



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE BIOCÊNCIAS
CURSO DE ECOLOGIA

Izábya Grasiely Fontes Palhano

**Impacto da Temperatura nos Estágios Imaturos de
Melipona subnitida (Apidae, Meliponini)**

MOSSORÓ-RN

2024

IZÁBYA GRASIELY FONTES PALHANO

Impacto da Temperatura nos Estágios Imaturos de
***Melipona subnitida* (Apidae, Meliponini)**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró para a obtenção do título de
Ecóloga.

Orientador: Leonardo Lelis de Macedo Costa

MOSSORÓ-RN

2024

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

P153i Palhano, Izábya.

Impacto da Temperatura nos Estágios Imaturos
de *Melipona subnitida* (Apidae, Meliponini) /
Izábya Palhano. - 2024.

29 f. : il.

Orientador: Leonardo Lelis de Macedo Costa.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ecologia, 2024.

1. abelhas sem ferrão. 2. discos de cria. 3.
perda de água. 4. danos. 5. condições extremas. I.
Costa, Leonardo, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade

Izábya Grasiely Fontes Palhano

**Impacto da Temperatura nos Estágios Imaturos de
Melipona subnitida (Apidae, Meliponini)**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
Campus Mossoró para a obtenção do título de
Ecóloga.

Defendida em: 25 /10 /2024

BANCA EXAMINADORA

Leonardo Lelis de Macedo Costa – Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Hérica Girlane Tertulino Domingos – Dra. (UVA)
Primeiro Membro

Airton Torres Carvalho – Prof. Dr. (UFERSA)
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por estar comigo nessa longa caminhada, por nunca ter desamparado esta sua filha.

Agradeço aos meus PAIS por terem me apoiado e por sempre estarem presentes, mesmo de longe, mas nunca me deixando sozinha. Lembro como se fosse hoje o dia em que vocês me levaram até a rodovia; foi um dia de muitos choros, mas foi o início de tudo. Sou eternamente grata por ser filha de vocês. Muitíssimo obrigada pelos conselhos sempre sábios; graças a eles, hoje estou concluindo meu curso. Graças a vocês, eu não desisti, eu continuei e foi a melhor coisa. Muito obrigada! Nem todas as palavras do mundo expressariam minha gratidão a vocês; amo vocês.

Agradeço à minha irmã IZAELLY por sempre está presente quando eu precisei. Seu apoio e ajuda foram e são muitos importantes. Mesmo sendo a irmã mais nova, você é e sempre será um exemplo para mim.

Agradeço a toda minha FAMÍLIA pelo apoio; vocês foram muito importantes nessa caminhada.

Agradeço a THIARA e GUILHERME, meus irmãos que a faculdade me deu. Morar e conhecer vocês tornaram tudo mais incrível e tranquilo. Nossa amizade fez com que todos os perrengues que passamos fossem fchinha. Espero sempre ter vocês na minha vida.

Agradeço a todos os meus amigos e amores: LANNA, ARTHUR, JUAN, RAUL, RODRIGO, TALITA, KAUANE, PEDRO, KLEITON, THEREZA, GENIZIA e PAMELA foi muito gratificante conhecer vocês; tornaram a vida universitária e pessoal maravilhosa.

Agradeço ao meu coorientador/orientador⁺, JOÃO, por ter aceitado essa barra que foi me orientar (espero que continue, kkk). Sou muito grata por ter você na minha vida e espero sempre continuar aprendendo e crescendo com você, pois você tem muito a ensinar e eu tenho muito a aprender.

Agradeço ao meu orientador LEONARDO LELIS por ter me acolhido no laboratório e por ter me mostrado o mundo da Bioclimatologia.

Agradeço a todos os presentes do laboratório THERMOBIO, “o melhor laboratório”. Mas gostaria de agradecer, em especial, ao meu amigo MAIKO, que, apesar de anos de convivência, descobriu recentemente que eu existo. Os dias com você no lab ficam mais divertidos. Gostaria de agradecer também a THIBERIO, que é o melhor técnico de laboratório. Muito obrigada por sempre estar presente quando precisamos; você é top!

RESUMO

As mudanças climáticas impactam significativamente o planeta, levando a fenômenos como chuvas extremas e secas prolongadas, que afetam a biodiversidade e aumentam o risco de extinção de várias espécies, incluindo as abelhas. Este estudo foca nas abelhas sem ferrão, especialmente a espécie *Melipona subnitida*, que desempenha um papel vital na polinização no bioma da Caatinga, onde a escassez de recursos florais e altas temperaturas ameaçam sua sobrevivência. O objetivo deste estudo foi avaliar a perda de água dos discos de cria, bem como identificar os danos causados por diferentes temperaturas e tempos de exposição aos estágios imaturos de *Melipona subnitida*. Foram analisados 36 discos de cria classificados em estágios jovens, intermediários e maduros, expostos a temperaturas de 35°C, 40°C, 45°C e 50°C por 2, 6 e 12 horas. As potenciais diferenças na perda de água dos discos de cria foi verificada por meio do teste de Mann-Whitney para comparações múltiplas ($P < 0,05$) e um modelo de regressão logística binária foi utilizado para avaliar o efeito da temperatura e tempo sobre a ocorrência de danos. Os resultados mostraram que a perda de água foi significativamente maior a 50°C após 12 horas. Além disso, 22,3% dos indivíduos analisados (ovo, larva e pupa) apresentaram danos, sendo a evaporação (3,44%), fundiu (0,74%), coloração amarelada (10,14%), coloração alaranjada (6,99%), e a redução de tamanho (0,99%), com a temperatura sendo o principal fator de risco. As análises mostraram que tanto a temperatura quanto o tempo aumentam a probabilidade de danos, mas a temperatura tem um impacto mais acentuado. Consequentemente, altas temperaturas afetam gravemente os estágios imaturos de *Melipona subnitida*, comprometendo o desenvolvimento e a viabilidade das colônias. A equação de predição desenvolvida neste estudo pode ser uma ferramenta útil para gerenciar e mitigar os riscos associados a condições climáticas extremas para esta e outras espécies de abelhas no bioma Caatinga.

Palavras-chave: abelhas sem ferrão; discos de cria; perda de água; danos; condições extremas.

