & Bitterman (1989b), que verificaram que as abelhas conseguem detectar flutuações de 2,6 mG na intensidade do campo magnético, com uma corrente de 0,2 mA, analisando a detecção, por parte das abelhas, de pequenas flutuações de intensidade do campo magnético gerado por frequências eletromagnéticas de 10 Hz e 60 Hz. Verificaram que quanto maior é a frequência eletromagnética mais rápido é o decréscimo na sensibilidade do mecanismo de magneto-recepção das abelhas. Concluíram que, para uma frequência eletromagnética de 60 Hz, são necessárias intensidades do campo magnético superiores a 1 G para se evidenciarem discriminações.

Na Universidade de Koblenz-Landau (Alemanha), realizaram-se duas experiências para avaliar os efeitos da radiação eletromagnética, de uma estação base de telefone sem fios (DECT – *Digital Enhanced Cordless Telecommunications*), que emite uma frequência de 1900 MHz, no comportamento das abelhas (Harst, Kuhn & Stever, 2006; Kimmel *et al.*, 2007). Harst, Kuhn & Stever (2006) compararam a capacidade de construção de favos, o peso dos quadros e a quantidade de abelhas que regressaram à colónia, em dois grupos de 2 colónias cada. Kimmel *et al.* (2007) avaliaram a capacidade forrageira de dois grupos de 8 colónias. Ambas as experiências resultaram em decréscimos, para as variáveis analisadas, no grupo de colónias submetido às radiações eletromagnéticas.

Favre (2011) desenvolveu uma experiência, repetida em dois modelos de colmeias (*Dadant* e *Swiss Bürki*), nas quais colocou dois telemóveis e um gravador de som no seu interior, simulando três situações distintas: (1) telemóveis desligados, (2) telemóveis ligados em repouso (em *standby*) e (3) telemóveis em conversação; comparou o som emitido pelo enxame, nas três situações, e verificou variações sonoras, que indicam uma alteração ao nível do comportamento defensivo das abelhas, quando os telemóveis estavam em conversação, concluindo que a exposição a radiações eletromagnéticas de 900 MHz aciona o sistema defensivo das abelhas, provocando uma alteração comportamental do enxame.

Sharma & Kumar (2010) e Sahib (2011) desenvolveram experiências idênticas variando somente o número de colónias a ser testado e o tempo de exposição a radiações eletromagnéticas. Ambos compararam a performance entre dois grupos de colónias (produção de mel, postura e força do enxame), onde (1) um dos grupos tinha

telemóveis no interior da colmeia e (2) o outro grupo, sem telemóveis, era o grupo de controlo, tendo utilizado duas e três colónias por grupo, respetivamente. Estas experiências apresentam uma configuração em parte semelhante à experiência realizada, posteriormente, por Mall & Kumar (2014), que compararam a performance entre três grupos de colónias (produção de mel, postura e atividade forrageira), com cinco colónias cada, sujeitas a diferentes radiações eletromagnéticas. O primeiro grupo de colónias (1) foi colocado debaixo de uma torre de telecomunicações, o segundo grupo (2) afastado 2 Km da torre, com telemóveis colocados no interior das colónias, e o terceiro grupo (3) também afastado 2 Km da torre, funcionou como controlo.

Apesar de estruturalmente semelhantes, estas experiências divergem nos resultados, por exemplo, Sharma & Kumar (2010) e Sahib (2011) verificaram uma influência negativa da exposição a radiações eletromagnéticas (900 MHz) no desempenho das colónias expostas, enquanto que Mall & Kumar (2014) não verificaram qualquer efeito negativo aparente entre os diferentes grupos de colónias, registando até um ligeiro incremento na produtividade (quantidade de mel) nas colónias sujeitas a radiações eletromagnéticas.

Cucurachi *et al.* (2013) analisaram todos os trabalhos efetuados no âmbito da influência das radiações eletromagnéticas na perspetiva ecológica, incluindo aves, insectos (entre os quais se destaca a abelha), outros vertebrados, outros organismos e plantas, baseados em artigos publicados em jornais com revisão, considerando as frequências eletromagnéticas compreendidas entre 10 MHz e 3,6 GHz. Compilaram os resultados obtidos por todos estes estudos e verificaram que, no caso das abelhas, muitos estudos eram estatisticamente pouco fundamentados ou incompletos, criticando o baixo número de observações e sugerindo que em trabalhos futuros fosse utilizado um maior número de repetições.

De uma forma geral, a maioria dos estudos sugere a existência de perturbações comportamentais nas abelhas, causadas pela exposição a radiações eletromagnéticas (Tabela 1). Todavia, nenhum desses estudos aponta diretamente este motivo como sendo uma causa plausível para o distúrbio do colapso das colónias, embora, em alguns, se alerte para diferenças de magnitude consideráveis entre colónias expostas a radiações eletromagnéticas e colónias controlo.

Tabela 1 – Resumo dos efeitos provocados por campos eletromagnéticos nas abelhas verificados experimentalmente

Referência	Frequência (Intensidade do campo elétrico ou magnético)	Efeitos	Conclusões
Martin, Korall & Förster (1989)	5 Hz DC (0,4-1,45 G)	Não	Não foram encontradas diferenças significativas na quantidade de lipofuscina no cérebro e tórax das abelhas
Kirschvink <i>et al.</i> (1997)	10-60 Hz AC (0,013-13 G)	Não	São necessárias intensidades do campo magnético superiores a 1 G para se evidenciarem discriminações
Bindokas & Greenberg (1984)	60 Hz AC (7 kV/m)	Não	Não se registaram diferenças significativas na contagem média de células livres (hemócitos) da hemolinfa
Bindokas, Gauger & Greenberg (1988a,b; 1989)	60 Hz AC (7-300 kV/m)	Sim	Propolização anormal, redução de movimentos e aumento de mortalidade, causados pela exposição de patas e abdómenes de algumas abelhas a choques elétricos, quando entravam em contacto com a superfície condutora
Kobayashi & Kirschvink (1995)	60 Hz DC (0,0001-10 G)	Não	Os campos magnéticos gerados pela maioria das linhas de alta tensão são demasiado fracos para induzir alterações anormais nos cristais de magnetite
Sharma & Kumar (2010)	900 MHz AC (189,2 mG)	Sim	Redução de produção de mel, postura e atividade forrageira
Favre (2011)	900 MHz AC (*)	Sim	Ativação do sistema defensivo das abelhas, provocando uma alteração comportamental do enxame
Sahib (2011)	900 MHz AC (*)	Sim	Redução de produção de mel, postura e atividade forrageira
Mall & Kumar (2014)	900 MHz AC (2,1-330,0 µG)	Não	Não verificaram qualquer efeito negativo aparente
Harst, Kuhn & Stever (2006)	1900 MHz AC (*)	Sim	Redução da capacidade de construção de favos, o peso dos quadros e a quantidade de abelhas que regressaram à colónia
Kimmel <i>et al.</i> (2007)		Sim	Redução da capacidade forrageira
Gary & Westerdahl (1981)	2,45 GHz DC (3,5-14,5 mG)	Não	Não foi detectada qualquer perturbação significativa
Westerdahl & Gary (1981)		Não	

* Sem informação

A variabilidade de resultados, aliada a alguma inconsistência estatística (Cucurachi *et al.*, 2013), não permite, aparentemente, afirmar que as radiações eletromagnéticas estão na origem, ou contribuem de alguma forma, para o colapso de colónias melíferas a nível nacional e/ou mundial.

Capítulo 3

Estudo de campo

3.1 Desenho experimental

3.1.1 Definição de critérios e condicionantes

Pretendeu-se desenvolver um método experimental para submeter as abelhas a variações do campo magnético, avaliando eventuais alterações no seu comportamento social. Alguns estudos analisados na literatura sugerem métodos de observação de abelhas, com diferentes propósitos, que poderiam ser adaptados ao objetivo pretendido, bastando, para tal, incluir um sistema de submissão de abelhas às variações do campo magnético pretendidas. Contudo, alguns desses métodos implicam a marcação ou seleção de indivíduos (Chen *et al.*, 2012; Sokolowski, Moine & Naassila, 2012; Guez *et al.*, 2010; Walker & Bitterman, 1985; Gary, 1971), não cumprindo os critérios definidos no objetivo deste trabalho. Outros restringem a liberdade de movimentos das abelhas, quase sempre em ambientes completamente diferenciados dos naturais, obrigando-as a atravessar tubos ou corredores estreitos, ou confinando-as a espaços fechados ou semifechados (Chen *et al.*, 2012; Sokolowski, Moine & Naassila, 2012; Guez *et al.*, 2010; Balderrama *et al.*, 1996), motivo pelo qual, perante os critérios já definidos, invalida a sua utilização. Há também métodos que implicam observações através de sensores eletrónicos (Campbell, Dahn & Ryan, 2005; Gary, 1971), o que pode entrar em conflito com um dispositivo de geração de campos magnéticos.

Assim, foi necessário idealizar uma plataforma de monitorização, através de observação remota de movimentos das abelhas, à semelhança de outros trabalhos experimentais (Chiron, Gomez-Krämer & Ménard, 2013; Campbell, Mummert & Sukthankar, 2008), cujas dimensões e materiais não restringissem os movimentos

nem causassem perturbações nos campos magnéticos. Adicionalmente, foi também necessário definir um plano cronológico de atividades.

Nesta secção está descrito, de forma detalhada, o desenho experimental idealizado, que se divide em 3 níveis: (1) planeamento da estrutura das plataformas de monitorização com base no modelo de colmeias em estudo (3.1.2), (2) delineamento das ligações elétricas e de dados (3.1.3) e (3) definição cronológica de atividades (3.1.4).

3.1.2 Plataforma de monitorização

A plataforma de monitorização é composta por dois compartimentos sobrepostos, separados por um vidro e com acesso comum pela frente, correspondendo o compartimento superior ao centro fulcral da experiência e o compartimento inferior ao suporte da câmara de vídeo e das ligações locais (Figura 1). O painel frontal, amovível, suporta a rampa de voo, para o lado exterior, e a grelha de entrada na colónia (em chapa), para o lado interior.

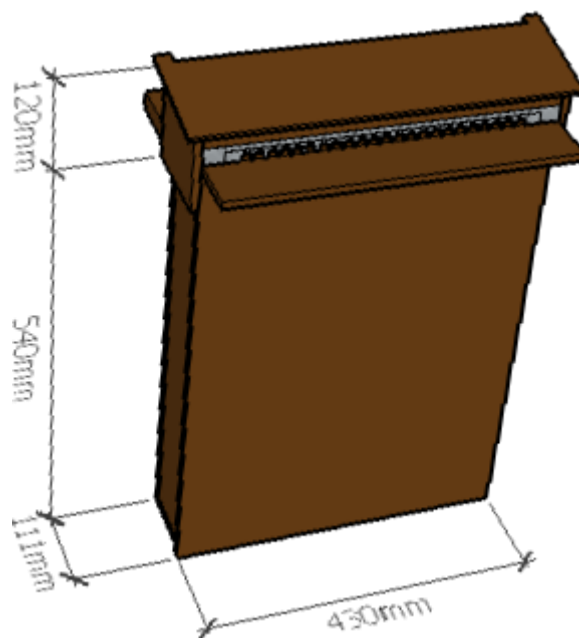
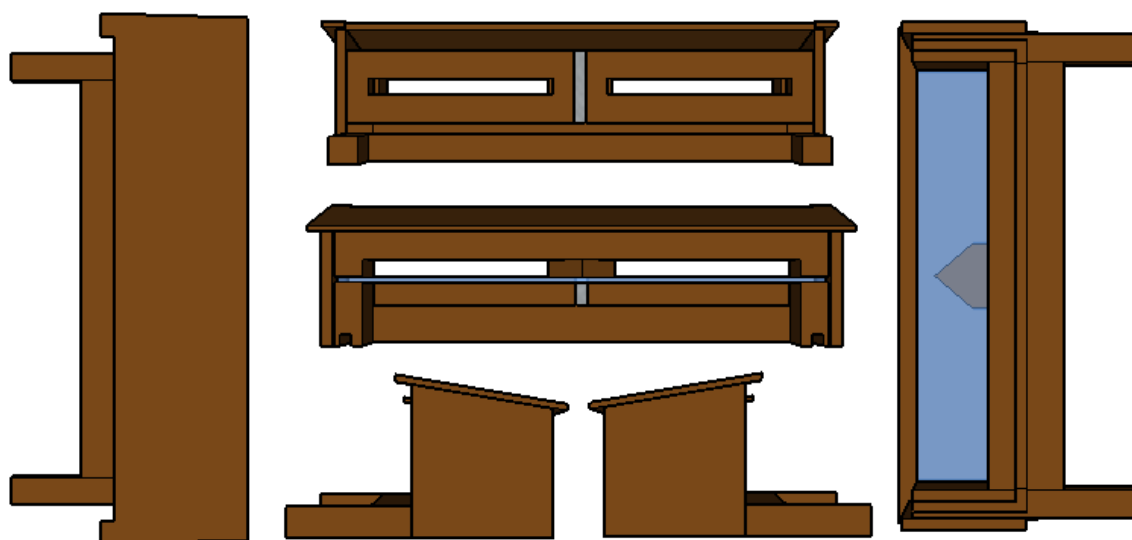


Figura 1 – Esquema e medidas da estrutura da plataforma de monitorização

O compartimento superior é constituído por duas espiras, separadas entre si por uma placa de ferro de 10 mm de espessura, diretamente encostadas à entrada da colmeia, e uma área de monitorização, correspondendo ao vidro de separação das caixas superior e inferior ao qual se sobrepõe um separador em madeira (Figura 2).



Legenda: Vista de topo (à esquerda), Vista do interior para o exterior (ao centro em cima), Vista de frente, do exterior para o interior (ao centro), Vistas laterais (ao centro em baixo) e Vista de baixo (à direita)

Figura 2 – Esquema da estrutura da caixa superior da plataforma de monitorização

O compartimento inferior consiste numa caixa completamente fechada, com acesso pelo painel frontal (painel comum aos dois compartimentos), fixando-se a câmara de vídeo e todas as ligações locais no fundo. A câmara de vídeo orientou-se para cima, filmando o movimento das abelhas, de baixo para cima, através do vidro de separação dos compartimentos.

Os compartimentos superior e inferior unem-se numa estrutura base composta por duas cunhas em madeira, ligadas entre si. Esta estrutura permite que o peso da colmeia sustente todo o peso da plataforma de monitorização (Figura 3). As cunhas foram aparafusadas ao fundo da colmeia somente para garantir o alinhamento da plataforma de monitorização com a colmeia.

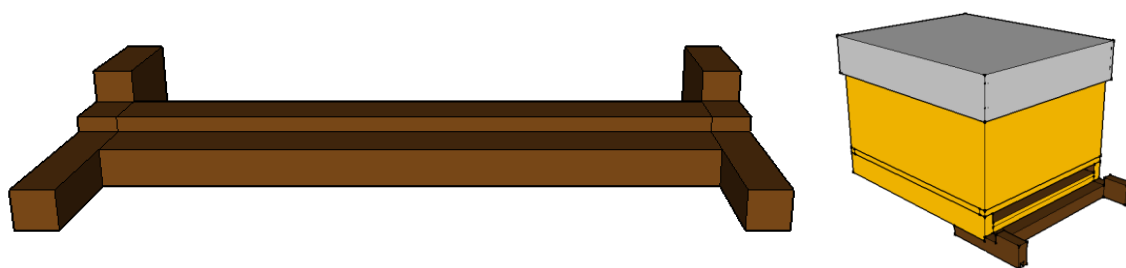


Figura 3 – Esquema da estrutura base da plataforma de monitorização (à esquerda) e esquema de sustentação da estrutura suportada pelo peso da colmeia (à direita)

As espiras, de secção retangular, foram construídas numa base em madeira a partir de uma única peça, com as medidas exteriores de 210 mm de comprimento, 67 mm de altura e 34 mm de profundidade (Figura 4). Deste modo evitou-se o uso de colas, pregos ou outros materiais que pudessem causar perturbações, quer nos campos magnéticos, quer no comportamento das abelhas por si só. A secção central

da espira (170 mm de comprimento, 15 mm de altura e 34 mm de profundidade) corresponde ao túnel de passagem das abelhas, local onde estas foram submetidas às variações do campo magnético gerado pela espira, ao longo dos 20 mm centrais da sua profundidade (Figura 4).

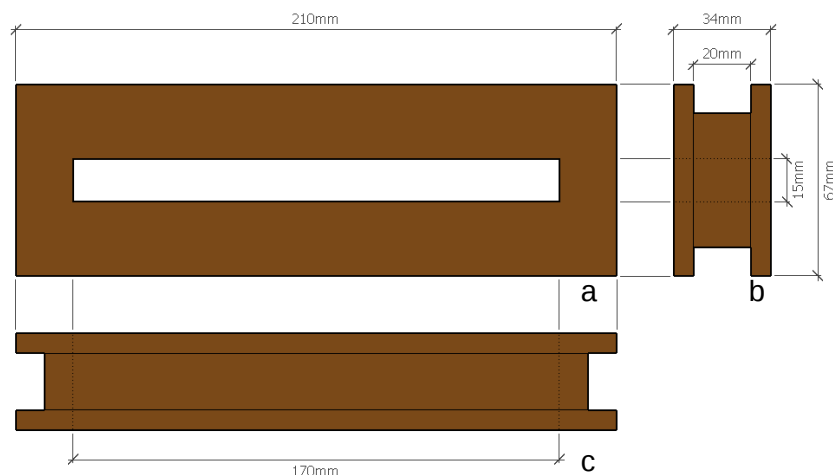


Figura 4 – Esquema e medidas da estrutura da espira: (a) vista frontal, (b) vista lateral e (c) vista de topo

A área de monitorização é composta por um vidro (430 mm de comprimento, 65 mm de largura e 5 mm de espessura), sobre o qual as abelhas entram e saem da colónia, e um separador, colocado por cima do vidro, impedindo que as abelhas voem nesta área e obrigando-as a optar por uma das passagens (Figura 5).

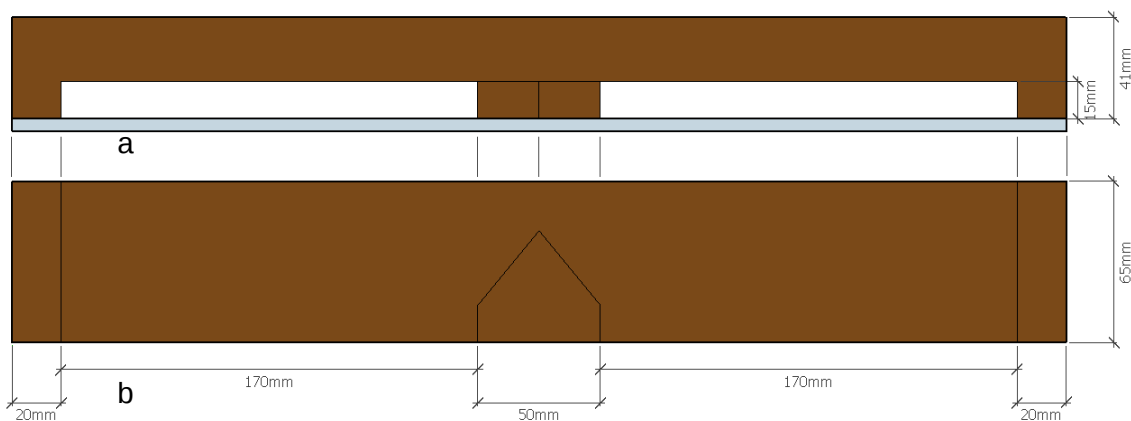


Figura 5 – Esquema e medidas da estrutura da área de monitorização: (a) vista frontal (vista do exterior para o interior da colmeia) e (b) vista de base (a quilha aponta para o exterior)

As câmaras de vídeo utilizadas (Raspberry Pi Camera Ver 1.3 NoIR), foram microcâmaras de 5 megapixéis, com resolução vídeo de 1080p30, de dimensões 25 mm x 20 mm x 9 mm. Cada câmara foi colocada num suporte de madeira e fixada ao fundo do compartimento inferior da plataforma de monitorização, juntamente com o respetivo microcomputador (Raspberry Pi Model B).

