



Avaliação do comprimento de onda da lâmpada LED para uso no manejo noturno de *Apis mellifera*

Evaluation of the wavelength of the LED lamp for use in the nocturnal management of *Apis mellifera*

M. M. Costa*; E. R. Brito; J. R. de Oliveira; M. A. Nogueira; M. J. M. Caldas;
E. E. G. Pinheiro; V. C. Modesto; E. D. Chambó; C. A. L. de Carvalho

Núcleo de Estudo dos Insetos (INSECTA), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), 44380-000,
Cruz das Almas-Bahia, Brasil

*costa.monteiro@gmail.com

(Recebido em 01 de março de 2024; aceito em 27 de março de 2025)

O estudo avaliou a atratividade das *Apis mellifera* L. africanizada por diferentes comprimentos de onda emitidos pelas lâmpadas LED avaliando também a variação dessa atratividade ao longo do tempo. O trabalho foi realizado no Núcleo de Estudo dos Insetos (INSECTA), localizado na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Os dados foram coletados em uma arena iluminada por lâmpadas com emissão de diferentes comprimentos de onda: amarela (570 - 590 nm), branca (400 - 700 nm), verde (470 - 550 nm) e vermelha (630 - 700 nm), na qual, 50 abelhas foram colocadas para avaliação do comportamento. Foi utilizada a análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey para comparação múltipla de médias ao nível de 5% de significância. A lâmpada de comprimento de onda de 400 - 700 nm (cor branca) foi mais atrativa para as abelhas; os comprimentos de onda de 470 - 550 nm (verde) e 570 - 590 nm (amarela) apresentaram atratividade semelhante; e o comprimento de onda 630 - 700 nm (vermelha) apresentou menor atratividade às abelhas. O estudo evidencia que o comprimento de onda emitido pela lâmpada de coloração vermelha tem efeito significativo na atratividade das abelhas. O estudo demonstrou que há potencial do uso das lâmpadas LED vermelhas durante o manejo noturno em apiários, uma vez que pode minimizar a atração das abelhas, reduzir os riscos de acidentes e facilitar o manejo realizado pelos apicultores durante a noite.

Palavras-chave: defensividade das abelhas, lâmpadas repelentes, manejo apícola.

The study evaluated the attractiveness of Africanized *Apis mellifera* L. to different wavelengths emitted by LED lamps, also evaluating the variation of this activity over time. The work was carried out at the Insect Study Center (INSECTA), located at the Federal University of Recôncavo da Bahia. Data were collected in an arena illuminated by lamps emitting different wavelengths: yellow (570 - 590 nm), white (400 - 700 nm), green (470 - 550 nm) and red (630 - 700 nm), in which 50 bees were placed for evaluation of behavior. Analysis of variance (ANOVA) was used, followed by Tukey's test for multiple comparison of means at the 5% significance level. The 400 - 700 nm wavelength lamp (white color) was more attractive to the bees; The wavelengths of 470 - 550 nm (green) and 570 - 590 nm (yellow) showed similar attractiveness; and the wavelength of 630 - 700 nm (red) showed less attractiveness to bees. The study shows that the wavelength emitted by the red lamp has a significant effect on the attractiveness of bees. The study demonstrated that there is potential for the use of red LED lamps during night management in apiaries, since it can minimize the attraction of bees, reduce the risk of accidents and facilitate the management carried out by beekeepers at night.

Keywords: bee defensiveness; repellent lamps; beekeeping management.

1. INTRODUÇÃO

A apicultura é uma atividade que se destaca por ser lucrativa, de baixo custo, geradora de emprego e renda, sustentável e que pode ser praticada por diversos segmentos da sociedade [1]. Embora essa atividade seja crescente no país e no mundo e alguns setores apícolas terem aprimorado suas técnicas de manejo, ainda há muitos desafios a serem superados [2].

Entre os frequentes desafios da atividade apícola destacam-se fatores ambientais, tais como, desmatamento, pragas, doenças e altas temperaturas [3]. O manejo dos apiários durante períodos

extremos, principalmente de seca, se torna exaustivo aos apicultores e estressantes às abelhas, comprometendo o manejo e a produção [4].

A manipulação das colmeias requer habilidade e conhecimento das técnicas de manejo nos apiários. Os apicultores realizam visitas periódicas para fazer as revisões e transportes das caixas, bem como alimentar as colônias. Para executar essas atividades, esses profissionais utilizam os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), compostos por macacão, máscara com chapéu telado, luvas e botas, que são considerados desconfortáveis, pois geralmente não promovem conforto térmico, além dos Equipamentos de Proteção Coletiva (EPCs) como o fumigador, que necessitam de atenção constante. Todos esses itens são indispensáveis à atividade apícola [5].

Adicionalmente ao desconforto causado pelo uso dos EPIs e as temperaturas elevadas, o manejo das colmeias normalmente resulta na ação defensiva das abelhas, que também são impactadas pela temperatura elevada e o uso comum da fumaça durante o manejo [6]. Devido a esses fatores, o risco de acidentes envolvendo os apicultores e animais domésticos aumenta, principalmente pelas ferroadas das abelhas [7].

As abelhas, como superorganismos, possuem mecanismos defensivos que são fundamentais para sua sobrevivência. O comportamento defensivo é observado em algumas espécies como em *Apis mellifera* L. e é influenciado por diversos estímulos externos e internos, sendo notado até mesmo entre colônias dentro de um mesmo apiário [8].