ABSTRACT

Climate change significantly impacts the planet, leading to phenomena such as extreme rainfall and prolonged droughts, which affect biodiversity and increase the risk of extinction for various species, including bees. This study focuses on stingless bees, particularly the species *Melipona subnitida*, which plays a vital role in pollination in the Caatinga biome, where resource scarcity and high temperatures threaten its survival. The aim of this study was to assess water loss from brood discs and identify the damage caused by different temperatures and exposure times on the immature stages of *Melipona subnitida*. A total of 36 brood discs were analyzed, classified into young, intermediate, and mature stages, and exposed to temperatures of 35°C, 40°C, 45°C, and 50°C for 2, 6, and 12 hours. Potential differences in water loss from the brood discs were assessed using the Mann-Whitney test for multiple comparisons ($P < 0.05$), and a binary logistic regression model was employed to evaluate the effect of temperature and time on damage occurrence. The results showed that water loss was significantly greater at 50°C after 12 hours. Additionally, 22.3% of the analyzed individuals (egg, larva, and pupa) exhibited damage, with evaporation (3.44%), melting (0.74%), yellowing (10.14%), orange coloration (6.99%), and size reduction (0.99%), with temperature being the primary risk factor. The analyses demonstrated that both temperature and time increase the likelihood of damage, but temperature has a more pronounced impact. Consequently, high temperatures severely affect the immature stages of *Melipona subnitida*, compromising the development and viability of colonies. The predictive equation developed in this study could be a useful tool for managing and mitigating the risks associated with extreme weather conditions for this and other bee species in the Caatinga biome.

Keywords: stingless bees; brood discs; water loss; damage; extreme conditions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área do estudo.	14
Figura 2. Pesagem dos discos de crias.....	16
Figura 3. Data looger com a tecnologia Bluetoooh.....	16
Figura 4. Boxplots de perda de água em função da temperatura e do tempo. As caixas representam a variação interquartil (Q1 a Q3), onde a linha central indica a mediana dos dados. As linhas de dispersão se estendem até os valores máximos e mínimos, excluindo os outliers. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre temperaturas dentro de cada tempo. Letras minúsculas indicam diferenças entre tempos dentro de cada temperatura ($P < 0,05$)...	20
Figura 5. Distribuição de perda de água por idades dos discos de cria. As caixas representam o intervalo interquartil (Q1 a Q3), com a linha central indicando a mediana dos dados. As extensões (ou "bigodes") se estendem até os valores máximos e mínimos, excluindo outliers. Letras diferentes indicam uma diferença significativa entre as idades dos discos de cria ($P < 0,05$).....	21
Figura 6. Disco operculado (a), disco desoperculado (b).....	22
Figura 7. Ovos sem alteração visível (a) larva e pupas sem alterações visíveis (b).....	22
Figura 8. Pupa com coloração alaranja (círculo laranja) e amarelada (círculo amarelo).	22
Figura 9. Evaporação.....	23
Figura 10. Fundiu.	23
Figura 11. Análise de sensibilidade da probabilidade de ocorrência de danos em função da temperatura, considerando diferentes tempos de exposição (2, 6 e 12 horas).....	24
Figura 12. Análise de sensibilidade da probabilidade de ocorrência de danos em função do tempo de exposição, considerando diferentes temperaturas (35, 40, 45 e 50 °C).	25

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Dados observados após a desorperculação dos discos de cria.....	17
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO E HIPÓTESE	13
2.1. Objetivo geral	13
2.2. Objetivo específicos	13
2.3. Hipótese	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Espécie e Área do estudo.....	14
3.2. Coleta de dados.....	15
3.2.1. Avaliação da perda d'água	16
3.2.2. Avaliação dos danos	17
3.4. Análise estatística	17
3.4.1. Perda d'água	17
3.4.2. Ocorrência de danos	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1. Perda d'água	19
4.2. Avaliação dos danos	21
5. CONCLUSÃO.....	26
6. REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas exercem impacto sobre o planeta, manifestando-se de diversas formas. Pesquisas recentes apontam que a temperatura da Terra pode aumentar em até 1,5°C ao longo dos anos, o que pode resultar em problemas catastróficos (ACOSTA et al., 2017). Atualmente, alguns destes problemas são observados como chuvas extremas, secas prolongadas, ondas de calor intensificadas, rápido aumento do nível dos oceanos devido ao derretimento das geleiras e aquecimento do mar (ONU, 2024). Com a essas alterações globais, muitos habitats estão ameaçados, afetando a biodiversidade local (HANNAH, 2002) e resultando em escassez dos recursos alimentares e dificuldades de adaptação a novos locais. Desta forma, as espécies estarão vulneráveis ao risco de extinção (DOS SANTOS, 2014).

Alterações no clima do planeta impactarão de forma significativa a classe Insecta; onde mudanças na temperatura podem prejudicar o seu ciclo de vida, dado que esses organismos não possuem mecanismos de adaptação rápida, o que os tornam mais vulneráveis à extinção (WILLMER; UNWIN, 1981; BALE et al., 2002; DEUTSCH et al., 2008). Dentro desta classe, encontram-se as abelhas, considerados os principais polinizadores do planeta (DE FREITAS, 2016; BARBOSA, 2017).

Como animais ectotérmicos, a temperatura corporal dos insetos é diretamente influenciada pela temperatura do ambiente; mudanças na temperatura corporal podem afetar significativamente esses animais (DA SILVA, 2012). Por dependerem de fontes externas de calor para regular sua temperatura interna (HEINRICH, 1993), os insetos tornam-se suscetíveis ao estresse térmico, o que pode impactar sua fisiologia, comportamento e, em casos extremos, a sobrevivência dos indivíduos (LOLI, 2008; BARBOSA, 2017).

Neste contexto, as abelhas sem ferrão (chamadas assim devido ao ferrão atrofiado), ou meliponíneos, pertencem a um grupo que abrange mais de 250 espécies, distribuídas por quase todo o território brasileiro. Essas abelhas são sociais e desempenham um papel muito importante nos ecossistemas, sendo polinizadoras essenciais que contribuem para a manutenção e reprodução das plantas, especialmente no bioma Caatinga, onde vivem e são espécies endêmicas (IMPERATRIZ-FONSECA, 2017). Muitas plantas do bioma Caatinga dependem dessa interação ecológica para seu desenvolvimento; contudo, quando essa interação não ocorre, podem acarretar problemas significativos no ecossistema. Além disso, a Caatinga passa por longos períodos de seca, o que gera grandes impactos para estes indivíduos, devido à escassez de recursos florais e às elevadas temperaturas (IMPERATRIZ-FONSECA, 2017).

Mudanças mínimas na temperatura podem levar ao declínio de uma população dentro de uma colônia de abelhas sem ferrão. Isso se deve à dificuldade que as abelhas enfrentam para manter a temperatura interna estável quando expostas a altas temperaturas ambientais (LI et al., 2011; IMPERATRIZ-FONSECA, 2017). Considerando que o ninho é fundamental para a manutenção e desenvolvimento da colônia, é crucial que a temperatura interna permaneça dentro de limites adequados para garantir o desenvolvimento dos estágios imaturos (MARDAN; KEVAN, 2002; JONES; OLDROYD, 2006; IMPERATRIZ-FONSECA, 2017; LI et al., 2019). A temperatura ideal para o desenvolvimento de larvas e pupas varia entre 32°C e 36°C, com uma média de 34,5°C (GUDOWSKA & MORÓN, 2024). Variações fora desse intervalo podem resultar em malformações severas nos indivíduos adultos e até mesmo na falha de emergência de novos indivíduos (BECHER et al., 2010).