3.1.3 Ligações elétricas e de dados

3.1.3.1 *Ligações locais*

Cada plataforma de monitorização comporta, no seu interior, (1) uma tomada elétrica (220V), para alimentação da câmara de vídeo, (2) um terminal de tensão AC de 12V~5A para alimentação das espiras e (3) um cabo de dados, para comunicação remota com a câmara de vídeo.

As espiras foram ligadas alternadamente, consoante o plano de ligações delineado, através de um conector que estabelece a ligação entre o terminal de alimentação e a espira selecionada (Figura 6). Assim, em cada plataforma de monitorização, existem 3 estados de ligação de espiras: (1) ligação à espira esquerda, (2) ligação à espira direita e (3) ligação inexistente.

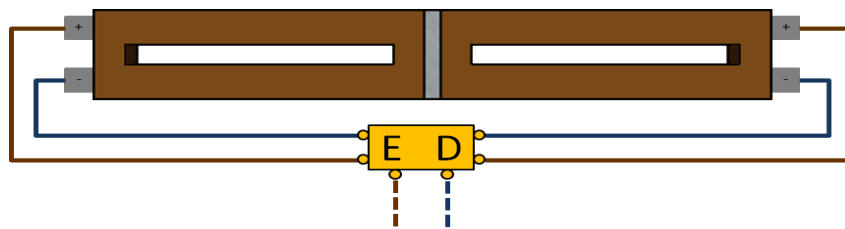


Figura 6 – Esquema da instalação de alimentação das espiras no interior de cada plataforma de monitorização

As espiras esquerda e direita correspondem, respetivamente, aos lados esquerdo e direito da entrada da colmeia do ponto de vista frontal, ou seja, visualizando a colmeia pela parte da frente (Figura 7).

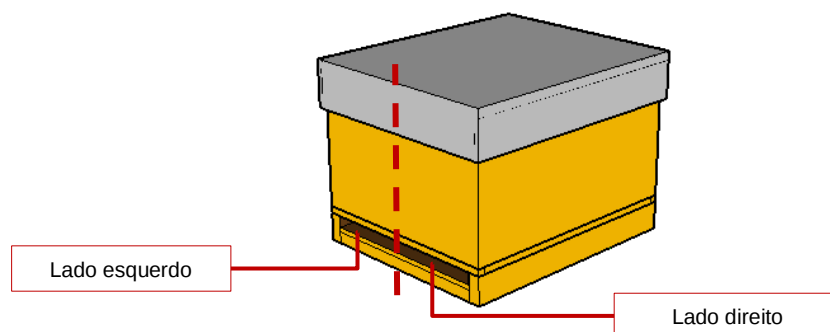


Figura 7 – Definição de lado esquerdo e lado direito da entrada da colmeia

3.1.3.2 *Ligações globais*

As várias plataformas de monitorização foram conectadas a um abrigo central através das ligações especificadas no ponto anterior. O abrigo central foi colocado atrás das colmeias (Figura 8).

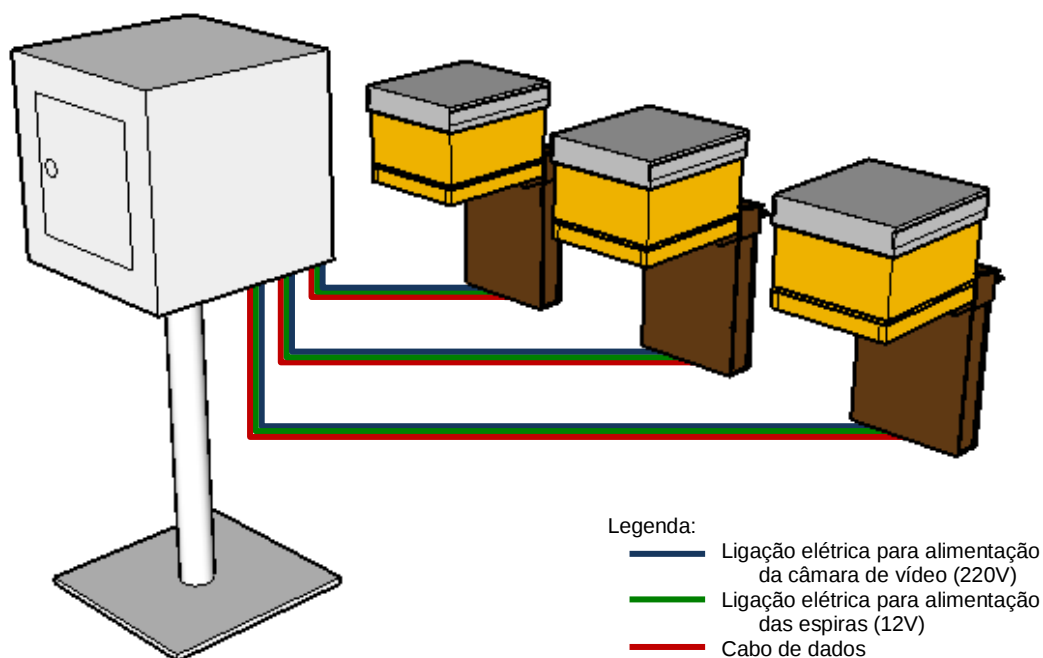


Figura 8 – Esquema das ligações entre o abrigo central e as plataformas de monitorização

A corrente elétrica chega ao abrigo central e é distribuída (1) para tomadas elétricas, para alimentação dos vários equipamentos existentes no abrigo e (2) para as ligações elétricas (220V) existentes nas plataformas de monitorização.

No interior do abrigo existe um transformador de corrente, com saída 12V~5A a 50 Hz, para alimentação das espiras. A saída do transformador está ligada a um conector que permite direcionar a corrente elétrica para as várias plataformas de monitorização, de modo que nenhuma, uma, duas ou todas as plataformas recebem corrente elétrica para alimentação das espiras.

A comunicação remota com as câmaras de vídeo é assegurada por um *router*, que possibilita a ligação de um computador quer por cabo quer por *wireless*.

3.1.4 Planificação cronológica

Do ponto de vista cronológico, considera-se a planificação fracionada em 2 fases: (1) fase da preparação e montagem da experiência e (2) fase experimental, que corresponde ao período de recolha e tratamento de dados.

Dependendo das condições meteorológicas, das condições populacionais e de sanidade das colónias, a fase experimental poderia iniciar-se entre Abril e Junho. Assim, a fase de preparação e montagem da experiência decorreria entre Janeiro e Abril, cuja primeira tarefa consistia na construção das plataformas de monitorização, seguindo-se a seleção e preparação das colónias, processo durante o qual se

efetuariam análises ao estado sanitário das colónias, limpeza das colmeias após o Inverno, reparações de manutenção nas colmeias, preparação das colónias para a Primavera e verificação das instalações do apiário. Após estas etapas, efetuar-se-ia a montagem das plataformas de monitorização nas colónias selecionadas, configurando-se todo o sistema e calibrando-se as câmaras de vídeo.

A fase experimental iniciar-se-ia assim que todas as tarefas anteriores estivessem completas e de modo que as condições meteorológicas fossem favoráveis ao trabalho das colónias, nomeadamente que a temperatura do ar estivesse entre os 14°C e os 40°C, com um intervalo ideal entre 22°C e 32°C (Schmickl & Crailsheim, 2007). Deveria também garantir-se um período de adaptação, por parte das abelhas, às plataformas de monitorização, período no qual as espiras estariam desligadas e que se poderia prolongar pelo tempo necessário até que se garantissem as condições meteorológicas supracitadas.

O registo do movimento das abelhas seria efetuado diariamente, entre as 8h e as 20h, em ficheiros de vídeo com 15 minutos, a uma taxa de gravação de 15 imagens por segundo, durante todo o período experimental (Tabela 2). Estes valores foram obtidos com base em experiências de tentativa-erro por forma a minimizar o espaço de armazenamento necessário sem perda de informação.

O funcionamento das espiras restringir-se-ia a 14 semanas (4 ciclos de 3 semanas), servindo a primeira e a última semanas (semanas 1 e 14) como referência, isto é, apenas seriam monitorizadas as entradas e saídas das colónias sem alteração às condições normais de acesso (espiras desligadas). As espiras seriam ligadas ou desligadas a cada 7 dias (Tabela 2), por volta das 14h, correspondendo ao meio dia de vídeo. Cada ciclo de 3 semanas completaria uma fase da vida da abelha, uma vez que as obreiras, até próximo do seu 20º dia de vida “são consideradas como abelhas de casa, isto é, executam os trabalhos necessários no interior da colmeia, realizando só eventualmente algum voo de orientação” (Biri & Albert, 1979, p. 91).

As 3 colónias seriam então submetidas a 2 esquemas de ligação das espiras: (1) numa das colónias seria somente ligada uma espira permanentemente, enquanto que (2) nas outras duas colónias haveria uma alternância entre a espira esquerda e a espira direita, por forma a que nunca se repetissem (Tabela 2). Pretendia-se, desta forma, percepcionar alterações comportamentais a curto e longo prazo, ou seja, nas duas colónias cuja alternância das espiras ocorreria de 7 em 7 dias avaliar-se-iam eventuais alterações comportamentais de curto prazo, enquanto que a colónia

submetida a um esquema de ligação estático permitiria avaliar eventuais alterações comportamentais a longo prazo.

Tabela 2 – Plano cronológico do esquema de ligações das espiras e gravação de vídeo

Semana	Colónia 1			Colónia 2			Colónia 3		
	Espiras		Vídeo	Espiras		Vídeo	Espiras		Vídeo
	Esq.	Dir.		Esq.	Dir.		Esq.	Dir.	
1	-	-	✓	-	-	✓	-	-	✓
2	✓	-	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
3	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
4	✓	-	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
5	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
6	✓	-	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
7	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
8	✓	-	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
9	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
10	✓	-	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
11	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
12	✓	-	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
13	-	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓
14	-	-	✓	-	-	✓	-	-	✓

Os vídeos gravados foram comprimidos do formato H.264 para o formato AVI e armazenados num disco externo, com uma periodicidade semanal, aquando da recombinação de ligações das espiras. Os vídeos, em formato AVI, foram recalibrados, sempre que necessário, através de rotações, translações e ajuste das dimensões à área útil, e, posteriormente divididos em duas partes: (1) vídeo do lado esquerdo e (2) vídeo do lado direito. A cada um destes vídeos, esquerdo e direito, foi extraído um vídeo de 1 minuto, centrado no tempo, que se utilizou no processo de contagem de abelhas. Apesar de se utilizar, no processo de contagem de abelhas, apenas um excerto de 1 minuto por cada vídeo de 15 minutos, optou-se por se gravar o máximo de tempo possível para viabilizar a sua utilização em caso de necessidade, em análises mais exaustivas, ou em trabalhos futuros.

3.2 Concretização da experiência

3.2.1 Etapas

O primeiro passo da conceção da experiência foi a construção das plataformas de monitorização baseado nos modelos de colmeia a utilizar (3.2.2). Depois, selecionaram-se as diferentes colónias a serem submetidas à experiência (ainda que o

seu número tenha sido reduzido devido a limitações orçamentais respeitantes à construção das plataformas e respetivos equipamentos) (3.2.3), nas quais se montaram as plataformas de monitorização (3.2.4). Em seguida configurou-se todo o sistema (instalação e configuração de *software*) e calibraram-se as câmaras de vídeo (3.2.5). Por fim iniciou-se a experiência e foi executado um plano de monitorização até ao final do período de experimentação (3.2.6).

3.2.2 Construção das plataformas de monitorização

Inicialmente construíram-se 6 espiras, recorrendo a uma tupa (Bosch POF 1200 AE) para efetuar os baixos-relevos, partindo de peças únicas de madeira de pinho tratado. As peças, depois de esculpidas, foram envernizadas com verniz incolor, não tóxico (Luxens Incolor). Depois procedeu-se ao enrolamento do fio, utilizando fio de cobre de 0,3 mm de espessura. O fio foi enrolado, manualmente, em 280 voltas em cada espira.

As espiras, depois de completas, foram testadas em laboratório, para garantir o seu perfeito funcionamento. Cada espira foi colocada sobre uma mesa, numa posição idêntica à posição de funcionamento para o qual fora idealizada. Colocou-se uma bússola na cavidade interior da espira (túnel de passagem das abelhas) e fez-se passar uma corrente elétrica de 12V~5A a 50 Hz verificando-se o movimento da bússola (se a direção da agulha da bússola se mantivesse estática significaria que a espira não estava a funcionar como seria expectável).

Após todas as espiras terem respondido positivamente ao teste, efetuou-se uma medição da intensidade do campo magnético, com recurso a um magnetómetro Lakeshore 455 DS Gaussmeter, em cinco pontos, no interior da espira, no plano central (Figura 9), obtendo-se uma variação da intensidade do campo magnético entre 4,8 G e 7,3 G (Figura 10).

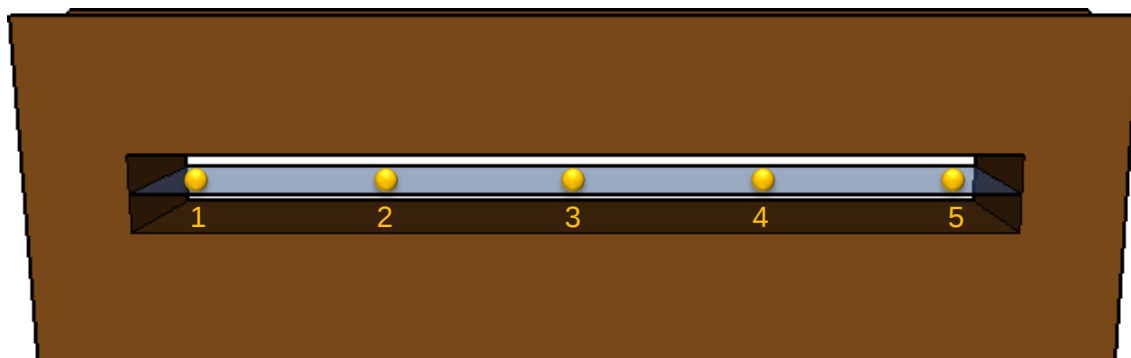


Figura 9 – Pontos de leitura do campo magnético gerado pela espira

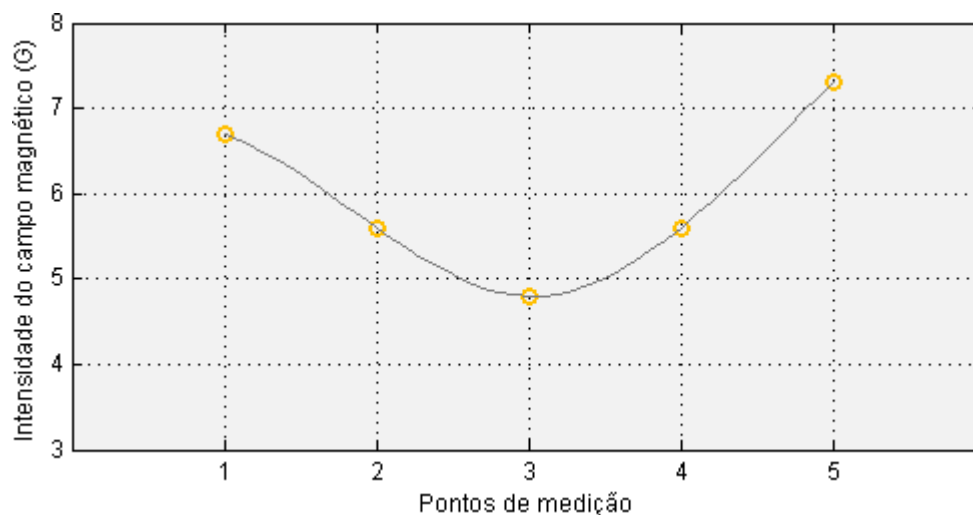
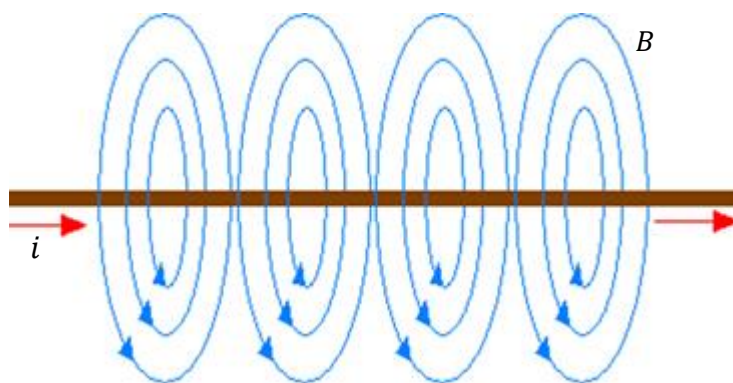


Figura 10 – Gráfico do perfil da intensidade do campo magnético gerado pela espira

Comparando a intensidade do campo magnético gerado pela espira com a intensidade máxima do campo magnético gerado por uma linha de alta tensão ao nível do solo, respeitando as condições mínimas exigidas, observou-se que a intensidade do campo magnético gerado pela espira era cerca de 50 vezes superior, sendo equivalente à intensidade do campo magnético gerado por uma linha de alta tensão a 40 cm da linha.

Segundo as recomendações da *International Commission on Non Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), o limite de exposição a um campo magnético gerado por uma linha de média ou alta tensão (50 Hz) não deverá ultrapassar 1 G. As linhas de média e alta tensão trifásicas têm, em Portugal, um limite máximo de voltagem de 60 kV (600 A) e 220 kV (1140 A) e uma distância mínima ao solo de 14 m e 19,25 m, respetivamente (Antunes, 2013). O campo magnético gerado por um condutor linear, tal como uma linha de alta tensão, tem uma direção perpendicular ao sentido da corrente (Figura 11).

Nas condições extremas de uma linha de alta tensão (220 kV), segundo Antunes (2013), a intensidade do campo magnético gerado por uma catenária, medida a dois metros de distância da fonte de radiação, é de 1 G, o que significa que a distância mínima a uma linha de alta tensão, para cumprir o limite de exposição recomendado pela ICNIRP, é de 2 m. A intensidade do campo magnético decai de forma proporcional ao quadrado da distância, portanto, ao nível do solo, a intensidade do campo magnético gerado por uma linha de alta tensão para estas condições (0,1 G) é inferior à intensidade do campo magnético Terrestre (cerca de 0,45 G).



Legenda: i – corrente elétrica; B – campo magnético; Fonte: <http://www.brasilecola.com>

Figura 11 – Linhas do campo magnético gerado por um condutor linear

Após a construção e teste das espiras, foram construídas 3 áreas de monitorização. Para isto, utilizaram-se peças únicas de madeira de pinho tratado, que foram esculpidas com uma tupa (Bosch POF 1200 AE), consoante o projeto e posteriormente envernizadas com verniz incolor, não tóxico (Luxens Incolor). Os vidros foram adquiridos conforme as medidas estipuladas.

Posteriormente construíram-se 3 estruturas bases para as plataformas de monitorização, esculpidas com uma tupa (Bosch POF 1200 AE) a partir de peças únicas de madeira de pinho tratado e envernizadas com verniz incolor, não tóxico (Luxens Incolor).

Mais tarde efetuou-se o revestimento das plataformas de monitorização, construindo-se 3 caixas exteriores, em madeira aglomerada, consoante as medidas do projeto. As caixas foram pintadas com tinta aquosa de cores castanha e azul clara (V33 Aqua Protect). Nas faces frontais, portas de acesso ao interior das plataformas de monitorização, foram colocadas, do lado interior, grelhas de entradas de colmeias, e rampas de voo, do lado exterior (em anexo (Anexo I) estão algumas fotografias do processo de construção das plataformas de monitorização).