Djoko et al. (2023) [9] citam que a expressão de padrões comportamentais dentro das colônias de abelhas é provavelmente influenciada por traços individuais e características da colônia. Esses autores consideraram que, a prosperidade e o rendimento dos produtos da colmeia nessas colônias dependem de suas respostas comportamentais, desempenhando papel fundamental na sobrevivência desses insetos. Para defenderem sua rainha, protegerem o armazenamento de pólen e mel, bem como a proteção dos outros recursos da colônia, a agressividade se torna um mecanismo valioso de defesa contra invasores.

Na busca por estratégias que abrandem as dificuldades no manejo, os apicultores adotam alternativas como o sombreamento do apiário e o manejo das colmeias em horários de menor temperatura ambiente, como o período noturno. Porém, nesse horário, as abelhas não realizam forrageamento e se concentram dentro da colmeia. Isso significa que a iluminação artificial utilizada durante o manejo noturno atrairá as abelhas para essa fonte de luz [10], o que dificultará o trabalho do apicultor, uma vez que *A. mellifera* possui comportamento defensivo e irão atacar para proteger a colônia [11].

As abelhas são atraídas pela luz devido à sua visão diferenciada, caracterizada por um par de olhos compostos formados por fotorreceptores de luz, chamados omatídeos, que funcionam como pequenas lentes refratoras. A visão apurada das abelhas é capaz de detectar movimentos e comprimentos de ondas, reconhecer padrões, diferenciar tipos de plantas e identificar outros insetos [12]. Além dos olhos compostos, as abelhas possuem três olhos simples, chamados ocelos, que não formam imagens, mas informam ao sistema nervoso das abelhas sobre a intensidade da luz, permitindo que elas reajam a estímulos luminosos e reduzam o nível de perturbação durante o curso do voo [13]. Devido à presença dos fotorreceptores, as abelhas são sensíveis aos comprimentos de onda ultravioleta (300 – 400 nm), verde (470 – 550 nm) e azul (400 – 500 nm), mas têm dificuldades em enxergar o comprimento de onda vermelho (630 – 700 nm) [14].

Diante desse fato, compreender como a atratividade das abelhas muda com o tempo de exposição aos comprimentos de onda pode permitir que os apicultores ajustem suas práticas de manejo noturno, considerando a duração das atividades e a escolha da lâmpada apropriada. Logo, estudos como este que forneçam informações valiosas sobre a influência dos comprimentos de onda das lâmpadas na atratividade das abelhas representam um diferencial. Desta forma, o estudo avaliou a atratividade das *A. mellifera* africanizada por diferentes comprimentos de onda de luz emitidos pelas lâmpadas LED, além de investigar como essa preferência variou ao longo do tempo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do estudo

O estudo foi desenvolvido no Núcleo de Estudo dos Insetos, do Grupo de pesquisa INSECTA, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), localizado na cidade de Cruz das Almas – BA, Brasil. A cidade está localizada nas coordenadas geográficas 12°40'S e 39°06'W, a uma altitude de aproximadamente 226m.

As abelhas utilizadas nesse estudo foram coletas com autorização, via licença concedida pelo SISBIO, de acordo com o art. 28 da IN 03/2014: número: 87442-1. Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº Portaria ICMBio nº 748/2022. Código de autenticação: 0874420120230720.

2.2 Material utilizado para construção da arena

Para o desenvolvimento do experimento criou-se um dispositivo denominado “arena”. Os materiais utilizados foram adquiridos em loja de material de construção. A escolha das lâmpadas LED (*Light Emitting Diode*) foi devido à sua eficiência energética, baixa emissão de calor, economia e longa vida útil. Além disso, essas lâmpadas permitem iluminação constante durante inspeções noturnas [15].

2.2.1 Construção da arena

Foram utilizados oito tubos de PVC com 30 cm comprimento (cada). Os tubos foram conectados em uma caixa de gordura sifonada (utilizada como gaiola central) de oito entradas para encaixe dos tubos. No final de cada tubo foi conectado um ralo sifonado (utilizado como gaiola secundária) através de um joelho de PVC com ângulo de 90°. Em cada gaiola, colocou-se um isolamento plástico (100% PVC) para evitar a fuga das abelhas. Sobreposto a cada gaiola secundária, outro ralo sifonado serviu como “cobertura”. Em cada cobertura foi acoplada uma lâmpada LED. Ao final dessa etapa, o dispositivo ficou em formato circular totalizando nove gaiolas, sendo uma central e oito secundárias. Os materiais utilizados são expostos na Figura 1.



Figura 1. Alguns dos materiais utilizados para construção da arena - 1: tubos de PVC (30 cm, cada); 2: caixa de gordura sifonada (oito furos); 3: ralo sifonado, com o isolamento plástico; 4: joelho de PVC com ângulo de 90°; 5: ralo sifonado (cobertura com a lâmpada LED)”; 6: dispositivo com nove gaiolas (uma central e oito secundárias). Fonte: acervo INSECTA.

Na arena, as lâmpadas foram dispostas alternadamente, de modo que cada comprimento de onda (cor de luz) idêntico ficasse em lados opostos da gaiola central. As lâmpadas LED foram devidamente conectadas aos seus respectivos bocais e cabos com tomadas plugs para serem acesas. Finalizada a montagem, a arena foi colocada em uma sala fechada, de modo não haver interferência da luz natural. Como fonte de luz foram utilizadas lâmpadas LED, com emissão de comprimentos de onda de 570 - 590 (amarelo), 400 - 700 (branco), 470 - 550 (verde) e 630 - 700 (vermelho) e a descrição técnica de cada lâmpada consta no Quadro 1.