Conforme relatado por Dantas et al., (n.d.) em seu trabalho, o qual encontrou que, em condições de altas temperaturas experimentais, as células de cria de abelhas sem ferrão (*Melipona subnitida*) apresentaram uma redução significativa em suas temperaturas, nos estágios de ovo e larvas (mais imaturos), as quais foram observadas por meio da termografia de infravermelho. Esta descoberta gerou a hipótese que a cera que compõe os discos de cria tem sua estrutura comprometida sob elevadas condições de temperatura, podendo resultar na evaporação do líquido larval.

2. OBJETIVO E HIPÓTESE

2.1. Objetivo geral

Avaliar a perda de água dos discos de cria e as características visuais que denotem danos causados por diferentes temperaturas e tempos de exposição em fases imaturas de abelhas sem ferrão (*Melipona subnitida*).

2.2. Objetivo específicos

- Quantificar a perda de água nos discos de cria submetidos a diferentes temperaturas e tempos de exposição;
- Avaliar danos visíveis nos diferentes estágios sob condições variáveis de temperatura e tempo;
- Desenvolvido uma equação de predição para ocorrência de danos.

2.3. Hipótese

Hipostenizamos que as altas temperaturas resultarão em uma maior perda de peso dos discos de cria, especialmente nos discos jovens, devido à evaporação do líquido larval. Além disso, esperamos que as temperaturas mais elevadas aumentem a ocorrência de danos visíveis nos estágios imaturos (ovo, larva e pupa) de *Melipona subnitida*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Espécie e área do estudo

Os discos de cria analisados neste estudo foram da espécie *Melipona subnitida*, uma abelha sem ferrão popularmente conhecida como abelha Jandaíra, pertencente à família Apidae da Tribo Meliponini (Von Ihering, 1886; Imperatriz-Fonseca, 2017). Foram analisados um total de 36 discos de cria, os quais foram classificados em três categorias de estágio: jovens, intermediários e maduros. Para definir essas categorias, o disco jovem deveria conter ovos e larvas; o disco intermediário deveria apresentar larvas; e o disco maduro, por sua vez, deveria incluir pupas.

O experimento foi realizado no Laboratório de Núcleo de Pesquisa em Biometeorologia Animal Aplicada (THERMOBIO), no campus central da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), situado na cidade de Mossoró, Rio Grande do Norte (latitude 05°11' S, longitude 37° 22' W e altitude 17m) (Figura 1). A classificação quanto ao clima da região, segundo Köppen, é do tipo BSwH, sendo seco e muito quente, com temperatura média anual de 28°C, com período chuvoso concentrando-se principalmente entre os meses de fevereiro e abril com índices pluviométricos variantes entre 102,8 e 167,9 mm, seguido por meses mais secos (Sobrinho et al., 2011).

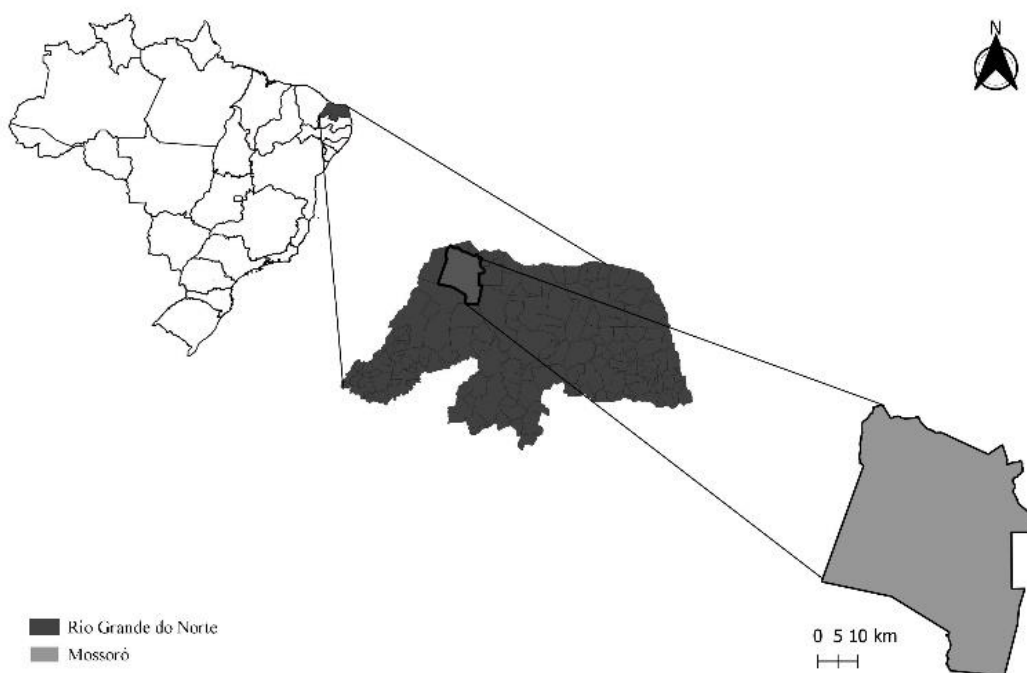


Figura 1. Área do estudo no Município de Mossoró, Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil.

3.2. Coleta de dados

Os discos de cria foram extraídos de seis colônias mantidas em caixas horizontais de madeira, de acordo com o “modelo nordestino” (Bruening, 2001). Foi necessário que todas as colônias tivessem uma rainha fisiogástrica (Pérez, 2021) e apresentassem uma quantidade mínima de quatro discos de cria antes da retirada de um disco para análise. As colônias foram continuamente suplementadas com pólen apícola e solução de sacarose (50%), quando necessário, para garantir que a produção de crias continuasse ativa.

As coletas de dados ocorreram no primeiro semestre de 2024 (janeiro a junho). Para o experimento, os discos de cria foram extraídos das colônias de forma manual e com o cuidado necessário para que não houvesse danos e, a posteriori, colocados em uma placa de petri para serem pesados em uma balança de precisão (Electronic balance, modelo Fa-2104N, 210g (0,1Mg), bioprecisa) (Figura 2). Após isso, os discos foram levados para uma incubadora B.O.D. (NT 703, incubadora-120 litros, Novatecnica). Os discos foram posicionados sobre um papelão (A=10 cm; L=15 cm). Próximo a eles, foi instalado um *data logger* com tecnologia *Bluetooth*[®] (HOBO MX2203 TidbiT, Onset Computers, Massachusetts, Estados Unidos) (Figura 3). Esse dispositivo registrou a temperatura a cada 5 minutos durante todo o período de incubação. Os discos foram submetidos a diferentes temperaturas experimentais (35, 40, 45 e 50 °C) e cada temperatura foi sujeita aos seguintes tempos de exposição: 2, 6 e 12hr. Isto garantiu que houvesse variações térmicas necessárias para mimetizar as mudanças climáticas, com cenários de aumento das temperaturas. Além disso, a umidade relativa foi mantida em torno de 75% através da colocação de um frasco plástico contendo solução saturada de NaCl no interior da B.O.D. (Menezes et al. 2013).