Após a conclusão da construção das plataformas de monitorização, procedeu-se à instalação das ligações locais, ou seja, os conectores para as espiras, a instalação elétrica para as espiras (12V) e para a câmara de vídeo (220V), o cabo de dados e a colocação da câmara de vídeo. Os cabos elétricos e de dados foram colocados dentro de um tubo de proteção em plástico. Desta forma, todas as ligações ao abrigo central ficaram pré-instaladas nas plataformas de monitorização.

3.2.3 Seleção e preparação das colónias

A experiência foi realizada no apiário experimental da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança, sito na Quinta do Pinheiro Manso no ano civil de 2014. Foram seleccionadas, no final de Março, as 3 melhores colónias de abelhas, de um total de 6 existências nesse momento no apiário. As três colónias estavam alojadas em colmeias de modelo Langstroth, com 10 quadros por ninho e mantidas no sistema tradicional de produção. Consideraram-se, como critérios de seleção, a população de abelhas de cada colmeia, o estado das ceras dos quadros do ninho, o estado sanitário das colónias, o estado de conservação das colmeias e o historial recente de cada colónia.

Reinstalou-se o apiário, em meados de Março, de forma progressiva, numa área mais próxima do armazém para facilitar o acesso à rede elétrica. Colocaram-se, em suportes de ferro, 5 colónias niveladas e orientadas para SE, das quais 3, anteriormente identificadas, foram utilizadas na experiência (Figura 12) e as outras duas serviram como colmeias de controlo e/ou substituição.

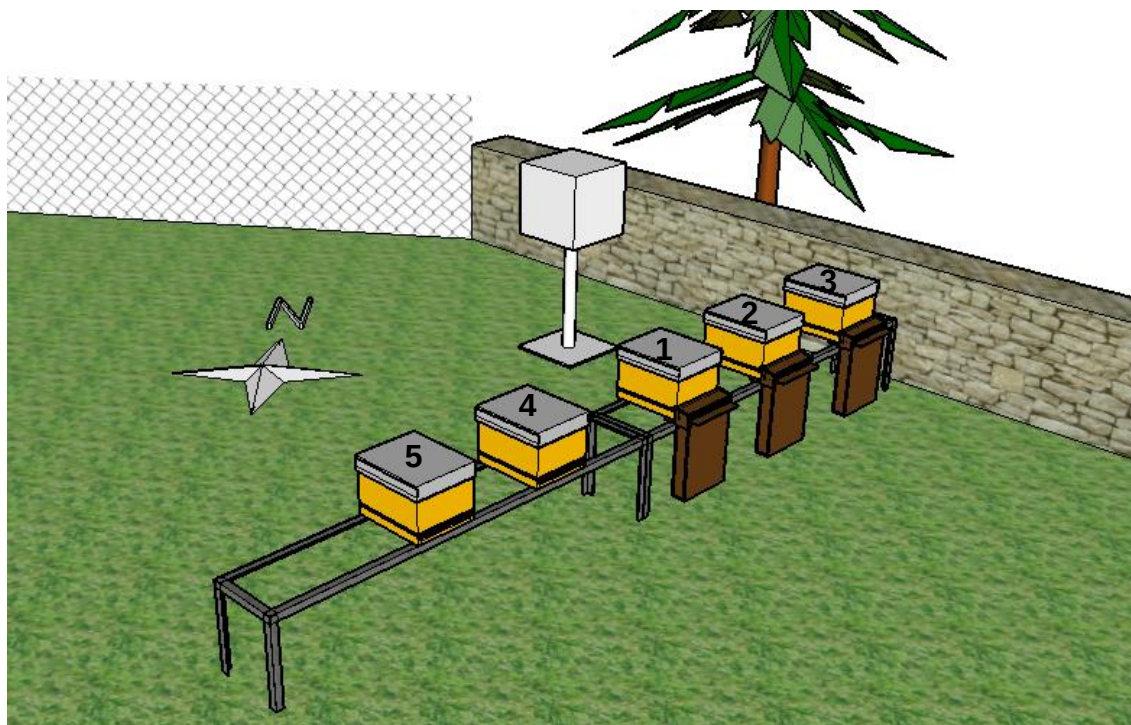


Figura 12 – Esquema da reinstalação do apiário, orientado para SE.
A experiência desenrolou-se com base nas colónias 1, 2 e 3

Os quadros com ceras velhas foram substituídos por quadros com cera moldada e distribuíram-se pelos ninhos de forma a garantir uniformidade e simetria. Desta forma os quadros com postura ficaram nas posições centrais, ladeados por quadros com reservas e, a completar o espaço disponível nos ninhos, colocaram-se os

quadros com cera moldada, garantindo que a população estava distribuída de forma homogénea, sem tendência para algum dos lados. Todos os ninhos foram raspados para remover excessos de própolis e lixos de inverno e todos os estrados foram submetidos a uma limpeza profunda e pintura, substituindo-se, em alguns casos, as tábuas do fundo. Os restos de alimentos de inverno foram removidos e efetuou-se o tratamento à Varroose antes do início da experiência.

Foram colhidas amostras e realizadas 3 análises laboratoriais para controlo sanitário de todas as colónias: (1) antes da reinstalação do apiário, (2) após a reinstalação e antes do início da experiência e (3) no decorrer da experiência.

3.2.4 Montagem das plataformas de monitorização

Após duas semanas, no dia 6 de Abril, instalou-se o abrigo central e efetuou-se a ligação elétrica à rede. Procedeu-se à montagem das plataformas de monitorização (Figura 13), que ocorreram em simultâneo com a substituição dos fundos das colmeias.



Figura 13 – Montagem das plataformas de monitorização nas colónias

Durante o processo de montagem registaram-se, visualmente, perturbações no comportamento das abelhas (Figura 14), devido à colocação das plataformas de monitorização que alterou, momentaneamente, a perceção que as abelhas tinham da colmeia. Apesar do transtorno já esperado, ao fim de umas horas eram já poucas as abelhas desorientadas. No dia seguinte todas as colónias trabalhavam normalmente.



Figura 14 – Perturbação momentânea na orientação das abelhas motivada pela colocação das plataformas de monitorização

Após a conclusão da montagem das plataformas de monitorização, efetuaram-se as ligações no abrigo central e testaram-se todas as ligações elétricas, quer para alimentação das câmaras (220V), quer para alimentação das espiras (12V). Em seguida ligaram-se os cabos de dados e testaram-se as conexões. O passo seguinte consistiu em configurar o *software* e calibrar as câmaras de vídeo.

3.2.5 Configuração e calibração das câmaras de vídeo

Durante o mês de Abril procedeu-se à configuração de todo o *hardware* e respetivo *software* utilizado na experiência. Em termos de *hardware*, foram utilizadas 3 câmaras de vídeo Raspberry Pi NoIR Camera (sem filtro de bloqueio infravermelho), conectadas, respetivamente a 3 microcomputadores Raspberry Pi Model B (processador de 700 MHz com 512 Mb de memória RAM). Os Raspberry Pi comunicam, através de uma rede composta por um *router* (Belkin Wireless G Router), com um computador portátil AIRIS Pragma 600 (processador Pentium M 1,7 GHz com 1 Gb de memória RAM e um disco de 80 Gb de capacidade).

Nos Raspberry Pi foi instalado o sistema operativo Raspbian, de 7 de Janeiro de 2014 (sistema operativo Debian adaptado para o Raspberry Pi), em cartões de memória de 64Gb, através do *software* NOOBS (*New Out Of Box Software*) versão 1.3.6. Aquando da primeira inicialização atualizou-se todo o *software* e ativaram-se as câmaras de vídeo. Posteriormente testaram-se as câmaras de vídeo e configuraram-se a estrutura de diretórios e os endereços IP de cada Raspberry Pi. Desenvolveram-se *shell scripts* para (1) ativar a câmara de vídeo e capturar vídeos consoante o plano de gravação pretendido, e (2) para exportar os vídeos para o computador portátil através de pastas partilhadas na rede. Configuraram-se tarefas

agendadas (edição do ficheiro *crontab*) para se executarem os *scripts* de forma automática.

No computador portátil, com sistema operativo Windows XP, configurou-se o IP e a estrutura de diretórios, incluindo 3 pastas partilhadas para recepção dos vídeos exportados pelos Raspberry Pi. Instalou-se o *software* mobaXtrem Personal Edition v7.1 para controlar remotamente, através da rede, as atividades dos Raspberry Pi, e configuraram-se as ligações aos 3 Raspberry Pi. Desenvolveram-se *batch scripts* para (1) converter os vídeos submetidos pelos Raspberry Pi, do formato H.264 para o formato AVI, e (2) para exportar os vídeos convertidos para um disco externo. Foram configuradas tarefas agendadas para automatizar a execução destes *scripts*.

Após a conclusão da instalação e configuração de todo o *software*, procedeu-se à montagem do *hardware* nas plataformas de monitorização e no abrigo central. Os Raspberry Pi foram fixados às paredes posteriores, do lado interior, dos compartimentos inferiores das plataformas de monitorização e estabeleceram-se as respetivas ligações de rede e elétricas.

O computador portátil foi colocado no abrigo central, juntamente com o *router*, aos quais se conectaram os cabos de rede provenientes de cada Raspberry Pi. Inicializou-se todo o sistema e, através do *software* mobaXtrem, sincronizaram-se os relógios dos Raspberry Pi com o relógio do computador portátil. Efetuaram-se alguns testes de ligações e procedeu-se à instalação das câmaras de vídeo.

As câmaras de vídeo foram fincadas, com cola quente, a calços de esferovite que, por sua vez, foram fixados, também com cola quente, a um suporte de madeira. Os ângulos *roll* (ângulo de rotação em torno do eixo horizontal x), *pitch* (ângulo de rotação em torno do eixo horizontal y) e *yaw* (ângulo de rotação em torno do eixo vertical z) foram calibrados manualmente (Figura 15), com base na imagem obtida em tempo real pelas câmaras de vídeo.

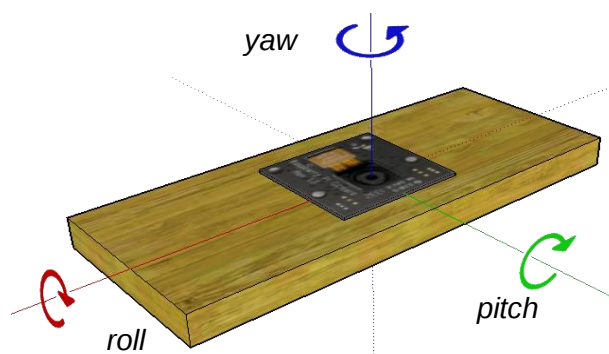


Figura 15 – Esquema de montagem e calibração da câmara de vídeo

Através da espessura dos calços de esferovite ajustaram-se os ângulos *pitch* e *roll* e o ângulo *yaw* foi ajustado através da rotação do suporte em madeira. Após um ajuste adequado, os suportes foram fixados, com parafusos, ao fundo do compartimento inferior.

3.2.6 Execução e monitorização da experiência

Durante a primeira quinzena de Maio foram efetuados testes às câmaras de vídeo, testes de aptidão dos equipamentos e testes de comunicação por rede. No dia 16 de Maio, 40 dias após a montagem das plataformas de monitorização, iniciaram-se as gravações de vídeo, de 12h por dia, ficando todo o sistema a funcionar durante 9 dias. O plano cronológico idealizado (Tabela 2) teve início no dia 25 de Maio, sendo a semana 1 compreendida entre o dia 25 de Maio e o dia 1 de Junho.

Contudo, entre os dias 8 de Junho e 22 de Junho e os dias 29 de Junho e 13 de Julho, registaram-se várias falhas de eletricidade provocadas quer pelas condições meteorológicas (ocorrência de trovoadas), quer por motivos de manutenção da rede elétrica em redor da Quinta do Pinheiro Manso. As falhas de eletricidade originaram, ainda, perdas em alguns equipamentos que tiveram que ser substituídos, contribuindo para os longos períodos de ausência de dados (27 dias de um total de 58 dias entre 16 de Maio e 13 de Julho). Assim, durante estes períodos, registaram-se falhas nas gravações dos vídeos e não foi garantida a ligação contínua das espiras, verificando-se interrupções superiores a 3 horas. Devido a estas anomalias e à escassez de tempo para fazer cumprir o plano cronológico até ao final da época apícola, redefiniu-se o plano de tarefas bem como os moldes de execução, com base em resultados provisórios.

Em primeira instância redefiniram-se os tempos de gravação de vídeos, encurtando o intervalo de 12 horas por dia para 10 quartos de hora por dia. Assim, em vez dos 48 vídeos de 15 minutos, entre as 8h e as 20h, previstos inicialmente, gravaram-se apenas 10 vídeos de 15 minutos, entre as 9h e as 19h, mantendo a mesma taxa de gravação (15 imagens por segundo). Justifica-se esta alteração com a necessidade de espaço para armazenamento de vídeos, uma vez que o computador portátil e os Raspberry Pi têm limitações de espaço, que os impedem de armazenar mais do que 20 horas de vídeos no formato H.264, e de processamento de dados impossibilitando-os de comprimir os vídeos do formato H.264 para AVI em tempo útil, ou seja, comprimir os vídeos todos de um dia durante a noite. De facto, um vídeo de 15 minutos (taxa de gravação de 15 imagens por segundo), no formato H.264,

necessita de cerca de 500 Mb de espaço de armazenamento. A velocidade de compressão de um vídeo no computador portátil utilizado na experiência varia entre 10 e 20 imagens por segundo, o que implica um intervalo de tempo compreendido sensivelmente entre 10 e 20 minutos para a compressão de um vídeo de 15 minutos (taxa de gravação de 15 imagens por segundo) do formato H.264 para o formato AVI. É de salientar ainda que o computador portátil necessitaria de converter os vídeos de todos os Raspberry Pi, ou seja, 144 vídeos diários segundo o plano experimental original. Assim, os vídeos foram então gravados durante 15 minutos por hora, em cada colónia, entre as 9h e as 19h, por um período de 4 semanas, passando somente a dois vídeos de 15 minutos entre as 13h45 e as 14h15, após aquele período (Tabela 3).

Tabela 3 – Plano de gravação de vídeos

Semana	1	2	3	4	5	6	7
Hora							
9h45 – 10h00	✓	✓	✓	✓			
10h45 – 11h00	✓	✓	✓	✓			
11h45 – 12h00	✓	✓	✓	✓			
12h45 – 13h00	✓	✓	✓	✓			
13h45 – 14h00	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14h00 – 14h15	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
15h00 – 15h15	✓	✓	✓	✓			
16h00 – 16h15	✓	✓	✓	✓			
17h00 – 17h15	✓	✓	✓	✓			
18h00 – 18h15	✓	✓	✓	✓			

A segunda alteração fundamental à experiência prendeu-se com a necessidade de obtenção de resultados em cerca de metade do tempo inicialmente previsto, ou seja, cerca de 7 semanas. A estratégia passou por manter o plano para a colónia cuja espira estaria ligada permanentemente e para uma das outras duas colónias, apenas durante 4 semanas. A outra colónia serviu de controlo, ficando as espiras permanentemente desligadas (Tabela 4).

Reiniciou-se a experiência, segundo o plano reestruturado, no dia 15 de Julho vencendo-se as primeiras 4 semanas no dia 11 de Agosto. A experiência terminou no dia 2 de Setembro. Apesar da reestruturação do plano experimental, registaram-se falhas nas gravações dos vídeos devido a sobreaquecimentos nos equipamentos, em particular no computador portátil que, por defeito, se desliga sobrecarregando os Raspberry Pi que rapidamente excedem a capacidade de armazenamento. Contudo, o funcionamento contínuo das espiras foi garantido através da instalação de uma fonte de alimentação ininterrupta (APC - BACK UPS ES 350).

Tabela 4 – Plano cronológico alternativo do esquema de ligações das espiras

Semana	Colónia 1		Colónia 2		Colónia 3	
	Espiras		Espiras		Espiras	
	Esq.	Dir.	Esq.	Dir.	Esq.	Dir.
1	✓	-	-	-	-	✓
2	-	✓	-	-	-	✓
3	✓	-	-	-	-	✓
4	-	✓	-	-	-	✓
5	-	-	-	-	-	✓
6	-	-	-	-	-	✓
7	-	-	-	-	-	-

Durante todo o período experimental foi registado o estado de desenvolvimento das colónias e, sempre que necessário, durante as intervenções nos ninhos, centraram-se os quadros com criação para que a distribuição do enxame fosse uniforme e simétrica em relação à entrada. Após a colocação de meias-alças, apenas se monitorizou a população de cada colónia através destas, evitando-se movimentações nos ninhos. Os enxameamentos foram evitados através de boas práticas de manejo, nomeadamente a garantia constante de espaço disponível na colmeia, com a adição de alças sempre que necessário. Foram ainda observadas, semanalmente, todas as colmeias vazias colocadas em torno do apiário com o objetivo de apanhar enxames que eventualmente enxameassem.

No decorrer da experiência foram observadas, regularmente, as previsões meteorológicas, para 5 dias, através dos *sites* do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (<http://www.ipma.pt>) e do Boletim Meteorológico para a Agricultura – Syngenta Meteo (<http://www.syngenta.pt>). Os dados meteorológicos utilizados nas análises de dados da experiência foram provenientes da estação meteorológica de Bragança do Instituto Português do Mar e da Atmosfera e da estação meteorológica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTiG) do Instituto Politécnico de Bragança (IPB).

3.3 Processamento de dados

O processo de conversão dos vídeos do formato H.264 para o formato AVI, a recalibração dos vídeos, o fracionamento em vídeos esquerdo e direito e a extração de excertos de 1 minuto, foram efetuados através de *batch scripts* recorrendo ao *software* aberto FFmpeg versão git-1fb4685 64-bit Static.

Em relação ao processamento dos excertos de vídeos de 1 minuto, para contagem e rastreamento das abelhas, foram efetuados vários testes com algoritmos existentes e descritos na literatura, e com algoritmos desenvolvidos, no *software* Matlab R2013a, com base em ferramentas e técnicas de processamento de imagem e vídeo, num computador portátil Toshiba Satellite L500, com processador Dual-Core T4400 a 2,2 GHz, 4 Gb de memória RAM, disco SATA com 500 Gb de capacidade e sistema operativo Windows 7 de 64 bits.

Pretendia-se automatizar o processo de contagem de abelhas de forma a maximizar o número de observações no menor tempo possível. Assim, desenvolveram-se alguns algoritmos baseados em processos de segmentação, de detecção de contornos, de detecção de movimentos entre *frames* consecutivas através de diferenças de intensidade ou através da previsão de movimentos com recurso a processos estocásticos e filtros de Kalman, de extração do fundo através de classificação de imagem, de análise temporal por pixel e de transformações de cor, brilho e contraste, não se obtendo, com qualquer um dos algoritmos desenvolvidos, resultados satisfatórios, quer em contagens assertivas, quer em tempo de execução.

A insistência em tentar encontrar algum algoritmo capaz de responder ao objetivo deste trabalho, prendeu-se com o facto da análise visual dos vídeos ser um processo moroso e enfadonho. Por este motivo e por não ter sido possível encontrar uma solução viável com o desenvolvimento de algoritmos em Matlab, foram pesquisados vários estudos presentes na literatura, que sugerem diferentes métodos para detectar e rastrear trajetórias de abelhas recorrendo a imagens e/ou vídeo, e implementados os algoritmos/*softwares* propostos. De entre os vários algoritmos e *softwares* pesquisados, havia um bastante promissor: o *software* K-Track64, desenvolvido e descrito por Kimura *et al.* (2014), baseado no método conhecido como *Adaptive Background Subtraction* (ABS), que consiste no cálculo de uma imagem de fundo com base em algumas *frames*, à qual se subtraem as restantes *frames* por forma a identificar objetos em movimento (abelhas), avaliando-se as suas posições entre *frames*. Este algoritmo, quando adaptado ao presente trabalho, apesar de inovador em termos de identificação de interações entre abelhas, requer bastante tempo para calcular e desenhar as rotas das abelhas, demorando mais de 4 horas a processar um vídeo de 1 minuto (900 *frames*), o que torna a sua utilização inoportável.

