



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

DAVID REZENDE DA SILVEIRA

**MANEJO DE ABELHAS SOLITÁRIAS COLETORAS DE ÓLEO *Centris analis* PARA
A POLINIZAÇÃO DIRIGIDA DE ACEROLA**

FORTALEZA

2025

DAVID REZENDE DA SILVEIRA

MANEJO DE ABELHAS SOLITÁRIAS COLETORAS DE ÓLEO *Centris analis* PARA A
POLINIZAÇÃO DIRIGIDA DE ACEROLA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Zootecnia.
Área de concentração: Abelhas e Polinização.

Orientador: Prof. Ph.D. Breno Magalhães Freitas.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S587m Silveira, David Rezende da.

Manejo de abelhas solitárias coletoras de óleo Centris analis para a polinização dirigida de acerola /
David Rezende da Silveira. – 2025.
137 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Breno Magalhães Freitas.

1. abelhas coletoras de óleo. 2. Centris analis. 3. criação de polinizadores. 4. Malpighia emarginata DC.. 5.
manejo para polinização. I. Título.

CDD 636.08

DAVID REZENDE DA SILVEIRA

MANEJO DE ABELHAS SOLITÁRIAS COLETORAS DE ÓLEO *Centris analis* PARA A
POLINIZAÇÃO DIRIGIDA DE ACEROLA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Zootecnia.
Área de concentração: Abelhas e Polinização.

Aprovada em 24/01/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ph.D. Breno Magalhães Freitas (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Luiz Wilson Lima-Verde
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, ao Pai, ao Filho e ao Espírito Santo.

À Santíssima Virgem Maria.

Aos meus pais, Silvana Rezende de Melo da
Silveira e Rômulo Augusto da Silveira.

Aos meus avós paternos e maternos, José
Dantas da Silveira, Maria Valniza da Silveira,
Hélio Augusto Rezende de Melo e Maria Zélia
Albuquerque Ferreira de Melo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, ao Pai, ao Filho e ao Espírito Santo, pelo sacrifício perfeito de nosso Senhor Jesus Cristo. À Santíssima Virgem Maria, Santa Mãe de Deus, Mãe da Igreja, Mãe sempre virgem, Arca da Aliança, Porta do céu, Rainha concebida sem pecado original e Rainha assunta ao céu.

Aos meus pais, Silvana Rezende de Melo da Silveira e Rômulo Augusto da Silveira. Aos meus avós paternos, José Dantas da Silveira e Maria Valniza da Silveira, e aos meus avós maternos, Hélio Augusto Rezende de Melo e Maria Zélia Albuquerque Ferreira de Melo.

Ao Prof. Ph.D. Breno Magalhães Freitas, pela orientação e pelo conhecimento compartilhado. Aos membros da banca examinadora, Dr. Francisco Deoclécio Guerra Paulino e Dr. Luiz Wilson Lima-Verde.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará (PPGZ/UFC), sobretudo à secretária do Programa, Francisca Gomes.

À cooperação científica entre a Bayer AG. (Alemanha) e a Universidade Federal do Ceará (Brasil) no projeto "Criação, multiplicação e manejo de polinizadores nativos para a polinização agrícola no Brasil".

Ao Francisco José Lemos, ao Sandoval Rodrigues de Araújo e ao Francisco de Assis Alves da Silva, do Sítio São José (Maranguape – CE).

Aos meus colegas do Grupo de Pesquisa com Abelhas (GPA) e membros do Laboratório de Abelhas da UFC: Ana Carolina Luz de Moura, Ana Vitória Pereira Lima, Ananda Maria Soares de Abreu, Arianne Moreira Cavalcante, Antonio Diego de Melo Bezerra, Francisco Deoclécio Guerra Paulino, Epifânia Emanuela de Macêdo Rocha, Felipe Jackson de Farias-Silva, Janaely Silva Pereira, Larysson Feitosa dos Santos, Leonardo dos Santos Gurgel, Maria da Conceição Parente, Paloma Eleutério Bezerra, Pedro de Assis de Oliveira, Renan Esmeraldo Ribeiro Filho e Vitória Inna Mary de Sousa Muniz.

Ao Alípio José de Souza Pacheco Filho, pelo auxílio com as análises estatísticas desta dissertação.

Ao Francisco Ruliglésio Rocha, pelo auxílio e pelos bons momentos compartilhados.

À Micheline de Almeida Andrade, pelo apoio ao longo de meu mestrado.

Aos meus amigos Alan Victor dos Santos Teles, André Azevedo Costa, Giovanni Sousa Marques, Jaderson Jales Martins, João Clesio Coutinho Ferreira, José Adailton Gonçalves da Rocha Filho, José Bezerra Falcão Neto, Luiz Henrique Lino de Oliveira e Samuel Freire Freitas. Tê-los em minha vida é uma das maiores bênçãos que o Senhor, meu Deus, já me deu.

Finalmente, agradeço a todos aqueles que me auxiliaram na construção deste trabalho e que, de algum modo, me ajudaram a chegar nesta etapa da minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“O Senhor Deus tomou o homem e colocou-o
no jardim do Éden, para cultivá-lo e guardá-lo”.

Gênesis 2:15

RESUMO GERAL

A abelha coletora de óleo *Centris analis* é nativa do Brasil, coloniza ninhos-armadilha com sucesso em agregações, possui ciclo de vida multivoltino e apresenta amplo potencial para ser utilizada tanto na polinização de plantas nativas quanto na de culturas agrícolas, em especial, a da acerola (*Malpighia emarginata* DC.). Nesse sentido, o estudo objetivou identificar fatores estimulantes intrínsecos ou ambientais que possam colaborar para a elaboração de técnicas mais eficazes de manejo racional dessa espécie, em ambientes urbanos e rurais, a fim de maximizar o desempenho de *C. analis* na polinização agrícola. Primeiramente, foram utilizados 833 ninhos-armadilha, divididos em 7 classes, conforme o comprimento e o diâmetro, e instalados em três sítios de nidificação no Setor de Abelhas da Universidade Federal do Ceará (UFC), no período de agosto de 2019 a março de 2024, com o objetivo de averiguar parâmetros sobre os hábitos de nidificação e o ciclo de vida dessa espécie em ambiente antropizado. Os resultados mostram que o ano de nidificação e a razão entre a classe de ninho-armadilha e o mês de nidificação influenciam significativamente o tempo de emergência das crias ($p < 0,05$). Ninhos-armadilha de 197 mm de comprimento apresentaram maior número de células de cria. Além disso, a mortalidade das crias foi afetada por fatores como o comprimento dos ninhos-armadilha e o sítio de incubação utilizado. O aumento do número de células por ninho ($p < 0,05$) e da temperatura média do ambiente ($p < 0,05$) reduziu o comprimento da célula vestibular. Ademais, foram utilizados 768 ninhos-armadilha, classificados em dois tipos, conforme comprimento e diâmetro, e instalados em um cultivo de acerola em Sapupara, Maranguape – CE, no período entre outubro de 2020 e fevereiro de 2023, com uma última visita realizada em agosto de 2023 para averiguar a correlação da nidificação de fêmeas de *C. analis* e de variáveis ambientais com a produção de acerolas de uma propriedade rural. A colonização dos ninhos-armadilha foi influenciada significativamente pela presença de florada ($p < 0,05$), pela intensidade da florada ($p < 0,05$) e pela precipitação pluviométrica ($p < 0,05$). As abelhas preferiram ninhos com 197 mm de comprimento e 6,0 mm de diâmetro. A colheita de acerolas aumentou após o criatório ter sido instalado, exceto quando eventos ambientais disruptivos ocorreram, e foi influenciada positivamente pela intensidade de florada ($p < 0,05$). Conclui-se que tanto o controle das variáveis intrínsecas quanto a monitoração constante de parâmetros ambientais podem aumentar a eficiência da nidificação de *C. analis* em ninhos-armadilha e a subsequente atividade em campo e polinização agrícola. Essas abelhas respondem especialmente bem a fatores estimulantes intrínsecos ou ambientais que influenciem no controle da temperatura

interna do ninho-armadilha, no espaço disponível para a oviposição e na disponibilidade de recursos no ambiente para o forrageio.

Palavras-chave: abelhas coletoras de óleo; *Centris analis*; criação de polinizadores; *Malpighia emarginata* DC.; manejo para polinização; ninhos-armadilha.

GENERAL ABSTRACT

MANAGEMENT OF OIL-COLLECTING SOLITARY BEES *Centris analis* FOR THE DIRECTED POLLINATION OF ACEROLA

The oil-collecting bee *Centris analis* is native to Brazil, successfully colonizes trap nests in aggregations, has a multivoltine life cycle, and shows ample potential to be used for the pollination of both native plants and agricultural crops, especially acerola (*Malpighia emarginata* DC.). Therefore, the aim of the present study was to identify intrinsic or environmental stimulating factors that could help develop more effective management techniques for this species in urban and rural environments, in order to maximize the performance of *C. analis* in agricultural pollination. To this end, 833 trap nests were initially used, differentiated into seven length and diameter classes, and installed in three nesting sites at the Bee Laboratory of the Universidade Federal do Ceará (UFC), between August 2019 and March 2024, to investigate parameters regarding the nesting habits and life cycle of this species in an anthropized environment. The results showed that the year of nesting and the ratio between the trap nest class and the nidification month significantly influenced the emergence time of the offspring ($p < 0.05$). Trap nests of 197 mm in length had a higher number of brood cells. Additionally, the offspring mortality was affected by factors such as the length of the trap nests and the incubation site used. An increase in the number of cells per nest ($p < 0.05$) and in the average environmental temperature ($p < 0.05$) led to a reduction in vestibular cell length. Furthermore, 768 trap nests differentiated into two classes of length and diameter were used and installed in an acerola orchard in Sapupara, a district of the Municipality of Maranguape – CE, from October 2020 to February 2023, with a final visit conducted in August 2023, to investigate the correlation between the nidification of female *C. analis* and environmental variables with the production of acerolas on a rural property. Trap nest colonization was significantly influenced by flowering occurrence ($p < 0.05$), the intensity of flowering ($p < 0.05$) and rainfall ($p < 0.05$). The bees preferred nests that were 197 mm long and 6.0 mm in diameter. The harvest of acerolas increased after the breeding site was established, except when disruptive environmental events occurred, and was positively influenced by the intensity of flowering ($p < 0.05$). It is concluded that managing intrinsic variables and continuously monitoring environmental parameters can enhance the nesting efficiency of *C. analis* in trap nests, as well as its subsequent field activity and agricultural pollination. These bees respond particularly well to intrinsic or environmental stimulating factors that influence the control of the internal

temperature of the trap nest, the available space for oviposition, and the availability of foraging resources in the environment.

Keywords: oil-collecting bees; *Centris analis*; rearing pollinators; *Malpighia emarginata* DC.; management for pollination; trap nests.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Criatório racional de abelhas solitárias da espécie *Centris analis* denominado Longe do Murici, designado como sítio de nidificação, contendo 42 tábuas de madeira empilhadas em 5 pilhas paralelas para o acondicionamento de ninhos-armadilha, e desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará..... 47
- Figura 2 – Criatório racional de abelhas solitárias da espécie *Centris analis* denominado Perto do Murici, designado como sítio de nidificação, contendo 36 tábuas de madeira empilhadas em 4 pilhas paralelas para o acondicionamento de ninhos-armadilha, e desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará..... 48
- Figura 3 – Criatório racional de abelhas solitárias da espécie *Centris analis* denominado Blocos do Meio, designado como sítio de nidificação, contendo 44 tábuas de madeira empilhadas em 5 pilhas paralelas para o acondicionamento de ninhos-armadilha, e desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará..... 48
- Figura 4 – Detalhes do comprimento, do diâmetro e da cor externa das duas primeiras classes de ninhos-armadilha ofertadas para a livre nidificação por fêmeas de *Centris analis*: tubos de cartolina (acima) e biocanudos (no meio e em baixo), ofertados nos sítios de nidificação Longe do Murici, Blocos do Meio e Perto do Murici. Ninhos desenvolvidos no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará..... 49
- Figura 5 – Sítio de incubação para o acondicionamento de ninhos-armadilha operculados de abelhas solitárias da espécie *Centris analis*, denominado Berçário e constituído de 23 tijolos do tipo furado universal (19X19X9cm), organizados em 7 colunas paralelas, formadas por 3 a 4 tijolos individuais empilhados, apoiadas sobre

	tábuas de madeira. Esse sítio de incubação foi utilizado de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	51
Figura 6 –	Sítio de incubação para o acondicionamento de ninhos-armadilha operculados de abelhas solitárias da espécie <i>Centris analis</i> e incubadora do tipo Demanda Bioquímica de Oxigênio (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>) denominada BOD [Vista externa (A) e vista interna (B)], que manteve os ninhos-armadilha sob controle de temperatura, a 27 °C. Esse sítio de incubação foi utilizado de novembro de 2020 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	52
Figura 7 –	Saco de tecido voil retendo 8 indivíduos adultos de <i>Centris analis</i> emergidos de um ninho-armadilha da classe biocanudo branco, acondicionado no sítio de incubação Berçário, utilizado de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	53
Figura 8 –	Criatório racional de abelhas solitárias da espécie <i>Centris analis</i> utilizado como sítio de nidificação, contendo 106 tábuas de madeira empilhadas em 10 "torres" para o acondicionamento de ninhos-armadilha, desenvolvido no período de outubro de 2020 a agosto de 2023 e localizado em cultivo de acerola do Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	109
Figura 9 –	Abrigo do criatório racional de abelhas solitárias da espécie <i>Centris analis</i> , consistindo em uma mesa de madeira sob um telhado de telhas ecológicas sustentado por 4 estacas de madeira, posicionado na borda do cultivo, desenvolvido no período de outubro de 2020 a agosto de 2023 e localizado em cultivo de acerola do Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	110

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Diagrama de caixa (<i>box plot</i>) do tempo médio de emergência de crias de <i>Centris analis</i> (dias) em ninhos-armadilha por ano de estudo, desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	61
Gráfico 2 – Diagrama de caixa (<i>box plot</i>) do tempo médio de emergência de crias de <i>Centris analis</i> (dias) em ninhos-armadilha correlacionado ao mês de nidificação e ao material de cada classe de ninho-armadilha, Cart (tubos de cartolina), CB branco (biocanudos brancos), CB preto (biocanudos pretos), e desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	64
Gráfico 3 – Diagrama de caixa (<i>box plot</i>) do número total médio de crias de <i>Centris analis</i> por ninhos-armadilha, ao longo dos meses e dos anos de nidificação, desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará	68
Gráfico 4 – Diagrama de caixa (<i>box plot</i>) do número total médio de crias de <i>Centris analis</i> em relação ao comprimento de ninhos-armadilha, desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	69
Gráfico 5 – Diagrama de caixa (<i>box plot</i>) do número total médio de crias de <i>Centris analis</i> por ninhos-armadilha correlacionado ao material de cada classe de ninho-armadilha e ao mês de nidificação, Cart (tubos de cartolina), CB branco (biocanudos brancos), CB preto (biocanudos pretos), e desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	72
Gráfico 6 – Diagrama de caixa (<i>box plot</i>) da proporção de crias vivas e mortas de <i>Centris analis</i> por ano de estudo, em ninhos-armadilha, desenvolvido	

	no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	73
Gráfico 7 –	Diagrama de caixa (<i>box plot</i>) da proporção de crias de <i>Centris analis</i> vivas e mortas, correlacionada ao material de cada classe de ninho-armadilha e ao mês de nidificação, desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	76
Gráfico 8 –	Gráfico de barras referente à sobrevivência ou à mortalidade de ninhos-armadilha individuais de <i>Centris analis</i> por ano de estudo, desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	78
Gráfico 9 –	Gráfico de barras referente ao número de ninhos-armadilha individuais de <i>Centris analis</i> vivas e mortas em cada um dos dois sítios de incubação, o berçário e a incubadora do tipo Demanda Bioquímica de Oxigênio (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>), denominada BOD, desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	80
Gráfico 10 –	Gráfico de barras referente ao número de machos e fêmeas de <i>Centris analis</i> emergido por ano de estudo, desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	86
Gráfico 11 –	Diagrama de caixa (<i>box plot</i>) do comprimento em centímetros da célula vestibular encontrada em ninhos-armadilha de <i>Centris analis</i> , em relação ao número de células de cria individuais encontradas em cada ninho-armadilha, desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	89
Gráfico 12 –	Gráfico de linha do comprimento em centímetros da célula vestibular encontrada em ninhos-armadilha de <i>Centris analis</i> , em relação à temperatura ambiental média em graus celsius, desenvolvido no	

	período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	90
Gráfico 13 –	Gráfico de barras referente à razão do número de ninhos-armadilha nidificados pelo número de ninhos-armadilha instalados, em relação à presença de florada das aceroleiras no cultivo, desenvolvido no período de outubro de 2020 a agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	117
Gráfico 14 –	Gráfico de linha referente à razão do número de ninhos-armadilha nidificados pelo número de ninhos-armadilha instalados, em relação à intensidade de florada das aceroleiras no cultivo, desenvolvido no período de outubro de 2020 a agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	118
Gráfico 15 –	Gráfico de linha referente à razão do número de ninhos-armadilha nidificados pelo número de ninhos-armadilha instalados, em relação à precipitação pluviométrica em milímetros, desenvolvido no período de outubro de 2020 a agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	119
Gráfico 16 –	Diagrama de caixa (<i>box plot</i>) referente ao número total médio de caixas de acerola colhidas correlacionado ao mês e ao ano, linhas verticais vermelhas representam eventos ambientais disruptivos à nidificação das abelhas <i>Centris analis</i> , desenvolvido no período de outubro de 2020 a agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	121
Gráfico 17 –	Gráfico de linha referente ao número de caixas de acerola colhidas em relação à intensidade de florada das aceroleiras no cultivo, desenvolvido no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Lista dos aspectos da nidificação de <i>Centris analis</i> tomados como variáveis-resposta para modelagem de dados com o uso de modelos <i>Generalized Additive Model for Location, Scale and Shape</i> (GAMLSS), juntamente com os detalhes acerca de cada variável individual e as distribuições teóricas utilizadas para cada uma, escolhidas de acordo com a distribuição marginal que apresentaram.....	56
Tabela 2 –	Tempo médio de emergência de crias de <i>Centris analis</i> (dias) por ano de estudo, em ninhos-armadilha desenvolvidos no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	60
Tabela 3 –	Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica Box-Cox t (BCTo) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes intrínsecos em relação ao tempo médio de emergência de crias de <i>Centris analis</i> (dias) em ninhos-armadilha por ano de estudo, Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). O teste foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	61
Tabela 4 –	Tempo médio de emergência de crias de <i>Centris analis</i> (dias) em ninhos-armadilha correlacionado ao material de cada classe de ninho-armadilha e ao mês de nidificação. A tabela foi desenvolvida com base no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	62
Tabela 5 –	Número total de ninhos-armadilha, número total de crias e número total médio de crias de <i>Centris analis</i> por ninhos-armadilha correlacionados ao mês e ao ano de nidificação. Obs.: se não há valor de desvio-padrão, existe somente uma observação para o caso. A tabela foi desenvolvida com base no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de	

	Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	65
Tabela 6 –	Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica de Poisson (PO) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes intrínsecos e ambientais em relação ao número total médio de crias de <i>Centris analis</i> por ninhos-armadilha, Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). O teste foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	68
Tabela 7 –	Número total de ninhos-armadilha, número total de crias e número total médio de crias de <i>Centris analis</i> por ninhos-armadilha correlacionados ao material de cada classe de ninho-armadilha e ao mês de nidificação. A tabela foi desenvolvida com base no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	70
Tabela 8 –	Proporção de crias vivas e mortas de <i>Centris analis</i> por ano de estudo, em ninhos-armadilha. A tabela foi desenvolvida no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	72
Tabela 9 –	Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica exponencial de potência assimétrica (SEP) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes intrínsecos e ambientais em relação à proporção de crias vivas e mortas de <i>Centris analis</i> , Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). A tabela foi desenvolvida no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	74
Tabela 10 –	Número de crias de <i>Centris analis</i> vivas e mortas, e proporção de crias vivas e mortas correlacionados ao material de cada classe de ninho-armadilha e ao mês de nidificação. A tabela foi desenvolvida no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	75

Tabela 11 – Número de ninhos-armadilha individuais de <i>Centris analis</i> vivas e mortas, e sobrevivência ou mortalidade de ninhos-armadilha por ano de estudo. A tabela foi desenvolvida com base no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	77
Tabela 12 – Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica binomial (BI) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes intrínsecos e ambientais em relação à sobrevivência ou à mortalidade de ninhos-armadilha individuais de <i>Centris analis</i> , Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). O teste foi desenvolvido com base no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	78
Tabela 13 – Número de ninhos-armadilha individuais de <i>Centris analis</i> vivas e mortas, e sobrevivência ou mortalidade de ninhos-armadilha correlacionados aos dois sítios de incubação, ao berçário e à incubadora do tipo Demanda Bioquímica de Oxigênio (<i>Biochemical Oxygen Demand</i>), denominada BOD. A tabela foi desenvolvida com base no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	79
Tabela 14 – Número total de ninhos-armadilha, número total de machos e número total médio de machos de <i>Centris analis</i> por ninhos-armadilha correlacionados ao mês e ao ano de nidificação. A tabela foi desenvolvida com base no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	81
Tabela 15 – Número total de ninhos-armadilha, número total de fêmeas e número total médio de fêmeas de <i>Centris analis</i> por ninhos-armadilha correlacionados ao mês e ao ano de nidificação. A tabela foi desenvolvida com base no período de agosto de 2019 até março de	

	2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	83
Tabela 16 –	Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica de Poisson (PO) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes intrínsecos e ambientais em relação à razão sexual entre machos e fêmeas de <i>Centris analis</i> emergidos em ninhos-armadilha, Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). O teste foi desenvolvido com base no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	85
Tabela 17 –	Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica Gama Generalizada (GG) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes ambientais e intrínsecos em relação ao comprimento da célula vestibular encontrada em ninhos de <i>Centris analis</i> , Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). O teste foi desenvolvido com base no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	87
Tabela 18 –	Número de células de cria encontradas em cada ninho-armadilha individual, número total de ninhos-armadilha e comprimento médio em centímetros da célula vestibular encontrada em ninhos-armadilha de <i>Centris analis</i> . A tabela foi desenvolvida com base no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.....	88
Tabela 19 –	Classes de ninhos-armadilha e suas características ofertadas para a livre colonização por fêmeas de <i>Centris analis</i> no criatório racional de abelhas solitárias. A tabela foi desenvolvida com base no período de outubro de 2020 a agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	111
Tabela 20 –	Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica sinh-arcsinh original (SASHo) para avaliar a possível	

	correlação de fatores estimulantes ambientais sobre a razão entre ninhos-armadilha ofertados e nidificados por fêmeas de <i>Centris analis</i> . O teste foi desenvolvido com base no período de outubro de 2020 a agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	116
Tabela 21 –	Número de visitas realizadas ao local da pesquisa em que foram registradas a presença ou a ausência de florada das aceroleiras e número total de visitas realizadas. A tabela foi desenvolvida com base no período de outubro de 2020 a agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	116
Tabela 22 –	Número de dias de colheita por mês, número total de caixas de acerola colhidas e número total médio de caixas colhidas por dia correlacionados ao mês e ao ano de nidificação. A tabela foi desenvolvida com base no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do município de Maranguape – CE.....	120
Tabela 23 –	Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica binomial negativa (NBI) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes ambientais sobre o número de caixas de acerola colhidas. O teste foi desenvolvido com base no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.....	124

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	24
2	OBJETIVOS.....	26
2.1	Objetivos gerais.....	26
2.2	Objetivos específicos.....	26
	CAPÍTULO 1.....	27
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	28
3.1	A importância socioecológica das abelhas.....	28
3.2	As abelhas solitárias.....	30
3.3	As abelhas coletoras de óleo, a tribo Centridini e o gênero <i>Centris</i>...	31
3.4	A espécie <i>Centris (Heterocentris) analis</i> (Fabricius, 1804).....	32
3.5	O manejo racional com ninhos-armadilha.....	32
3.6	A importância socioeconômica da cultura da acerola.....	33
	REFERÊNCIAS.....	35
	CAPÍTULO 2.....	39
	RESUMO.....	40
	ABSTRACT.....	42
4	INTRODUÇÃO.....	44
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
5.1	Descrição da área de estudo.....	46
5.2	Ninhos-armadilha e sítios de nidificação.....	46
5.3	Sítios de incubação.....	50
5.4	Aspectos da nidificação de <i>Centris analis</i>.....	54
5.4.1	<i>Tempo de emergência de crias</i>.....	54
5.4.2	<i>Número de crias, proporção de crias vivas e mortas</i>.....	54
5.4.3	<i>Razão sexual</i>.....	54
5.4.4	<i>Comprimento da célula vestibular</i>.....	54
5.5	Análises estatísticas.....	55
6	RESULTADOS.....	59
6.1	Tempo de emergência de crias.....	59
6.2	Número de crias, proporção de crias vivas e mortas.....	65
6.2.1	<i>Número de crias</i>.....	65

6.2.2	<i>Proporção de crias individuais vivas e mortas.....</i>	72
6.2.3	<i>Sobrevivência ou mortalidade do ninho-armadilha como um todo.....</i>	76
6.3	Razão sexual.....	80
6.4	Comprimento da célula vestibular.....	86
7	DISCUSSÃO.....	90
7.1	Tempo de emergência de crias.....	90
7.2	Número de crias, proporção de crias vivas e mortas.....	91
7.2.1	<i>Número de crias.....</i>	91
7.2.2	<i>Proporção de crias individuais vivas e mortas.....</i>	92
7.2.3	<i>Sobrevivência ou mortalidade do ninho-armadilha como um todo.....</i>	93
7.3	Razão sexual.....	94
7.4	Comprimento da célula vestibular.....	94
8	CONCLUSÕES.....	96
	REFERÊNCIAS.....	97
	CAPÍTULO 3.....	101
	RESUMO.....	102
	ABSTRACT.....	104
9	INTRODUÇÃO.....	106
10	MATERIAIS E MÉTODOS.....	108
10.1	Descrição da área de estudo.....	108
10.2	Desenho experimental e ninhos-armadilha.....	108
10.3	Nidificação e efeitos sobre a produção de acerola.....	111
10.3.1	<i>Preferência e razão de cavidades ocupadas.....</i>	111
10.3.2	<i>Efeitos sobre a produção de acerola.....</i>	112
10.4	Análises estatísticas.....	112
11	RESULTADOS.....	115
11.1	Preferência e razão de cavidades ocupadas.....	115
11.2	Efeitos da introdução de ninhos-armadilha no pomar sobre a produção de frutos.....	119
12	DISCUSSÃO.....	125
12.1	Preferência e razão de cavidades ocupadas.....	125
12.2	Efeitos da introdução de ninhos-armadilha no pomar sobre a produção de frutos.....	126

13	CONCLUSÕES.....	128
	REFERÊNCIAS.....	129
14	CONCLUSÕES GERAIS.....	131
	REFERÊNCIAS GERAIS.....	132

1 INTRODUÇÃO GERAL

A polinização é definida como a transferência de grãos de pólen (estruturas que abrigam as células espermáticas) dos estames (órgãos masculinos) de uma flor para os estigmas (órgãos femininos) de uma mesma flor (autogamia) e de flores diferentes de um mesmo indivíduo (geitonogamia) (FREITAS; BEZERRA, 2024; KLEIN *et al.*, 2020; RECH *et al.*, 2014; VIANA, 2016; WU *et al.*, 2022). Dentre os animais, os insetos são responsáveis pela polinização de aproximadamente 75% das culturas alimentares globais e por até 9,5% do valor da produção agrícola mundial que é destinada ao consumo humano (FREITAS; BEZERRA, 2024; GALLAI *et al.*, 2009; KLEIN *et al.*, 2020). No contexto dos insetos, a maior parte dessa polinização é feita pelas abelhas, que polinizam aproximadamente 73% das espécies vegetais cultivadas no mundo para a alimentação humana (FAO, 2004; FREITAS; BEZERRA, 2024; RICKETTS *et al.*, 2008).

Embora algumas espécies de abelhas, como *Apis mellifera* e *Bombus* spp., sejam de fácil comercialização e tenham um extenso histórico de criação e manejo racional em caixas artificiais, nem sempre são as mais adequadas para todas as espécies de plantas cultivadas devido ao seu hábito de forrageio generalista (FREITAS; BEZERRA, 2024; IPBES, 2019; GIANNINI *et al.*, 2015). Além disso, essas espécies são nativas da África e da Eurásia, sendo inviável a utilização delas para a polinização em virtude de alguns problemas ocasionados pela introdução de espécies exóticas como: competição de recursos com espécies nativas, hibridização com grupos do mesmo gênero, introdução de novas doenças e parasitas, e a reprodução descontrolada da espécie “invasora” (FREITAS *et al.*, 2009; GIANNINI *et al.*, 2015; MICHENER, 2007; RECH *et al.*, 2014).

Existem diversas espécies de abelhas silvestres pouco conhecidas que, além de polinizarem a vegetação nativa, são capazes de polinizar culturas agrícolas comerciais e apresentam potencial para a polinização dirigida, contanto que protocolos destinados ao desenvolvimento de técnicas de criação e manejo racional dessas espécies sejam desenvolvidos (FREITAS; BEZERRA, 2024; KLEIN *et al.*, 2020; MICHENER, 2007; VIANA, 2016). A maior parte dessas espécies apresenta hábito de vida solitário, sendo denominadas abelhas solitárias (KLEIN *et al.*, 2020; MICHENER, 2007; RECH *et al.*, 2014).

Comumente, espécies solitárias apresentam adaptações anatômicas e comportamentais ao forrageio e ao consumo de recursos vegetais especializados (MICHENER, 2007; PRAZ; MÜLLER; DORN, 2008; RASMUSSEN; OLESEN, 2000). Um exemplo disso são as espécies

conhecidas de abelhas que realizam o comportamento de forrageio do óleo floral, as quais estão distribuídas entre duas famílias: Apidae e Melittidae (CARNEIRO; MACHADO, 2023; MARTINS; MELO; RENNER, 2014; MICHENER, 2007; RASMUSSEN; OLESEN, 2000). Essas abelhas usam o óleo – matéria-prima para construção, vedação e proteção dos ninhos – em conjunto com outros materiais coletados, como filamentos e fibras vegetais, areia e barro (CARNEIRO; MACHADO, 2023; LOURENÇO *et al.*, 2019; MARTINS; MELO; RENNER, 2014; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014; VIVALLO, 2020). Certas espécies, como *Centris* (*Heterocentris*) *analis* (Fabricius, 1804), nidificam em cavidades preexistentes em madeira (COSTA; GONÇALVES, 2019; KLEIN *et al.*, 2020; LOURENÇO *et al.*, 2019; MICHENER, 2007). Além disso, essa espécie exibe baixo territorialismo, tolerando nidificar em agregações de fêmeas fundadoras e possuem ciclo de vida multivoltino (LOURENÇO *et al.*, 2019; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014; VILHENA *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2014). Com essas características, ela se torna ideal para o manejo racional da polinização dirigida de grandes culturas agrícolas, como a da acerola (*Malpighia emarginata* DC.). Com base nessas observações, o presente estudo objetivou identificar fatores estimulantes intrínsecos, relacionados ao manejo racional, ou ambientais que possam colaborar para a elaboração de técnicas mais eficazes de manejo racional de *C. analis*, tanto em ambiente urbano quanto rural, a fim de maximizar o seu desempenho na polinização agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Identificar parâmetros sobre os hábitos de nidificação das abelhas coletoras de óleo *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius, 1804) em ninhos-armadilha, instalados em ambiente urbano e rural, relacionados a fatores estimulantes intrínsecos ou ambientais que possam colaborar para a elaboração de técnicas mais eficazes de manejo racional, com o intuito de maximizar o desempenho dessa espécie na polinização dirigida da cultura agrícola da acerola (*Malpighia emarginata* DC.).

2.2 Objetivos específicos

Analisar, em ambiente urbano,

- 1 – os efeitos de variáveis ambientais e intrínsecas no tempo de emergência de crias de *C. analis* em ninhos-armadilha;
- 2 – os efeitos de variáveis ambientais e intrínsecas no número de crias de *C. analis*, bem como em sua sobrevivência e mortalidade;
- 3 – os efeitos de variáveis ambientais e intrínsecas na razão sexual de machos e de fêmeas das crias de *C. analis*;
- 4 – os efeitos de variáveis ambientais e intrínsecas no comprimento da célula vestibular dos ninhos de *C. analis*.

Investigar, em ambiente rural,

- 1 – os efeitos de variáveis ambientais e intrínsecas na aceitação e na colonização de ninhos-armadilha por fêmeas de *C. analis*;
- 2 – os efeitos de variáveis ambientais e intrínsecas na produção de acerolas, isto é, no número de caixas de acerola colhidas e comercializadas.

CAPÍTULO 1:

REFERENCIAL TEÓRICO

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A importância socioecológica das abelhas

A polinização é a transferência de grãos de pólen (estruturas que abrigam as células espermáticas) dos estames (órgãos masculinos) de uma flor para os estigmas (órgãos femininos) de uma mesma flor (autogamia), de flores diferentes de um mesmo indivíduo (geitonogamia) ou de flores de outros indivíduos (xenogamia, também chamada de polinização cruzada) (FREITAS; BEZERRA, 2024; KEARNS; INOUE, 1993; KLEIN *et al.*, 2020; RECH *et al.*, 2014; VIANA, 2016; WU *et al.*, 2022). Na polinização cruzada, a fecundação ocorre entre indivíduos geneticamente distintos, promovendo maior vigor e adaptação da espécie ao ambiente (CAMPOS *et al.*, 2000; KEARNS; INOUE, 1993). Esse processo é vital para aumentar o potencial de germinação das sementes e a quantidade e a qualidade dos frutos, promovendo aumento de tamanho, formação de maior número de sementes e melhor aparência do fruto, sendo aplicável tanto às plantas nativas quanto às culturas agrícolas exóticas, como a acerola (*Malpighia emarginata*) (CAMPOS *et al.*, 2000; FREITAS; BONFIM, 2017; KLEIN *et al.*, 2020; MILFONT *et al.*, 2013; MUNIZ *et al.*, 2019; RECH *et al.*, 2014).