Quadro 1. Descrição técnica das lâmpadas utilizadas no experimento.

Lâmpada	Amarela	Branca	Verde	Vermelha
Fabricante	Avant	Avant	Avant	Avant
Tipo	Visível	Visível	Visível	Visível
Potência (W)	4	4	4	4
Fluxo luminoso (lm)	350	350	350	350
Eficiência luminosa (lm/W)	88	88	88	88
Comprimento de onda (nm)	570 – 590	400 – 700	470 – 550	630 – 700
Corrente nominal (mA)	127V – 63 220 V – 36			
Tensão nominal (V)	100 – 240 Bivolt automático			
Modelo	Lâmpada Bolinha Led	Lâmpada Bolinha Led	Lâmpada Bolinha Led	Lâmpada Bolinha Led
Temperatura de Cor (°K)	27000	6500	6500	6500
Ângulo de abertura (°)	180	180	200	200
Vida útil (h)	15.000	15.000	15.000	15.000

2.3 Design do experimento

O experimento foi instalado em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com quatro tratamentos e 12 repetições. A variável de resposta avaliada foi o número de abelhas que estavam presentes nas gaiolas correspondentes aos tratamentos (comprimentos de onda), utilizando os intervalos de tempo como repetições. A espécie de abelhas utilizada no estudo foi *A. mellifera* L. africanizada. As abelhas foram provenientes do apiário do Núcleo de Estudos dos Insetos (INSECTA) da UFRB e foram coletas do quadro do ninho no final da tarde, período em que as abelhas forrageadoras retornavam à colmeia, garantindo que a coleta fosse predominantemente de abelhas forrageadoras. Para evitar interferência de feromônios de colônias distintas, que poderiam ocasionar confrontos entre as abelhas, optou-se por realizar a coleta das abelhas de uma única colônia. Os tratamentos consistiram em: T1– Comprimento de onda de 570 – 590 (amarelo); T2– Comprimento de onda de 400 - 700 (branco); T3– Comprimento de onda de 470 - 550 (verde); T4– Comprimento de onda de 630 – 700 (vermelho).

Na gaiola central da arena, foram colocadas 50 abelhas. Com o ambiente totalmente no escuro, as lâmpadas da arena foram ligadas e as observações foram iniciadas (Figura 2).



Figura 2. Dispositivo “arena”, utilizado para avaliação de lâmpadas com diferentes comprimentos de onda na atratividade de *Apis mellifera* africanizada. Fonte: acervo INSECTA.

A cada intervalo de 5 minutos foi anotada a quantidade de abelhas presentes em cada gaiola secundária e o respectivo comprimento de onda correspondente ao tratamento. Esse procedimento foi repetido até atingir o tempo de 1 hora (60 minutos). Os dados foram tabulados em planilha eletrônica e submetidos às análises estatísticas.

2.4 Procedimentos estatísticos

Adotou-se um modelo de Análise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas. No ajuste do modelo estatístico, considerou-se o fator "comprimento de onda" como fixo, e o fator "tempo", como repetido. O teste de esfericidade de Mauchly [16] foi aplicado para verificar a igualdade de variâncias entre as diferenças nos níveis do fator "tempo", enquanto a normalidade dos resíduos foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Os resultados obtidos indicaram que os pressupostos necessários para a análise não foram violados, garantindo assim a robustez das conclusões deste estudo. Posteriormente, comparações de médias entre comprimentos de onda, utilizando p -valores ajustados, foram realizadas pelo método de Bonferroni [17]. A escolha do método de Bonferroni para o ajuste dos p -valores visa mitigar a possibilidade de falsos positivos devido às múltiplas comparações realizadas. Em todas as análises, adotou-se um nível de significância de 5%. Todas as análises foram conduzidas utilizando o software R[®] versão 4.3.1 [18].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias de atratividade das abelhas *A. mellifera* L. africanizada em relação aos diferentes comprimentos de onda. A análise indicou que o comprimento de onda entre 630 – 700 nm apresentou a menor atratividade ($p < 0,05$), quando comparada aos demais comprimentos de onda testados no estudo. Além disso, o espectro do comprimento de onda da luz branca demonstrou a maior atratividade ($p < 0,05$) em comparação com os outros comprimentos de onda avaliados. Os intervalos de confiança evidenciam a variabilidade das estimativas das médias amostrais e fornecem uma faixa plausível na qual se espera que as médias populacionais reais se encontrem com 95% de confiança (Tabela 1).

Tabela 1: Médias, desvio-padrão e intervalos de confiança (IC 95%) para atratividade dos comprimentos de onda à *Apis mellifera* africanizada.

Atratividade das abelhas em relação aos diferentes comprimentos de onda			
Tratamento	Médias*	Desvio-padrão	IC (μ , 95%)
400 - 700 nm	12,75a	3,19	[11,24; 14,26]
470 – 550 nm	8,42b	1,53	[6,91; 9,92]
570 - 590 nm	7,67c	3,23	[6,16; 9,17]
630 – 700 nm	2,75d	1,48	[1,24; 4,26]

*Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Bonferroni ao nível de 5% de significância.