Assim, não foi utilizado qualquer tipo de algoritmo automático para a contagem de entradas e saídas de abelhas das colónias, tendo sido este processo executado

manualmente. Para auxiliar as contagens, desenvolveu-se um algoritmo simples, em Matlab, que permitisse visualizar os vídeos com uma velocidade pré-determinada, identificando, em cada imagem, as diferenças de movimentos detetadas entre as *frames* anterior e posterior, definindo um valor para a sensibilidade da detecção dessas diferenças (Figura 16). O *script* inclui ainda o número da *frame* que está a ser apresentada e o número total de *frames* do vídeo.



Figura 16 – Aspeto visual da execução do script de auxílio ao processo de contagem manual de entradas e saídas da colónia, com previsão de trajetos (a verde) e identificação de trajetórias executadas (a vermelho)

Para a contagem manual de abelhas foi selecionado um painel de voluntários através de uma análise preliminar que consistiu em escolher aleatoriamente 4 vídeos (2 vídeos da parte direita e 2 vídeos da parte esquerda) cujas contagens foram registadas por todos os candidatos ao painel, de forma independente e não condicionada, em condições de visualização semelhantes. Este processo permitiu selecionar os elementos do painel cujas contagens não diferiam significativamente do valor médio e estimar o erro de contagem de abelhas introduzido por cada elemento.

Após a seleção do painel, foram analisados dois grupos de vídeos, sendo (1) o primeiro grupo composto por 60 vídeos, referentes às 3 colónias, relativos aos dias 16 e 30 de Maio (10 vídeos por colónia por dia), para se efetuar uma caracterização inicial de cada colónia com um perfil de entradas e saídas ao longo do dia, e (2) o segundo grupo composto por 41 vídeos, distribuídos consoante o esquema de ligações das espiras (Tabela 5), com o objetivo de se avaliarem eventuais alterações comportamentais causadas pela variação do campo magnético.

Tabela 5 – Vídeos analisados por colónia e por esquema de ligação das espiras

Data	Colónia 1	Colónia 2	Colónia 3	Total
Sem espiras ligadas	6	14	5	25
Espira Esquerda ligada	4	0	0	4
Espira Direita ligada	4	0	8	12
Total	14	14	13	41

Os 41 vídeos analisados, pertencentes ao segundo grupo de vídeos, cingem-se somente ao período entre as 14h e as 14h15, para alguns dias, consoante o esquema de ligação das espiras (Tabela 6).

Tabela 6 – Dias selecionados para análise manual de vídeos e respetivo esquema de ligação das espiras

Data	Colónia 1	Colónia 2	Colónia 3
16 Mai	-	-	-
22 Mai	- (v.n.a.)	- (v.n.a.)	-
25 Mai	- (v.n.a.)	- (v.n.a.)	-
30 Mai	-	-	-
14 Jul	-	-	- (v.n.d.)
15 Jul	E	-	- (v.n.d.)
19 Jul	E	-	- (v.n.d.)
23 Jul	D	-	D
26 Jul	D	-	D
31 Jul	E	-	D
04 Ago	E	-	D
05 Ago	D	-	D
09 Ago	D	-	D
12 Ago	-	-	D
05 Set	-	-	D
06 Set	-	-	-

Legenda: Espira esquerda ligada (E); Espira direita ligada (D); Espiras desligadas (-)
v.n.a. – vídeo não analisado; v.n.d. – vídeo não disponível

Para estes vídeos, contaram-se, manualmente, o número de entradas e saídas das 3 colónias, nos excertos de vídeos de 1 minuto (14h07 – 14h08), e, posteriormente, analisaram-se os resultados obtidos.

Capítulo 4

Resultados

4.1 Análise empírica dos resultados

4.1.1 Alteração ao plano original

No decorrer do período experimental, mais propriamente nas primeiras semanas de Junho, o plano cronológico (descrito no capítulo 3.1.4) definido no desenho experimental, foi abortado, devido essencialmente à ocorrência de trovoadas, e foi substituído por um segundo plano (descrito no capítulo 3.2.6) mais curto temporalmente e com um esquema de ligações mais simples. A aceitação da substituição do plano cronológico e esquemático original por um mais simples baseia-se quer em vídeos, quer em observações visuais do comportamento das abelhas, à entrada das colónias, enquanto algumas espiras estavam ligadas. Por observação direta não foram visualizados quaisquer comportamentos anómalos ao normal funcionamento das colónias durante o período em que algumas espiras estavam ligadas. Quando comparadas, de forma empírica, com observações comportamentais visualizadas nas restantes colónias do apiário, não se percepcionou nenhuma diferença que evidenciasse algum tipo de variação comportamental provocada pela presença de campos magnéticos gerados pelas espiras. Apesar de, naquela fase, não existirem dados estatísticos que o comprovassem, decidiu-se alterar o plano original com base apenas nos resultados aparentes registados visualmente.

4.1.2 Dinâmica populacional e produtividade

Do ponto de vista da dinâmica populacional, foi registado um aumento gradual da população das colónias 2 e 3 até finais de Julho, tendo sido colocadas duas meias-alças em cada colónia: a primeira meia-alça foi colocada no dia 9 de Junho e a

segunda meia-alça foi colocada no dia 23 de Junho. O exame da colónia 1 teve um atraso no desenvolvimento devido a um surto momentâneo de Varroose, o que obrigou a um tratamento extraordinário. Após o tratamento o exame cresceu até finais de Julho tendo sido colocada apenas uma meia-alça no dia 30 de Julho.

Comparando a evolução e a dinâmica populacional de todas as colónias, incluindo as 3 colónias afetadas à experiência e as restantes 3 colónias existentes no apiário, observou-se um desenvolvimento semelhante em todos os enxames, com exceção da colónia 1 pelo motivo já referido. Avaliando o tamanho máximo atingido pelo enxame através do número de quadros com abelhas (Tabela 7), quer do ninho, quer das meias-alças, estima-se que as colónias 2, 3 e 6 albergassem os maiores enxames, enquanto que nas colónias 1 e 4 observaram-se enxames de tamanho médio, correspondendo o enxame mais fraco do apiário à colónia 5. Com base nestes dados, verifica-se que os enxames das colónias afetadas à experiência apresentavam uma quantidade de indivíduos acima da média do apiário.

Tabela 7 – Quantidade máxima observada de quadros com abelhas

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Quadros de ninho	10	10	10	10	10	10
Quadros de meia-alça	6	16	16	2	0	9

Relativamente à produção de ceras e mel (Tabela 8), verificou-se que as colónias 1 e 4 produziram mais cera em quadros de ninho (3 e 4 respetivamente) do que as restantes, devido à necessidade de substituição de quadros com ceras velhas. Todos os quadros das meias-alças colocadas tinham ceras puxadas, o que implicou uma baixa produção de cera em quadros de meia-alça.

A quantidade de mel produzida variou entre colónias, tendo-se observado, para cada colónia, uma produção de mel proporcional ao desenvolvimento dos respetivos enxames. Registaram-se, assim, máximos de produtividade nas colónias 2, 3 e 6 (9 Kg, 16 Kg e 11 Kg respetivamente).

Tabela 8 – Produção de cera e mel por colónia

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Total
Quadros de ninho puxados	3	0	0	4	1	1	9
Quadros de meia-alça puxados	0	0	0	0	0	0	0
Quadros de alça operculados	4	7	12	1	0	9	33
Produção de mel (Kg)	8	9	16	1	0	11	45

De um modo geral, verificou-se uma maior produtividade nas colónias afetadas à experiência (33 Kg) quando comparadas com as restantes colónias (12 Kg), o que sugere não existirem alterações comportamentais significativas, motivadas pela presença de radiação eletromagnética, susceptíveis de causar prejuízo às colónias, quer em termos produtivos quer em relação à força do enxame.

4.2 Análise estatística dos resultados

4.2.1 Métodos estatísticos

O número de entradas e saídas de abelhas foi contabilizado para ambos os lados das entradas das colónias. Porém, a medida a considerar, para efeito de cálculos estatísticos¹, é a proporção de abelhas que atravessam cada um dos lados. Assim, a variável estudada, para cada colónia, refere-se à percentagem de passagens (entradas + saídas) de abelhas pelo lado esquerdo (1).

$$\% Passagens_{\text{lado esquerdo}} = \frac{\sum Entradas_{\text{lado esquerdo}} + \sum Saídas_{\text{lado esquerdo}}}{\sum Entradas_{\text{total}} + \sum Saídas_{\text{total}}} \times 100 \quad (1)$$

A utilização da proporção em detrimento da quantidade justifica-se com a diferença de grandeza das várias observações, cujos valores oscilam entre as dezenas e as centenas de passagens, impossibilitando a execução de cálculos comparativos. Os valores quantitativos referentes às passagens pelos lados esquerdo e direito apenas foram utilizados para estimar a probabilidade de passagens pelo lado esquerdo e o respetivo intervalo de confiança (assintótico) em cada vídeo, através do resultado do teorema do limite central que garante uma boa aproximação da distribuição do estimador da proporção à distribuição normal para tamanho de amostra suficientemente grande (Meyer, 1983). Deste modo, o intervalo de confiança para a probabilidade de passagens pelo lado esquerdo é dado pela equação seguinte (2):

$$IC_{\hat{p}} = \hat{p} \pm Z_{[\alpha=0,05]} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \quad (2)$$

onde $\hat{p}$ é a proporção de passagens pelo lado esquerdo, n é o número total de passagens e $Z_{[\alpha=0,05]}$ é o quantil a 95% de confiança da distribuição Normal.

¹ Todos os dados estatísticos foram analisados no software Matlab R2013a.

Com base nos intervalos de confiança determinados para cada vídeo, referentes à probabilidade de passagens pelo lado esquerdo, compararam-se os diferentes valores com o objetivo de encontrar coincidências ou discordâncias entre os vários intervalos, permitindo concluir se duas probabilidades são, ou não, estatisticamente diferentes (nível de confiança de 95%).

4.2.2 Caraterização inicial das colónias

Para cada colónia, pretende-se avaliar a aleatoriedade das passagens das abelhas por ambos os lados da entrada, ou seja, determinar se existe alguma tendência para as abelhas utilizarem com maior frequência um dos lados da entrada ou se a probabilidade das abelhas passarem por cada um dos lados é igual (50%).

Observaram-se 20 vídeos por colónia, referentes aos dias 16 e 30 de Maio, entre as 9h45 e as 18h00 (10 vídeos por dia por colónia). Contabilizaram-se, para cada vídeo, o número de entradas pelos lados esquerdo e direito, estimando-se, para cada vídeo, a probabilidade de passagens pelo lado esquerdo, e respetivo intervalo de confiança (assintótico), através do resultado do teorema do limite central que garante uma boa aproximação da distribuição do estimador da proporção à distribuição normal para tamanho de amostra suficientemente grande (Meyer, 1983).

A tabela seguinte (Tabela 9) resume os números de passagens de abelhas pelo lado esquerdo e total, para a colónia 1, nos dias 16 e 30 de Maio.

Tabela 9 – Número de passagens pelo lado esquerdo e número total de passagens (lado esquerdo + lado direito) de abelhas registadas na Colónia 1 nos dias 16 e 30 de Maio

Dia	Lado	09h45	10h45	11h45	12h45	13h45	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	Média
16 Maio	Esq.	53	30	36	36	49	39	59	102	57	69	53
	Total	127	62	84	80	81	74	120	147	105	142	102
30 Maio	Esq.	16	21	10	27	10	13	13	30	35	10	19
	Total	31	43	35	47	46	24	34	83	66	14	42

Os gráficos seguintes (Figura 17 e Figura 18) ilustram as percentagens de passagens pelo lado esquerdo da colónia 1 (pontos dos gráficos), e respetivos intervalos de confiança sobre a proporção, baseados na normalidade assintótica do estimador da proporção (Meyer, 1983).

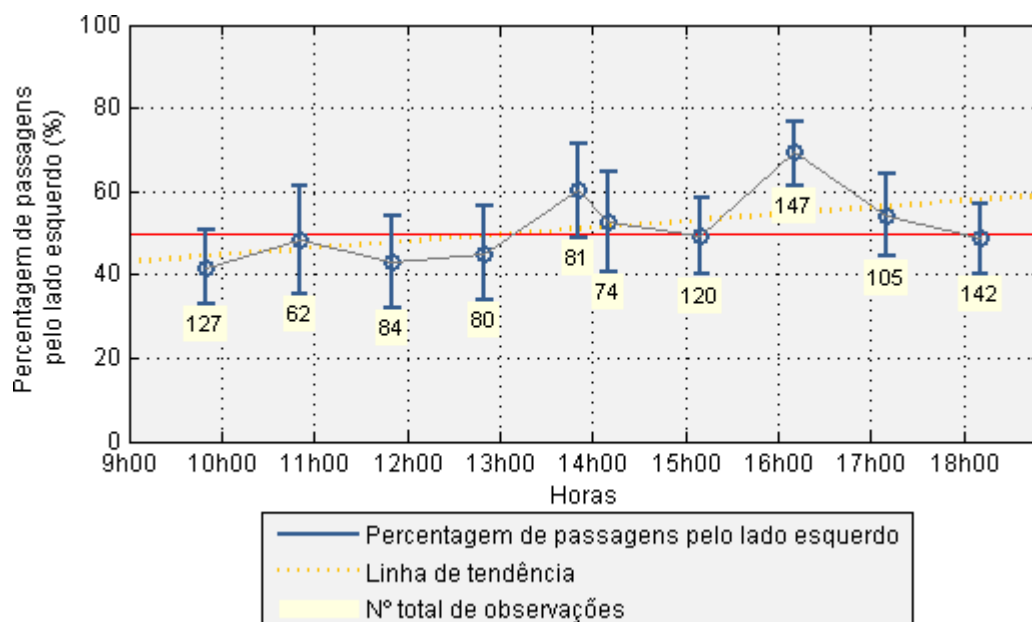


Figura 17 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 1, no dia 16 de Maio

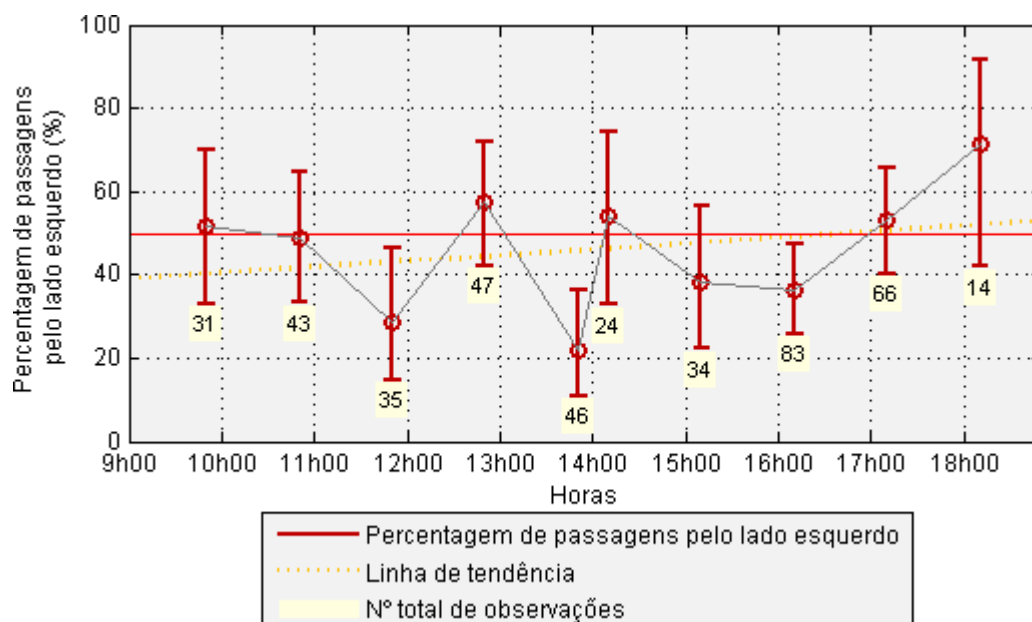


Figura 18 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 1, no dia 30 de Maio

Analisando os valores, de uma forma geral, observa-se maior movimento de abelhas no dia 16 de Maio, consequência de um surto de Varroose momentâneo que enfraqueceu o enxame, coincidindo o dia 30 de Maio com a fase inicial da sua recuperação após se ter efetuado um tratamento extraordinário. Pela análise do gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, para o dia

16 de Maio (Figura 17), pode-se verificar que 90% dos intervalos de confiança incluem o valor dos 50%, o que mostra uma evidência estatística (nível de significância de 95%) de que a probabilidade de passagens pelo lado esquerdo é igual à probabilidade de passagens pelo lado direito. Porém, o mesmo comportamento não se verifica para o dia 30 de Maio (Figura 18), onde se observam oscilações de maior amplitude entre leituras consecutivas, maior percentagem de intervalos de confiança que não contêm o valor dos 50% (3 casos em 10) e amplitudes superiores nos intervalos de confiança. Para além do reduzido número de observações já mencionado, provocado pelo surto de Varroose, as oscilações bruscas entre valores consecutivos também podem advir das instabilidades observadas para a temperatura e humidade relativa do ar registadas naquele dia. De uma forma geral, para os dias 16 e 30 de Maio, o comportamento ao longo do dia sugere uma tendência crescente da percentagem de passagens pelo lado esquerdo à medida que o dia avança (linhas de tendência dos gráficos), verificando-se o valor de 50% às 13h00 e às 16h30 respetivamente. A média da percentagem de passagens pelo lado esquerdo é de 52,0% (IC = [29,8%; 61,3%]), para o dia 16 de Maio, e de 45,2% (IC = [41,8%; 62,0%]) para o dia 30 de Maio, observando-se assim uma evidência estatística da aleatoriedade da colónia 1 (nível de significância de 95%).

A tabela seguinte (Tabela 10) resume os números de passagens de abelhas pelo lado esquerdo e total, para a colónia 2, nos dias 16 e 30 de Maio.

Tabela 10 – Número de passagens pelo lado esquerdo e número total de passagens (lado esquerdo + lado direito) de abelhas registadas na Colónia 2 nos dias 16 e 30 de Maio

Dia	Lado	09h45	10h45	11h45	12h45	13h45	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	Média
16 Maio	Esq.	65	56	74	92	84	104	128	164	106	100	97
	Total	219	166	230	255	258	252	277	311	256	265	246
30 Maio	Esq.	32	39	22	68	53	72	61	168	112	25	65
	Total	149	198	157	207	212	216	222	401	352	97	221

Os gráficos seguintes (Figura 19 e Figura 20) ilustram as percentagens de passagens pelo lado esquerdo da colónia 2 (pontos dos gráficos), e respetivos intervalos de confiança sobre a proporção, baseados na normalidade assintótica do estimador da proporção (Meyer, 1983).