Figura 2. Pesagem dos discos de crias.



Figura 3. Data logger com a tecnologia Bluetooth®.

3.2.1. Avaliação da perda d'água

Os discos de cria foram retirados manualmente da incubadora e pesados novamente para registrar o peso inicial e o peso final (em gramas) de cada disco. Isso permitia testar a hipótese levantada por Dantas et al., (2014) sobre a quantidade de líquido larval perdida durante os diferentes tempos de exposição e temperaturas a qual os discos foram submetidos. Todos os dados foram registrados em uma planilha do Excel.

3.2.2. Avaliação dos danos

Após a pesagem final dos discos, um observador utilizou uma pinça para desorpercular os discos de cria (Figura 4) e verificar a olho nu as possíveis alterações (danos) ocorridas ao longo do experimento. Os danos observados foram caracterizados como sem alteração visível, evaporação, fundiu, coloração amarelada, coloração alaranjada e redução de tamanho, sendo que as princesas foram desconsideradas da análise. (Tabela 1).

Tabela 1. Dados observados após a desorperculaçaõ dos discos de cria.

Características	Descrição
Sem alteração visível	Característica apresentada nos três estágios de desenvolvimento (ovo, larva e pupa). Determinada quando os indivíduos estavam vivos ou não apresentavam nenhuma das características seguintes.
Evaporou	Característica presente nos estágios de ovo e larva. Determinado quando o líquido larval cristalizava no interior das células de cria.
Fundiu	Característica presente apenas do estágio de ovo. Estabelecido quando o líquido larval cristalizava e não era possível a visualização dos ovos.
Coloração amarelada	Característica presente nos estágios de larva e pupa. Determinado quando os indivíduos apresentavam o corpo amarelado ou manchas amareladas.
Coloração alaranjada	Característica presente nos estágios de larva e pupa. Definido quando os indivíduos apresentavam corpo alaranjado ou manchas alaranjadas.
Redução de tamanho	Característica presente apenas no estágio de pupa. Determinado quando havia diminuição do tamanho corporal das pupas, quando comparadas com outras pupas.

3.4. Análise estatística

As pressuposições paramétricas foram testadas: a normalidade através do teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias por meio do teste Levene. Diante da não confirmação da normalidade e homogeneidade, conduziu-se uma análise não paramétrica. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R (Version 4.4.1).

3.4.1. Perda d'água

O teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para verificar os potenciais diferenças entre as temperaturas e tempos de exposição. Como diferenças significativas foram encontradas, o teste de Mann-Whitney para comparações múltiplas aos pares foi realizado para verificar a existência

de diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as temperaturas dentro de cada tempo, e entre os tempos em cada temperatura em que o disco de cria foi submetido.

3.4.2. Ocorrência de danos

Para investigar o efeito dos tempos de exposição e temperaturas na ocorrência de danos nos estágios imaturos da abelha sem ferrão *Melipona subnitida*, um modelo de regressão logística binária foi utilizado. A regressão logística foi escolhida devido à natureza binária da variável resposta (danos: "sim" ou "não"). A equação do modelo ajustado foi definida como:

$$\text{logit}(p) = \beta_0 + \beta_1 \times \text{Tempo} + \beta_2 \times \text{Temperatura}$$

onde p é a probabilidade de ocorrência de danos, β_0 é o intercepto, β_1 e β_2 são os coeficientes associados às variáveis independentes tempo e temperatura, respectivamente. O modelo foi ajustado utilizando pesos de classe para corrigir o desbalanceamento nos dados de ocorrência de danos.

Para investigar como pequenas variações nas variáveis independentes afetam a probabilidade de danos a Análise de Sensibilidade foi realizada. Nela, simulações foram feitas, onde o tempo e a temperatura foram sistematicamente alterados, mantendo as demais variáveis constantes, para avaliar a resposta do modelo às variações dessas variáveis. Em seguida, para avaliar a importância relativa de cada variável no modelo, foi realizada uma Análise de Sensibilidade Global, com base nos coeficientes da regressão logística. Essa análise permitiu identificar a contribuição relativa de tempo e temperatura na ocorrência de danos.

Por fim, a significância estatística dos coeficientes da regressão logística foi verificada utilizando o teste de Wald. Esse teste avaliou se os coeficientes associados ao tempo e à temperatura eram estatisticamente diferentes de zero, ou seja, se essas variáveis apresentavam impacto estatisticamente significativo na previsão da ocorrência de danos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Perda d'água

Houve uma diferença significativa na perda de água entre as temperaturas analisadas quando os discos de cria foram submetidos a 12 horas de exposição ($P < 0,05$), com a maior perda observada a 50 °C, que diferiu significativamente das demais temperaturas. Não houve diferença estatística entre 35, 40 e 45 °C ($P > 0,05$). A única diferença significativa da perda de água entre os diferentes tempos de exposição foi observada em 50 °C, onde a maior perda ocorreu após 12 horas, sendo significativamente diferente das exposições de 2 e 6 horas, que não apresentaram diferença significativa entre si (Figura 4). Com relação a comparação da perda de água entre as idades dos discos de cria, foi verificado apenas uma diferença estatística entre os discos jovem e maduro ($P = 0,022$) (Figura 5).

O cerume, resultado da mistura da cera produzida pelas glândulas cerígenas, resinas coletadas de plantas e material que constitui o ninho das abelhas, é considerado um bom isolante térmico, embora a capacidade de isolamento diminua quando exposta a altas temperaturas (Buchwald et al., 2008). No presente estudo, observou-se que, em temperaturas entre 35 e 45 °C, a cera foi capaz de suportar essas mudanças de temperaturas ($P > 0,05$). No entanto, ao atingir 50 °C, observou-se uma diferença significativa, onde a capacidade isolante da cera diminuiu. Isso comprometeu a transferência de calor e, consequentemente, impactou negativamente na perda de água sob altas temperaturas, o que pode gerar grandes impactos no desenvolvimento dos estágios iniciais das abelhas (Dantas et al., n.d.; Xu et al., 2023).

Esses resultados indicam que altas temperaturas podem comprometer a saúde e a sobrevivência das abelhas Jandaíra. A redução do líquido larval prejudica o desenvolvimento dos indivíduos, o que pode resultar em um declínio na taxa de sobrevivência dessa espécie. No contexto da bioclimatologia, essas variações de temperatura influenciam a biologia das abelhas e têm implicações significativas para os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas.