Ao avaliar a atratividade das abelhas aos comprimentos de onda de lâmpadas LED, foi possível analisar que, do número total de abelhas utilizadas no experimento, 78% foram atraídas para algum dos comprimentos de onda emitido pelas lâmpadas, enquanto 22% se mantiveram na gaiola central no último intervalo de avaliação (55 a 60 minutos).

Este fato pode ser atribuído ao impacto geral da luz artificial na adaptação das espécies, que depende de fatores como a intensidade, direção e distribuição espectral, bem como a taxa de cintilação nos diferentes comprimentos de onda. Também são relevantes a hora do dia e a estrutura das superfícies próximas ao local [19]. Esses fatores, juntos, impactam no comportamento natural dos insetos, perturbando significativamente a sua orientação de voo e adaptação local em comparação ao seu habitat natural [20].

As abelhas usadas nesse estudo não foram atraídas pelos comprimentos de onda imediatamente ao serem colocadas na gaiola central. O percentual de abelhas que procuraram uma das fontes de luz aumentou gradativamente ao longo das avaliações. Além disso, foi possível verificar ao longo do tempo de avaliação que as abelhas apresentaram comportamentos como agrupamento na gaiola central, agitação e nos últimos intervalos de avaliação, cansaço e desorientação. Acredita-se que o cansaço e desorientação tenham sido provocados por mudanças de temperatura da arena utilizada para fazer as análises, pois [21] os ritmos circadianos, que são relógios internos com um ciclo de cerca de 24 horas, resilientes a mudanças de ambiente e influenciados pelo ciclo de luz/escuridão, podem ser afetados por fatores como luz e temperatura artificiais. Inclusive, os ritmos circadianos e a alimentação são influenciados por níveis de luz e temperatura, afetando o comportamento desses insetos.

Estudos anteriores de Somanathan e Balamurali (2023) [22] e Hempel et al. (2014) [23] indicaram que alguns insetos, como as abelhas, podem permanecer algum tempo sem perceber um determinado comprimento de onda por razões variadas: algumas podem ter sensibilidade reduzida a certos comprimentos de onda, outras podem não estar ativamente buscando recursos e há variações individuais entre espécies que afetam suas preferências. Em certos casos, as abelhas podem estar aprendendo ou se adaptando a novos ambientes iluminados [24].

A percepção de comprimento de onda das abelhas também pode variar com a idade e experiência, influenciando suas preferências. Abelhas coletadas no alvado tendem a ser mais experientes e, por isso, suas respostas podem refletir uma busca ativa por recursos; nesse caso, as forrageadoras. No entanto, abelhas mais jovens, frequentemente coletadas nos quadros das caixas (colmeia), podem ter uma percepção sensorial ainda em desenvolvimento, o que pode impactar suas respostas. Somanathan e Balamurali (2023) [22] mostraram que as preferências de comprimentos de onda nas abelhas sociais, são determinadas tanto pela genética quanto pela exposição e aprendizado durante o forrageamento. Esse comportamento foi observado durante a coleta de dados no dispositivo (arena), onde determinada quantidade de abelhas (provavelmente as mais jovens dentre as coletadas) demorou a selecionar um comprimento de onda de luz específico, sugerindo que elas podem levar algum tempo para associar os comprimentos de onda aos recursos alimentares disponíveis. Como destacado por Hempel et al. (2014) [23], a visão de comprimentos de onda nas abelhas é um mecanismo dinâmico, que envolve fatores sensoriais e comportamentais na interação com o ambiente.

As lâmpadas LEDs desempenham um papel importante na redução da atração de insetos, quando comparados a outras fontes de luz. Essas lâmpadas emitem menos luz de comprimento de onda curto (frias), como o ultravioleta, o que atrai menos insetos [19]. Luzes com comprimentos de onda mais longos (quentes), como tons de vermelho e amarelo, também atraem menos insetos na maioria dos casos [25]. Além disso, a intensidade e oscilação da luz influenciam na atração de insetos, e apesar dos LEDs serem menos atrativos para a maioria dos insetos, essa redução não é consistente entre todos os insetos [26]. Por exemplo, mariposas mostraram apenas uma redução moderada ou nenhuma diferença na atração por diferentes sistemas de iluminação [27]. Diferentes famílias e ordens de insetos têm sensibilidades espectrais distintas, o que influencia suas respostas à luz. Besouros, borboletas, mariposas, moscas, percevejos, abelhas e formigas estão entre os mais sensíveis à poluição luminosa. A simples mudança para LEDs com luz mais quente pode reduzir ainda mais a atração de insetos, já que comprimentos de onda mais altos são menos atrativos [28].

Observou-se que as abelhas mostram uma preferência maior pelo comprimento de onda branco em comparação com os outros comprimentos de onda em todos os intervalos de tempo monitorados. À medida que as abelhas foram expostas por um período mais longo ao comprimento de onda branco, aproximadamente após 25 minutos, a atração delas por esse comprimento de onda aumentou consideravelmente. Por outro lado, o comprimento de onda vermelho demonstrou consistentemente a menor atratividade em relação aos demais comprimentos de onda ao longo de todo o período observado. Embora tenha havido um aumento gradual na atratividade das abelhas pelo comprimento de onda vermelho durante o estudo, esse incremento foi notavelmente inferior quando comparado aos aumentos observados para os outros comprimentos de onda, especialmente o branco (Figura 3).