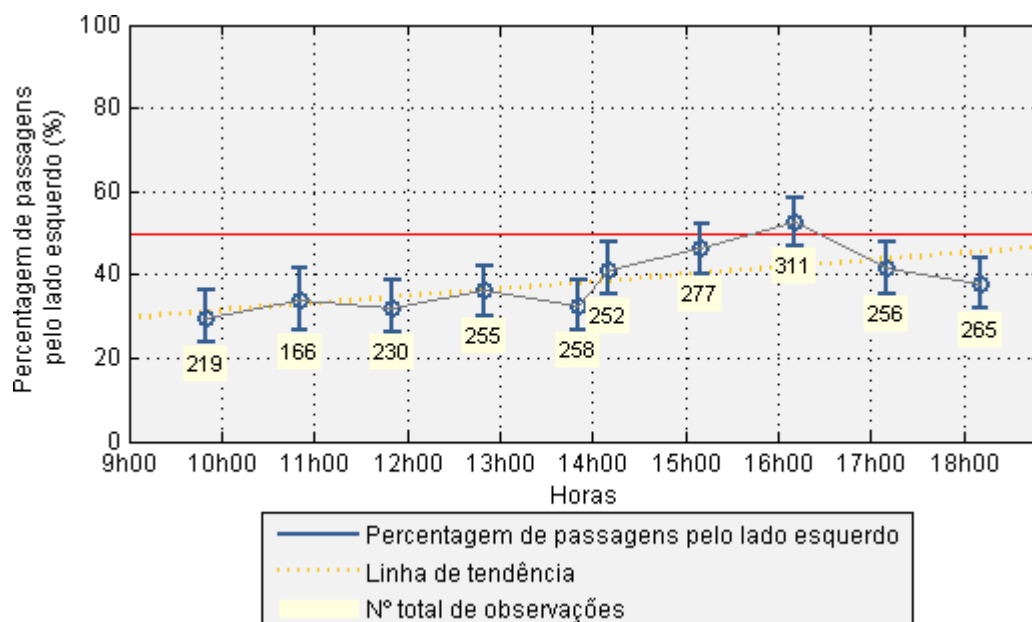


Figura 19 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 2, no dia 16 de Maio

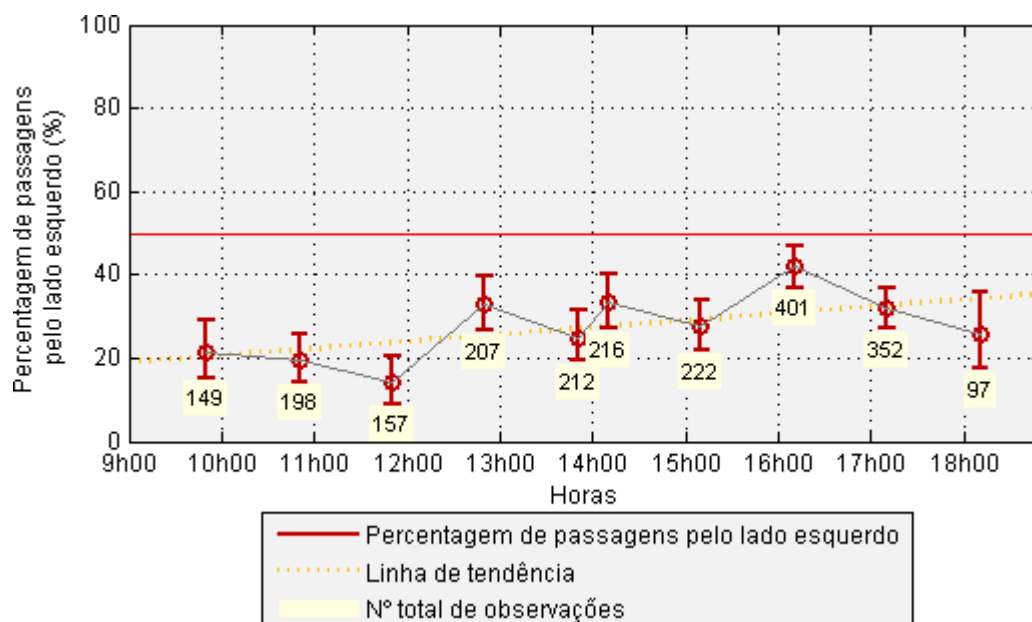


Figura 20 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 2, no dia 30 de Maio

Analisando os valores, de uma forma geral, observa-se uma frequência superior de passagens pelo lado direito, quer para o dia 16 de Maio, quer para o dia 30 de Maio. Os intervalos de confiança (Figura 19 e Figura 20), em quase todas as leituras, não incluem o valor de 50%, evidenciando uma diferença estatisticamente significativa (nível de significância de 95%) das probabilidades de passagens por

ambos os lados, observando-se valores das percentagens de passagens pelo lado esquerdo em torno dos 30%. Em comparação com a colónia 1, verifica-se uma maior consistência e uniformidade, quer para os valores das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, quer para as amplitudes dos intervalos de confiança, ao longo dos dois dias. Com base nestas observações pode-se afirmar que a colónia 2 tem um comportamento assimétrico caracterizado por uma preferência de passagens pelo lado direito significativamente diferente (nível de confiança de 95%) de 50%, cujas percentagens das médias de passagens pelo lado esquerdo, para os dias 16 e 30 de Maio, são, respetivamente, 39,4% (IC = [33,2%; 45,8%]) e 29,4% (IC = [23,5%; 35,9%]). Porém, à semelhança da colónia 1, também se evidencia uma tendência de incremento da percentagem de passagens pelo lado esquerdo ao longo do dia (linhas de tendência dos gráficos), embora esta nunca seja superior a 50%.

Relativamente à colónia 3, a tabela seguinte (Tabela 11) resume os números de passagens de abelhas pelo lado esquerdo e total, nos dias 16 e 30 de Maio.

Tabela 11 – Número de passagens pelo lado esquerdo e número total de passagens (lado esquerdo + lado direito) de abelhas registadas na Colónia 3 nos dias 16 e 30 de Maio

Dia	Lado	09h45	10h45	11h45	12h45	13h45	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	Média
16 Maio	Esq.	92	81	997	86	95	115	112	98	125	117	102
	Total	166	158	171	165	172	235	202	189	213	243	191
30 Maio	Esq.	96	105	93	98	77	95	135	183	109	25	102
	Total	179	175	187	174	145	166	216	518	361	93	221

Os gráficos seguintes (Figura 21 e Figura 22) ilustram as percentagens de passagens pelo lado esquerdo da colónia 3 (pontos dos gráficos), e respetivos intervalos de confiança sobre a proporção, baseados na normalidade assintótica do estimador da proporção (Meyer, 1983).

Analisando os valores, de uma forma geral, observa-se uma frequência de passagens sensivelmente equivalente por ambos os lados, quer para o dia 16 de Maio, quer para o dia 30 de Maio, com exceção dos últimos 4 registos do dia 30 de Maio onde se evidencia um comportamento anormal com uma descida brusca da percentagem de passagens pelo lado esquerdo. Os intervalos de confiança (Figura 21 e Figura 22), em quase todas as leituras do dia 16 de Maio, incluem o valor de 50%, não evidenciando diferenças estatisticamente significativas (nível de significância de 95%) das probabilidades de passagens por ambos os lados. No dia 30 de Maio

somente metade dos intervalos de confiança inclui o valor dos 50%. Tal como na colónia 1, é notória uma instabilidade comportamental no dia 30 de Maio que, neste caso, poderá estar relacionada com as condições meteorológicas. Porém, tal como na colónia 2, verifica-se maior homogeneidade nas variações das percentagens de passagens pelo lado esquerdo e nas amplitudes dos intervalos de confiança (excepto para os últimos 4 registos do dia 30 de Maio).

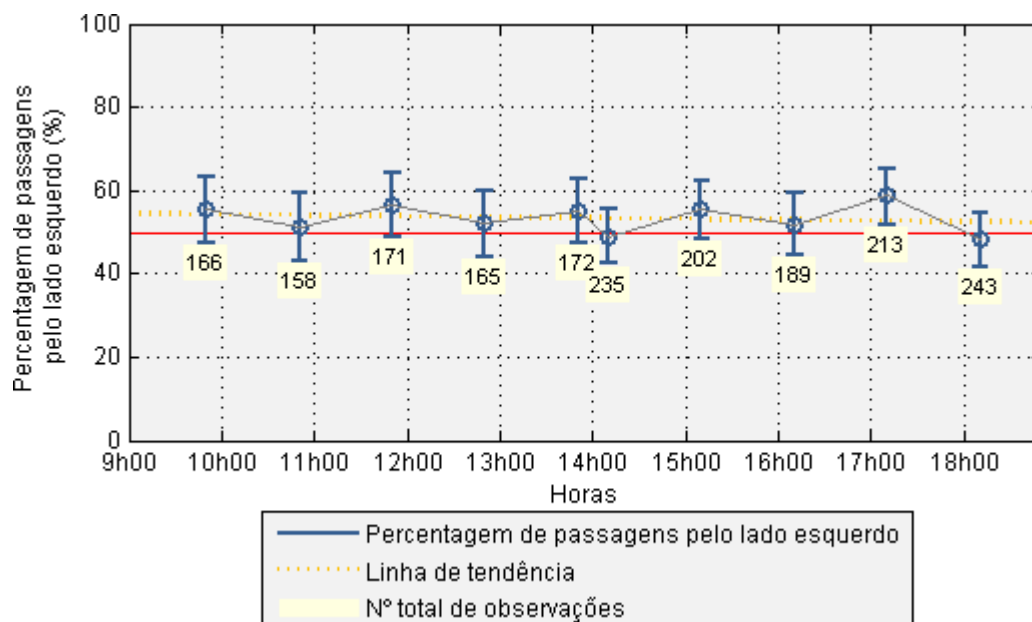


Figura 21 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 3, no dia 16 de Maio

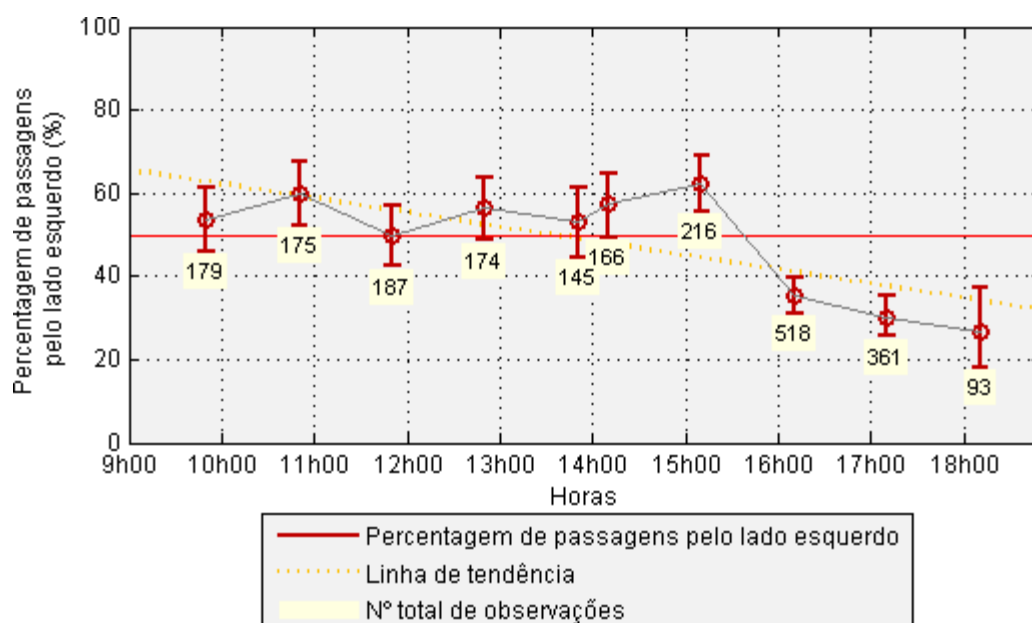
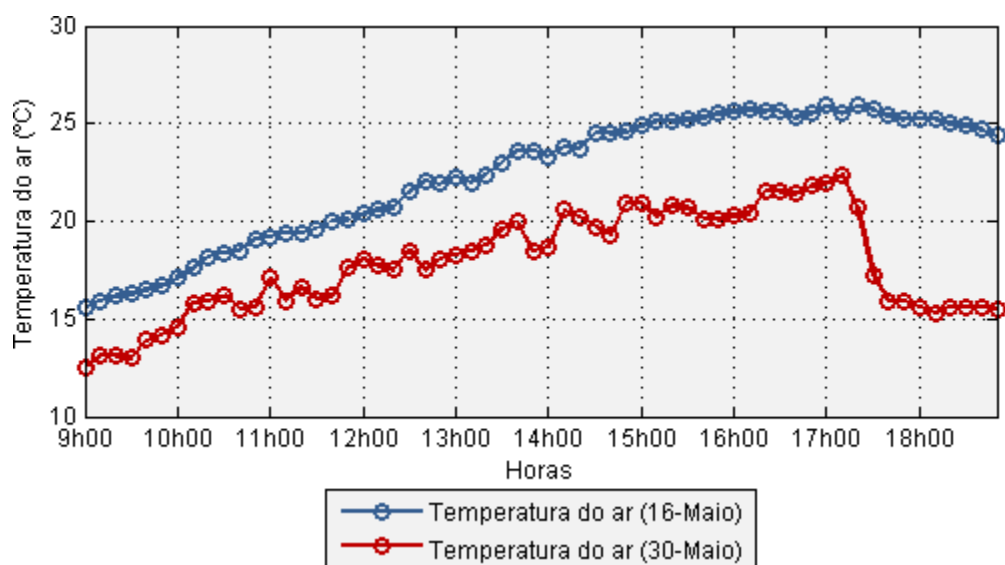


Figura 22 – Gráfico do perfil diário da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, na Colónia 3, no dia 30 de Maio

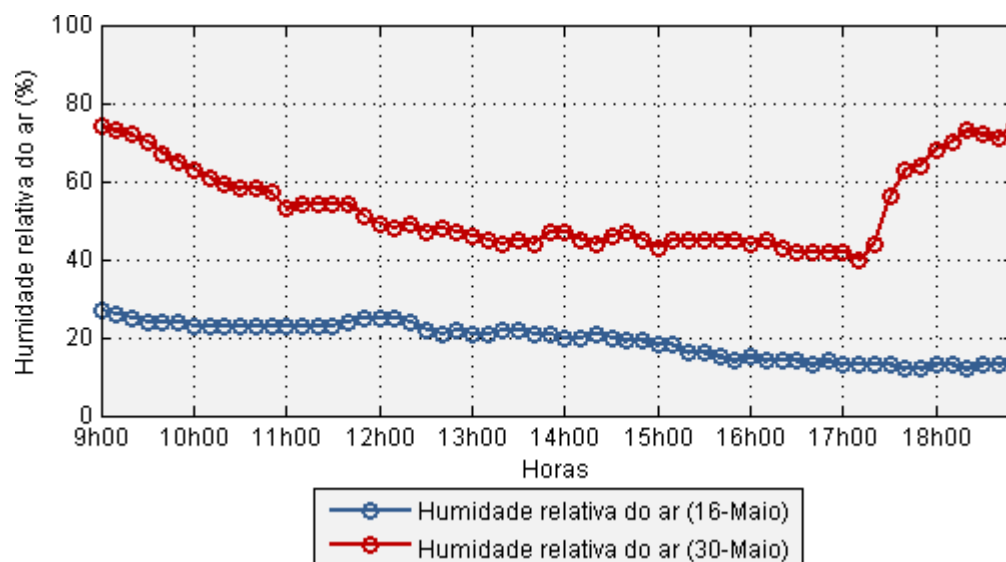
Com base nestas observações pode-se afirmar que a colónia 3 tem um comportamento sensivelmente simétrico cujas percentagens das médias de passagens pelo lado esquerdo, para os dias 16 e 30 de Maio, são, respetivamente, 53,4% (IC = [64,1%; 60,6%]) e 46,2% (IC = [39,5%; 53,0%]). Contrariamente à tendência observada nas colónias anteriores evidencia-se, na colónia 3, uma tendência de decréscimo da percentagem de passagens pelo lado esquerdo ao longo do dia (linhas de tendência dos gráficos) que, no dia 16 de Maio tem um declive muito ténue, nunca cruzando o valor dos 50%, mas no dia 30 de Maio é bastante acentuado devido à influência do decaimento rápido observado nos últimos 3 registos da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, cruzando o valor dos 50% por volta das 14h00.

O decaimento abrupto da percentagem de passagens pelo lado esquerdo verificado na colónia 3 no final do dia 30 de Maio pode, eventualmente, ter sido causado por factores abióticos, nomeadamente variações bruscas de temperatura e humidade relativa do ar. Analisando os dados meteorológicos para os dias 16 e 30 de Maio observam-se temperaturas do ar médias (Figura 23), entre as 9 e as 19 horas, de 22,3 °C ([15,6 °C - 25,9 °C]) e 17,8 °C ([12,5 °C - 22,4 °C]) respetivamente. Em relação à humidade relativa do ar (Figura 24), entre as 9 e as 19 horas, para os dias 16 e 30 de Maio, registaram-se médias de 19,2% ([12% - 27%]) e 53,2% ([40% - 74%]) respetivamente. Para a velocidade do vento, durante o período referido, foram registados valores médios de 4,8 m/s ([3,2 m/s - 6,9 m/s]) e 1,6 m/s ([0,3 m/s - 3,9 m/s]) respetivamente.



Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera (Estação Meteorológica de Bragança)

Figura 23 – Temperatura do ar registada para os dias 16 e 30 de Maio entre as 9 e as 19 horas



Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera (Estação Meteorológica de Bragança)

Figura 24 – Humidade relativa do ar registada para os dias 16 e 30 de Maio entre as 9 e as 19 horas

Observando os dados meteorológicos supracitados, pode-se concluir que o dia 16 de Maio foi, em geral, um dia quente e seco, com vento fraco a moderado, considerado um dia tipicamente de verão. O dia 30 de Maio foi, em geral, um dia fresco e medianamente húmido. Em comparação, o dia 30 de Maio apresentou um clima mais instável do que o dia 16 de Maio, com mais variações quer na temperatura do ar, quer na humidade relativa do ar, sendo estes efeitos concordantes com as amplitudes das variações observadas para as percentagens de passagens pelo lado esquerdo nas três colónias. É também bastante evidente um decaimento brusco da temperatura do ar, conjugado com um aumento proporcional da humidade relativa do ar no final do dia 30 de Maio. Este evento é bastante semelhante ao comportamento verificado para a colónia 3 mas com duas horas de diferença. O facto de não se evidenciar um comportamento semelhante nas restantes colónias leva a suspeitar da proximidade da colónia 3 ao muro da quinta, que poderá influenciar o microclima envolvente daquela colónia. Eventualmente o muro poderá exercer sobre a colónia 3 um efeito refratário de calor, acumulado ao longo do dia, que poderá influenciar a percentagem de passagens pelo lado esquerdo. De facto, o lado direito da colónia 3, que registou uma percentagem de passagens superior nas últimas horas do dia 30 de Maio, está mais próximo do muro, corroborando a hipótese de que o muro poderá ter influenciado o microclima junto da colónia 3 e, conseqüentemente, de forma negativa, a percentagem de passagens pelo lado esquerdo. Este fenómeno pode também justificar a tendência decrescente da percentagem de passagens pelo lado esquerdo

(linha de tendência) evidenciada nos gráficos do perfil diário da colónia 3, para os dias 16 e 30 de Maio.

Com base nestes resultados pode-se concluir que, devido às diferenças comportamentais entre colónias sujeitas às mesmas condições meteorológicas, uma colónia não é suficiente para ser utilizada como colónia de controlo por forma a comparar resultados entre colónias submetidas a variações do campo magnético e uma colónia sem qualquer adulteração do campo magnético (colónia controlo). Devido à grande variação da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, quer em períodos diferentes na mesma colónia, quer em períodos iguais entre colónias, apenas será possível comparar o comportamento de cada colónia, de forma independente, em função do esquema de ligações das espiras. Assim, na colónia 1 serão avaliadas alterações comportamentais de curto prazo (1 semana) e na colónia 3 serão avaliadas alterações comportamentais de longo prazo (7 semanas), comparando os valores obtidos para cada grupo de dados (consoante o esquema de ligação das espiras) somente para os grupos da mesma colónia.

Atendendo aos dados meteorológicos, ao número total de passagens por ambos os lados das entradas das colónias, à variação e tendência da percentagem de passagens pelo lado esquerdo ao longo do dia e às condicionantes do manejo apícola, verifica-se que o melhor período diário de observação das colónias para o estudo do comportamento social das abelhas ocorre entre as 12h30 e as 16h00. Assim, por forma a minimizar as influências dos fatores externos à experiência, optou-se por se fixar uma hora, compreendida no intervalo anterior, para o estudo do comportamento social das abelhas ao longo de todo período experimental. Definiu-se como momento de observação o minuto compreendido entre as 14h07 e as 14h08, que também corresponde ao instante médio do período diário de gravação de vídeos.

4.2.3 Resultados estatísticos da experiência

Para efeitos de análise de resultados, compararam-se os valores das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, em função do número da colónia e do esquema de ligações das espiras, definindo-se uma variável para os vários grupos de resultados (Tabela 12)².