Embora a polinização possa ser realizada por agentes abióticos, como a água, o vento e a gravidade, os animais são responsáveis por polinizar cerca de 84 a 88% de todas as plantas com flores do planeta, equivalente a uma variação de 5% a 8% da produção agrícola mundial, correspondendo a uma estimativa de US\$ 577-780,8 bilhões por ano, chegando a até US\$ 43 bilhões por ano no Brasil (ACKERMAN, 2000; FREITAS; BEZERRA, 2024; GIANNINI *et al.*, 2015; IPBES, 2019; KLEIN *et al.*, 2020). Dentre os polinizadores animais, os insetos são considerados os polinizadores de aproximadamente 75% das culturas alimentares globais, sendo responsáveis por até 9,5% do valor da produção agrícola mundial que é destinada ao consumo humano (FREITAS; BEZERRA, 2024; GALLAI *et al.*, 2009; KLEIN *et al.*, 2020). Dentre os insetos, a maior parte dessa polinização é feita pelas abelhas, que polinizam aproximadamente 73% das espécies vegetais cultivadas no mundo e destinadas à alimentação humana (FAO, 2004; FREITAS; BEZERRA, 2024; RICKETTS *et al.*, 2008).

Apesar de existir um próspero mercado global para a criação racional e o manejo dirigido de abelhas para a polinização agrícola de diversas culturas, a abelha da espécie *Apis mellifera* ainda é a mais utilizada mundialmente para esse fim (FREITAS; BEZERRA, 2024; FREITAS; BONFIM, 2017; KLEIN *et al.*, 2020; RECH *et al.*, 2014). Seu hábito de vida eussocial leva à ocorrência de muitos indivíduos forrageadores por colônia, e o seu longo raio

de voo permite percorrer amplas distâncias de forrageamento, tornando-as, assim, eficientes para a polinização dirigida de culturas cultivadas em grandes áreas (CHURCH, 2021; FAO, 2004; KLEIN *et al.*, 2020; WINSTON, 2003). Além do uso das abelhas *Apis mellifera*, certas espécies sociais do gênero *Bombus*, como a *B. terrestris*, são comercializadas no hemisfério norte e manejadas em estufas para a polinização dirigida de culturas comerciais da família Solanaceae, como o tomate (*Solanum lycopersicum* L.) e o pimentão (*Capsicum annuum* L.) (CHURCH, 2021; FAO, 2004; FREITAS; BEZERRA, 2024; KLEIN *et al.*, 2020).

Ainda que essas espécies de abelha sejam de fácil comercialização e tenham um extenso histórico de criação e manejo racional em caixas artificiais, nem sempre são as mais adequadas para todas as espécies de plantas cultivadas (FREITAS; BEZERRA, 2024; IPBES, 2019; GIANNINI *et al.*, 2015). Essas espécies possuem hábito de forrageamento generalista e nem sempre conseguem coletar recursos, como pólen e néctar, em todas as flores. Dessa forma, elas se tornam polinizadores ineficientes e, no melhor dos casos, “saqueadores” de recursos florais, pois forrageiam esses recursos sem necessariamente realizar a transferência do pólen dos estames para os estigmas (GALLAI *et al.*, 2009; GIANNINI *et al.*, 2015; KLEIN *et al.*, 2020; IPBES, 2019; RECH *et al.*, 2014). Além disso, *A. mellifera* e *B. terrestris* são espécies nativas da África e da Eurásia e, portanto, exóticas. A introdução dessas espécies pode promover a competição por recursos com espécies nativas, a hibridização com espécies nativas do mesmo gênero, a introdução de novas doenças e parasitas e, ainda, pode levar à reprodução descontrolada da espécie “invasora” (FREITAS *et al.*, 2009; GIANNINI *et al.*, 2015; MICHENER, 2007; RECH *et al.*, 2014). O resultado disso são tragédias ecológicas, como as que foram documentadas com a introdução de espécies exóticas de *Bombus* no Chile e na Tasmânia (CHURCH, 2021).

Porém, existem diversas espécies de abelhas silvestres pouco conhecidas que, além de polinizarem vegetação nativa, são capazes de polinizar culturas agrícolas comerciais e apresentarem potencial para a polinização dirigida, desde que protocolos destinados ao desenvolvimento de técnicas de criação e manejo racional dessas espécies sejam desenvolvidos (FREITAS; BEZERRA, 2024; KLEIN *et al.*, 2020; MICHENER, 2007; VIANA, 2016). A maior parte dessas espécies apresenta hábito de vida solitário, sendo denominadas abelhas solitárias (KLEIN *et al.*, 2020; MICHENER, 2007; RECH *et al.*, 2014).

3.2 As abelhas solitárias

A ciência conhece aproximadamente 20.000 espécies de abelhas, dentre as quais cerca de 85% apresentam hábito de vida solitário, correspondendo, no Brasil, a cerca de 2.000 espécies conhecidas (CHURCH, 2021; MICHENER, 2007; ROUBIK, 1992; SILVA *et al.*, 2014). O hábito de vida solitário se caracteriza pela construção do ninho por uma única fêmea fundadora, sem a cooperação de outras fêmeas da mesma espécie. Dessa forma, os recursos florais também são forrageados e a provisionados nas células do ninho de forma independente pela fêmea fundadora, que realiza a oviposição, fecha (opercula) o ninho para proteger suas crias de predadores e parasitas e as abandona, não ocorrendo uma sobreposição entre as duas gerações (CHURCH, 2021; MICHENER, 2007; ROSKOV *et al.*, 2020; ROUBIK, 1992).

A ecologia do ciclo de vida das diversas espécies de abelhas solitárias é muito variada. Os materiais utilizados na construção dos ninhos e os locais escolhidos como sítios de nidificação vão desde ambientes expostos, como conchas de caracol vazias, cavidades escavadas no chão e ocos de plantas, até cavidades preexistentes em madeira (COSTA; GONÇALVES, 2019; KLEIN *et al.*, 2020; MICHENER, 2007; LITMAN *et al.*, 2011). O mesmo aspecto se aplica aos seus hábitos de forrageamento, pois forrageiam sempre sozinhas. E, além disso, diversas espécies apresentam raio de voo reduzido em comparação com espécies sociais dos gêneros *Apis* e *Bombus* (KLEIN *et al.*, 2020; MICHENER, 2007). Comumente, espécies solitárias apresentam adaptações anatômicas e comportamentais ao forrageio e ao consumo de recursos vegetais especializados (MICHENER, 2007; PRAZ; MÜLLER; DORN, 2008; RASMUSSEN; OLESEN, 2000). Como consequência evolutiva desse fato, muitas espécies de abelhas solitárias apresentam preferência pelo forrageio de certas famílias ou gêneros vegetais, o que é denominado de hábito oligolético (KLEIN *et al.*, 2020; MICHENER, 2007; PRAZ; MÜLLER; DORN, 2008). Um exemplo é o gênero de abelhas *Peponapis*, cujos indivíduos coletam apenas o pólen da família Cucurbitaceae (KLEIN *et al.*, 2020).

Um exemplo dessas várias adaptações evolutivas ao forrageio de determinados recursos é a síndrome do óleo floral, em que as abelhas solitárias coletam óleos das flores de determinadas famílias e gêneros vegetais ao invés de néctar floral ou em conjunto com este (CARNEIRO; MACHADO, 2023).

3.3 As abelhas coletoras de óleo, a tribo Centridini e o gênero *Centris*

Aproximadamente 500 espécies conhecidas de abelhas realizam o comportamento de forrageio do óleo floral em cerca de 1.500 a 1.800 espécies de plantas conhecidas. Todas essas abelhas estão distribuídas entre duas famílias: Apidae e Melittidae (CARNEIRO; MACHADO, 2023; MARTINS; MELO; RENNER, 2014; MICHENER, 2007; RASMUSSEN; OLESEN, 2000). Na região neotropical, todas as espécies coletoras de óleo pertencem à família Apidae e estão divididas em três tribos: Centridini, Tapinotaspidini e Tetrapediini (CARNEIRO; MACHADO, 2023; MARTINS; MELO; RENNER, 2014; RASMUSSEN; OLESEN, 2000). A tribo Centridini é composta quase que totalmente por abelhas pilosas e robustas coletoras de óleo (MICHENER, 2007; LOURENÇO *et al.*, 2019). As fêmeas coletam o óleo floral para uso na construção dos ninhos e no aprovisionamento das células de cria (KLEIN *et al.*, 2020; LOURENÇO *et al.*, 2019; MICHENER, 2007). A tribo é dividida em dois gêneros, *Centris* e *Epicharis*, sendo o primeiro o mais numeroso dos dois, com cerca de 230 espécies conhecidas (CARNEIRO; MACHADO, 2023; MARTINS; MELO; RENNER, 2014; MICHENER, 2007; VIVALLO, 2020).

As abelhas *Centris* adultas se alimentam de pólen e néctar, mas o alimento que preparam para suas crias é feito a partir de uma mistura de óleo floral com pólen e néctar, e, em certas espécies, o óleo substitui o néctar totalmente. Além disso, elas também usam o óleo como uma importante matéria-prima para a construção, a vedação e a proteção dos ninhos, em conjunto com outros materiais coletados, como filamentos e fibras vegetais, areia e barro (CARNEIRO; MACHADO, 2023; LOURENÇO *et al.*, 2019; MARTINS; MELO; RENNER, 2014; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014; VIVALLO, 2020). A principal família de plantas produtoras de óleo floral visitada por abelhas *Centris* é a Malpighiaceae. Nessa família estão presentes tanto espécies silvestres, como o muricizeiro (*Byrsonima crassifolia* L.), quanto culturas agrícolas de valor econômico, como a aceroleira (*Malpighia emarginata* DC.) (FREITAS *et al.*, 1999; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014; VILHENA *et al.*, 2012).

Espécies do gênero *Centris* costumam ser abelhas solitárias de grande porte, algumas de tamanho comparável a certas espécies dos gêneros *Bombus* ou *Xylocopa*, e a maioria nidifica escavando cavidades no chão, o qual é, frequentemente, arenoso. (KLEIN *et al.*, 2020; MICHENER, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2014). A espécie *Centris analis*, contudo, nidifica de maneira distinta e apresenta uma série de outras peculiaridades que a tornam promissora.

3.4 A espécie *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius, 1804)

A espécie *C. analis* é uma abelha nativa do Brasil. Apresenta pequeno porte para uma abelha desse gênero e é incapaz de escavar seus próprios ninhos, nidificando em cavidades preexistentes em madeira (COSTA; GONÇALVES, 2019; KLEIN *et al.*, 2020; LOURENÇO *et al.*, 2019; MICHENER, 2007). Além disso, exibe baixo territorialismo, tolerando nidificar em agregações de fêmeas fundadoras em que cada fêmea nidifica em cavidades vizinhas sem se atacarem (LOURENÇO *et al.*, 2019; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014; VILHENA *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2014). De outro modo, possui ciclo de vida multivoltino, isto é, permanece ativa o ano todo com múltiplas gerações, e tem hábito de forrageamento polilético como o de uma *A. mellifera*. Isso significa que uma fêmea de *C. analis* forrageia recursos florais em diversas espécies vegetais, tanto nativas, como o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), quanto exóticas, como a aceroleira (*M. emarginata*) (FREITAS; BEZERRA, 2024; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2014).

As abelhas *C. analis* possuem, assim, as características ideais para o manejo racional. No entanto, devido ao seu hábito de nidificação em cavidades preexistentes em madeira, a forma que melhor se encaixa para simular seu ambiente natural e permitir que sejam livremente manejadas em criatório racional é o uso de ninhos-armadilha (KLEIN *et al.*, 2020; LOURENÇO *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2014; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014).

3.5 O manejo racional com ninhos-armadilha

Ninhos-armadilha são cavidades artificiais que podem ser confeccionadas a partir de diversos materiais, como feixes de caules ocos e tubos de papel, de cartolina ou de papelão. Sua metodologia foi sistematizada pela primeira vez por Krombein (1967) e tem o propósito de simular as cavidades preexistentes nas quais insetos como as fêmeas de *C. analis* nidificam (ALONSO; SILVA; GARÓFALO, 2012; KROMBEIN, 1967; OLIVEIRA *et al.*, 2014; SANTOS; PEIXOTO; AGUIAR, 2020; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014). Os aspectos intrínsecos ao uso dos ninhos-armadilha, como o comprimento e o diâmetro utilizados, assim como a sua disposição no campo, são muito versáteis e permitem que se adequem a diversas espécies de abelhas solitárias, dentre as quais está *C. analis* (ALONSO; SILVA; GARÓFALO, 2012; SANTOS; PEIXOTO; AGUIAR, 2020; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014).

A metodologia dos ninhos-armadilha tem sido utilizada mundialmente e adaptada em estudos com os mais diversos objetivos, como monitoramento de espécies de abelhas e vespas, sazonalidade populacional, estratégias de nidificação e, inclusive, para o criatório de espécies de abelhas solitárias do hemisfério norte para uso na polinização agrícola (BUSCHINI; WOLFF, 2006; BOSCH *et al.*, 2021; FREITAS *et al.*, 1999; SCHMOLKE; GALIC; HINAREJOS, 2023). No Brasil, as fêmeas de *C. analis* têm respondido muito bem à nidificação em ninhos-armadilha direcionada especialmente à cultura agrícola da acerola (*M. emarginata*) (FREITAS *et al.*, 1999; OLIVEIRA; SCHLINDWEIN, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2014).

3.6 A importância socioeconômica da cultura da acerola

A acerola (*Malpighia emarginata* DC.) é uma fruta originária das Antilhas, América Central e norte da América do Sul. As aceroleiras são arbustos normalmente cultivados em pomares abertos, pertencentes à família Malpighiaceae, caracterizadas por suas flores hermafroditas e actinomorfas, com cálice composto por seis a sete sépalas e corola de cinco pétalas unguiculadas e franjadas de cor variando do rosa pálido ao escuro, ocorrendo em inflorescências de três a cinco flores. Cada flor possui um ovário fundido com três estiletos, além de 10 estames com anteras férteis. Na parte ventral de cada flor, abaixo de suas pétalas, é possível visualizar glândulas produtoras de óleo (elaióforos epiteliais) de cor esverdeada (BEZERRA; FREITAS, 2014; CAMPOS *et al.*, 2000; KLEIN *et al.*, 2020; SAZAN; LORENZI, 2008).

A abertura dos botões florais de *M. emarginata* inicia-se entre 4h30 e 5h30 da manhã, e as flores permanecem abertas até aproximadamente 13h30, momento em que ocorre o fechamento das pétalas. A disponibilidade de pólen para os polinizadores coincide com o período em que as flores estão abertas, sendo as abelhas os principais agentes polinizadores (CAMPOS *et al.*, 2000; GOMES *et al.*, 2001; SAZAN, 2015). O pólen é o único recurso que essa espécie pode oferecer como recompensa aos polinizadores, e este costuma ser mais oleoso que o pólen de outros tipos de plantas. Abelhas generalistas como *A. mellifera* não costumam visitar as flores da acerola, salvo quando há pouca oferta de recursos no ambiente. (FREITAS *et al.*, 1999, KLEIN *et al.*, 2020; OLIVEIRA; SCHLINDWEIN, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2014; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014).

Os frutos da acerola são notáveis por terem elevado teor de vitamina C, variando entre 1.000 a 4.500 mg por 100 g de polpa, dependendo do estágio de maturação e das condições de

cultivo. Esse teor de vitamina C é mais elevado que o de muitas frutas cítricas e torna a fruta altamente valorizada para consumo tanto *in natura* quanto para a indústria de sucos e suplementos vitamínicos (EMBRAPA, 2023; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014; SAZAN, 2015). No Brasil, a acerola foi introduzida em 1958 pela professora Maria Celene de Almeida, que estabeleceu os primeiros plantios no país (SAZAN, 2015; SHINOHARA *et al.*, 2015). Atualmente, o país possui uma área plantada com acerola de aproximadamente 7.200 hectares, com os estados de Pernambuco e do Ceará destacando-se como os principais produtores, atendendo tanto ao mercado interno quanto à exportação, sendo, assim, uma cultura agrícola de grande importância econômica para o país. (CAMPOS *et al.*, 2000; EMBRAPA, 2012; EMBRAPA, 2023; KLEIN *et al.*, 2020; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014).