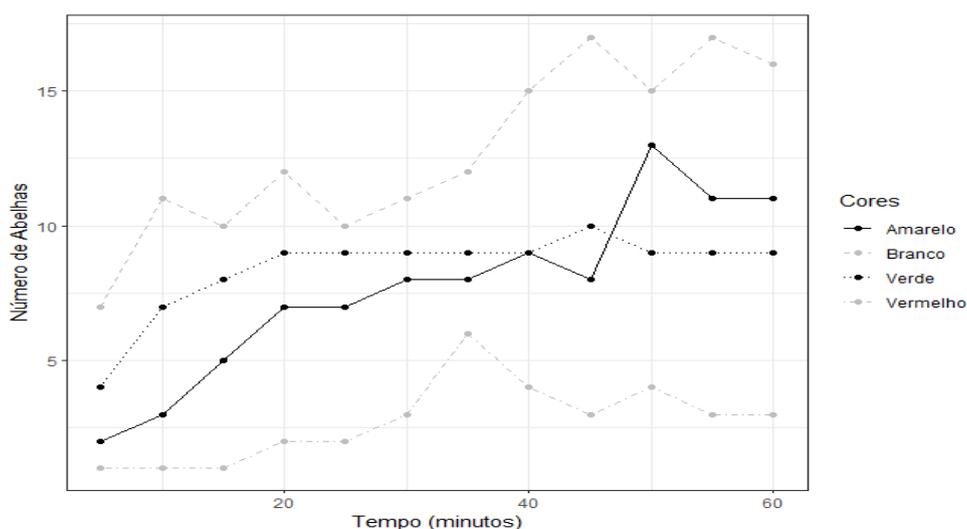


Figura 3. Variação da atratividade dos comprimentos de onda às abelhas *Apis mellifera* africanizada ao longo do tempo.

A atração ou não, das abelhas, pelos comprimentos de onda de lâmpadas, utilizadas nesse trabalho, pode ter relação direta com o tipo de lâmpada (LED) utilizada e a faixa espectral que cada uma possui [29]. A atração dos insetos pela luz é complexa e depende de vários aspectos, como intensidade, polarização e composição espectral. Muitos insetos, como as abelhas, são sensíveis ao comprimento de onda ultravioleta, o que os torna atraídos por certos tipos de luz [30]. Antes, diferentes tipos de lâmpadas tinham saídas de luz previsíveis: as de mercúrio atraíam mais insetos que as de sódio (HPS) de alta pressão, e as de iodetos metálicos atraíam mais que HPS ou LEDs [31]. No entanto, os LEDs, com sua variabilidade espectral, evoluíram bastante. Reduziram o pico azul e oferecem opções com diferentes combinações de comprimentos de onda, permitindo ajustes na atratividade principalmente para esses polinizadores [32].

Analisando o impacto de diferentes tipos de lâmpadas LED na população e diversidade de insetos durante períodos específicos da noite, considerando suas reações à luz e ritmos biológicos,

Gaston et al. (2017) [33] constataram alterações no comportamento e processos fisiológicos de várias espécies. A luz branca, especialmente quando contém uma alta proporção de luz azul, pode perturbar os ciclos naturais dos insetos, atraindo-os para áreas iluminadas e afetando seu comportamento, migração, reprodução e interações com o ambiente, levantando preocupações para a biodiversidade e ecossistemas em estudos de conservação ambiental. O estudo identificou grupos como Hymenoptera, Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Hemiptera como particularmente suscetíveis à atração pela luz artificial, indicando um potencial impacto negativo dessas fontes luminosas sobre esses grupos específicos de insetos [34].

A lâmpada com a luz branca, quando seu comprimento de onda está em torno de 400 nm, é visualizada pelas abelhas em várias plantas (como o gênero *Solanum*) cujas anteras, que variam no comprimento de onda, mas geralmente estão na faixa 570 a 620 (amarelo a alaranjado), destacando-se para os polinizadores devido ao contraste com a corola. Essas flores absorvem a luz ultravioleta e da faixa espectral visível [35]. Elas possuem pétalas fundidas e corolas rotacionadas, geralmente com comprimentos de onda em torno de 450 nm (azul), 400 – 700 nm (branco) ou 570 – 590 nm (amarelo), refletindo a luz ultravioleta, o que as tornam atraentes aos insetos [35].

No entanto, a lâmpada utilizada no presente trabalho, com o comprimento de onda vermelha possui a faixa espectral de 630 a 700 que não é tão visível para as abelhas [36]. Os comprimentos de onda verde e amarelo que estavam nas faixas espectrais (470nm) e (570nm), respectivamente, tiveram maior preferência pelas abelhas que o vermelho [37].

No que tange a preferência das abelhas pelo comprimento de onda branco, neste experimento, Tai et al. (2020) [38] destacam que, além da faixa espectral, o modo como as abelhas percebem os sinais através dos comprimentos de onda (cores) e o ambiente em que estão inseridas podem influenciar suas preferências. Já a baixa atividade pelo comprimento de onda vermelho está associada ao seu espectro de refletância (absorção de UV), que tem um percentual menor [39] que os demais comprimentos de onda estudados.