Além disso, os dados mostram uma diferença significativa na perda de água entre os discos nos estágios jovens e maduros ($P = 0,022$). Essa diferença pode estar relacionada à maior quantidade de líquido larval nos discos jovens, o que torna mais suscetíveis a evaporação, uma vez que nos discos maduros não há presença de líquido larval (Buchwald et al., 2008; Dantas et al., 2014; TANG et al., 2016). Isso se deve ao fato de que as larvas se alimentam de um substrato larval semilíquido. Além disso durante a ecdise, as operárias removem a cera, permanecendo apenas a seda. Essa seda pode perder água mais facilmente do que a cera

(GRÜTER, 2020). Esses achados refletem a complexa relação entre temperatura, biologia das abelhas e mudanças climáticas, ressaltando a necessidade de considerar esses fatores na conservação das populações de abelhas.

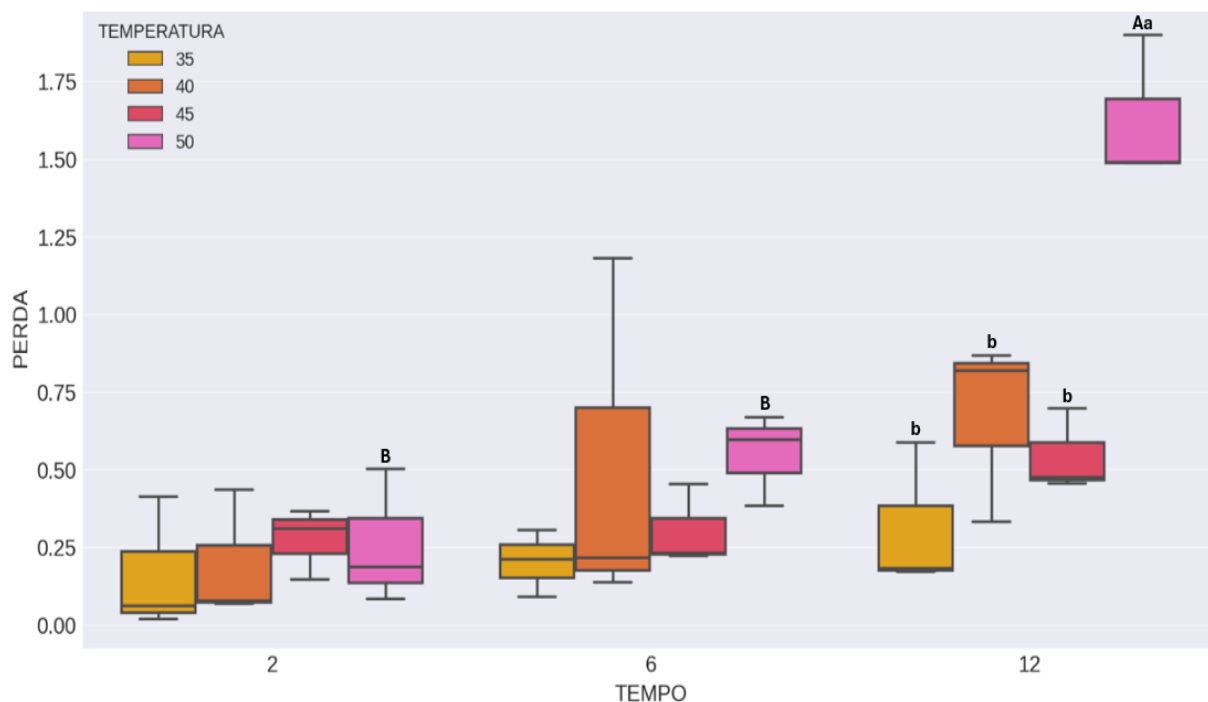


Figura 4. Boxplots de perda de água em função da temperatura e do tempo de exposição. As caixas representam a variação interquartil (Q1 a Q3), onde a linha central indica a mediana dos dados. As linhas de dispersão se estendem até os valores máximos e mínimos, excluindo os outliers. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre temperaturas dentro de cada tempo. Letras minúsculas indicam diferenças entre tempos dentro de cada temperatura ($P < 0,05$).

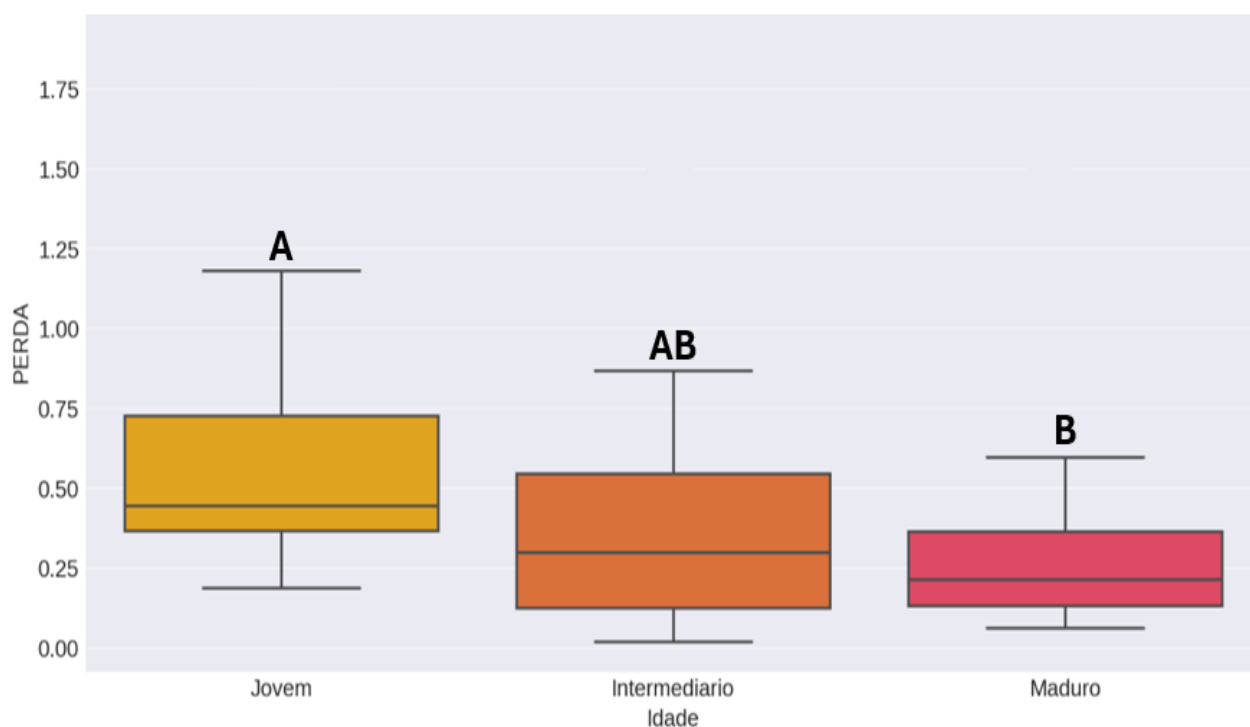


Figura 5. Distribuição de perda de água por idades dos discos de cria. As caixas representam o intervalo interquartil (Q1 a Q3), com a linha central indicando a mediana dos dados. As extensões (ou "bigodes") se estendem até os valores máximos e mínimos, excluindo outliers. Letras diferentes indicam uma diferença significativa entre as idades dos discos de cria ($P < 0,05$).