Além disso, normalmente apenas cerca de 30% das flores de aceroleira individual produzem frutos, apesar de possuírem altos níveis de polinização natural (KLEIN *et al.*, 2020; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014). Dessa maneira, *M. emarginata* é altamente dependente da polinização realizada por abelhas coletoras de óleo como aquelas dos gêneros *Centris* e *Epicharis* para garantir a formação de seus frutos (FREITAS *et al.*, 1999, KLEIN *et al.*, 2020; OLIVEIRA; SCHLINDWEIN, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2014; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014). Por isso, o manejo racional de fêmeas de *C. analis*, visando à polinização dirigida da aceroleira, possui amplo potencial de aumentar a quantidade de frutos produzidos e beneficiar amplamente a economia brasileira.

REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, J. D. Abiotic pollen and pollination: ecological, functional, and evolutionary perspectives. In: **Pollen and pollination**. Springer, Vienna, 2000. p. 167-185.
- ALONSO, Juliana D. S.; SILVA, Janaina F.; GARÓFALO, Carlos A. The effects of cavity length on nest size, sex ratio and mortality of *Centris (Heterocentris) analis* (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Apidologie**, [s. l.], v. 43, p. 436–448, 2012.
- BOSCH, J. Use of a managed solitary bee to pollinate almonds: population sustainability and increased fruit set. **Insects**, [s. l.], v.12, n. 56, 2021.
- BUSCHINI, M. L. T.; WOLFF, L. L. Nesting biology of *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith in southern Brazil (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Brazilian Journal of Biology**, [s. l.], v. 66, n.4, 2006.
- CAMPOS, M. C. R.; SOUZA, E. H.; SOUZA, F. V. D.; LEDO, C. A. S.; SANTOS-SEREJO, J. A. Morfologia floral e biologia reprodutiva de genótipos de aceroleira. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 57, n. 2, p. 277-282, 2000.
- CARNEIRO, Liedson Tavares; MACHADO, Isabel Cristina. Oil flowers and related oil-collecting bees: a 50-year timeline of knowledge and future directions. **Arthropod-Plant Interactions**, [s. l.], v. 17, ed. 4, p. 543–562, 17 ago. 2023.
- CHURCH, Dana L. **The beekeepers**: how humans changed the world of bumble bees. 1. ed. U.S.A.: Scholastic Press, 2021. 308 p.
- COSTA, C.C.F.; GONÇALVES, R.B. What do we know about Neotropical trap-nesting bees? Synopsis about their nest biology and taxonomy. **Papéis Avulsos de Zoologia**, [s. l.], v. 59, 2019.
- EMBRAPA. **A cultura da acerola**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 144 p. (Coleção Plantar, n. 69). Edição técnica de: CALGARO, Marcelo; BRAGA, Marcos Brandão.
- EMBRAPA. **Sistema produtivo da acerola (*Malpighia emarginata* Sessé & Mociño ex D.C.)**. 2023.
- FAO, Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response, In: Freitas, B. M.; Pereira, J. O. P. (eds.) **Solitary bees**: conservation, rearing and management for pollination, Imprensa Universitária, Fortaleza, Brasil, p, 19-2, 2004.
- FREITAS, B.M. *et al.* Pollination requirements of the West Indian cherry (*Malpighia emarginata*) and its putative pollinators, *Centris* bees, in NE Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 133, p. 303-311, 1999.
- FREITAS, B.M. *et al.* Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, [s. l.], v.40, p. 332-346, 2009.
- FREITAS, Breno M.; BEZERRA, Antonio Diego M. (ed.). **Criação, multiplicação e manejo de abelhas nativas para a polinização agrícola no Brasil**. 1. ed. Fortaleza, CE: Laboratório de abelhas, Universidade Federal do Ceará, 2024. 280 p.

FREITAS, Breno Magalhães; BONFIM, Isaac Gabriel Abraão. 2017. **Importância dos polinizadores na produção de alimentos e na segurança alimentar global**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Brasília, DF, Brasil.

GALLAI, N. *et al.* Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 68, p. 810-821, 2009.

GIANNINI T.C., Cordeiro G.D., Freitas B.M., *et al.* The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. **Journal Economic Entomology**, [s. l.], 108: p. 849-857, 2015.

IPBES. **Global assessment of biodiversity and ecosystem services**, Brondizio E. S. Settele J. Díaz S. and Ngo H. T. (editors). IPBES Secretariat, Bonn, Germany, 2019.

KEARNS, C. A.; INOUE, D. W. **Techniques for Pollination Biologists**. Niwot: University Press of Colorado, 1993.

KLEIN, Alexandra-Maria *et al.* **A Polinização Agrícola por Insetos no Brasil: Um Guia para Fazendeiros, Agricultores, Extensionistas, Políticos e Conservacionistas**. 1. ed. Albert-Ludwigs University Freiburg: Nature Conservation and Landscape Ecology, 2020. 149 p.

KROMBEIN, K.V. **Trap-nesting wasps and bees: life histories, nests and associates**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1967. 570p.

LITMAN, Jessica R.; DANFORTH, Bryan N.; EARDLEY, Connal D.; PRAZ, Christophe J. Why do leafcutter bees cut leaves? New insights into the early evolution of bees. **Proceedings of the Royal Society B**, [s. l.], n. 278, p. 3593–3600, 2011.

LOURENÇO, Diego de Vasconcelos *et al.* Nesting and reproductive habits of the solitary bee *Centris analis* in trap nests under a tropical climate. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, Brasil, v. 50, n. 3, p. 468-475, 2019.

MARTINS, Aline C.; MELO, Gabriel A.R.; RENNER, Susanne S. The corbiculate bees arose from New World oil-collecting bees: Implications for the origin of pollen baskets. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [s. l.], v. 80, p. 88-94, 2014.

MICHENER, Charles D. **The Bees of the World**. 2. ed. Baltimore, Maryland, United States of America: The Johns Hopkins University Press, 2007. 992 p. ISBN 978-0801885730.

MILFONT, Marcelo Oliveira; Rocha, E.E.; Lima, A.O.; Freitas, Breno M. Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and autopolination. **Environmental Chemistry Letters**. [s. l.], 11:335-341. 2013.

MUNIZ, João Paulo de Oliveira; BOMFIM, Isac Gabriel Abrahão; CORRÊA, Márcio Cleber de Medeiros; FREITAS, Breno Magalhães. Floral biology, pollination requirements and behavior of floral visitors in two species of pitaya. **Revista Ciência Agronômica**, [s. l.], v. 50, n. 4, p. 640-649, 2019.

OLIVEIRA, Reislá *et al.* **Abelhas solitárias produzem acerolas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundo Brasileiro para Biodiversidade - FUNBIO, 2014. 24 p. ISBN 978-85-89368-14-8.

OLIVEIRA, Reislá; SCHLINDWEIN, Clemens. Searching for a Manageable Pollinator for Acerola Orchards: The Solitary Oil-Collecting Bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini). **Journal of Economic Entomology**, [s. l.], v. 102, ed. 1, p. 265-273, 1 fev. 2009.

- PRAZ, Christophe J.; MÜLLER, Andreas; DORN, Silvia. Specialized bees fail to develop on non-host pollen: Do plants chemically protect their pollen?. **Ecology**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 795-804, 2008.
- RASMUSSEN, Claus; OLESEN, Jens M. Oil Flowers and Oil-collecting Bees. **Det Norske Videnskaps-Akademi. I. Matematisk Naturvidenskapelige Klasse, Skrifter, Ny Serie**, [s. l.], v. 39, p. 23-31, 2000.
- RECH, André Rodrigo; AGOSTINI, Kayna; OLIVEIRA, Paulo Eugênio; MACHADO, Isabel Cristina (org.). **Biologia da polinização**. 1. ed. Rio de Janeiro: Projeto Cultural, 2014. 527 p.
- RICKETTS, T. H. *et al.* Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? **Ecology letters**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 499-515, 2008.
- ROSKOV, Y. *et al.* **Species 2000 & ITIS Catalogue of Life**. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands, 2020.
- ROUBIK, D.W. **Ecology and natural history of tropical bees**. 1.ed. New York: Cambridge University Press, 1992. 514p.
- SANTOS, C. O.; PEIXOTO, P. E. C.; AGUIAR, C. M. L. Cavity Length Affects the Occupation of Trap-Nests by *Centris analis* and *Tetrapedia diversipes* (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology: An international journal on social insects**, [s. l.], v. 67, n. 2, p. 261-267, 30 jun. 2020.
- SAZAN, Morgana Silveira. **Centris (Heterocentris) analis (Fabricius, 1804) e Centris (Hemisiella) tarsata Smith, 1874 (Hymenoptera: Apidae)**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2015.
- SAZAN, M.; BEZERRA, A.D.M.; FREITAS, B.M. Oil collecting bees and *Byrsonima cydoniifolia* A. Juss. (Malpighiaceae) interactions: the prevalence of long-distance cross pollination driving reproductive success. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s. l.], v. 86, n.1, p. 347-357, 2014.
- SCHMOLKE, A.; GALIC, N.; HINAREJOS, S. SolBeePop: A model of solitary bee populations in agricultural landscapes. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v.60, p. 2573-2585, 2023.
- SHINOHARA, N. K. S. *et al.* Maria Celene de Almeda: a mãe da acerola (*Malpighia glabra* L.) no Brasil. **Revista Eletrônica Diálogos Acadêmicos**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 49-63, jul./dez. 2015. ISSN 0486-6266.
- SILVA, C.I. *et al.* **Catálogo polínico das plantas usadas por abelhas no campus da USP de Ribeirão Preto**. Ribeirão Preto: Holos, 2014.
- VIANA, Blandina F. 2016. Agricultura e Polinizadores: Parceria que dá muito mais do que frutos. In: **Anais dos Encontros sobre os Benefícios das Abelhas na Agricultura**, Nossa Senhora da Glória, Sergipe, Brasil. Anais. p. 17-27.2016.
- VILHENA, A.M.G.F. *et al.* Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil: temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. **Apidologie**, [s. l.], v.43, p. 51-62, 2012.
- VIVALLO, F. The species of the bee genus *Centris* of the “hyptidis group” revisited with the description of *Centris (Anisoctenodes)* new subgenus (Hymenoptera: Apidae: Centridini). **European Journal of Taxonomy**, [s. l.], n. 709, p. 1-17, 2020.

WINSTON, Mark L. **A biologia da abelha**. Porto Alegre: Magister, 2003. 276 p.

WU, Shuo; LIU, Jizhan; LEI, Xiaojie; ZHAO, Shengyi; LU, Jiajun; JIANG, Yingxing; XIE, Bin Bin; WANG, Ming. Research Progress on Efficient Pollination Technology of Crops. **Agronomy**, [s. l.], v.12, n.11, p.2872, 2022.

CAPÍTULO 2:

ASPECTOS DE NIDIFICAÇÃO DA ABELHA SOLITÁRIA

Centris (Heterocentris) analis (FABRICIUS, 1804)

EM AMBIENTE ANTROPIZADO

RESUMO

A abelha coletora de óleo *Centris analis* é nativa do Brasil, coloniza ninhos-armadilha com sucesso e apresenta amplo potencial para ser utilizada na polinização de plantas nativas e de culturas agrícolas. O objetivo deste estudo foi averiguar parâmetros sobre os hábitos de nidificação e o ciclo de vida dessa espécie em ambiente urbano visando identificar fatores estimulantes intrínsecos ou ambientais que possam colaborar para a elaboração de técnicas mais eficazes de manejo racional, a fim de maximizar o desempenho dessa espécie na polinização agrícola. Para isso, 833 ninhos-armadilha diferenciados em sete classes de comprimento e diâmetro foram ofertados no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará (UFC), de agosto de 2019 até março de 2024, em três sítios de nidificação diferentes. Cada ninho concluído foi mantido em um de dois sítios de incubação, sob condições de temperatura distintas, até a emergência das abelhas adultas. Os dados sobre o tempo de emergência, o número, a mortalidade e a razão sexual das crias foram coletados e analisados, assim como informações acerca do comprimento da célula vestibular de cada ninho. Os resultados mostraram que houve influências significativas do ano de nidificação ($p < 0,05$) e da razão entre a classe de ninho-armadilha e o mês de nidificação ($p < 0,05$) em relação ao tempo de emergência das crias. Houve influências significativas do ano de nidificação ($p < 0,05$), do comprimento de ninho-armadilha ($p < 0,05$) e da razão entre a classe de ninho-armadilha e o mês de nidificação ($p < 0,05$) em relação ao número de crias, com ninhos-armadilha de 197 mm de comprimento apresentando maior quantidade de crias. Em relação tanto à proporção de crias vivas e mortas quanto à sobrevivência ou mortalidade total de ninhos-armadilha, houve influências significativas do ano de nidificação ($p < 0,05$), do número de cleptoparasitas ($p < 0,05$) e da razão entre a classe de ninho-armadilha e o mês de nidificação ($p < 0,05$) e, adicionalmente, do sítio de incubação ($p < 0,05$) para mortalidade total de ninhos-armadilha. Não houve influências significativas de fatores intrínsecos ($p > 0,05$) sobre a razão sexual, embora esta tenha sido deslocada para os machos. Em referência ao comprimento da célula vestibular, o número de células por ninho ($p > 0,05$) e a temperatura média do ambiente ($p > 0,05$) demonstraram influência significativa, com o aumento de ambas as variáveis reduzindo o comprimento da célula vestibular. Conclui-se que o controle de fatores intrínsecos ao manejo racional, tais como o comprimento e o material usado em ninhos-armadilha, contribuem para uma melhora significativa em parâmetros como o número e a sobrevivência de crias de *C. analis*, importantes para o desempenho dessa espécie na polinização agrícola. Por exemplo, a utilização de ninhos-

armadilha de maior comprimento leva à produção de maior número de crias por ninho. No entanto, esses mesmos parâmetros variam consideravelmente de mês a mês e de ano a ano. O controle da temperatura interna do ninho, bem como o espaço disponível e a proteção das crias influenciam significativamente no comprimento da célula vestibular.

Palavras-chave: abelhas coletoras de óleo; *Centris analis*; criação de polinizadores; manejo de abelhas solitárias; ninhos-armadilha.

ABSTRACT

The oil-collecting bee *Centris analis* is native to Brazil, successfully colonizes trap nests and shows ample potential to be used for the pollination of both native plants and agricultural crops alike. The aim of this study was to ascertain parameters regarding the nesting habits and life-cycle of this species in an urban environment in order to identify intrinsic or environmental stimulating factors that may contribute to the development of more efficient rational management techniques, as a means to maximize the performance of that species in crop pollination. To that end, 833 trap nests differentiated into seven length and diameter classes were offered at the Bee Laboratory of the Department of Animal Science of the Universidade Federal do Ceará (UFC), from August 2019 until March 2024, in three different nesting sites. Each completed nest was kept in one of two incubation sites, under different temperature conditions, until the adult bees emerged. Data on the emergence time and on the number, the mortality and the sex ratio of the offspring were sampled and analyzed, as well as information regarding the length of the vestibular cell in each nest. The results showed that there were significant influences of the nidification year ($p < 0,05$) and of the ratio between the trap nest class and the nidification month ($p < 0,05$) relative to the emergence time of the offspring. There were significant influences of the nidification year ($p < 0,05$), of the trap nest length ($p < 0,05$) and of the ratio between the trap nest class and the nidification month ($p < 0,05$) relative to the brood number, with 197 mm long trap nests presenting the largest number of offspring. Regarding both the proportion of live and dead offspring and the overall survival or mortality of trap nests, there were significant influences of the nidification year ($p < 0,05$), of the kleptoparasite number ($p < 0,05$) and of the ratio between the trap nest class and the nidification month ($p < 0,05$). Additionally, there was a significant influence of the incubation site ($p < 0,05$) relative to the total mortality of trap nests. Intrinsic factors presented no significant influences ($p > 0,05$) on the sex ratio, although it was shifted to males. Regarding the vestibular cell length, the number of cells per nest ($p > 0,05$) and the mean ambient temperature ($p > 0,05$) showed significant influence, with the increase of both variables reducing the vestibular cell length. It is concluded that the control of intrinsic factors to the rational management, such as the length and the material used in trap nests, contributes to a significant improvement in parameters like the number of *C. analis* offspring and its survival, that are important for the performance of this species on crop pollination. For example, the use of trap nests with greater length leads to the production of a larger number of offspring per nest. However, those same parameters vary

considerably from month to month and from year to year. The internal temperature control of the nest, as well as the available space and the protection of the offspring, significantly influence the length of the vestibular cell.

Keywords: oil-collecting bees; *Centris analis*; rearing pollinators; management of solitary bees; trap nests.

4 INTRODUÇÃO

A polinização é o processo que envolve a transferência de grãos de pólen, que são estruturas que contêm as células espermáticas, dos estames (os órgãos masculinos) para os estigmas (os órgãos femininos) de uma flor (FREITAS; BEZERRA, 2024; KLEIN et al., 2020; RECH et al., 2014; VIANA, 2016; WU et al., 2022). Os insetos desempenham um papel crucial nesse processo, sendo responsáveis por cerca de 75% da polinização das culturas alimentares globais e contribuindo com até 9,5% do valor da produção agrícola destinada ao consumo humano (FREITAS; BEZERRA, 2024; GALLAI et al., 2009; KLEIN et al., 2020). Dentre os insetos polinizadores, as abelhas se destacam, pois polinizam aproximadamente 73% das espécies vegetais cultivadas para alimentação humana (FAO, 2004; FREITAS; BEZERRA, 2024; RICKETTS et al., 2008).