Outros insetos também apresentam comportamentos semelhantes aos apresentados nesse trabalho. As lâmpadas LED com comprimento de onda azul e as incandescentes com comprimento de onda branco foram mais atrativas para besouros pragas, podendo ser utilizadas como lâmpadas inseticidas. Já as lâmpadas com comprimento de onda vermelho foram menos atrativas para esses insetos [40]. Isso porque as abelhas, bem como outros insetos, possuem um espectro visual diferente aos dos seres humanos. Enquanto os humanos são capazes de perceber comprimentos de onda acima de 600 nm, correspondentes à luz vermelha, esses insetos possuem receptores de luz especializados em ultravioleta (UV) em vez de cones sensíveis à luz vermelha [13].

As abelhas possuem três tipos de receptores fotossensíveis, com sensibilidades espectrais em torno de 300 nm, 400 nm e 500 nm. Essa faixa de sensibilidade não abrange a extensão de onda associada ao vermelho [41], o que dificulta a percepção desse espectro. No entanto, de Camargo et al. (2019) [42] argumentam que, caso haja uma fonte de luz mais intensa, as abelhas perceberão objetos e flores vermelhas, uma vez que o comprimento de onda da luz vermelha emite um pico de sensibilidade em torno de 650 nm, o que pode estimular seus receptores, mesmo que não seja uma luz primária para elas.

Tanto em insetos quanto em seres humanos, a capacidade de enxergar “cores” desempenha um papel crucial na orientação do comportamento. Isso permite a diferenciação de estímulos com distintas propriedades espectrais, independentemente de intensidade luminosa. Nos seres humanos, a percepção de cores é caracterizada pela distinção de tonalidade, saturação e luminosidade, os quais também podem memorar sensações adicionais, emoções e recordações [43].

A visão de comprimentos de onda também influencia o comportamento de polinizadores, uma vez que mudanças na cor das flores podem indicar maturidade ou qualidade para obtenção de néctar e pólen. Isso ressalta a importância da visão “colorida” na interação desses insetos e os recursos naturais disponíveis no ambiente. As habilidades visuais estão adaptadas especificamente para atender às suas necessidades, como encontrar alimentos, identificar companheiros, buscar abrigo e evitar predadores [44].

Embora outros estudos afirmem que o comprimento de onda desempenha um papel significativo na forma como as plantas interagem com os polinizadores, as flores vermelhas geralmente atraem pássaros polinizadores, porém desencorajam as abelhas, devido à sua insensibilidade à luz vermelha. Isso ocorre porque as flores vermelhas servem a um duplo propósito: elas atraem pássaros e repelem as abelhas, seja pela menor eficiência de polinização das abelhas ou pelo seu hábito de coletar pólen [45]. No entanto, algumas flores predominantemente visitadas por pássaros ainda recebem visitas de abelhas, indicando que, apesar de raro, há casos de flores vermelhas sendo polinizadas por abelhas, embora esse fenômeno permaneça pouco estudado em comparação com flores vermelhas polinizadas por pássaros [46].

Esse fenômeno de atração seletiva por certos comprimentos de onda pode ser ampliado ao considerar a influência da iluminação artificial sobre os insetos, incluindo as abelhas. Controlar a iluminação nos apiários, utilizando luzes menos atraentes, como lâmpadas LED com ajustes espectrais adequados, pode reduzir a perturbação às abelhas. Ao minimizar a exposição das abelhas à luz noturna intensa, como as brancas, os apicultores podem ajudar a manter a eficácia da polinização, garantindo que suas colônias estejam saudáveis e ativas durante o dia, realizando serviços ambientais e sem perda na produtividade da colmeia.

4. CONCLUSÃO

O comprimento de onda da luz afeta a atratividade das abelhas, com alguns comprimentos sendo mais atrativos que outros. Entre os comprimentos de onda das lâmpadas LED avaliados, o branco foi mais atrativo e o vermelho o menos atrativo para as abelhas africanizadas. Esse menor interesse pela luz vermelha sugere uma opção viável para o manejo noturno pelos apicultores.

5. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Núcleo de Estudos dos Insetos (INSECTA) - Grupo de Pesquisa, à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias (PPGCAG), e ao Mestre, Professor Ariomar da Luz Oliveira, por suas contribuições na revisão do texto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. de Moraes RN, Stein CR, Borges AF, Borges MTS. Produto indicação geográfica para produtores apícolas: Product geographic indication for beekeeping producers. *Braz J Dev.* 2022 Aug;8(8):58569-78. doi: 10.34117/bjdv8n8-239
2. Vercelli M, Novelli S, Ferrazzi P, Lentini G, Ferracini C. A qualitative analysis of beekeepers' perceptions and farm management adaptations to the impact of climate change on honey bees. *Insects.* 2021 Mar;12(3):228. doi: 10.3390/insects12030228
3. Ababor S, Tekle Y. Beekeeping practice, opportunities, marketing and challenges in Ethiopia. *Dairy Vet Sci.* 2018 Apr;5(3):555662. doi: 10.19080/JDVS.2018.05.555662
4. Flores JM, Gil-Lebrero S, Gámiz V, Rodríguez MI, Ortiz MA, Quiles FJ. Effect of the climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment. *Sci Total Environ.* 2019 Feb;653:1111-9. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.004
5. Kuma T, Abebe G, Kitila C. Assessments on honey bee (*Apis mellifera*) production and its major constraints of Holota Beekeeping Association producers, Ethiopia. *GeoJournal.* 2023 Nov;88:2983-992. doi: 10.1007/s10708-022-10788-0
6. de Araújo AEP, Melquíades CCV, Bendini JN. Ocorrência de acidentes com abelhas entre os apicultores do semiárido piauiense. *RCA.* 2022 dez;32(4):37-48. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/cienciaanimal/article/view/9951>.
7. Bianchi E, Agra MN, García C, Gennari G, Maldonado L, Rodríguez GA, et al. Defensive behavior and morphometric variation in *Apis mellifera* colonies from two different agro-ecological zones of North-Western Argentina. *Front Ecol Evol.* 2021 Sep;9:590225. doi: 10.3389/fevo.2021.590225