² Exemplo: A variável C1N corresponde aos valores das percentagens de passagens pelo lado esquerdo da colónia 1 sem espiras ligadas.

Tabela 12 – Nomenclatura adoptada para os grupos de resultados em função do número da colónia e do esquema de ligação das espiras

Data	Colónia 1	Colónia 2	Colónia 3
Sem espiras ligadas	C1N	C2N	C3N
Espira Esquerda ligada	C1E	-	-
Espira Direita ligada	C1D	-	C3D

A análise de resultados, tal como fora mencionado anteriormente, será efetuada comparando individualmente, por colónia, as observações obtidas para cada variável, nos diferentes momentos de observação. Assim, para a colónia 1, serão comparadas as três variáveis em seis momentos distintos, considerando a sequência entre variáveis ao longo do tempo (C1N-C1E-C1D-C1E-C1D-C1N). Na colónia 2 somente se fará uma análise evolutiva semelhante à análise do perfil de variação diário, uma vez que nesta colónia nunca se ligou nenhuma espira. Na colónia 3 comparar-se-ão os três momentos referentes às duas variáveis, ou seja, antes de se ligar a espira direita (C3N), com a espira direita ligada (C3D) e depois de se desligar a espira direita (C3N). Os resultados serão apresentados mediante a complexidade da análise, sendo discutidos, inicialmente, os resultados referentes à colónia 2, cujas ligações das espiras não se efetuaram, seguidos dos resultados da colónia 3, na qual somente se manteve uma espira ligada durante um período longo de tempo, terminando na análise dos resultados da colónia 1, onde as espiras foram ligadas sequencial e repetidamente.

4.2.3.1 Colónia 2

O gráfico seguinte³ (Figura 25) ilustra as percentagens de passagens pelo lado esquerdo da colónia 2 (pontos do gráfico), e respetivos intervalos de confiança sobre a proporção, baseados na normalidade assintótica do estimador da proporção (Meyer, 1983).

Durante o período fundamental da experiência (entre 14 de Julho e 12 de Agosto) verifica-se, de uma forma geral, uma variação pequena da percentagem de passagens pelo lado esquerdo (pontos do gráfico) com exceção dos dias 31 de Julho, 4 de Agosto e 12 de Agosto, onde se evidencia uma frequência mais elevada de passagens pelo lado direito (nos dois primeiros exemplos salienta-se que os intervalos

³ O gráfico pode ser consultado em anexo em tamanho A4 (Anexo III).

de confiança não incluem o valor de 50%, sugerindo, apenas nestes casos, uma evidência estatística significativa (nível de confiança de 95%) para a não aleatoriedade das passagens).

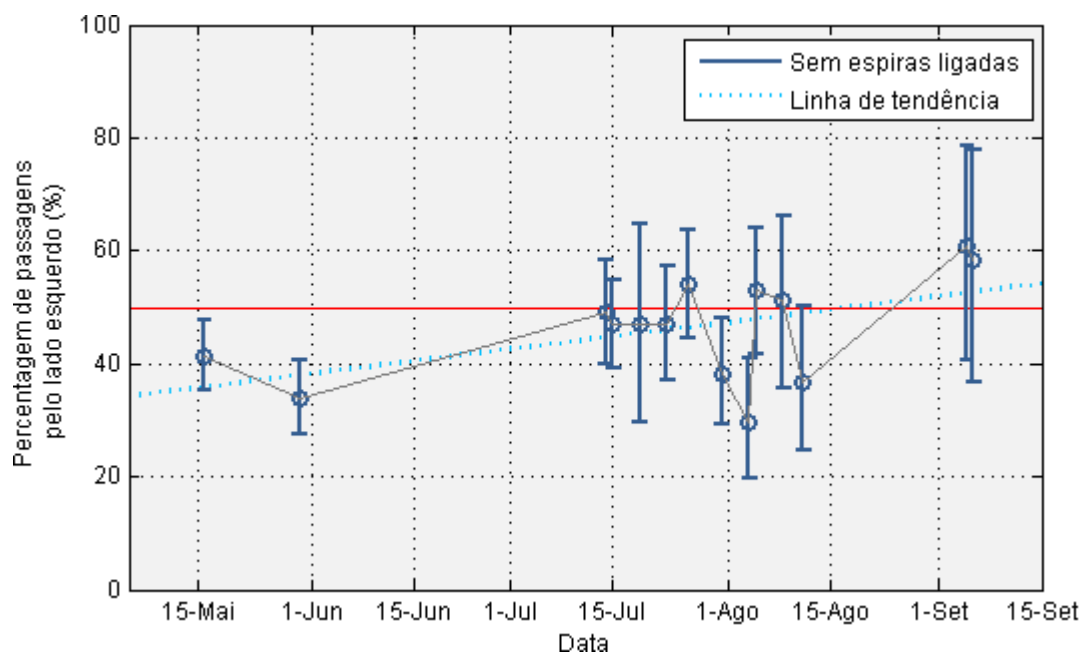


Figura 25 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 2, ao longo da experiência

De uma forma global, há uma tendência crescente para a percentagem de passagens pelo lado esquerdo ao longo do período experimental e a maioria dos intervalos de confiança incluem o valor dos 50%, não evidenciando diferenças estatisticamente significativas (nível de significância de 95%) das probabilidades de passagens por ambos os lados. Os intervalos de confiança tendem a aumentar de amplitude à medida que os dias avançam, motivados pela redução gradual do número de passagens total (número de observações) dependente da atividade forrageira da colónia que, mediante a localização geográfica, a flora disponível, o clima e as necessidades da colónia, tende a diminuir com o fotoperíodo e com a aproximação do inverno. Analisando os dados meteorológicos referentes à estação meteorológica de Bragança (cujo clima é temperado, com temperatura do ar média anual de 12,4 °C, caracterizado por verões quentes e secos e invernos longos, frios, húmidos e chuvosos), entre os dias 1 de Maio e 9 de Setembro (Tabela 13), verifica-se que a temperatura do ar média registada durante o período diurno (entre as 8 e as 20 horas) foi de 21,9 °C, no limiar do intervalo ideal de atividade forrageira das abelhas: [22 °C - 32 °C] (Schmickl & Crailsheim, 2007).

Tabela 13 – Resumo estatístico dos dados meteorológicos, entre as 8h e as 20h, para a estação meteorológica de Bragança, entre os dias 1 de Maio e 9 de Setembro

	Temperatura (°C)	Humidade Relativa (%)	Velocidade do Vento (m/s)
Mínimo	3,5	12	0
1º Quartil	17,9	35	1,6
Mediana	22,4	45	2,7
3º Quartil	26,0	59	3,7
Máximo	35,5	99	10,3
Média	21,9	48,0	2,8
Desvio Padrão	5,6	17,6	1,5
n	9610		

Com base na análise de 10 vídeos da colónia 2 obtidos entre os dias 14 de Julho e 12 de Agosto (29 dias), intervalados em média em 3 dias, efetuou-se um modelo linear do número total de passagens em função da temperatura do ar, para os mesmos dias, às 14 horas e 10 minutos, obtendo-se a dispersão patente no gráfico seguinte (Figura 26).

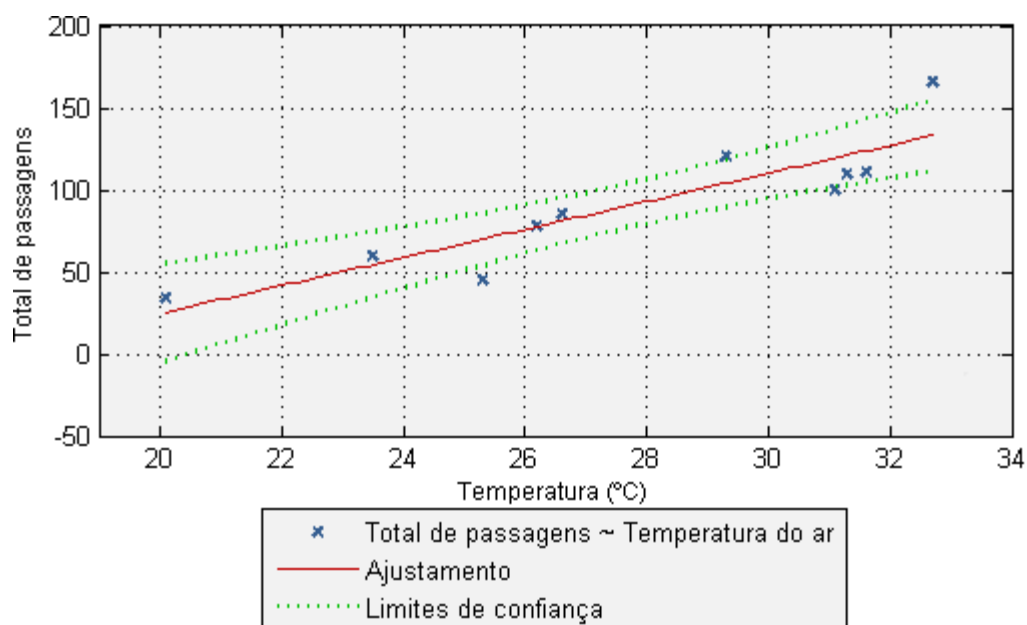


Figura 26 – Gráfico de dispersão entre o total de passagens da colónia 2 e a temperatura do ar às 14 horas e 10 minutos, para 10 observações compreendidas entre 14 de Julho e 12 de Agosto.

Analisando a relação entre a temperatura do ar e o número total de passagens (10 observações), através de um ajustamento linear, obteve-se um coeficiente de correlação de 89,6% (coeficiente de Pearson). Estes valores permitem concluir que o movimento das abelhas é dependente da temperatura do ar (p-value: 0,00046),

conforme fora verificado por Polatto, Chaud-Netto & Alves-Junior (2014), que estudaram as influências dos fatores abióticos na atividade forrageira das abelhas, no estado de Mato-Grosso, Brasil (região caracterizada por um clima subtropical, com temperatura média anual de 22 °C e humidade relativa do ar média anual de 80,5%), verificando que aquelas tendem a voar mais com temperaturas altas, mas não extremas, intensidade luminosa alta e baixa humidade relativa do ar e velocidade do vento. Observaram também que a maioria dos voos realizados ocorreu entre as 10 e as 15 horas, período durante o qual foram registadas temperaturas acima dos 29,9 °C (ligeiramente superior à temperatura média anual: 22 °C), humidade relativa do ar inferior a 60% e velocidade do vento inferior a 1,5 m/s.

Porém, esta relação não permite auferir resultados acerca da influência da temperatura do ar no lado pelo qual as abelhas entram na colónia. De facto, tal relação não se verifica, uma vez que para um ajustamento linear entre as duas variáveis obteve-se um coeficiente de correlação de 18,1%, não sendo significativa (p-value de 0,616 e nível de significância de 95%) a influência da temperatura do ar na percentagem de passagens pelo lado esquerdo.

As amplitudes de variação da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, quer no perfil diário, quer no perfil ao longo do tempo, sugerem que este fenómeno não segue um comportamento mensurável que possa ser comparado entre colónias. Assim, se existir algum efeito no comportamento das abelhas causado por alterações do campo magnético, este só será detetado se as variações forem substancialmente grandes, obrigando a que as variações da percentagem de passagens pelo lado esquerdo sejam extremas sempre que alguma espira estiver ligada.

4.2.3.2 Colónia 3

O gráfico seguinte⁴ (Figura 27) ilustra as percentagens de passagens pelo lado esquerdo da colónia 3 (pontos do gráfico), em três momentos (C3N-C3D-C3N), e respetivos intervalos de confiança sobre a proporção, baseados na normalidade assintótica do estimador da proporção (Meyer, 1983).

⁴ O gráfico pode ser consultado em anexo em tamanho A4 (Anexo IV).

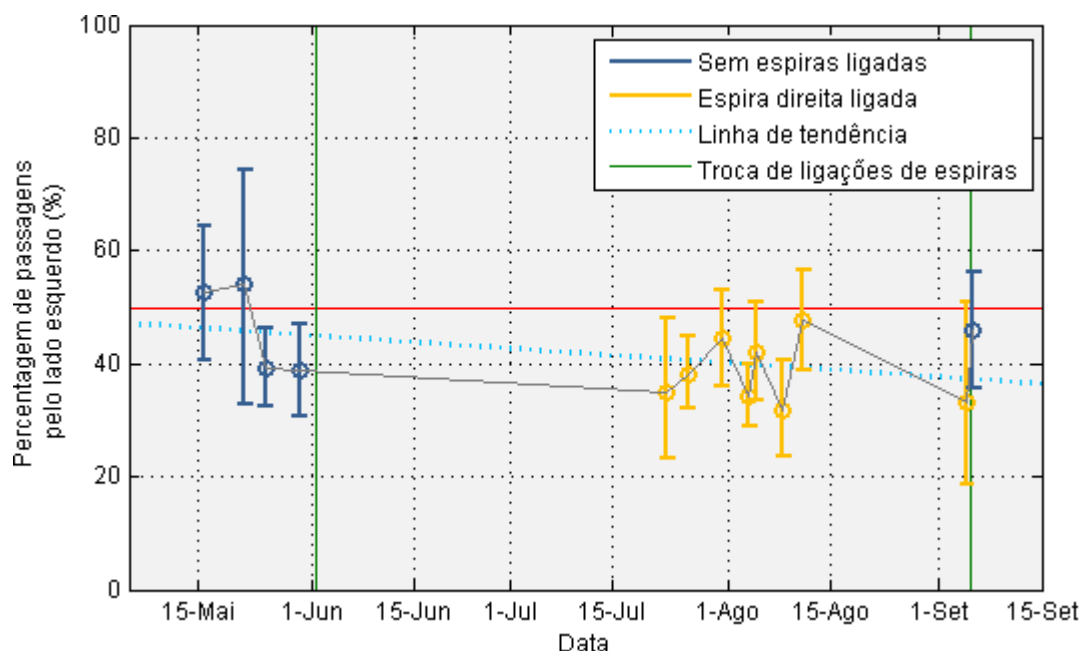


Figura 27 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 3, ao longo da experiência

Observando o gráfico anterior, verifica-se uma tendência geral para a diminuição da percentagem de passagens pelo lado esquerdo ao longo do período experimental o que evidencia uma tendência para a preferência de passagens pelo lado direito. De uma forma geral, os valores das percentagens de passagens pelo lado esquerdo variam em torno dos 40% e apenas metade dos intervalos de confiança contém o valor dos 50%, o que pode reforçar a hipótese da existência de uma preferência de passagens pelo lado direito. A espira do lado direito permaneceu ligada desde o dia 1 de Junho até ao dia 6 de Setembro mas só foi observável a partir de 23 de Julho, devido aos problemas de gravação ocorridos durante o período anterior. Por análise do gráfico, para os dias em que a espira direita esteve ligada, não se verificam variações de grande amplitude nas percentagens de passagens pelo lado esquerdo (pontos do gráfico). Analisando os limites do período de ligação da espira direita, não se verificam comportamentos concordantes com o esquema de ligação, ou seja, não se observa um aumento expectável da percentagem de passagens pelo lado esquerdo no momento de ligação da espira direita, nem se observa uma diminuição, também expectável, da percentagem de passagens pelo lado esquerdo no momento em que a espira direita é desligada. Desta forma pode-se concluir que não se verificam diferenças substanciais que indiquem que o comportamento das abelhas seja influenciado pela presença de um campo magnético aplicado. Eventualmente poderá existir uma habituação, por parte das abelhas, a longo prazo, à presença do campo

magnético, o que contraria a hipótese de colapso da colónia por desconforto devido a este factor.

4.2.3.3 Colónia 1

O gráfico seguinte⁵ (Figura 28) ilustra as percentagens de passagens pelo lado esquerdo da colónia 1 (pontos do gráfico), em seis momentos (C1N-C1E-C1D-C1E-C1D-C1N), e respetivos intervalos de confiança sobre a proporção, baseados na normalidade assintótica do estimador da proporção (Meyer, 1983).

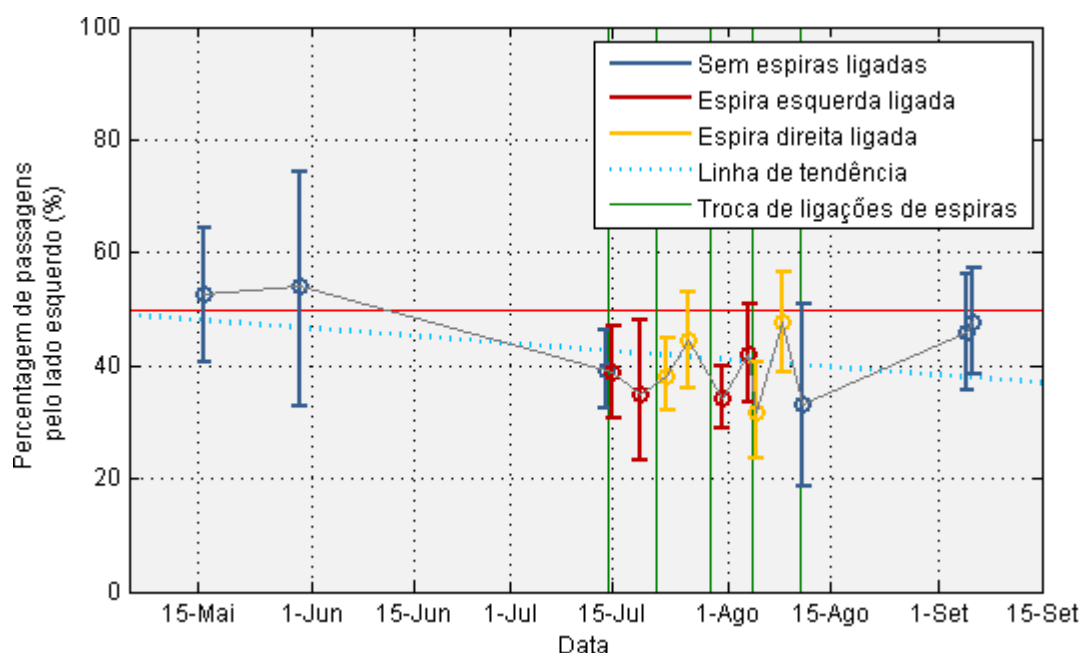


Figura 28 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 1, ao longo da experiência

Através da análise do gráfico anterior, de uma forma geral, verifica-se uma tendência para a diminuição da percentagem de passagens pelo lado esquerdo (pontos do gráfico) ao longo do período experimental, sendo estes valores quase sempre inferiores a 50%, evidenciando uma preferência genérica de passagens pelo lado direito. Praticamente metade dos intervalos de confiança não inclui o valor dos 50%, o que pode reforçar a hipótese da existência de uma preferência de passagens pelo lado direito.

⁵ O gráfico pode ser consultado em anexo em tamanho A4 (Anexo II).

Observando os valores das percentagens de passagens pelo lado esquerdo (pontos do gráfico) mediante o esquema de ligações, verifica-se uma correlação entre estes valores. É visível um decréscimo contínuo na percentagem de passagens pelo lado esquerdo durante a semana em que a espira do lado esquerdo esteve ligada (entre 15 e 22 de Julho). Na semana seguinte (entre 22 e 30 de Julho) verificou-se um aumento contínuo da percentagem de passagens pelo lado esquerdo enquanto esteve ligada a espira direita. Nas duas semanas seguintes (entre 30 de Julho e 12 de Agosto), este comportamento mantém-se, excepto na última observação da percentagem de passagens pelo lado esquerdo (dia 4 de Agosto) durante a semana em que a espira esquerda esteve ligada, quebrando a continuidade de decréscimo.

Analisando estes dados de uma forma mais abrangente, determinaram-se as percentagens de passagens pelo lado esquerdo, com base nos somatórios das observações de passagens pelo lado esquerdo e total, agrupados por esquema de ligação (Figura 29), e respetivos intervalos de confiança sobre a proporção, baseados na normalidade assintótica do estimador da proporção (Meyer, 1983).