Ainda que espécies de abelhas como *Apis mellifera* e aquelas que pertencem ao gênero *Bombus* spp. sejam amplamente comercializadas e possuam um histórico robusto de manejo racional em caixas artificiais, nem sempre são as mais adequadas para todas as plantas cultivadas devido ao seu comportamento generalista de forrageio (FREITAS; BEZERRA, 2024; IPBES, 2019; GIANNINI et al., 2015). Além disso, a introdução dessas espécies nativas da África e da Eurásia pode gerar competição por recursos com abelhas nativas e trazer riscos como a hibridização com espécies locais e a disseminação de doenças e parasitas (FREITAS et al., 2009; GIANNINI et al., 2015; MICHENER, 2007; RECH et al., 2014).

Por outro lado, existem muitas espécies de abelhas silvestres pouco conhecidas que não apenas polinizam a vegetação nativa, mas também têm potencial para polinizar culturas agrícolas comerciais. Essas abelhas podem ser especialmente valiosas se forem desenvolvidos protocolos para técnicas de criação e manejo racional (FREITAS; BEZERRA, 2024; KLEIN et al., 2020; MICHENER, 2007; VIANA, 2016). A maioria dessas espécies apresenta hábito de vida solitário, sendo denominadas abelhas solitárias (KLEIN et al., 2020; MICHENER, 2007; RECH et al., 2014). Muitas delas apresentam adaptações anatômicas e comportamentais específicas para forragear e consumir recursos vegetais especializados (MICHENER, 2007; PRAZ; MÜLLER; DORN, 2008; RASMUSSEN; OLESEN, 2000).

Um exemplo interessante são as abelhas que realizam forrageio de óleo floral, utilizando-o como matéria-prima para a construção e a proteção dos ninhos, e para o aprovisionamento larval (CARNEIRO; MACHADO, 2023; LOURENÇO et al., 2019; MARTINS; MELO; RENNER, 2014; MICHENER, 2007; RASMUSSEN; OLESEN, 2000).

Um exemplo é a espécie *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius, 1804), que nidifica em cavidades já existentes na madeira. Essa espécie apresenta características interessantes como baixo territorialismo, permitindo que várias fêmeas fundadoras nidifiquem lado a lado, e um ciclo de vida multivoltino (LOURENÇO et al., 2019).

Ainda existem lacunas no entendimento acerca da nidificação em ninhos-armadilha entre *C. analis*, especialmente sobre como fatores metodológicos intrínsecos e influências ambientais afetam a produção de ninhos e o desenvolvimento dos imaturos. Portanto, este estudo tem como objetivo investigar aspectos do ciclo biológico e da nidificação dessas abelhas em ambientes urbanos. A intenção é identificar fatores estimulantes intrínsecos ou ambientais que possam contribuir para o desenvolvimento de técnicas eficazes de manejo racional, visando futuramente maximizar o desempenho de *C. analis* na polinização agrícola em grandes culturas.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido durante o período de agosto de 2019 a março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC), localizado no Campus do Pici, que fica no município de Fortaleza – CE (latitude: 3°44'33.70"S e longitude: 38°34'45.46"O, altitude: 30 m acima do nível do mar) (CAVALCANTE *et al.*, 2019; LOURENÇO *et al.*, 2019). O clima local, de acordo com a classificação climática de Köppen (1918), é caracterizado como tropical quente subúmido, sendo assim classificado como Aw'. A pluviosidade média anual é de 1338,0 mm, com o predomínio da ocorrência da estação chuvosa no período de janeiro até maio, as temperaturas médias anuais variam de 26°C a 28°C, e a umidade relativa do ar média é de 78%. (CAVALCANTE *et al.*, 2019; INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ, 2017; IPECE, 2017a; LOURENÇO *et al.*, 2019; MUNIZ *et al.*, 2023).

O local está situado na área urbana de Fortaleza e rodeado por um pequeno fragmento antropizado de cobertura vegetal nativa, caracterizada como mata de tabuleiro (floresta estacional semidecídua dos tabuleiros costeiros) (MORO *et al.*, 2015), onde é possível encontrar certas espécies frutíferas nativas, como o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), o maracujazeiro (*Passiflora* sp. L.) e o muricizeiro (*Byrsonima crassifolia* L.), e exóticas, como o abacateiro (*Persea americana* Mill.), o coqueiro (*Cocos nucifera* L.), o limoeiro (*Citrus × limon* (L.) Osbeck), a mangueira (*Mangifera indica* L.) e a aceroleira (*Malpighia emarginata* DC.) (CAVALCANTE *et al.*, 2019; KLEIN *et al.*, 2020; LOURENÇO *et al.*, 2019; MUNIZ, 2021).

5.2 Ninhos-armadilha e sítios de nidificação

O desenho experimental compôs-se de 68 tábuas de madeira, cada qual com seis ranhuras semicirculares paralelas de forma que a sobreposição de cada duas tábuas formou os orifícios para a inserção dos ninhos-armadilha (NAs). Conjuntamente a essas 68 tábuas, foram oferecidas mais 54 outras tábuas de madeira que, ao invés de ranhuras semicirculares, possuíam cada qual dez orifícios perfurados diretamente na madeira com furadeira, totalizando 122 tábuas de madeira utilizadas ao longo do experimento.

Essas tábuas de madeira foram divididas em três grupos, aqui denominados de sítios de nidificação, separados entre si por 1,80 m e instalados a 1,30 m do solo em um galpão aberto de 10 m de comprimento e 3 m de largura com um telhado de amianto para proteção do sol e

da chuva. Os três sítios de nidificação foram batizados em relação à sua distância individual de um muricizeiro (*B. crassifolia* L.), sendo eles: o sítio Longe do Murici (LM), posicionado de modo mais distante a 5,66 m, contendo 42 tábuas de madeira empilhadas em cinco (5) pilhas paralelas (Figura 1); o Perto do Murici (PM), posicionado mais próximo, a 2,06 m de distância, contendo 36 tábuas de madeira, dentre as quais estavam dez das que foram perfuradas com furadeira, empilhadas em quatro pilhas paralelas (Figura 2); e, finalmente, o sítio denominado Blocos do Meio (BM), localizado entre os sítios LM e PM a 3,86 m do muricizeiro, contendo 44 tábuas de madeira, todas perfuradas com furadeira e empilhadas em cinco pilhas paralelas (Figura 3)

Figura 1 – Criatório racional de abelhas solitárias da espécie *Centris analis* denominado Longe do Murici e designado como sítio de nidificação, contendo 42 tábuas de madeira empilhadas em 5 pilhas paralelas para o acondicionamento de ninhos-armadilha. Desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 2 – Criatório racional de abelhas solitárias da espécie *Centris analis* denominado Perto do Murici e designado como sítio de nidificação, contendo 36 tábuas de madeira empilhadas em 4 pilhas paralelas para o acondicionamento de ninhos-armadilha. Desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 3 – Criatório racional de abelhas solitárias da espécie *Centris analis* denominado Blocos do Meio e designado como sítio de nidificação, contendo 44 tábuas de madeira empilhadas em 5 pilhas paralelas para o acondicionamento de ninhos-armadilha. Desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



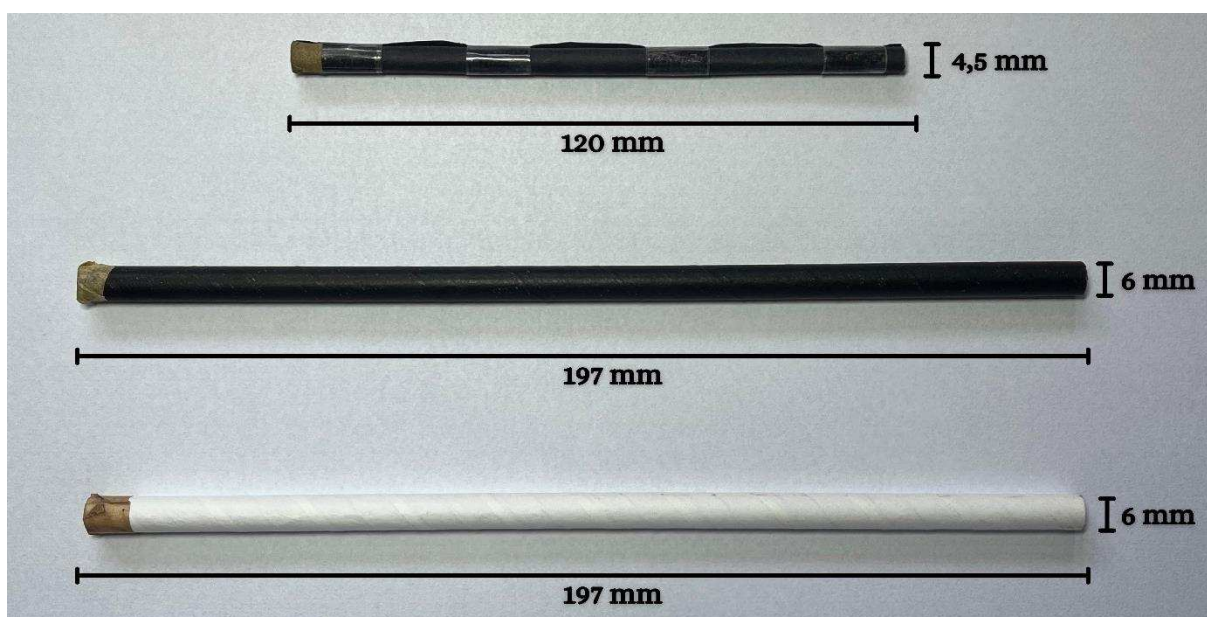
Fonte: elaborada pelo autor.

Embora as tábuas de madeira utilizadas no sítio de nidificação BM, originalmente, permitissem o uso de 440 cavidades, seu *design* de orifícios perfurados com furadeira levou à obstrução de 61 cavidades, resultando na oferta final de 379 cavidades disponíveis para uso. Ao todo, possibilitou a oferta de 833 cavidades para a inserção de NAs, sendo essa quantidade

continuamente disponibilizada ao longo do estudo e dividida em sete classes de acordo com seu comprimento e diâmetro.

A primeira classe foi constituída de 232 tubos confeccionados em cartolina preta com 120 mm de comprimento e 4,5 mm de diâmetro, com uma de suas extremidades fechada com cera de *A. mellifera* ou fita gomada, em adaptação da técnica de NAs proposta por Krombein (1967). A segunda classe foi composta por 222 canudos feitos de papel biodegradável (denominados biocanudos), com 197 mm de comprimento e 6,0 mm de diâmetro, produzidos pela empresa BioCanudo®, com uma de suas extremidades fechadas com fita gomada. Todos os biocanudos possuíam interior de cor branca, porém seu exterior poderia ser preto ou branco (Figura 4). Biocanudos de ambas as cores foram distribuídos aleatoriamente nos sítios de nidificação Longe do Murici (LM) e Perto do Murici (PM).

Figura 4 – Detalhes do comprimento, diâmetro e cor externa das duas primeiras classes de ninhos-armadilha ofertadas para a livre nidificação por fêmeas de *Centris analis*: tubos de cartolina (acima) e biocanudos (no meio e abaixo), ofertados nos sítios de nidificação Longe do Murici, Blocos do Meio Perto do Murici. Desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

A terceira, a quarta, a quinta, a sexta e a sétima classes de NAs foram todas constituídas de tubos confeccionados em cartolina preta com o mesmo comprimento de 100 mm, com uma de suas extremidades fechada com cera de *A. mellifera* ou fita gomada, porém seus diâmetros variaram em 0,5 mm entre cada classe. Os diâmetros utilizados foram 3,5 mm, 4,0 mm, 4,5

mm, 5,0 mm, 5,5 mm. Os NAs dessas últimas seis classes foram distribuídos aleatoriamente no sítio de nidificação BM nas seguintes quantidades:

- Terceira classe (diâmetro de 3,5 mm) – 71 NAs;
- Quarta classe (diâmetro de 4,0 mm) – 90 NAs;
- Quinta classe (diâmetro de 4,5 mm) – 79 NAs;
- Sexta classe (diâmetro de 5,0 mm) – 66 NAs;
- Sétima classe (diâmetro de 5,5 mm) – 73 NAs;

O total foi de 379 NAs utilizados, quantidade essa correspondente ao número disponível de cavidades no sítio de nidificação BM. É importante ressaltar, porém, que esses NAs foram utilizados somente durante parte do estudo, de agosto de 2019 até agosto de 2022, sendo a partir desse mês substituídos por 379 NAs da primeira classe (tubos de cartolina com 120 mm de comprimento e 4,5 mm de diâmetro). Por isso, a fim de evitar problemas de coesão nas análises estatísticas desse estudo, apenas as medidas de comprimento das diferentes classes de NAs foram levadas em consideração.

A distribuição dos 833 NAs nos três sítios de nidificação se deu da seguinte forma: o sítio LM recebeu um total de 222 NAs da primeira e da segunda classe com 132 tubos de cartolina e 90 biocanudos; o sítio PM um total de 232 NAs, também da primeira e da segunda classe com 100 tubos de cartolina e 132 biocanudos (LM e PM receberam biocanudos, tanto de exterior preto quanto de exterior branco, distribuídos em cada sítio de maneira aleatória); e, por fim, o sítio BM recebeu 379 NAs da terceira até a sétima classe, distribuídos conforme as quantidades descritas nos parágrafos acima. A partir de agosto de 2022 todos os NAs utilizados nesse sítio de nidificação foram substituídos por tubos de cartolina da primeira classe.

5.3 Sítios de incubação

Os NAs distribuídos nos sítios de nidificação foram monitorados diariamente, de segunda-feira a sexta-feira, com o objetivo de acompanhar o ciclo de desenvolvimento dos imaturos de *C. analis*, compreendendo o período de tempo entre a operculação do ninho até a emergência dos adultos. Após a conclusão de cada ninho por sua fêmea fundadora, esse ninho foi retirado de sua cavidade em até no máximo 15 a 20 dias após a sua operculação e substituído por outro da mesma classe, para garantir sua disponibilidade contínua para as fêmeas de abelha (LOURENÇO *et al.*, 2019). Cada ninho concluído foi, então, identificado com etiqueta e

armazenado em canudos de plástico transparente, com 210 mm de comprimento e 8 mm de diâmetro.

Cada um dos canudos de plástico tinha uma de suas extremidades fechadas com rolhas de cortiça e a outra com sacos de tecido voil transparente, de 11 cm de altura por 7 cm de largura. Cada canudo plástico contendo um NA operculado foi abrigado em um de dois "incubatórios" distintos, chamados aqui de sítios de incubação, ambos protegidos da chuva e do sol direto e posicionados em locais diferentes.

O primeiro dos sítios de incubação foi batizado de Berçário, localizado no mesmo galpão aberto onde LM e PM foram instalados. O Berçário foi constituído por 23 tijolos, do tipo furado universal (19X19X9cm), organizados em sete colunas paralelas formadas por três ou quatro tijolos individuais empilhados e apoiadas sobre tábuas de madeira (Figura 5). Os NAs operculados entre segunda-feira e sexta-feira, dias regulares da realização do manejo experimental, sempre foram transferidos ao Berçário.

Figura 5 – Sítio de incubação para o acondicionamento ninhos-armadilha operculados de abelhas solitárias da espécie *Centris analis*, denominado Berçário e constituído por 23 tijolos do tipo furado universal (19X19X9cm), organizados em 7 colunas paralelas, formadas por 3 ou 4 tijolos individuais empilhados, apoiadas sobre tábuas de madeira. Este sítio de incubação foi utilizado de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

O segundo sítio de incubação foi denominado BOD, constituído por uma incubadora do tipo Demanda Bioquímica de Oxigênio (*Biochemical Oxygen Demand*), localizado no Laboratório Experimental do Setor de Abelhas. Ninhos operculados durante os fins de semana, foram sempre transferidos ao sítio BOD e mantidos sob controle de temperatura a 27 °C (CAVALCANTE et al., 2019; LOURENÇO et al., 2019). Para fins estatísticos, a data de operculação atribuída a esses NAs foi sempre a de domingo (figura 6).

Figura 6 – Sítio de incubação para o acondicionamento de ninhos-armadilha operculados de abelhas solitárias da espécie *Centris analis* e incubadora do tipo Demanda Bioquímica de Oxigênio (Biochemical Oxygen Demand) denominada BOD [Vista externa (A) e vista interna (B)], que manteve os ninhos-armadilha sob controle de temperatura, a 27 °C. Este sítio de incubação foi utilizado de novembro de 2020 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

Nos sítios de incubação, os ninhos foram verificados diariamente até a emergência dos adultos, que ficaram retidos pelo saco de tecido voil (figura 7). O número de indivíduos e o sexo dos adultos emergidos foi então registrado, assim como a ocorrência de cleptoparasitas ou inimigos naturais.