8. Avalos A, Bianchi E, Agra MN, García C, Gennari G, Maldonado L, et al. Genomic regions influencing aggressive behavior in honey bees are defined by colony allele frequencies. *Proc Natl Acad of Sci.* 2020 Jul;117(29):17135-41. doi: 10.1073/pnas.1922927117
9. Djoko IB, Weladji RB, Pare P. Diurnality in the defensive behaviour of African honeybees *Apis mellifera adansonii* and implications for their potential efficacy in beehive fences. *Oryx.* 2023 Jul;57(4):445-51. doi: 10.1017/S0030605321001721
10. Bianchi EM, Ferrari C, Aguirre NC, Fillippi CV, Vera PA, Puebla AF, et al. Phenotypic and genetic characterization of Africanized *Apis mellifera* colonies with natural tolerance to *Varroa destructor* and contrasting defensive behavior. *Front Insect Sci.* 2023 Aug;3:1175760. doi: 10.3389/finsc.2023.1175760
11. Sondhi Y, Ellis EA, Bybee SM, Theobald JC, Kawahara AY. Light environment drives evolution of color vision genes in butterflies and moths. *Commun Biol.* 2021 Feb;4(1):177. doi: 10.1038/s42003-021-01688
12. Kelber A, Somanathan H. Spatial vision and visually guided behavior in Apidae. *Insects.* 2019 Nov;10(12):418. doi: 10.3390/insects10120418
13. Ribí W, Zeil J. Diversity and common themes in the organization of ocelli in Hymenoptera, Odonata and Diptera. *J Comp Physiol A.* 2018 Mar;204(5):505-17. doi: 10.1007/s00359-018-1258-0
14. Warrant E, Somanathan H. Colour vision in nocturnal insects. *Philos Trans R Soc B.* 2022;377(1862):20210285. doi: 10.1098/rstb.2021.0285
15. Trivellini A, Toscano S, Romano D, Ferrante A. LED lighting to produce high-quality ornamental plants. *Plants.* 2023 Apr;12(8):1667. doi: 10.3390/plants12081667
16. Mauchly JW. Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. *Ann Math Stat.* 1940;11(2):204-9. Disponible em: <https://www.jstor.org/stable/2235878>.
17. Bonferroni C. Sulle medie multiple di potenze. *Boll Unione Mat Ital.* 1950;5(3-4):267-70. Disponible em: <http://eudml.org/doc/196058>.
18. R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna (AT): R Foundation for Statistical Computing; 2023. Disponible em: <https://www.R-project.org/>.
19. Owens AC, Cochard P, Durrant J, Farnworth B, Perkin EK, Seymoure B. Light pollution is a driver of insect declines. *Bio Conserv.* 2020 Jan;241:108259. doi: 10.1016/j.biocon.2019.108259
20. Farnworth B, Innes J, Kelly C, Littler R, Waas JR. Photons and foraging: Artificial light at night generates avoidance behaviour in male, but not female, New Zealand weta. *Environ Pollut.* 2018 May;236:82-90. doi: 10.1016/j.envpol.2018.01.039
21. Seymoure BM. Enlightening butterfly conservation efforts: the importance of natural lighting for butterfly behavioral ecology and conservation. *Insects.* 2018 Feb;9(1):22. doi: 10.3390/insects9010022
22. Somanathan H, Balamurali GS. Comparative psychophysics of colour preferences and colour learning in bees with special focus on asian social bees. *J Indian Inst Sc.* 2023 May;103(4):971-80. doi: 10.1007/s41745-023-00386-5
23. Hempel de Ibarra N, Vorobyev M, Menzel R. Mechanisms, functions and ecology of colour vision in the honeybee. *J Comp Physiol A.* 2014 May;200(5):411-33. doi: 10.1007/s00359-014-0915-1
24. Van Der Kooij CJ, Stavenga DG, Arikawa K, Belušič G, Kelber A. Evolution of insect color vision: from spectral sensitivity to visual ecology. *Annu Rev Entomol.* 2021 Sep;66:435-61. doi: 10.1146/annurev-ento-061720-071644
25. Justice MJ, Justice TC. Attraction of insects to incandescent, compact fluorescent, halogen, and LED lamps in a light trap: implications for light pollution and urban ecologies. *Entomol News.* 2016 Mar;125(5):315-26. doi: 10.3157/021.125.0502
26. Schulte-Römer N, Meier J, Söding M, Dannemann E. The LED paradox: how light pollution challenges experts to reconsider sustainable lighting. *Sustainability.* 2019 Nov;11(21):6160. doi: 10.3390/su11216160
27. Van LF, Van GRH, Veenendaal EM, Fijen TP. Artificial night lighting inhibits feeding in moths. *Biol Lett.* 2017 Mar;13(3):20160874. doi: 10.1098/rsbl.2016.0874
28. Martín B, Pérez H, Ferrer M. Light-emitting diodes (LED): a promising street light system to reduce the attraction to light of insects. *Diversity.* 2021 Feb;13(2):8. doi: 10.3390/d13020089
29. Donners M, van Grunsven RH, Groenendijk D, van Langevelde F, Bikker JW, Longcore T, et al. Colors of attraction: Modeling insect flight to light behavior. *J Exp Zool A Ecol Integr Physiol.* 2018 Oct;329(8-9):434-40. doi: 10.1002/jez.2188
30. Huang X, Zhou T, Ullah H, Zhu D, Tang Y, Xu H, et al. Investigating the influence of varied light-emitting diode (LED) wavelengths on phototactic behavior and opsin genes in Vespinae. *Animals.* 2024 May;14(11):1543. doi: 10.3390/ani14111543