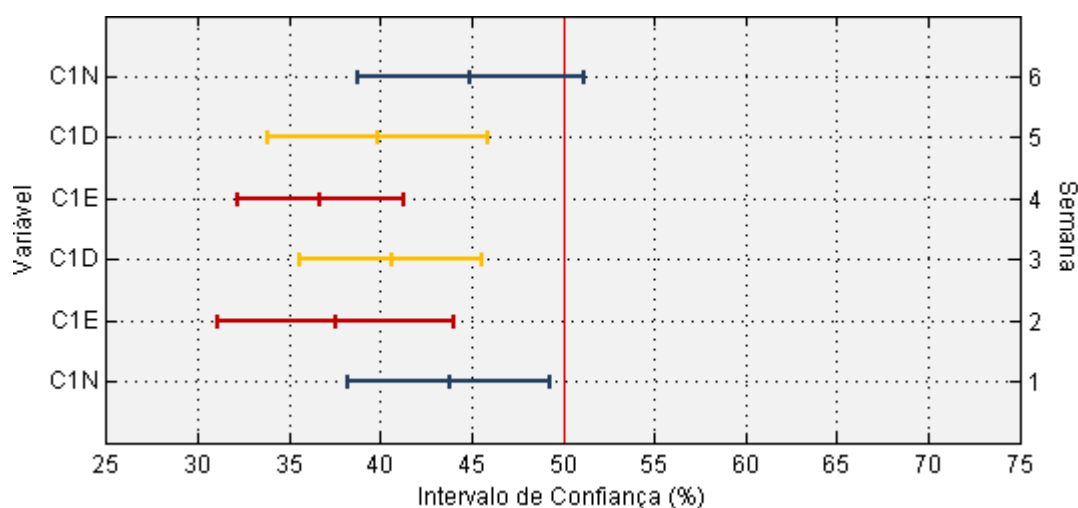


Figura 29 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 1, agrupados por esquema de ligação

O comportamento observado para a variação da percentagem de passagens pelo lado esquerdo em função do esquema de ligação das espiras (Figura 28) torna-se mais evidente quando os resultados são baseados no somatório das observações agrupadas (Figura 29). Analisando os valores obtidos para a percentagem agrupada de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, verifica-se uma variação concordante com o esquema de ligações, ou seja, há um decréscimo da percentagem de passagens pelo lado esquerdo entre a semana 1 (sem espiras ligadas) e a semana 2 (espira esquerda ligada), e também entre a semana 3 (espira

direita ligada) e a semana 4 (espira esquerda ligada), coincidindo com os momentos em que há troca de ligações. O efeito oposto (aumento da percentagem de passagens pelo lado esquerdo) verifica-se nas semanas 3 e 5, durante as quais a espira do lado direito esteve ligada. Na semana 6 seria expectável observar-se um decréscimo na percentagem de passagens pelo lado esquerdo, uma vez que as espiras são desligadas, sendo esperada uma resposta concordante com esse estado, ou seja, não existindo influência da espira do lado direito seria expectável que a percentagem de passagens pelo lado direito aumentasse. Contudo, o resultado observado foi inverso.

Apesar de não existir nenhuma relação entre a temperatura do ar e a percentagem de passagens pelo lado esquerdo de qualquer colónia, observaram-se os dados meteorológicos, entre os dias 14 de Julho e 6 de Setembro (Figura 30), com o objetivo de despistar eventuais efeitos pontuais.

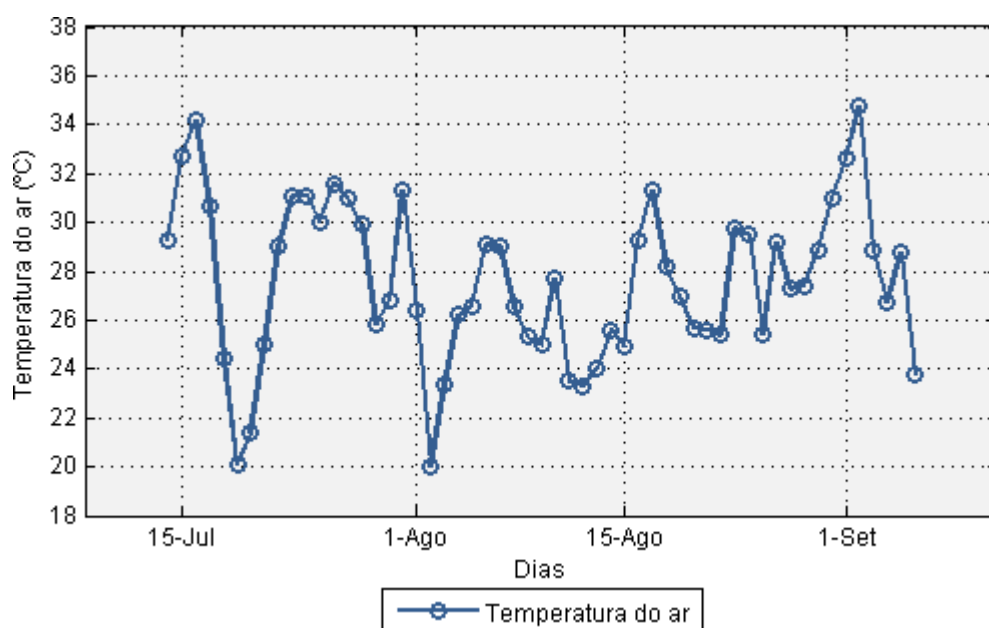


Figura 30 – Temperatura do ar registada às 14h10 entre os dias 14 de Julho e 6 de Setembro

Analisando a temperatura do ar registada às 14h10 para o período referido, e comparando com o esquema de ligações das espiras, verifica-se que nas semanas em que a espira esquerda esteve ligada (na segunda semana, entre os dias 15 e 22 de Julho, e na quarta semana, entre os dias 30 de Julho e 6 de Agosto) a temperatura apresentou variações de maior amplitude do que nas restantes semanas, atingindo os valores mais baixos de todo o período temporal analisado. Este fenómeno meteorológico pode ter influenciado, indiretamente, o comportamento das abelhas, criando-lhes alguma instabilidade que se pode refletir na percentagem de passagens pelo lado esquerdo.

4.2.3.4 *Análise global*

Durante todo o período experimental foi evidente a concordância entre a percentagem de passagens pelo lado esquerdo e o esquema de ligação das espiras, o que sugere existir alguma relação entre o comportamento das abelhas e a presença de um campo magnético suplementar. Contudo, os efeitos observados têm uma variação de cerca de 5% em relação ao valor estimado (com 95% de probabilidade) que é inferior à variação da percentagem de passagens pelo lado esquerdo observada no perfil ao longo do dia. Este efeito também não é concordante com o resultado obtido para a colónia 3 na qual não se observaram quaisquer variações substanciais que indiquem que o comportamento das abelhas seja influenciado pela presença de um campo magnético induzido. Assim, tal como na colónia 3, pode-se concluir que as abelhas eventualmente se adaptam à presença do campo magnético, não sendo este suficientemente forte para motivar o colapso da colónia, uma vez que não se observam efeitos com amplitudes superiores às amplitudes de variação normais.

Capítulo 5

Conclusões

O presente trabalho teve como objetivo estudar a influência de campos magnéticos gerados por uma frequência de 50 Hz no comportamento social das abelhas. Para tal desenvolveu-se um procedimento experimental para contagem de passagens de abelhas entre os dois lados da entrada de 3 colónias de abelhas melíferas nos quais se gerou um campo magnético com uma intensidade de, pelo menos, 4,8 G. Face aos resultados obtidos, descritos no capítulo anterior (Capítulo 4), são várias as conclusões parciais e finais a considerar no âmbito da experiência realizada.

O plano cronológico definido no desenho experimental foi alterado devido essencialmente à ocorrência de trovoadas que provocou falhas de eletricidade e danos materiais em alguns componentes da experiência. Por este motivo, o período de observações não coincidiu com o auge da atividade forrageira das abelhas, que ocorre, em Bragança, entre o final da Primavera e o início do Verão, durante a abundância de floração e horas de luz. O desenho experimental previa, ainda, o recurso a técnicas de classificação de imagem e identificação de objetos em vídeos para calcular o número de passagens de abelhas em cada lado das entradas, prevendo observações de 15 minutos por hora. Porém, devido à ineficácia dos algoritmos testados e ao tempo necessário para efetuar contagens manuais, as observações ficaram limitadas a excertos de 1 minuto, restringindo-se a análise a alguns vídeos ao longo de todo o período experimental. Tudo isto influencia negativamente os resultados, uma vez que restringe o tempo, e consequentemente o número, de observações, quer ao longo do dia, quer ao longo do período experimental.

Em relação à produtividade e dinâmica populacional dos enxames, foram registadas produções mais elevadas e maiores desenvolvimentos dos enxames nas colónias afetadas à experiência. Porém, estes resultados não permitem estabelecer uma relação entre o comportamento das abelhas e os campos magnéticos a que estas se sujeitaram, uma vez que não é possível efetuar comparações entre colónias devido aos seus distintos comportamentos.

Os resultados preliminares acerca do comportamento das abelhas ao longo do dia revelam uma tendência para um aumento gradual da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, sugerindo uma relação com a posição do Sol, excepto na colónia 3, que parece ser influenciada pela proximidade ao muro através de um possível efeito do muro no microclima envolvente à colónia, nomeadamente um incremento de temperatura do lado direito por refração de calor acumulado pelo muro. Através da análise dos perfis diários da percentagem de passagens pelo lado esquerdo, da evolução meteorológica ao longo do dia, e considerando a limitação da quantidade de vídeos devida ao tempo de consumo exigido, conclui-se que a melhor hora para observação dos vídeos, 14 horas, é coincidente com o período central de gravação e com os valores de maior estabilidade meteorológica.

Com base nos resultados obtidos na experiência efetuada, conclui-se que o campo magnético gerado pelas espiras não deturpa o comportamento social das abelhas. Apesar de se ter verificado uma concordância entre a percentagem de passagens pelo lado esquerdo e o esquema de ligação das espiras, tal relação não é significativa (nível de confiança de 95%) uma vez que os efeitos observados têm uma variação de cerca de 5% em relação ao valor estimado (com 95% de probabilidade), que é inferior à variação da percentagem de passagens pelo lado esquerdo observada no perfil ao longo do dia. Assim, conclui-se que as abelhas talvez se adaptam à presença do campo magnético, não sendo este suficientemente forte para motivar o colapso da colónia, uma vez que não se observam efeitos com amplitudes superiores às amplitudes de variação normais. Com base nestes resultados e considerando a intensidade do campo magnético ao qual se sujeitaram as abelhas (mínimo de 4,8 G) pode-se concluir que as linhas de média e alta tensão não geram campos magnéticos suficientemente fortes para causar o colapso das colónias, uma vez que a intensidade média de um campo magnético gerado por uma linha de alta tensão de 220 kV, em Portugal, a uma distância de 2 metros, é cerca de 1 G, sendo cerca de 5 vezes inferior ao campo magnético gerado pelas espiras.

Devido às limitações experimentais mencionadas, em concreto na observação dos vídeos, sugere-se, como trabalho futuro, o desenvolvimento de um algoritmo capaz de contabilizar o número de passagens por ambos os lados das entradas, por forma a maximizar o número de observações e, consequentemente, minimizar a amplitude dos intervalos de confiança, incrementando, assim, a robustez dos resultados. A repetição da experiência com um número elevado de colónias durante o pico de atividade forrageira das abelhas, aliado a um procedimento robusto de contagem de passagens, permitirá auferir resultados conclusivos com mais certeza, uma vez que o número e a diversidade de observações será suficientemente grande para extrapolar conclusões a nível global.

Referências bibliográficas

- Abraçado, L., Esquivel, D., Alves, O., Wajnberg, E., (2005): "Magnetic material in head, thorax, and abdomen of *Solenopsis substituta* ants: A ferromagnetic resonance study", *Journal of Magnetic Resonance*, 175(2): 309-316.
- Antunes, C., (2013): "ELF Magnetic Field Security Zones around High Voltage Power Lines", XIII CHLIE: Conferencia Hispano-Lusa De Ingeniería Eléctrica, Valencia (Espanha).
- Balderrama, N., Núñez, J., Giurfa, M., Torrealba, J., Albornoz, E., Almeida, L., (1996): "A Deterrent Response in Honeybee (*Apis mellifera*) Foragers: Dependence on Disturbance and Season", *Journal of Insect Physiology*, 42(5): 463-470.
- Barnes, F., (1998): "A model for the detection of weak ELF electric and magnetic fields", *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 47(2): 207-212.
- Begal, S., Malkemper, E., Červený, J., Němec, P., Burda, H., (2013): "Magnetic alignment in mammals and other animals", *Mammalian Biology*, 78(1): 10-20.
- Bindokas, V., Greenberg, B., (1984): "Biological Effects of a 765-kV, 60-Hz Transmission Line on Honey Bees (*Apis mellifera* L.): Hemolymph as a Possible Stress Indicator", *Bioelectromagnetics*, 5(3): 305-314.
- Bindokas, V., Gauger, J., Greenberg, B., (1988a): "Exposure Scheme Separates Effects of Electric Shock and Electric Field for Honey Bees, *Apis mellifera* L.", *Bioelectromagnetics*, 9(3): 275-284.
- Bindokas, V., Gauger, J., Greenberg, B., (1988b): "Mechanism of Biological Effects Observed in Honey Bees (*Apis mellifera*, L.) Hived Under Extra-High-Voltage Transmission Lines", *Bioelectromagnetics*, 9(3): 285-301.
- Bindokas, V., Gauger, J., Greenberg, B., (1989): "Laboratory Investigations of the Electrical Characteristics of Honey Bees and Their Exposure to Intense Electric Fields", *Bioelectromagnetics*, 10(1): 1-12.

Biri, M., Albert, J. (1979): “Moderna Criação das Abelhas”. Barcelona: Editorial de Vecchi. ISBN 84-315-0816-7.

Boecking, O., Geresch, E., (2008): “Varroosis – the Ongoing Crisis in Bee Keeping”, *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 3(2): 221-228.

Campbell, J., Dahn, D., Ryan, D., (2005): “Capacitance-based sensor for monitoring bees passing through a tunnel”, *Measurement Science and Technology* 16(12): 2503-2510.

Campbell, J., Mummert, L., Sukthankar R., (2008): “Video Monitoring of Honey Bee Colonies at the Hive Entrance”, ICPR2008 19th International Conference on Pattern Recognition.

Chambarelli, L., Pinho, M., Abraçado, L., Esquivel, D., Wajnberg, E., (2008): “Temporal and preparation effects in the magnetic nanoparticles of *Apis mellifera* body parts”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 320(14): e207-e210.

Chen, C., Yang, E.-C., Jiang, J.-A., Lin, T.-T., (2012): “An imaging system for monitoring the in-and-out activity of honey bees”, *Computers and Electronics in Agriculture*, 89: 100-109.

Chiron, G., Gomez-Krämer, P., Ménard, M., (2013): “Detecting and tracking honeybees in 3D at the beehive entrance using stereo vision”, *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 59: 1-17.

Cucurachi, S., Tamis, W., Vijver, M., Peijnenburg, W., Bolte, J., Snoo, G., (2013): “A review of the ecological effects of radiofrequency electromagnetic fields (RF-EMF)”, *Environment International*, 51: 116-140.

Davila, A., Fleissner, G., Winklhofer, M., Petersen, N., (2003): “A new model for a magnetoreceptor in homing pigeons based on interacting clusters of superparamagnetic magnetite”, *Physics and Chemistry of the Earth*, 28(16-19): 647-652.

Desoil, M., Gillis, P., Gossuin, Y., Pankhurst, Q., Hautot, D., (2005): “Definitive identification of magnetite nanoparticles in the abdomen of the honeybee *Apis mellifera*”, *Journal of Physics: Conference Series*, 17(1): 45-49.

Ellis, A., Delaplane, K., (2008): “Effects of nest invaders on honey bee (*Apis mellifera*) pollination efficacy”, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 127(3-4): 201-206.

Farooqui, T., (2013): “A potential link among biogenic amines-based pesticides, learning and memory, and colony collapse disorder: A unique hypothesis”, *Neurochemistry International*, 62(1): 122-136.

- Favre, D., (2011): "Mobile phone-induced honeybee worker piping", *Apidologie*, 42(3): 270-279.
- Fründ, J., Zieger, S., Tschardt T., (2013): "Response diversity of wild bees to overwintering temperatures", *Oecologia*, 173(4): 1639-1648.
- Gabinete de Planeamento e Políticas, (2013): "Plano Apícola Nacional 2014-2016", GPP, Lisboa.
- Gary, N., (1971): "A new tagging and recapture method for evaluating honeybee pollination activity", *California Agriculture*, 25(6): 4-6.
- Gary, N., Westerdahl, B., (1981): "Flight, Orientation, and Homing Abilities of Honeybees Following Exposure to 2.45-GHz CW Microwaves", *Bioelectromagnetics*, 2(1): 71-75.
- Girling, R., Lusebrink, I., Farthing, E., Newman, T., Poppy, G., (2013): "Diesel exhaust rapidly degrades floral odours used by honeybees", *Scientific Reports*, 3: 1-5.
- Gould, J., Kirschvink, J., Deffeyes, K., (1978): "Bees have magnetic remanence", *Science*, 201: 1026-1028.
- Gould, J., Kirschvink, J., Deffeyes, K., Brines, M., (1980): "Orientation of demagnetized bees", *Journal of Experimental Biology*, 86(1): 1-8.
- Guez, D., Zhu, H., Zhang, S., Srinivasan, M., (2010): "Enhanced cholinergic transmission promotes recall in honeybees", *Journal of Insect Physiology*, 56(9): 1341-1348.
- Hänninen, O., Huttunen, P., Ekman, R., (2011): "Electromagnetic irradiation exposure and its bioindication – An overview", *Journal of Environmental Sciences*, 23(9): 1409-1414.
- Harst, W., Kuhn, J., Stever, H., (2006): "Can Electromagnetic Exposure Cause a Change in Behaviour? Studying Possible Non-Thermal Influences on Honey Bees – An Approach within the Framework of Educational Informatics", *Acta Systemica*, 6(1): 1-6.
- Hsu, C.-Y., Ko, F.-Y., Li, C.-W., Fann, K., Kue, J.-T., (2007): "Magnetoreception System in Honeybees (*Apis mellifera*)", *PLoS ONE*, 2(4): e395, doi:10.1371/journal.pone.0000395
- Hsu, C.-Y., Li, C.-W., (1994): "Magnetoreception in Honeybees", *Science*, 265: 95-97.
- ICNIRP, (1998): "Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300GHz)", *Health Physics*, 74(4): 494-522.

Kimmel, S., Kuhn, J., Harst, W., Stever, H., (2007): "Electromagnetic Radiation: Influences on Honeybees (*Apis mellifera*)", Environmental Systems Research, 8(1): 1-6.

Kimura, T., Ohashi, M., Crailsheim, K., Schmickl, T., Okada, R., Radspieler, G., Ikeno H., (2014): "Development of a New Method to Track Multiple Honey Bees with Complex Behaviors on a Flat Laboratory Arena", PLoS ONE, 9(1): e84656, doi:10.1371/journal.pone.0084656.

Kobayashi, A., Kirschvink, J., (1995): "Magnetoreception and Electromagnetic Fields Effects: Sensory perception of the geomagnetic field in Animals and Humans", in Blank, M., (1995): "Electromagnetic Fields: Biological Interactions and Mechanisms", Advances in chemistry series, Series 250, American Chemical Society, Washington, DC, 367-394. ISBN 9780841231351.

Kirschvink, J., Padmanabha, S., Boyce, C., Oglesby, J., (1997): "Measurements of the Threshold Sensitivity of Honeybees to Weak, Experimentally Low-Frequency Magnetic Fields", Journal of Experimental Biology, 200: 1363-1368.

Lai, P.-L., Zhou, W., Zhang, J., Jiang, W.-Y., Wang, Q., Cui, H.-J., Sun, J.-H., Wu, Y.-Y., Zhou, T., (2012): "The effects of Bt Cry1Ah toxin on worker honeybees (*Apis mellifera ligustica* and *Apis cerana cerana*)", Apidologie, 43(4): 384-391.