Figura 7 – Saco de tecido voil retendo 8 indivíduos adultos de *Centris analis* emergidos de um ninho-armadilha da classe biocanudo branco, acondicionado no sítio de incubação Berçário, utilizado de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

É importante destacar que, entre agosto de 2019 e outubro de 2020, o único sítio de incubação utilizado no estudo foi o Berçário, pois o uso do sítio BOD para a incubação de NAs operculados entre sábado de tarde e domingo iniciou-se somente a partir de novembro de 2020, com o retorno às atividades laboratoriais após o início da pandemia covid-19.

5.4 Aspectos da nidificação de *Centris analis*

5.4.1 Tempo de emergência de crias

Para avaliar o tempo de emergência de crias de *C. analis* em NAs nidificados, os sítios de nidificação LM, BM e PM foram acompanhados diariamente ao longo de todo o tempo de estudo. Esse acompanhamento foi realizado por meio de observação local e registro fotográfico. Novos NAs colonizados e operculados foram identificados de segunda-feira a sexta-feira, durante o turno da manhã ou da tarde e, posteriormente, contabilizados.

Como descrito anteriormente, esse ninho foi retirado de sua cavidade em até no máximo 15 a 20 dias após a sua conclusão e transferido para um dos dois sítios de incubação. A data do

armazenamento dos NAs nos sítios de incubação e a data da emergência dos primeiros indivíduos adultos foram registradas.

5.4.2 Número de crias, proporção de crias vivas e mortas

Ambos os sítios de incubação foram monitorados de segunda-feira a sexta-feira, a fim de contabilizar o número total de indivíduos adultos emergidos e retidos nos sacos de tecido voil. Todo NA em que ocorreu a sobrevivência e a emergência de pelo menos um indivíduo adulto foi categorizado como “vivo”.

Como “mortos” foram considerados somente aqueles NAs em que nenhum indivíduo emergiu após 120 dias a partir da data de operculação de seus ninhos, de acordo com o método proposto por Cavalcante *et al.* (2019). Os NAs considerados mortos foram abertos com o uso de tesoura, e o número de indivíduos presentes em seu interior foi contabilizado para averiguar a possível correlação entre os sítios de incubação e a taxa de mortalidade observada em imaturos de *C. analis*.

5.4.3 Razão sexual

Ambos os sítios de incubação foram monitorados de segunda-feira a sexta-feira a fim de visualizar indivíduos adultos machos e fêmeas retidos nos sacos de tecido voil. O número de indivíduos de ambos os sexos foi registrado e comparado ano após ano. Após a coleta de informações, todos os adultos emergidos foram soltos próximo aos sítios de nidificação LM, BM e PM para dar continuidade à colonização de novos NAs.

5.4.4 Comprimento da célula vestibular

Passados quatro dias após o surgimento do primeiro adulto de cada ninho de *Centris analis*, intervalo identificado por Lourenço *et al.* (2019) como o tempo máximo para a emergência do último indivíduo da prole dessa espécie, os NAs foram abertos com o uso de tesoura para a contabilização do número de células de cria em seu interior e para identificar a presença ou ausência de célula vestibular.

Além disso, as células de cria e vestibulares de cada ninho tiveram seus comprimentos mensurados e registrados em centímetros com o uso de paquímetro. O processo descrito acima foi realizado em todos os NAs (CAVALCANTE *et al.*, 2019; LOURENÇO *et al.*, 2019).

5.5 Análises estatísticas

Todos os dados referentes aos aspectos da nidificação de *Centris analis*, isto é, o tempo de emergência de crias desde a operculação do ninho até a emergência de adultos; o número de crias vivas e mortas; o número de ninhos vivos ou mortos; o número de machos e de fêmeas; e o comprimento em centímetros da célula vestibular de cada ninho (quando presente) foram registrados em tabelas no software Microsoft Excel 2013.

Para as análises, foram tomados como variáveis explicativas o ano, o mês, o comprimento de NA, o material de NA (tubos de cartolina ou biocanudos), o número de cleptoparasitas, o sítio de nidificação e as suas interações. Por sua vez, o tempo de emergência de crias, o número de crias, a sobrevivência do ninho como um todo, a proporção de crias vivas e a razão macho e fêmea foram consideradas como variáveis resposta. Foi identificado que as variáveis empregadas neste estudo não pertenciam à família exponencial linear, que é um conjunto de distribuições de probabilidades que podem ser expressas em uma forma específica. Essa estrutura facilita a modelagem estatística e o uso de métodos como a regressão generalizada. Ela se caracteriza por uma função de verossimilhança comum, simplificando a análise de dados (STASINOPOULOS *et al.*, 2017). O não pertencimento das variáveis à família exponencial linear tornou necessária a escolha de distribuições teóricas adequadas para modelar os dados e o emprego do modelo GAMLSS para realizar a sua modelagem.

O modelo *Generalized Additive Model for Location, Scale and Shape* (GAMLSS) é uma generalização de modelos generalizados aditivos (GAM) e de modelos lineares generalizados (GLM) que permite o emprego de distribuições que não pertençam à família exponencial linear, como observado nas análises deste estudo. Além disso, o GAMLSS permite, em princípio, que as variáveis respostas sejam modeladas com o uso de qualquer distribuição e que outros parâmetros além da média e da variância sejam modelados. Dessa forma, parâmetros de localização, escala e forma podem ser modelados em função de covariáveis, e preditores lineares podem incorporar funções suavizadas não-paramétricas (STASINOPOULOS *et al.*, 2017). O objetivo do emprego do modelo GAMLSS foi verificar se e também como as variáveis explicativas afetam as variáveis resposta. A distribuição marginal de cada variável resposta foi estudada a fim de selecionar uma distribuição teórica adequada para modelar os dados (tabela 1).

Tabela 1 – Lista dos aspectos da nidificação de *Centris analis* tomados como variáveis resposta para modelagem de dados com o uso de modelos *Generalized Additive Model for Location, Scale and Shape* (GAMLSS), juntamente com detalhes acerca de cada variável individual e as distribuições teóricas utilizadas para cada uma, escolhidas de acordo com a distribuição marginal que apresentaram.

Variáveis resposta	Detalhes sobre a variável	Distribuição teórica
Tempo de emergência de crias	Diferença entre a data de emergência de crias e a data de operculação	Box-Cox t (BCTo)
Número de crias	Número total de crias por ninhos-armadilha	Poisson (PO)
Proporção de crias vivas	Diferença entre o número de crias vivas e o número de crias mortas no ninho	Exponencial de potência assimétrica (SEP)
Sobrevivência ou mortalidade do ninho-armadilha como um todo	Ninho vivo (sobrevivência de pelo menos uma cria) ou morto (mortalidade total)	Binomial (BI)
Razão machos/fêmeas	(n° fêmeas - n° machos) + 7 Foi acrescido o valor sete (7) para não existir valor negativo	Poisson (PO)

Fonte: elaborada pelo autor.

As distribuições teóricas empregadas selecionadas para modelar cada uma das variáveis resposta foram:

Distribuição teórica de Box-Cox t (BCTo) é uma forma de modelar dados que podem não seguir uma distribuição normal, ou seja, que têm características diferentes, como assimetria e variância heterogênea. Ela funciona transformando os dados para que se ajustem melhor a um modelo estatístico, permitindo uma análise mais precisa. No caso do tempo de emergência de crias de *C. analis*, essa distribuição é útil pois os dados podem variar bastante e não seguir um padrão simples. A distribuição BCTo ajuda a capturar essas variações e a entender melhor o processo de desenvolvimento das abelhas, tornando-a uma escolha eficaz para modelar esse tipo de dado.

Distribuição teórica de Poisson (PO) é uma maneira de modelar eventos que ocorrem em um intervalo fixo de tempo, especialmente quando esses eventos são raros ou

independentes. Pode-se dizer que ela ajuda a prever quantas vezes algo pode acontecer, como o número de crias de *C. analis* em um NA e a razão entre machos e fêmeas. A distribuição de Poisson é ideal porque esses dados geralmente envolvem contagens discretas, permitindo, por exemplo, contabilizar quantas abelhas emergiram em diferentes ninhos e como se distribuem os sexos. A distribuição PO permite entender melhor essas variações e fazer previsões sobre o que esperar em diferentes situações, tornando-a uma escolha eficaz para a análise desses dados específicos.

Distribuição teórica Exponencial de Potência Assimétrica (SEP) é útil para modelar dados que apresentam assimetrias significativas, ou seja, quando os valores não estão distribuídos de maneira uniforme em torno de uma média. Ela pode ajudar a entender como diferentes fatores podem influenciar a diferença entre dois grupos, como a diferença entre o número de crias de *C. analis* vivas e o número de crias mortas em um mesmo ninho, já que esses dados podem ter uma distribuição desigual, como um ninho que possui muito mais filhotes vivos do que mortos, ou vice-versa. A SEP é capaz de capturar essa assimetria e fornecer uma melhor representação dos dados, por isso foi escolhida para modelar esses dados.

Distribuição teórica Binomial (BI) permite modelar situações em que há dois resultados possíveis, como "sucesso" e "fracasso", ajudando a entender quantas vezes um evento específico pode acontecer em um número fixo ao longo de uma sequência de experimentos independentes. No caso da sobrevivência ou mortalidade de NAs individuais, a distribuição binomial torna-se adequada já que estamos lidando com contagens discretas de dois resultados: ninhos que tiveram a sobrevivência de pelo menos uma cria ("vivos" = sucesso) e aqueles que tiveram mortalidade total de todas as crias ("mortos" = fracasso). Assim, torna-se possível calcular a probabilidade de se observar um certo número de NAs vivos ou mortos, dado um número total fixo de NAs analisados, justificando a escolha dessa distribuição teórica.

Os modelos GAMLSS foram empregados assumindo-se que cada variável resposta apresentou distribuição conforme descrito na tabela 1 e explicado anteriormente. Como consequência, o teste LRT (*Likelihood Ratio Test*) ou teste de razão de verossimilhança foi empregado para verificar quais as variáveis explicativas que afetavam significativamente as variáveis respostas. O teste LRT compara a adequação de dois modelos, comumente um modelo mais simples (modelo nulo) e um modelo mais complexo (modelo alternativo), verificando se o modelo alternativo oferece uma melhoria significativa no ajuste aos dados em comparação com o modelo nulo (STASINOPOULOS *et al.*, 2017). Os resultados obtidos a partir dos testes

de razão de verossimilhança foram apresentados em tabelas cujas colunas significam, respectivamente:

Df são os graus de liberdade.

AIC é o critério de informação de Akaike. É normalmente utilizado para comparar modelos. Modelos com menor AIC tendem a ser melhores que os com AIC elevado.

LRT é o teste de razão de verossimilhança. É calculado com a seguinte fórmula:

$$\text{LRT} = -2 \log \Lambda = -2 \log \left(\frac{L(\theta_0)}{L(\hat{\theta})} \right)$$

Onde:

$L(\theta_0)$ é a verossimilhança do modelo nulo (o modelo mais simples), avaliada no valor do parâmetro θ_0 (os parâmetros estimados sob o modelo nulo).

$L(\theta)$ é a verossimilhança do modelo alternativo (o modelo mais complexo), avaliada no valor do parâmetro θ (os parâmetros estimados sob o modelo alternativo).

Pr(Chi) ou **valor-p** é o nível descritivo do teste ou a probabilidade de se observar uma estatística de LRT tão extrema quanto a calculada, dado que a hipótese nula é verdadeira. O valor-p foi calculado tomando-se $p < 0,05$ para assumir que existe diferença significativa. Pode ser obtido utilizando-se a distribuição qui-quadrado (χ^2) com df graus de liberdade, sendo calculado pela fórmula:

$$p = P(\chi_k^2 \geq \text{LRT})$$

Ou seja, o valor-p é a probabilidade de a estatística qui-quadrado (χ^2) ser maior ou igual ao valor de LRT observado. O k subscrito em χ são os graus de liberdade (df) (PEREIRA, 2014; SAMPAIO, 2002; STASINOPOULOS *et al.*, 2017).

Além disso, uma segunda análise foi realizada para verificar os efeitos das variáveis ambientais sobre o comprimento da célula vestibular. Para tal foram coletados dados ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), tais como precipitação, umidade relativa do ar, temperatura e radiação. Para evitar o efeito da multicolinearidade foram retiradas as variáveis com correlação elevada (>60%) e deixadas apenas as não correlacionadas (PEREIRA,

2014; SAMPAIO, 2002). Assim, tomou-se o crescimento vestibular como variável resposta e apenas precipitação e temperatura foram inseridas no modelo como variáveis explicativas ambientais. Além dessas, o número de cleptoparasitas e de células também foram inseridos como variáveis explicativas. O modelo GAMLSS foi utilizado com a distribuição Gama Generalizada (GG) para modelar o comprimento da célula vestibular.

Distribuição teórica Gama Generalizada (GG) possibilita modelar dados que podem ter uma variabilidade significativa, como quando se precisa descrever situações em que os valores podem ser assimétricos ou ter caudas longas, o que significa que alguns resultados extremos são mais prováveis do que em outras distribuições. No caso do efeito de variáveis ambientais sobre o comprimento da célula vestibular encontrada nos ninhos *C. analis*, a distribuição gama generalizada se adequa, pois o comprimento pode vir a variar bastante devido à temperatura e à precipitação pluviométrica.

6 RESULTADOS

6.1 Tempo de emergência de crias

O tempo médio de emergência de crias medido em dias, quando avaliado em comparação a todos os anos de estudo, foi mais significativo nos anos de 2019 ($37,36 \pm 9,61$ dias) e 2020 ($42,44 \pm 25,24$ dias), apresentando valores de média e desvio-padrão destoantes dos demais registrados nos demais anos (tabela 2). Os meses amostrados em 2019 foram apenas cinco (5), o que corresponde ao período entre agosto e dezembro de 2019, possibilitando a coleta de uma quantidade de NAs menor que nos anos seguintes. No ano de 2020, iniciou-se a pandemia da covid-19. Em 11 de março de 2020, iniciou-se um *lockdown* que, em Fortaleza-CE, foi decretado no dia 5 de março de 2020 e se estendeu até o mês de junho, quando foi instaurada a sua fase de reabertura. A pandemia limitou o acesso ao local de estudo e o número disponível de ninhos para o acompanhamento durante o período do *lockdown*, interferindo nos valores finais da análise.

Tabela 2 – Tempo médio de emergência de crias de *Centris analis* (dias) por ano de estudo, em ninhos-armadilha. A tabela foi desenvolvida no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

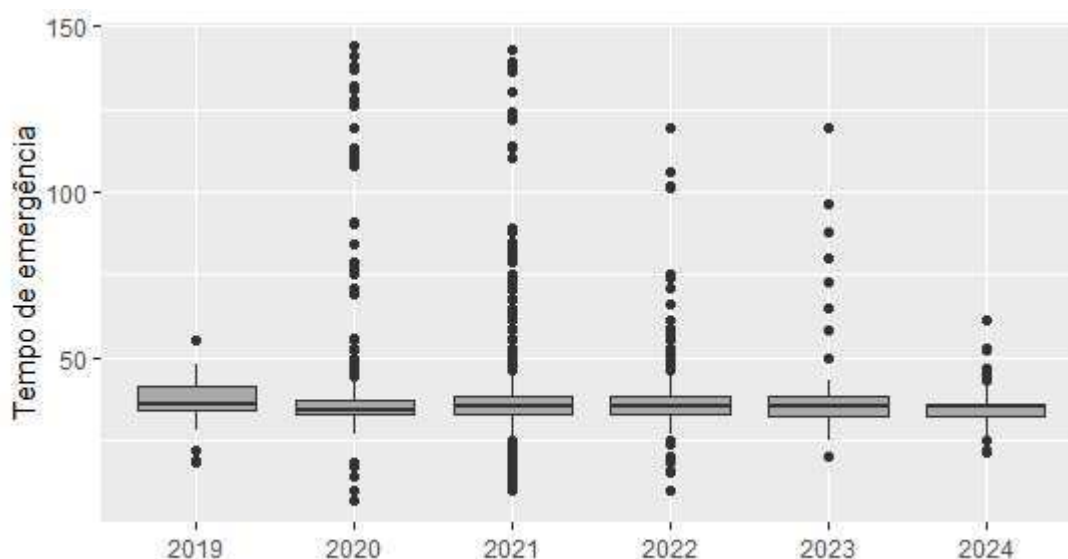
Ano	Tempo médio de emergência de crias (dias)
2019	37,36 ± 9,61 a
2020	42,44 ± 25,24 ab
2021	39,24 ± 19,21 c
2022	37,21 ± 12,51 bd
2023	36,53 ± 11,43 cd
2024	34,72 ± 5,37 e

Fonte: elaborada pelo autor.