4.2. Avaliação dos danos

A desoperculação dos discos de cria resultou na identificação de danos nos indivíduos, os quais foram atribuídos aos longos períodos de exposição. Realizou-se uma análise de frequência relativa para determinar em porcentagem o aparecimento destes danos, constatou-se que 22,3% das amostras apresentaram alterações, a evaporação (3,44%), fundiu (0,74%), coloração amarelada (10,14%), coloração alaranjada (6,99%), e a redução de tamanho (0,99%). Em contrapartida, 77,69% dos indivíduos não apresentaram qualquer alteração (Figuras 6 a 10).

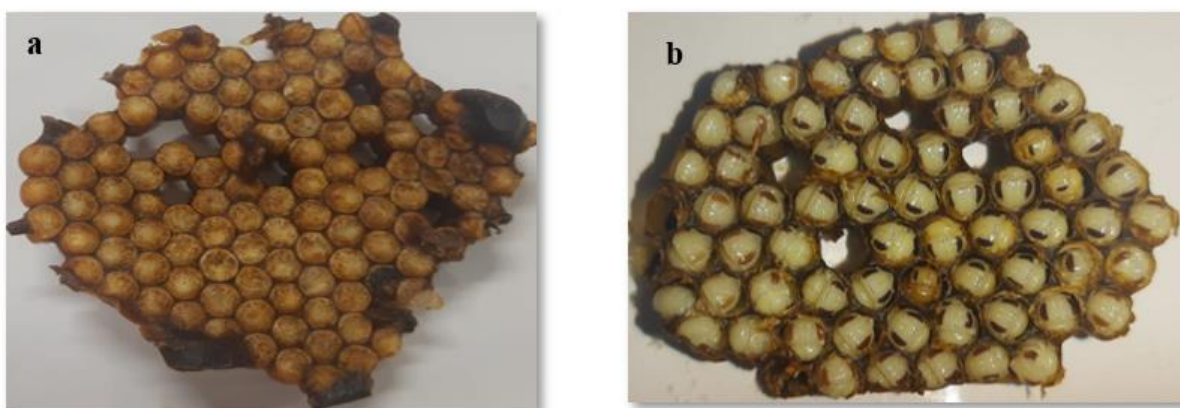


Figura 6. Disco operculado (a), disco desoperculado (b).

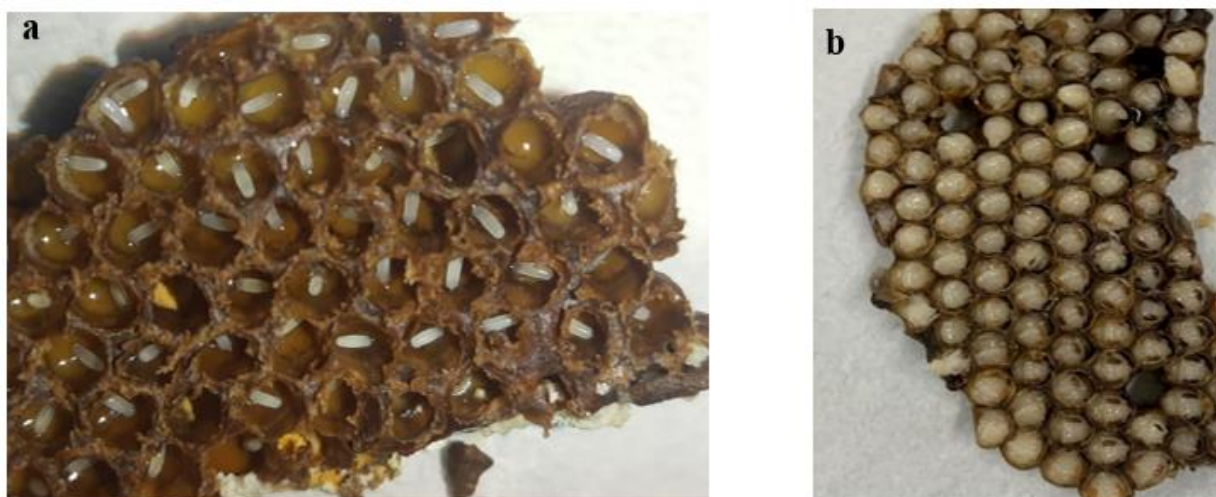


Figura 7. Ovos sem alteração visível (a) larva e pupas sem alterações visíveis (b).



Figura 8. Pupa com coloração alaranja (círculo laranja) e amarelada (círculo amarelo).



Figura 9. Evaporação.



Figura 10. Fundiu.

Uma regressão logística foi utilizada para investigar a influência da temperatura e do tempo na probabilidade de ocorrência de danos nos estágios imaturos da abelha sem ferrão *Melipona subnitida*. O modelo mostrou que a temperatura é o principal fator que aumenta a probabilidade de danos (coeficiente de 0,188, Wald $\chi^2= 213,48$; $p < 0,001$). Por outro lado, o tempo também exerce influência, embora de menor magnitude (coeficiente de 0,091; Wald $\chi^2= 19,08$; $p < 0,001$), sugerindo que conforme o tempo de exposição aumenta, a probabilidade de

danos também aumenta, embora de forma menos acentuada. O intercepto do modelo é -10,16, e a equação de predição para a probabilidade de ocorrência de danos é apresentada abaixo:

$$p(\%) = \left(\frac{1}{1 + e^{-(-10.16 + (0.188 \times \text{Temperatura}) + (0.09 \times \text{Tempo})}} \right) \times 100$$

O modelo apresentou uma acurácia de 70%, indicando que a maior parte das previsões foi corretamente classificada. Adicionalmente, a temperatura apresentou uma importância relativa maior no modelo, com 67.44%. Já o tempo tem uma importância relativa menor, representando 32.56%. Esse resultado demonstra que a temperatura é o maior fator que ocasiona a ocorrência de danos sobre os estágios imaturos de abelhas (MEDINA et al., 2018).

A Figura 11 demonstra que, quando a temperatura aumenta, a probabilidade de danos cresce rapidamente, especialmente nos tempos mais longos (6 e 12 horas). A sensibilidade do modelo é maior em exposições mais longas, onde o impacto da temperatura é mais acentuado. Em temperaturas mais altas, como 45°C e 50°C, a exposição prolongada aumenta significativamente a probabilidade de danos (Figura 12). Em temperaturas mais baixas (35°C), o tempo tem um efeito menos pronunciado.