31. Boyes DH, Evans DM, Fox R, Parsons MS, Pocock MJ. Is light pollution driving moth population declines? A review of causal mechanisms across the life cycle. *Insect Conserv Divers*. 2021 Mar;14(2):167-87. doi: 10.1111/icad.12447
32. Deichmann JL, Ampudia GC, Andía Navarro JM, Alonso A, Linares-Palomino R, Longcore T. Reducing the blue spectrum of artificial light at night minimises insect attraction in a tropical lowland forest. *Insect Conserv Divers*. 2021Mar;14(2):247-59. doi: 10.1111/icad.12479
33. Gaston KJ, Davies TW, Nedelec SL, Holt LA. Impacts of artificial light at night on biological timings. *Annu Rev Ecol Evol Syst*. 2017 Nov;48:49-68. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-110316-022745
34. Longcore T, Rodríguez A, Witherington B, Penniman JF, Herf L, Herf M. Rapid assessment of lamp spectrum to quantify ecological effects of light at night. *J Exp Zool Part A: Ecol. Integr Physiol*. 2018 Oct;329(8-9):511-21. doi: 10.1002/jez.2184
35. Anderson GJ, Anderson M, Mione T. The staminal column in *Solanum* pollination: important in attraction, essential as a landing platform. *Plant Biosystems*. 2023 Feb;157(3):632-9. doi: 10.1080/11263504.2023.2176942
36. Acharya RS, Burke JM, Leslie T, Loftin K, Joshi NK. Wild bees respond differently to sampling traps with vanes of different colors and light reflectivity in a livestock pasture ecosystem. *Scientific Reports*. 2022 Jun;12(1):9783. doi: 10.1038/s41598-022-10286
37. Howard SR, Garcia JE, Dyer AG. Comparative psychophysics of core preferences in two non-eusocial native Australian halictid bee species. *J Comp Physiol A*. 2021 Jul;207(5):657-66. doi: 10.1007/s00359-021-01504-3
38. Tai KC, Shrestha M, Dyer AG, Yang EC, Wang CN. Floral color diversity: how are signals shaped by elevational gradient on the tropical–subtropical mountainous island of Taiwan? *Front Plant Sci*. 2020 Dec;11:582784. doi: 10.3389/fpls.2020.582784
39. Tian M, Yao L, Han A, Zhu X, Chen C, Ye M, et al. Near-infrared reflectance and thermal insulating performance of Mo-doped Bi₂WO₆ with 3D hierarchical flower-like structure as novel ceramics pigment. *Ceramics Int*. 2020 Jun;46(8):12566-73. doi: 10.1016/j.ceramint.2020.02.019
40. Timothy CA, Samiala N, Okrikata E. Flight to light response of red pumpkin beetle (*Aulacophora africana* Weise) to differently coloured light-emitting diode and incandescent bulb lights. *Adv J Grad Res*. 2020 Jan;7(1):64-9. doi: 10.21467/ajgr.7.1.64-69
41. Chen Z, Liu CQ, Sun H, Niu Y. The ultraviolet colour component enhances the attractiveness of red flowers of a bee-pollinated plant. *J Plant Ecol*. 2020 Jun;13(3):354-60. doi: 10.1093/jpe/rtaa023
42. de Camargo MGG, Lunau K, Batalha MA, Brings S, de Brito VLG, Morellato LPC. How flower colour signals allure bees and hummingbirds: a community-level test of the bee avoidance hypothesis. *New Phytol*. 2019 Nov;222(2):1112-22. doi: 10.1111/nph.15594
43. Schnaitmann C, Pagni M, Reiff DF. Color vision in insects: insights from *Drosophila*. *J Comp Physiol A*. 2020 Feb;206(2):183-98. doi: 10.1007/s00359-019-01397-3
44. Shrestha M, Dyer AG, Garcia JE, Burd M. Floral colour structure in two Australian herbaceous communities: it depends on who is looking. *Ann Bot*. 2019 Jul;124(2):221-32. doi: 10.1093/aob/mcz043
45. Gegeer RJ, Burns R, Swoboda-Bhattarai KA. "Hummingbird" floral traits interact synergistically to discourage visitation by bumble bee foragers. *Ecology*. 2017 Nov;98(2):489-99. doi: 10.1002/ecy.1661
46. Krauss SL, Phillips RD, Karron JD, Johnson SD, Roberts DG, Hopper SD. Novel consequences of bird pollination for plant mating. *Trends Plant Sci*. 2017 Apr;22(5):395-410. doi: 10.1016/j.tplants.2017.03.005