No ano de 2021, houve a segunda onda do vírus da covid-2019 com *lockdown* iniciado no dia 5 de março de 2021 em Fortaleza-CE. Nesse ano, porém, a fase de reabertura começou no mês de abril, e sua interferência na coleta de dados foi comparativamente menor. As crias de *C. analis* demoraram em média 39,24 dias para emergirem em 2021, com uma variação de 19,21 dias. Esses valores foram mais próximos daqueles registrados nos dois anos seguintes, sem a interferência da pandemia ou de outros eventos disruptivos à pesquisa, estabilizando em valores de média e variação similares em 2022 (37,21 ± 12,51) e 2023 (36,53 ± 11,43). Em 2024, foi registrada uma queda pequena, porém significativa nestes valores (34,72 ± 5,37), que pode ser atribuída ao fato de que apenas três meses (janeiro a março) foram amostrados nesse ano, levando a uma quantidade menor de ninhos analisados em um mesmo período climático.

No gráfico 1, é possível visualizar que os valores médios de tempo de emergência de crias se estabilizaram a partir de 2021 até 2023. Foram observadas, ao longo de todo o tempo de estudo, grandes variações no tempo de emergência em dias entre NAs individuais e alguns NAs em 2022, apresentando emergência de crias até 13 dias antes ou depois do tempo médio registrado (36,53 dias), por exemplo. O gráfico 1 expressa a grande quantidade de *outliers* encontrada, especialmente durante os anos da pandemia.

Gráfico 1 – Diagrama de caixa (*box plot*) do tempo médio de emergência de crias de *Centris analis* (dias) em ninhos-armadilha por ano de estudo. O diagrama foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

O teste de razão de verossimilhança, que foi realizado com base na distribuição teórica Box-Cox t (BCTo), revelou que apenas os fatores estimulantes intrínsecos do ano de estudo ($p = 0,000 < 0,05$) e da interação entre o material dos NAs e os meses de amostragem ($p = 0,000 < 0,05$) foram significativos para uma redução do tempo médio de emergência de crias de *C. analis* (tabela 3).

Tabela 3 – Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica Box-Cox t (BCTo) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes intrínsecos em relação ao tempo médio de emergência de crias de *Centris analis* (dias) em ninhos-armadilha por ano de estudo, Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). O teste foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Variáveis explicativas	Df	AIC	LRT	Pr(Chi)
Ano	5	9317,816	91,384	0,000
Comprimento	1	9241,085	0,103	0,748
Número de parasitas	1	9237,339	2,907	0,088
Sítio de incubação	1	9235,175	0,743	0,389
Material: mês	22	9265,271	72,839	0,000

Fonte: elaborada pelo autor.

A interação dos três (3) materiais de confecção de NAs (biocanudos brancos, biocanudos pretos e tubos de cartolina), com os meses de todos os anos de estudo, demonstrou que os biocanudos brancos apresentaram tempo de emergência médio de crias em dias ($35,75 \pm 8,14$) mais curto e com menor variação do que os biocanudos pretos ($41,69 \pm 26,18$ dias) e os tubos de cartolina ($38,71 \pm 19,99$ dias) (tabela 4). É importante levar em consideração, porém, que os biocanudos brancos apresentaram a menor preferência de nidificação pelas fêmeas de *C. analis*, sendo nidificados, ao longo do tempo de estudo, apenas 275 NAs. Em contrapartida, as abelhas nidificaram um total de 773 biocanudos pretos e 773 tubos de cartolina. A menor nidificação e subsequente menor amostragem de biocanudos brancos influenciaram os resultados finais da análise.

Tabela 4 – Tempo médio de emergência de crias de *Centris analis* (dias) em ninhos-armadilha, correlacionado ao material de cada classe de ninho-armadilha e ao mês de nidificação. Esse tempo foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Material	Mês	Tempo médio de emergência de crias (dias)
Biocanudos brancos	Janeiro	$35,66 \pm 4,83$ c
	Fevereiro	$36,12 \pm 1,45$ cd
	Março	$36,76 \pm 6,39$ cd
	Abril	$31,25 \pm 11,50$ ab
	Maio	$36,74 \pm 5,65$ cd
	Junho	$37,64 \pm 11,81$ d
	Julho	$35,64 \pm 2,44$ c
	Agosto	$33,40 \pm 5,41$ b
	Setembro	$31,20 \pm 2,17$ ab
	Outubro	$43,67 \pm 24,47$ e
	Novembro	$35,30 \pm 8,18$ c
	Dezembro	$30,76 \pm 3,46$ a
Tempo médio total:		$35,75 \pm 8,14$ cA
Biocanudos pretos	Janeiro	$36,79 \pm 12,00$ b
	Fevereiro	$40,40 \pm 16,24$ c
	Março	$43,44 \pm 22,10$ e
	Abril	$43,32 \pm 21,14$ e

Tubos de cartolina	Maio	40,75 ± 23,18 c
	Junho	32,33 ± 15,20 a
	Julho	40,95 ± 22,72 c
	Agosto	34,71 ± 8,79 ab
	Setembro	32,93 ± 2,52 a
	Outubro	42,56 ± 30,70 d
	Novembro	36,51 ± 13,35 b
	Dezembro	41,69 ± 26,18 cd
	Tempo médio total:	39,47 ± 18,47 cB
	Janeiro	38,29 ± 17,10 c
	Fevereiro	39,77 ± 15,63 c
	Março	35,88 ± 13,69 b
	Abril	52,52 ± 35,90 e
	Maio	30,18 ± 10,60 a
	Junho	40,21 ± 25,24 cd
	Julho	44,63 ± 21,80 d
	Agosto	42,45 ± 10,98 d
	Setembro	36,57 ± 11,38 bc
	Outubro	34,56 ± 4,24 b
	Novembro	39,12 ± 23,46 c
	Dezembro	39,68 ± 23,05 c
	Tempo médio total:	38,71 ± 19,99 cB

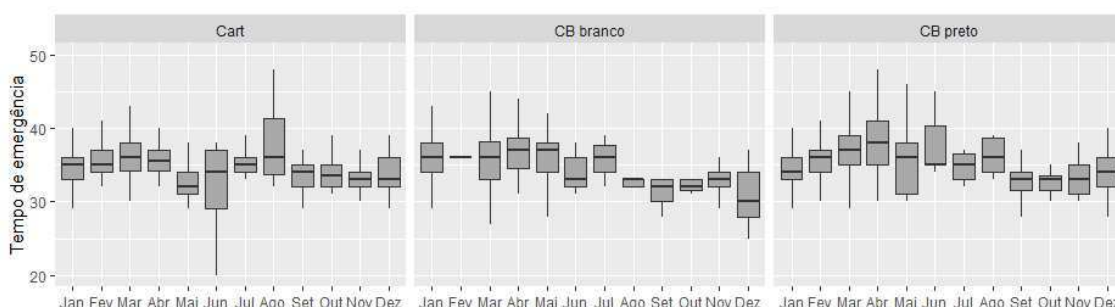
Fonte: elaborada pelo autor.

Os biocanudos pretos e os tubos de cartolina não apresentaram diferença significativa em seus valores de tempo médio e desvio-padrão, com menos de um dia de diferença entre si para ambos os valores. É importante também ressaltar que foram nidificados em quantidades iguais pelas fêmeas de *C. analis*, apesar de terem sido ofertados nos sítios de nidificação, em quantidades distintas.

Analisando os valores do tempo médio de emergência de crias e a variação por mês dos três tipos de material, foi possível identificar uma tendência para todos os três na qual os tempos médios em dias aumentavam no primeiro semestre do ano e diminuía no segundo, mantendo-se particularmente estáveis entre setembro e dezembro, coincidindo com o início e o pico da

estação seca (gráfico 2). Os biocanudos brancos apresentaram a maior homogeneidade (menor variação) de valores, o que pode ser atribuído à menor quantidade de NAs nidificados disponível para a amostragem. Em seguida, veem-se valores mais homogêneos para os tubos de cartolina, com picos anômalos de variação nos meses de junho e agosto.

Gráfico 2 – Diagrama de caixa (*box plot*) do tempo médio de emergência de crias de *Centris analis* (dias) em ninhos-armadilha, correlacionado ao mês de nidificação e ao material de cada classe de ninho-armadilha, Cart (tubos de cartolina), CB branco (biocanudos brancos), CB preto (biocanudos pretos). Foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

6.2 Número de crias, proporção de crias vivas e mortas

6.2.1 Número de crias

O número de crias de *C. analis* por NA foi mais significativo, sobretudo, no ano de 2024 ($4,65 \pm 2,23$), com um número médio de crias maior e variação menor do que aqueles registrados nos quatro anos anteriores (tabela 5). Porém, esses resultados podem ser atribuídos à amostragem de apenas três meses no ano de 2024 (janeiro a março), durante o ápice do período chuvoso local, o que levou a uma quantidade maior de NAs nidificados e de células de cria construídas, aumentando a proporção de crias emergidas por ninho em comparação com os anos anteriores.

Tabela 5 – Número total de ninhos-armadilha, número total de crias e número total médio de crias de *Centris analis* por ninhos-armadilha, correlacionados ao mês e ao ano de nidificação, (obs.: Se não há valor de desvio-padrão, é porque existe somente uma observação para o caso.) foram desenvolvidos no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Ano	Mês	N.º total de ninhos	N.º total de crias	Número total médio de crias por ninhos
2019	Agosto	15	10	0,86 ± 0,69 b
	Setembro	7	7	1,20 ± 0,84 ab
	Novembro	1	3	3,00 ± 0,00 c
	Dezembro	11	14	1,71 ± 1,70 a
Números totais (2019)		34	34	1,35 ± 1,23 aD
2020	Janeiro	27	22	1,73 ± 1,42 d
	Março	11	8	2,67 ± 1,15 c
	Maio	1	2	2,00 ± 0,00 e
	Junho	1	4	4,00 ± 0,00 e
	Julho	10	28	3,43 ± 3,10 b
	Agosto	9	15	2,40 ± 2,30 c
	Setembro	21	49	3,15 ± 1,95 bc
	Outubro	8	35	5,20 ± 1,30 a
	Novembro	100	286	3,86 ± 2,30 b
	Dezembro	91	265	3,20 ± 2,37 bc
Números totais (2020)		279	714	3,38 ± 2,30 bC
2021	Janeiro	190	592	3,78 ± 2,46 c
	Fevereiro	160	311	2,78 ± 2,17 d
	Março	136	248	2,48 ± 2,12 d
	Abril	65	197	2,33 ± 1,87 de
	Maio	46	114	2,00 ± 1,98 de
	Junho	30	65	1,00 ± 1,37 e
	Julho	30	101	2,50 ± 2,45 d
	Agosto	4	13	1,25 ± 2,50 e
	Setembro	5	19	3,40 ± 1,82 c
	Outubro	9	40	3,33 ± 1,50 c
	Novembro	30	153	6,90 ± 2,05 a

	Dezembro	41	135	$4,33 \pm 2,14$ b
Números totais (2021)		746	1988	$3,10 \pm 2,44$ cC
	Janeiro	60	239	$4,21 \pm 2,27$ c
	Fevereiro	45	138	$4,38 \pm 2,46$ b
	Março	72	268	$4,29 \pm 2,83$ bc
	Abril	33	110	$2,52 \pm 1,99$ e
	Maio	43	134	$2,89 \pm 2,67$ e
2022	Junho	24	113	$4,61 \pm 1,70$ ab
	Julho	26	96	$4,79 \pm 2,02$ ab
	Agosto	31	65	$5,08 \pm 2,47$ a
	Setembro	23	86	$4,42 \pm 1,64$ a
	Outubro	21	83	$3,48 \pm 1,81$ d
	Novembro	39	199	$4,74 \pm 2,22$ ab
	Dezembro	31	164	$4,58 \pm 2,57$ b
Números totais (2022)		448	1695	$4,10 \pm 2,41$ cB
	Janeiro	54	278	$4,74 \pm 2,32$ c
	Fevereiro	26	122	$3,85 \pm 2,56$ cd
	Março	23	81	$2,52 \pm 1,73$ d
	Abril	9	37	$2,44 \pm 1,67$ d
	Maio	23	123	$5,09 \pm 1,93$ b
2023	Junho	11	53	$4,00 \pm 1,00$ c
	Julho	5	32	$6,40 \pm 2,30$ a
	Agosto	2	10	$4,50 \pm 3,54$ c
	Setembro	1	4	$4,00 \pm 0,00$ e
	Outubro	2	13	$6,00 \pm 1,41$ a
	Novembro	10	40	$4,33 \pm 2,50$ c
	Dezembro	19	99	$5,00 \pm 2,29$ b
Números totais (2023)		185	892	$4,28 \pm 2,31$ cB
	Janeiro	42	228	$4,90 \pm 2,39$ a
2024	Fevereiro	33	159	$4,30 \pm 2,11$ b
	Março	51	270	$4,67 \pm 2,19$ ab
Números totais (2024)		126	657	$4,65 \pm 2,23$ bA

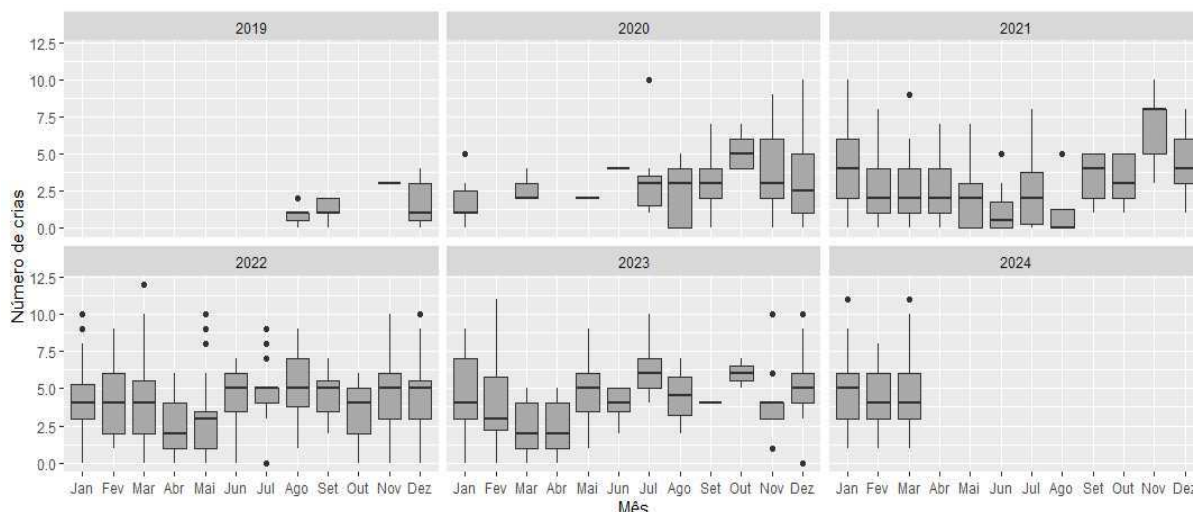
Fonte: elaborada pelo autor.

Os anos de 2022 ($4,10 \pm 2,41$) e 2023 ($4,28 \pm 2,31$) apresentaram os valores de média e desvio-padrão mais estáveis ao longo do tempo de estudo, sendo considerados os mais significativos após aqueles do ano de 2024 (tabela 5). Após o fim dos *lockdowns* causados pela pandemia da covid-19, em 2020 e 2021 (Fortaleza-CE), e a subsequente normalização do manejo racional realizado na área de estudo, o número anual de crias emergidas por ninho estabilizou-se com valores de média e variação similares. Ainda assim, os dois anos apresentaram quantidades diferentes de NAs (448 em 2022 e 185 em 2023) e de crias emergidas (1695 em 2022 e 892 em 2023), sendo 2022 o ano mais produtivo dos dois.

Os anos de 2020 e 2021 foram os mais afetados pela pandemia, impossibilitando o manejo racional diário dos ninhos e influenciando diretamente no número de crias de *C. analis* emergidas em cada ano (tabela 5). Durante o ano de 2020, houve perda total dos dados de fevereiro, e foram registrados apenas 279 NAs nidificados ao longo de todo o ano, com um total de 714 crias emergidas, com apenas um NA nidificado nos meses de maio e de junho. Durante o ano de 2021, apesar do *lockdown* ocorrido entre março e abril, o número de NAs nidificados (746) e o número de crias emergidas (1988) foram comparativamente mais elevados, sendo os maiores registrados durante o tempo de estudo, sobretudo durante o primeiro semestre.

O ano de 2019, com amostragem, englobou cinco meses (de agosto a dezembro), apresentou a menor quantidade de crias emergidas por ninho e a menor variância ($1,35 \pm 1,23$), possivelmente devido ao menor número de NAs disponíveis, havendo nenhum durante o mês de outubro e apenas um NA no mês de novembro (tabela 5). É possível notar tanto na tabela 5 como no gráfico 3, que o número de crias emergidas de *C. analis* segue um padrão mensal similar ao longo de todos os anos de estudo: começa a aumentar entre julho e agosto de cada ano, crescendo até atingir um pico entre novembro e janeiro. Esta quantidade se mantém relativamente estável até fevereiro, começando a regredir até atingir seus menores números durante os meses de maio e junho e, após esse período, retorna ao crescimento.