Análise de Sensibilidade: Probabilidade de Danos em Função da Temperatura (35°C a 50°C)

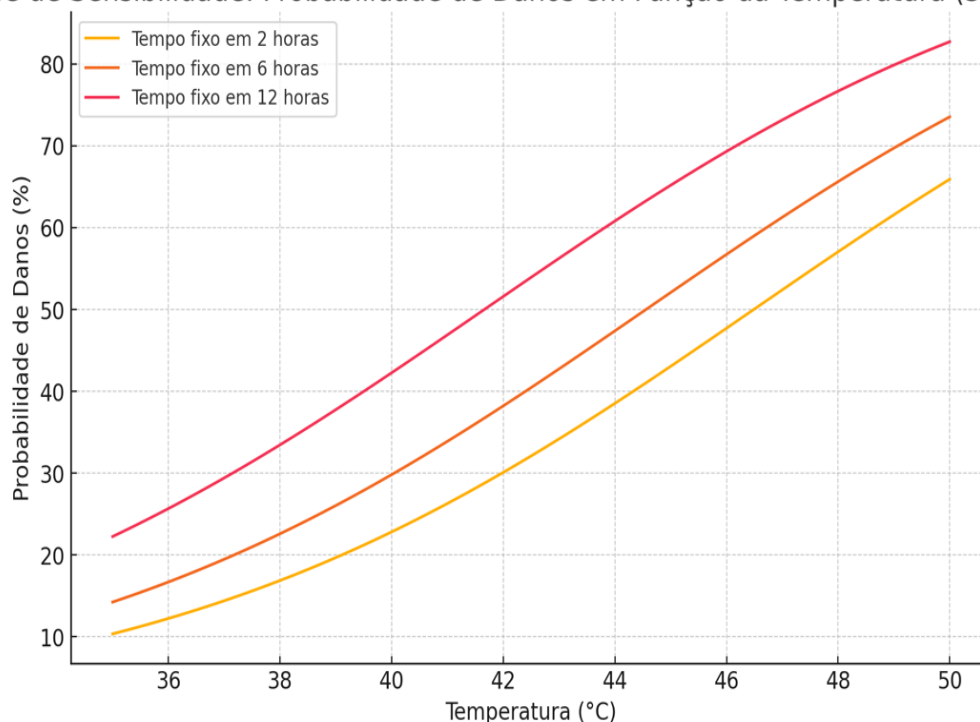


Figura 11. Análise de sensibilidade da probabilidade de ocorrência de danos em função da temperatura, considerando diferentes tempos de exposição (2, 6 e 12 horas).

Análise de Sensibilidade: Probabilidade de Danos em Função do Tempo (2 a 12 horas)

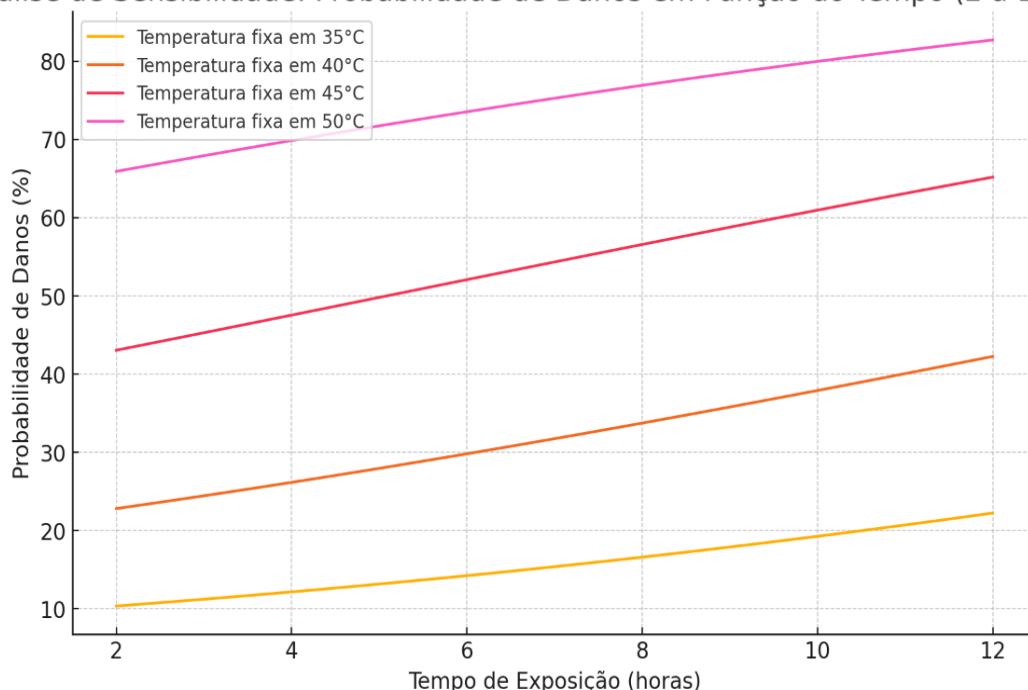


Figura 12. Análise de sensibilidade da probabilidade de ocorrência de danos em função do tempo de exposição, considerando diferentes temperaturas (35, 40, 45 e 50 °C).

Embora o tempo também contribua para a ocorrência de danos, sua influência se torna mais evidente em situações de longa exposição, especialmente quando combinada com as variações de temperatura. Isso sugere que mesmo os dois fatores sendo críticos, a temperatura deve ser priorizada nas estratégias de mitigação dos danos (UNDURRAGA e STEPHEN, 1980; MEDINA et al., 2018; GÉRARD et al., 2023). Portanto, pode-se determinar que a interação entre temperatura e tempo pode indicar a necessidade de abordagens mais complexas na gestão dos riscos associados às fases imaturas, especialmente em cenários de condições climáticas extremas (XU et al., 2023) ou ocorrências de ondas de calor (GUDOWSKA & MORÓN, 2024).

A exposição de abelhas ao estresse térmico superior a 40°C durante prolongados períodos pode resultar em danos fisiológicos, morfológicos e comportamentais (JONES; OLDROYD, 2007; GÉRARD et al., 2023; XU et al., 2023). Como consequência, prejuízos significativos no desenvolvimento das colmeias podem ocorrer (MEDINA et al., 2018; GÉRARD et al., 2023; Xu et al., 2023). Portanto, adotar estratégias para mitigar esses efeitos deletérios é fundamental.

5. CONCLUSÃO

O aumento da temperatura e do tempo de exposição afetam de maneiras distintas os estágios de desenvolvimento da abelha sem ferrão *Melipona subnitida*. Este estudo demonstrou que a exposição a altas temperaturas e exposição prolongada impacta diretamente na perda de água e na ocorrência de danos em estágios imaturos dessa abelha sem ferrão, sendo a temperatura o principal fator de risco. Temperaturas muito altas (superiores a 45°C) podem comprometer a capacidade isolante do cerume, resultando em evaporação significativa do líquido larval e danos morfológicos aos indivíduos.