Lindauer, M., Martin, H., (1968): "The Earth's Magnetic Field Affects the Orientation of Honeybees in the Gravity Field", Journal of Comparative Physiology A, 60(3): 219-243.

Lohmann, K., Johnsen, S., (2000): "The neurobiology of magnetoreception in vertebrate animals", Trends in Neurosciences, 23(4): 153-159.

Mall, P., Kumar, Y., (2014): "Effect of electromagnetic radiations on brooding, honey production and foraging behavior of European honeybees (*Apis mellifera* L.)", African Journal of Agricultural Research, 9(13): 1078-1085.

Martin, H., Korall, H., Förster, B., (1989): "Magnetic field effects on activity and ageing in honeybees", Journal of Comparative Physiology A, 164(4): 423-431.

Martin, H., Lindauer, M., (1977): "The Effect of the Earth's Magnetic Field on Gravity Orientation in the Honey Bee (*Apis mellifica*)", Journal of Comparative Physiology A, 122(2): 145-187.

Meyer, P., (1983): "Probabilidade: Aplicações à Estatística", 2ª Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, Brasil.

- Naug, D., (2009): "Nutritional stress due to habitat loss may explain recent honeybee colony collapses", *Biological Conservation*, 142(10): 2369-2372.
- Nguyen, T., Ehrenfreund, E., Vardeny, Z., (2013): "Organic magneto-resistance at small magnetic fields; compass effect", *Organic Electronics*, 14(7): 1852-1855.
- Polatto, L., Chaud-Netto, J., Alves-Junior, V., (2014): "Influence of Abiotic Factors and Floral Resource Availability on Daily Foraging Activity of Bees", *Journal of Insect Behavior*, 27(5): 593-612.
- Potts, S., Biesmeijer, J., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., Kunin, W., (2010): "Global pollinator declines: trends, impacts and drivers", *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6): 345-353.
- Sahib, S., (2011): "Impact of mobile phones on the density of honeybees", *Journal of Public Administration and Policy Research*, 3(4): 113-117.
- Schmickl, T., Crailsheim, K., (2007): "HoPoMo: A model of honeybee intracolony population dynamics and resource management", *Ecological modeling*, 204: 219-245.
- Sharma, V., Kumar, N., (2010): "Changes in honeybee behaviour and biology under the influence of cellphone radiations", *Current Science*, 98(10): 1376-1378.
- Sharpe, R., Heyden, L., (2009): "Honey bee colony collapse disorder is possibly caused by a dietary pyrethrum deficiency", *Bioscience Hypotheses*, 2(6): 439-440.
- Slaa, E., Sánchez-Chaves, L., Malagodi-Braga, K., Hofstede, F., (2006): "Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives", *Apidologie*, 37(2): 293-315.
- Sokolowski, M., Moine, M., Naassila, M., (2012): "'Beetrack': A software for 2D open field locomotion analysis in honey bees", *Journal of Neuroscience Methods*, 207(2): 211-217.
- Stindl, R., Stindl, W. Jr., (2010): "Vanishing honey bees: Is the dying of adult worker bees a consequence of short telomeres and premature aging?", *Medical Hypotheses*, 75(4): 387-390.
- Tokarz, R., Firth, C., Street, C., Cox-Foster, D., Lipkin, W., (2011): "Lack of Evidence for an Association between Iridovirus and Colony Collapse Disorder", *PLoS ONE*, 6(6): e21844, doi:10.1371/journal.pone.0021844.
- Válková, T., Vácha, M., (2012): "How do honeybees use their magnetic compass? Can they see the North?", *Bulletin of Entomological Research*, 102(4): 461-467.

vanEngelsdorp, D., Meixner, M., (2010): "A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them", *Journal of Invertebrate Pathology*, 103(Supplement): S80-S95.

Wajnberg, E., Acosta-Avalos, D., Alves, O., Oliveira, J., Srygley, R., Esquivel, D., (2010): "Magnetoreception in eusocial insects: an update", *Journal of the Royal Society Interface*, 7: S207-S225.

Walker, M., Bitterman, M., (1985): "Conditioned responding to magnetic fields by honeybees", *Journal Comparative Physiology A*, 157(1): 67-71.

Walker, M., Bitterman, M., (1989a): "Short Communication: Attached Magnets Impair Magnetic Field Discrimination by Honeybees", *Journal of Experimental Biology*, 141(1): 447-451.

Walker, M., Bitterman, M., (1989b): "Short Communication: Honeybees can be Trained to Respond to very Small Changes in Geomagnetic Field Intensity", *Journal of Experimental Biology*, 145(1): 489-494.

Walker, M., (2008): "A model for encoding of magnetic field intensity by magnetite-based magnetoreceptor cells", *Journal of Theoretical Biology*, 250(1): 85-91.

Westerdahl, B., Gary, N., (1981): "Longevity and Food Consumption of Microwave-Treated (2.45 GHz CW) Honeybees in the Laboratory", *Bioelectromagnetics*, 2(4): 305-314.

Wiltschko, W., Wiltschko, R., (2005): "Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals", *Journal Comparative Physiology A*, 191(8): 679-693.

Anexos

Anexo I



Figura 31 – Plataforma de monitorização pronta para montagem nas colónias



Figura 32 – Instalação da câmara de vídeo e respetivas ligações

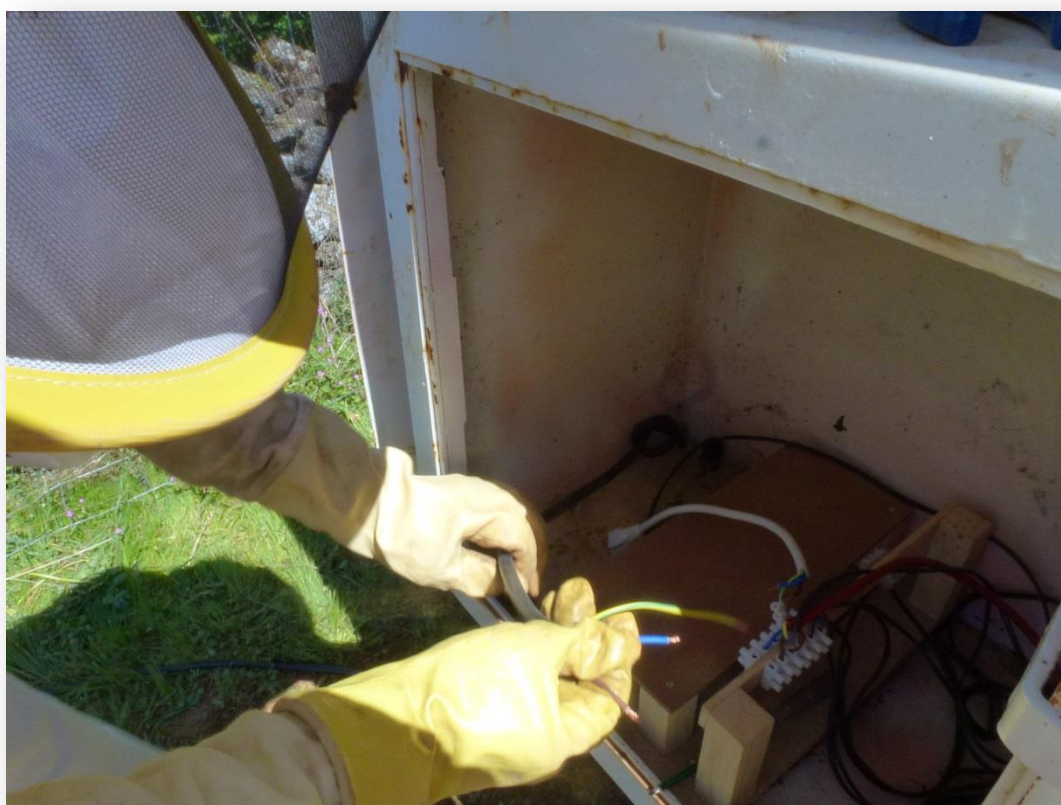


Figura 33 – Instalações elétricas e de rede no abrigo central



Figura 34 – Apiário experimental da Quinta do Pinheiro Manso (IPB) com a experiência em funcionamento



Figura 35 – Monitorização da experiência



Figura 36 – Inspeção de rotina à plataforma de monitorização



Figura 37 – Movimentação de abelhas na área de contagem da plataforma de monitorização

Anexo II

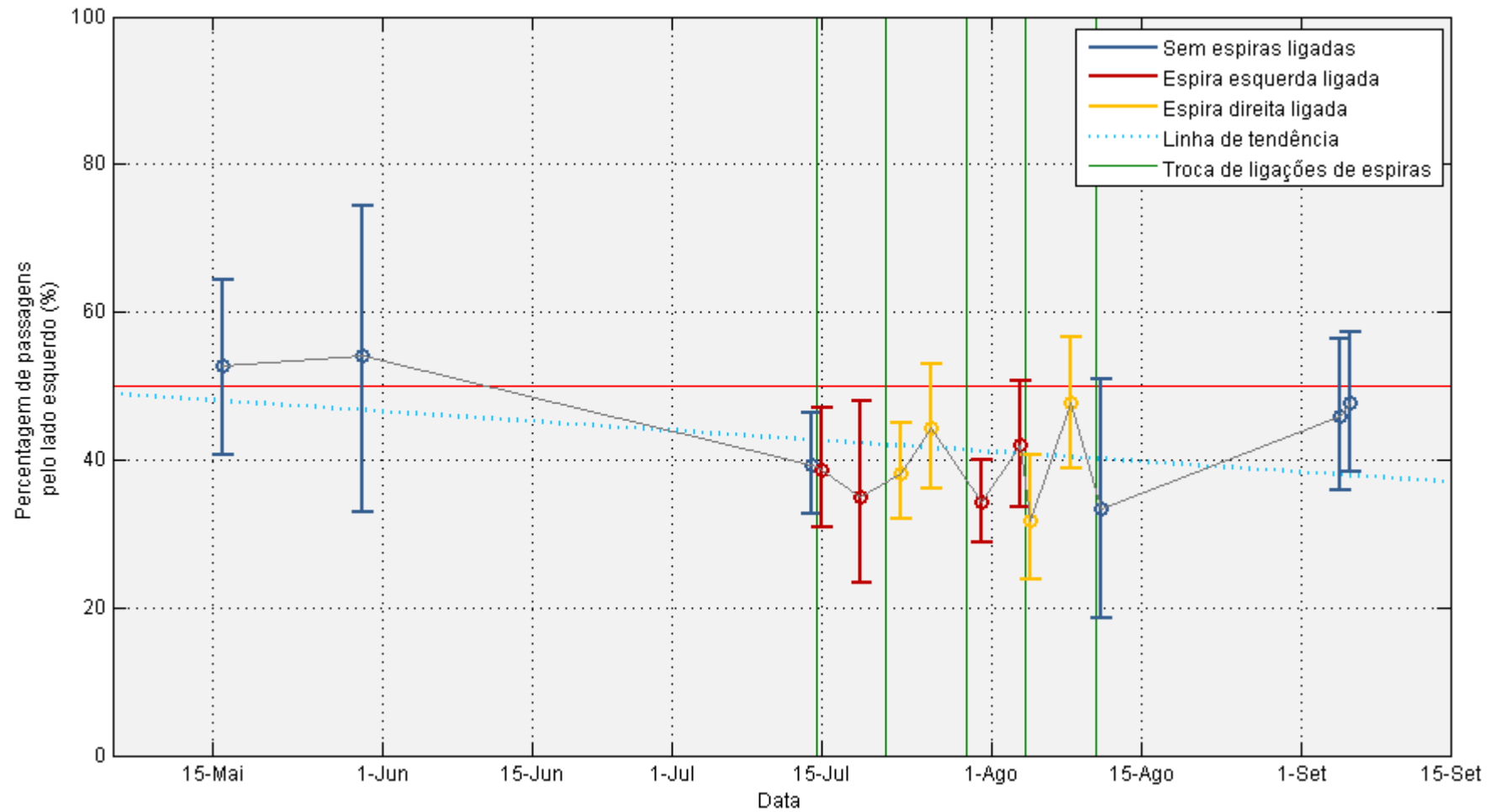


Figura 38 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 1, ao longo da experiência

Anexo III

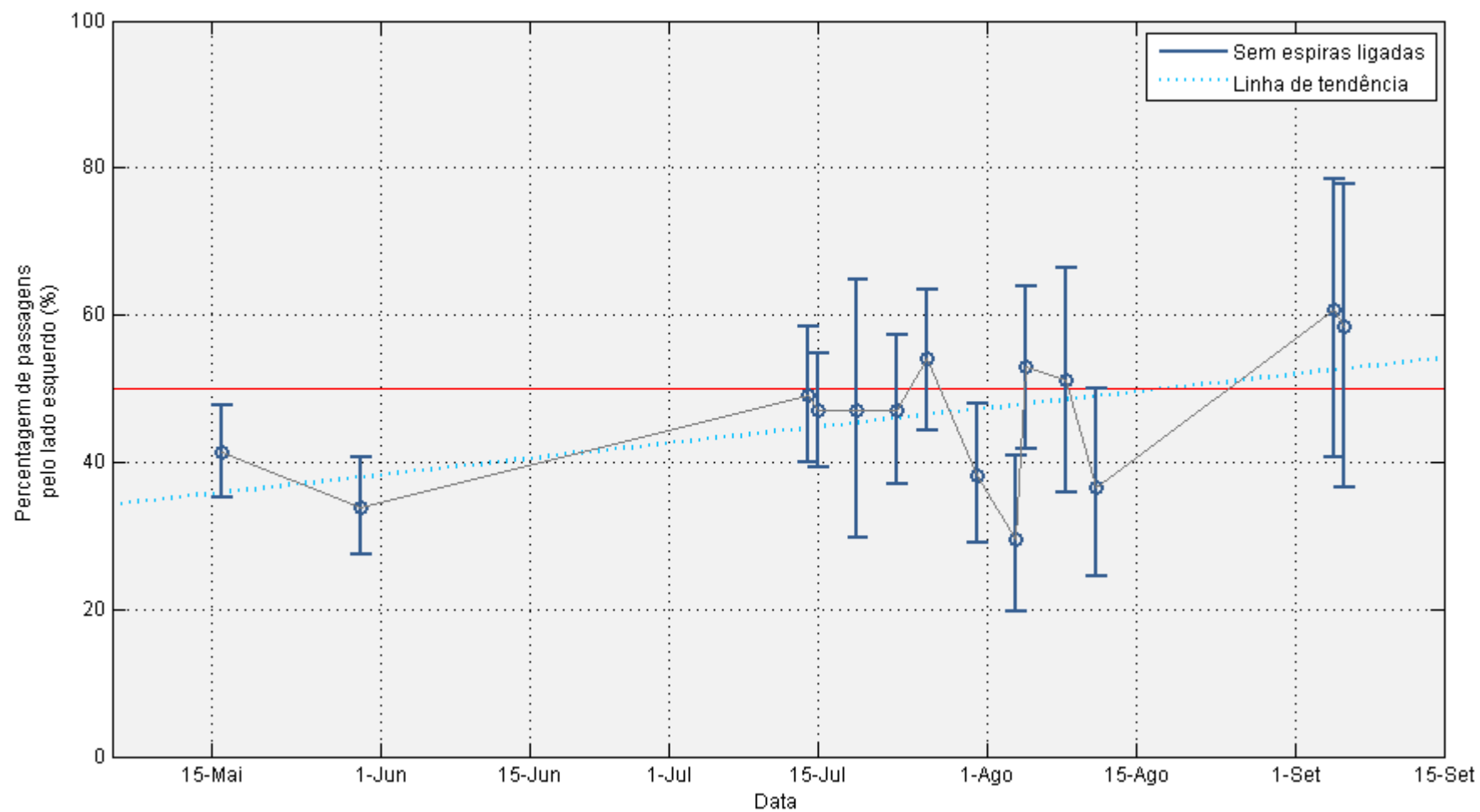


Figura 39 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 2, ao longo da experiência

Anexo IV

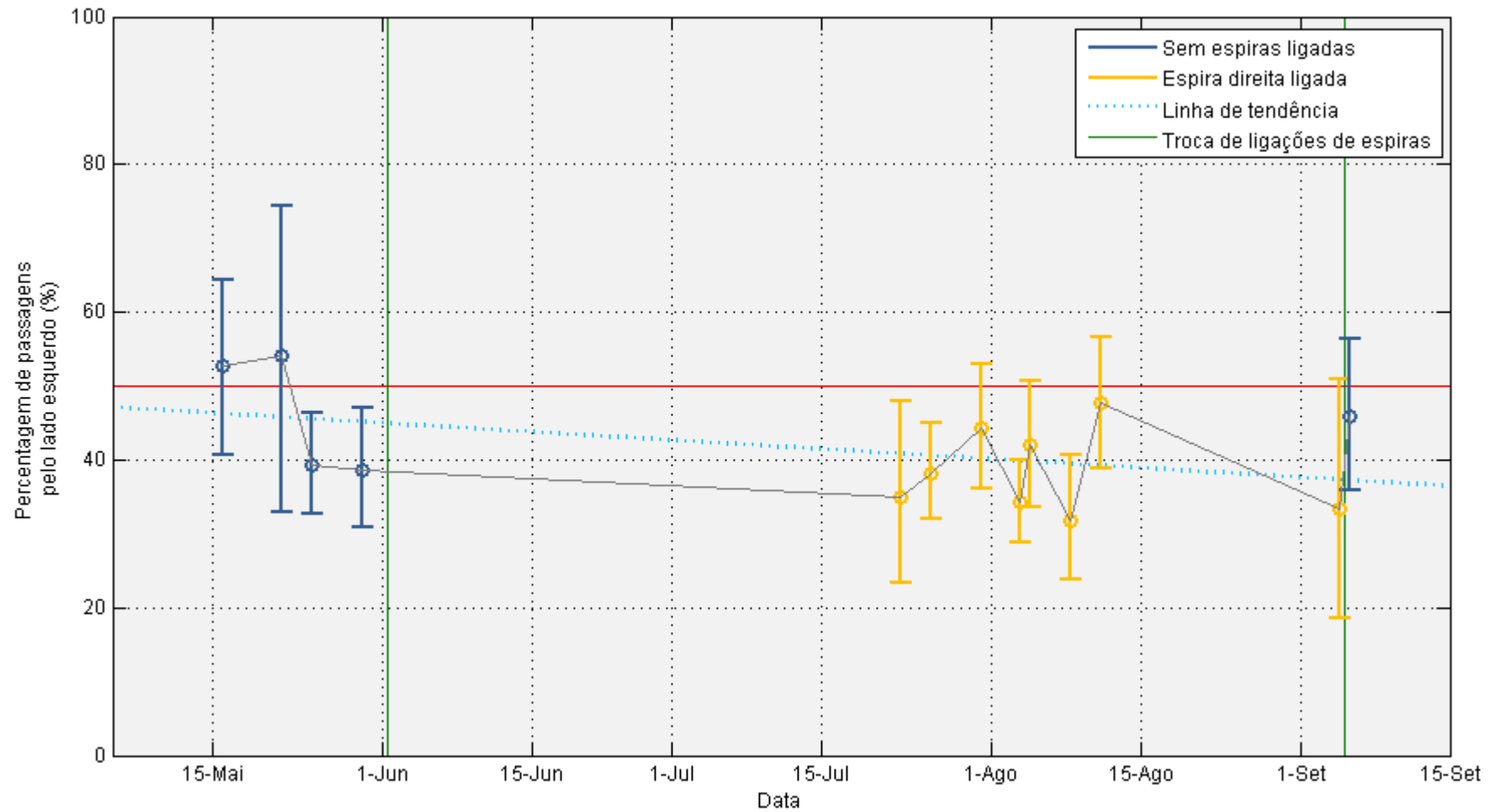


Figura 40 – Gráfico das percentagens de passagens pelo lado esquerdo, e respetivos intervalos de confiança, para a colónia 3, ao longo da experiência