Por fim, a equação de predição proposta neste estudo, com 70% de acurácia, demonstrou ser uma ferramenta eficaz para quantificar e analisar os riscos associados a diferentes condições ambientais, auxiliando na gestão e mitigação de danos nos estágios imaturos de *Melipona subnitida* e outras abelhas do bioma Caatinga.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA, A. L. et al. Mudanças climáticas na Caatinga com ênfase no Rio Grande do Norte: breve análise e síntese. In: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KOEDAM, D.; HRNCIR, M. (Eds.). **A abelha Jandaíra no passado, no presente e no futuro**, p. 185-199, 2017.
- ADDEJI, O. et al. Global climate change. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v. 2, n. 02, p. 114, 2014.
- BALE, J. S. et al. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2002.
- BARBOSA, D. B.; CRUPINSKI, E. F.; SILVEIRA, R. N.; LIMBERGER, D. C. H. As abelhas e seu serviço ecossistêmico de polinização. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 3, n. 4, p. 694-703, 30 dez. 2017.
- BECHER, Matthias A. et al. Brood temperature, task division and colony survival in honeybees: A model. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 5, p. 769-776, 2010.
- BIESMEIJER, J. C.; SLAA, E. J. The structure of eusocial bee assemblages in Brazil. **Apidologie**, v. 37, n. 2, p. 240-258, 2006.
- BRUENING, H. A jandaíra. Mossoró: Guimarães Duque, 2001.
- BUCHWALD, R.; BREED, M.; GREENBERG, A. The thermal properties of beeswaxes: unexpected findings. **Journal of Experimental Biology**, v. 211, p. 121-127, 2008.
- DA SILVA, R. J. Biodiversidade de helmintos parasitas de animais ectotérmicos: saúde global e zoonose. **The Biologist**, v. 10, n. 2, p. 1, 2012.
- DANTAS, Maiko Roberto Tavares. Termogênese e distribuição de calor pela cria de abelhas sem ferrão e sua relação com o estágio de desenvolvimento em ambiente semiárido. (n.d.).
- DE FREITAS, P. V. D. X. et al. Declínio populacional das abelhas polinizadoras: revisão. **Pubvet**, v. 11, p. 1-102, 2016.
- DEUTSCH, C. A. et al. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 18, p. 6668-6672, 2008.
- DOS SANTOS, A. M. A. et al. Reflexões sobre os efeitos das mudanças climáticas na biodiversidade da caatinga. **Anais do Encontro Científico Cultural**, v. 3, n. 1, 2014.
- GÉRARD, M. et al. Elevated developmental temperatures impact the size and allometry of morphological traits of the bumblebee *Bombus terrestris*. **Journal of Experimental Biology**, v. 226, n. 8, p. jeb245728, 2023.

- GONZALEZ, V. H. et al. Climate change will reduce the potential distribution ranges of Colombia's most valuable pollinators. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 2, p. 195-206, 2021.
- GRÜTER, Christoph; GRÜTER, Christoph. Stingless bees: an overview. In: **Stingless Bees: Their Behaviour, Ecology and Evolution**, p. 1-42, 2020.
- GUDOWSKA, Agnieszka; MORÓN, Dawid. The heat is on: impact of heat waves on critical thermal maxima in larvae and adults of solitary bee *Osmia bicornis* (Hymenoptera: Megachilidae). **Apidologie**, v. 55, n. 5, p. 70, 2024.
- HANNAH, L.; MIDGLEY, G. F.; MILLAR, D. Climate change-integrated conservation strategies. **Global Ecology and Biogeography**, v. 11, n. 6, p. 485-495, 2002.
- HEINRICH, B. The hot-blooded insects. Berlin: Springer Verlag, 1993.
- IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KOEDAM, D.; HRNCIR, M. **A abelha jandaíra: no passado, no presente e no futuro**, 2017.
- JONES, J. C.; OLDROYD, B. P. Nest thermoregulation in social insects. **Advances in Insect Physiology**, v. 33, p. 153-191, 2007.
- KLEIN, A. M. et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1608, p. 303-313, 2007.
- LI, H. B. et al. Thermal tolerance of *Frankliniella occidentalis*: effects of temperature, exposure time, and gender. **Journal of Thermal Biology**, v. 36, n. 7, p. 437-442, 2011.
- LI, X. et al. Tolerance and response of two honeybee species *Apis cerana* and *Apis mellifera* to high temperature and relative humidity. **PLoS One**, v. 14, n. 6, e0217921, 2019.
- LOLI, D. Termorregulação colonial e energética individual em abelhas sem ferrão *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera, Apidae, Meliponini). 2008. Tese Doutorado. Universidade de São Paulo.
- MARDAN, M.; KEVAN, P. G. Critical temperatures for survival of brood and adult workers of the giant honeybee, *Apis dorsata* (Hymenoptera: Apidae). **Apidologie**, v. 33, n. 3, p. 295-301, 2002.
- MEDINA, R. G. et al. Developmental stability, age at onset of foraging and longevity of Africanized honey bees (*Apis mellifera* L.) under heat stress (Hymenoptera: Apidae). **Journal of Thermal Biology**, v. 74, p. 214-225, 2018.
- MENEZES, C.; VOLLET-NETO, A.; FONSECA, V. L. I. An advance in the in vitro rearing of stingless bee queens. **Apidologie**, v. 44, p. 491-500, 2013.
- NOGUEIRA-NETO, P. A criação de abelhas indígenas sem ferrão (Meliponinae). 2. ed. São Paulo: Editora Tecnapiis, 1970.

- ONU. Earth's hottest June on record. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2024/06/1150656>. Acesso em: 18 ago. 2024.
- ONU. World heading towards new temperature records, UN weather watchdog warns. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2024/07/1151841>. Acesso em: 18 ago. 2024.
- PÉREZ, PÉREZ VILLALÓN. El mundo. Naranja Publicações, 2021.
- TANG, Jihong et al. Egg hatch and survival and development of beet webworm (Lepidoptera: Crambidae) larvae at different combinations of temperature and relative humidity. **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 4, p. 1603-1611, 2016.
- UNDURRAGA, J.; STEPHEN, W. Effect of temperature on development and survival in post-diapausing alfalfa leafcutting bee prepupae and pupae (Megachile rotundata (F.): Hymenoptera: Megachilidae). I. High temperatures. **Journal of the Kansas Entomological Society**, v. 53, p. 669-676, 1980.
- VON IHERING, H. Der Stachel der Meliponen. **Entomologische Nachrichten**, v. 12, p. 177-188, 1886.
- WILLMER, P. G.; UNWIN, D. M. Field analyses of insect heat budgets: reflectance, size and heating rates. **Oecologia**, v. 50, p. 250-255, 1981.
- WU, J. Y.; CAROL, M.; WALTER, S. S. Efeitos subletais de resíduos de agrotóxicos em pente de cria sobre o desenvolvimento e longevidade de abelhas operárias (Apis mellifera). **PLoS One**, v. 6, n. 2, e14720, 2011.
- XU, X. et al. Impacts of high temperature during early capped brood on pupal development and the size of appendages in adult workers Apis cerana. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 11, p. 1144216, 2023.