Gráfico 3 – Diagrama de caixa (*box plot*) do número total médio de crias de *Centris analis* por ninhos-armadilha, ao longo dos meses e anos de nidificação. Foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

O teste de razão de verossimilhança, que foi realizado com base em distribuição teórica de Poisson (PO), mostrou que somente os fatores estimulantes intrínsecos do ano de estudo ($p = 0,000 < 0,05$), do comprimento dos NAs ($p = 0,009 < 0,05$) e da interação entre o material dos NAs e os meses de amostragem ($p = 0,000 < 0,05$) foram significativos para um aumento do número total de crias de *C. analis* por NA (Tabela 6).

Tabela 6 – Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica de Poisson (PO) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes intrínsecos e ambientais em relação ao número total médio de crias de *Centris analis* por ninhos-armadilha, Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). Esse teste foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

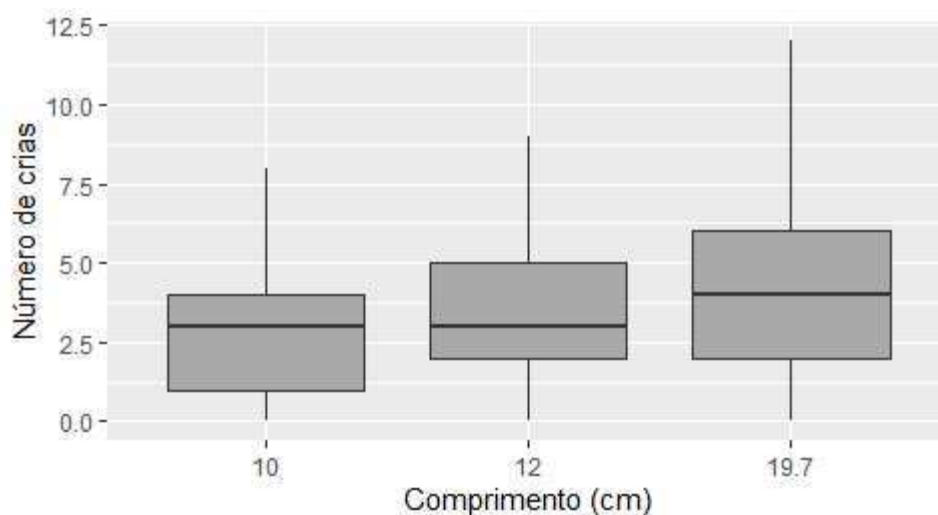
Variáveis explicativas	Df	AIC	LRT	Pr(Chi)
Ano	5	6021,645	173,380	0,000
Comprimento	2	5863,659	9,394	0,009
Número de parasitas	1	5857,677	1,412	0,235
Sítio de incubação	1	5856,470	0,205	0,650
Material: mês	22	5890,159	75,894	0,000

Fonte: elaborada pelo autor.

A análise do número total médio de crias pelo comprimento em milímetros do NA em que as crias emergiram demonstrou claramente que o aumento do comprimento dos NAs resulta

tanto em valores médios mais elevados como em uma variação maior do número de crias que podem emergir (gráfico 4). Por exemplo, tanto os NAs com 100 mm de comprimento como aqueles com 120 mm apresentaram números totais médios iguais, próximos a 3 indivíduos emergidos por ninho, mas a variação dos ninhos de 120 mm foi mais elevada, com um máximo de 5 crias emergidas e um mínimo próximo a 2, maior que o mínimo dos ninhos de 100 mm de comprimento, próximo a 1. Da mesma maneira, os ninhos de 197 mm de comprimento apresentaram o número total médio mais elevado, próximo a 4 crias, e a maior variação, de aproximadamente 2 até 6 crias emergidas.

Gráfico 4 – Diagrama de caixa (*box plot*) do número total médio de crias de *Centris analis*, em relação ao comprimento de ninhos-armadilha, foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

A interação dos três materiais de confecção de NAs (biocanudos brancos, biocanudos pretos e tubos de cartolina) com os meses de todos os anos de estudo revelou que os biocanudos brancos apresentaram o maior número total médio de crias por ninhos ($4,47 \pm 2,44$) das três categorias (tabela 7). Isso pode ser explicado pela menor amostragem de biocanudos brancos (275 NAs), que foram menos nidificados pelas fêmeas de *C. analis* em comparação com os biocanudos pretos (773 NAs) e os tubos de cartolina (773 NAs), interferindo com a proporção analisada. Embora essas duas últimas categorias de NA tenham sido nidificadas em quantidades iguais pelas abelhas, os biocanudos pretos apresentaram um total de 2928 crias emergidas, ou seja, 1158 indivíduos a mais que o total de 1770 registrado nos biocanudos, demonstrando mais uma vez a influência das dimensões de comprimento e diâmetro na quantidade de crias de *C. analis* que podem emergir.

Tabela 7 – Número total de ninhos-armadilha, número total de crias e número total médio de crias de *Centris analis* por ninhos-armadilha, correlacionado ao material de cada classe de ninho-armadilha e ao mês de nidificação. Esse número foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

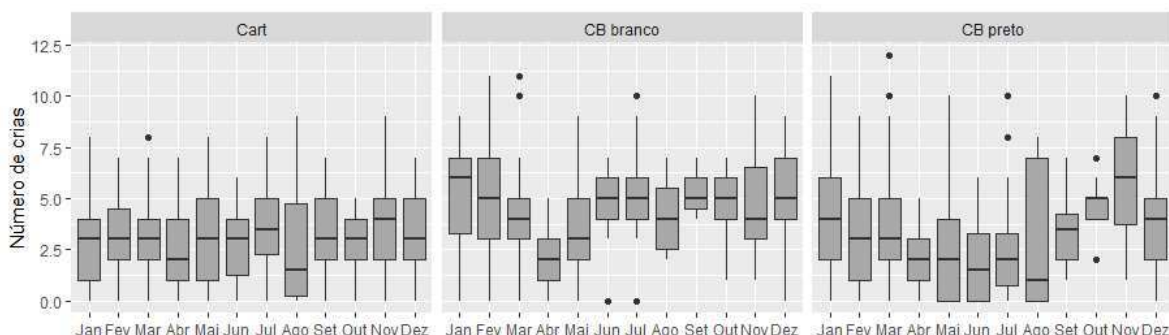
Material	Mês	N.º total de ninhos	N.º total de crias	Número total médio de crias por ninhos
Biocanudos brancos	Janeiro	35	209	5,38 ± 2,49 a
	Fevereiro	29	153	4,90 ± 2,53 ab
	Março	48	231	4,09 ± 2,37 cd
	Abril	21	66	2,24 ± 1,64 e
	Maio	32	125	3,58 ± 2,73 d
	Junho	19	101	4,74 ± 1,69 b
	Julho	24	102	5,11 ± 2,23 ab
	Agosto	18	33	4,14 ± 2,12 cd
	Setembro	8	37	5,29 ± 1,11 ab
	Outubro	9	46	4,78 ± 1,86 b
	Novembro	12	58	4,55 ± 2,88 c
	Dezembro	20	118	5,45 ± 2,33 a
	Números totais (biocanudos brancos)	275	1279	4,47 ± 2,44 cA
Biocanudos pretos	Janeiro	198	893	4,29 ± 2,46 b
	Fevereiro	125	410	3,22 ± 2,34 c
	Março	125	386	3,77 ± 2,86 c
	Abril	40	129	2,18 ± 1,67 de
	Maio	33	119	2,68 ± 2,64 d
	Junho	22	62	2,00 ± 2,10 e
	Julho	28	92	2,63 ± 2,75 d
	Agosto	10	22	3,20 ± 3,96 c
	Setembro	18	46	3,33 ± 1,83 c
	Outubro	11	57	4,44 ± 1,67 ab
	Novembro	67	342	5,73 ± 2,48 a
	Dezembro	96	370	3,85 ± 2,59 bc
	Números totais	773	2928	3,77 ± 2,63 cB

(biocanudos pretos)				
Tubos de cartolina	Janeiro	140	257	$3,12 \pm 1,92$ b
	Fevereiro	110	161	$3,28 \pm 1,97$ ab
	Março	120	254	$2,91 \pm 1,89$ c
	Abril	46	149	$2,73 \pm 2,18$ c
	Maio	50	143	$3,20 \pm 2,31$ ab
	Junho	25	72	$2,78 \pm 1,83$ c
	Julho	19	63	$3,71 \pm 2,33$ a
	Agosto	33	53	$2,67 \pm 2,70$ c
	Setembro	32	82	$3,13 \pm 1,92$ b
	Outubro	20	68	$3,05 \pm 1,54$ bc
	Novembro	101	281	$3,70 \pm 1,98$ a
	Dezembro	77	187	$3,17 \pm 1,92$ b
Números totais				
(tubos de cartolina)		773	1770	$3,15 \pm 2,01$ bC

Fonte: elaborada pelo autor.

No gráfico 5, referente à interação de variáveis explicativas explanada acima, é possível visualizar mais claramente o efeito das maiores dimensões de comprimento e diâmetro na variação do número de crias por NA. Os biocanudos brancos e pretos possuem uma maior variação mensal no número de crias que apresentaram, especialmente os biocanudos pretos, preferidos pelas fêmeas. Em compensação, apesar de terem apresentado números de cria mensais menores, os valores de média e variação dos tubos de cartolina mantiveram-se estáveis ao longo de quase todos os meses do ano, exceto por agosto e novembro.

Gráfico 5 – Diagrama de caixa (*box plot*) do número total médio de crias de *Centris analis* por ninhos-armadilha, correlacionado ao material de cada classe de ninho-armadilha e ao mês de nidificação, Cart (tubos de cartolina), CB branco (biocanudos brancos), CB preto (biocanudos pretos). O referido diagrama foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

6.2.2 Proporção de crias individuais vivas e mortas

No que diz respeito à diferença entre o número de crias vivas e o número de crias mortas por NA, o ano de 2024 apresentou a maior proporção, seguido pelos anos de 2023 e 2024 (tabela 8). A melhor proporção registrada em 2024 deve-se à amostragem de três meses realizada durante o ápice do período chuvoso local, levando a uma maior nidificação de NAs por fêmeas de *C. analis*. É importante, porém, apontar para o fato de que os três primeiros meses de 2024 apresentaram apenas 175 indivíduos vivos e emergidos a menos (585) que a quantidade registrada (760) durante os doze meses de 2023.

Tabela 8 – Proporção de crias vivas e mortas de *Centris analis* por ano de estudo, em ninhos-armadilha, desenvolvida no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Ano	N.º crias vivas	N.º crias mortas	Proporção de crias vivas e mortas
2019	25	9	0,80 ± 1,70 c
2020	575	128	2,60 ± 3,03 bc
2021	1350	638	1,55 ± 3,81 b
2022	1485	210	3,50 ± 3,05 a
2023	760	126	3,46 ± 3,24 a
2024	585	72	4,07 ± 2,65 a

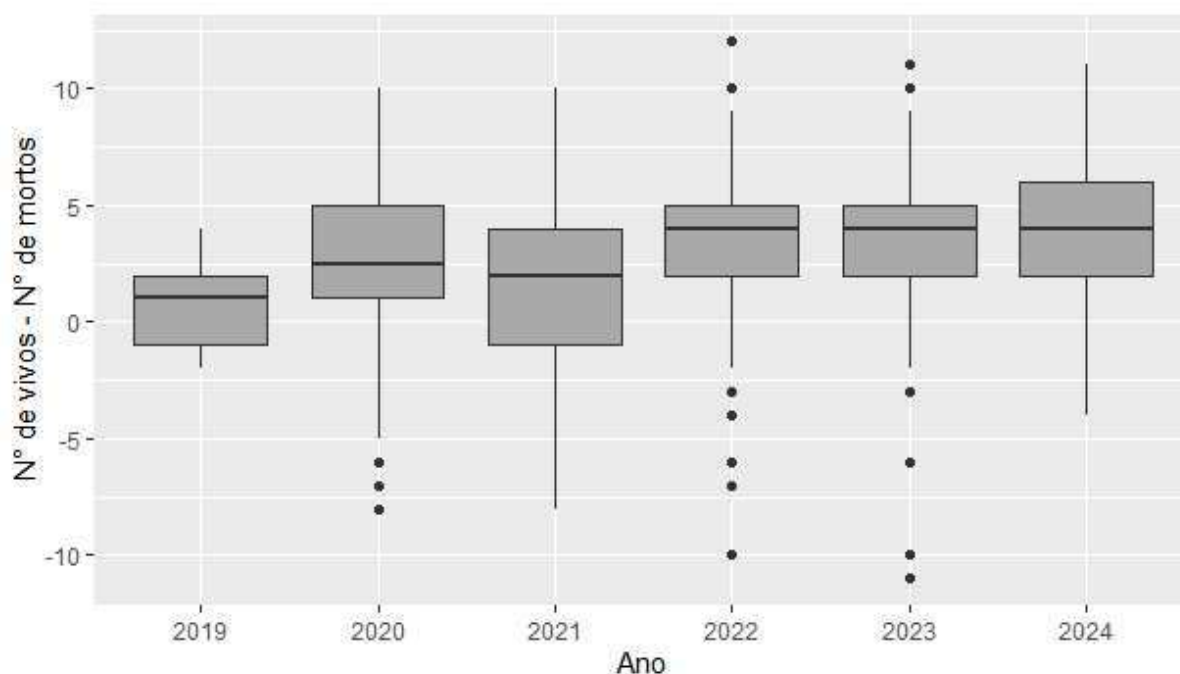
Fonte: elaborada pelo autor.

Embora os números totais de crias vivas e mortas registradas durante o ano de 2022 tenham sido muito maiores do que aqueles registrados em 2023, ambos foram

proporcionalmente muito similares, com diferenças irrisórias em sua proporção e variação ($3,50 \pm 3,05$ e $3,46 \pm 3,24$, respectivamente) (tabela 8). O ano de 2021, afetado pela segunda onda do vírus da covid-19, apresentou 1350 crias vivas, apenas 135 a menos que as 1485 de 2022, embora tenha tido a maior quantidade de crias mortas, 638 indivíduos. A diferença entre o número de crias vivas e mortas resultou em uma proporção pior ($1,55 \pm 3,81$) do que aquela registrada em 2020 ($2,60 \pm 3,03$), o ano afetado pelo *lockdown* mais longo da pandemia. A pior proporção registrada foi aquela de 2019, sobretudo devido à menor quantidade de crias amostrada, um total de 34 indivíduos, 25 vivos e 9 mortos.

A análise do gráfico 6 permite visualizar as proporções de variação quase idênticas entre os anos de 2022 e 2024. As diferenças mais significativas entre estes três anos são a variação positiva registrada em 2024, devido à menor diferença entre crias vivas e mortas, e ao maior número de *outliers* registrados em 2022 e 2023, resultante possivelmente da maior quantidade de meses e de NAs amostrados.

Gráfico 6 – O diagrama de caixa (*box plot*) da proporção de crias vivas e mortas de *Centris analis* por ano de estudo, em ninhos-armadilha, foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

O teste de razão de verossimilhança, que foi realizado com base em distribuição teórica exponencial de potência assimétrica (SEP), demonstrou que somente os fatores estimulantes intrínsecos do ano de estudo ($p = 0,000 < 0,05$), do número de parasitas por NA ($p = 0,000 <$

0,05) e da interação entre o material dos NAs e os meses de amostragem ($p = 0,000 < 0,05$) foram significativos para um aumento da diferença entre o número de crias vivas e mortas de *C. analis* por NA (tabela 9).

Tabela 9 – Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica exponencial de potência assimétrica (SEP) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes intrínsecos e ambientais em relação à proporção de crias vivas e mortas de *Centris analis*, Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). Esse teste foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Variáveis explicativas	Df	AIC	LRT	Pr(Chi)
Ano	5	6858,102	140,161	0,000
Comprimento	2	6728,417	4,476	0,107
Número de parasitas	1	6753,573	27,633	0,000
Sítio de incubação	1	6726,604	0,664	0,415
Material: mês	22	6739,053	55,112	0,000

Fonte: elaborada pelo autor.

A interação dos três materiais de confecção de NAs (biocanudos brancos, biocanudos pretos e tubos de cartolina) com os meses de todos os anos de estudo mostrou que os biocanudos brancos apresentaram a melhor proporção de crias vivas e mortas de *C. analis* ($3,64 \pm 3,37$) das três classes de NA (tabela 10). Novamente, isso pode ser atribuído à menor preferência de nidificação das fêmeas de *C. analis* pelos biocanudos brancos (275 NAs) em comparação com os biocanudos pretos (773 NAs) e os tubos de cartolina (773 NAs). Os biocanudos pretos registraram melhor proporção e maior variação ($2,77 \pm 3,56$) do que aquela observada nos tubos de cartolina ($2,21 \pm 3,20$).

Tabela 10 – Número de crias de *Centris analis* vivas, mortas e a proporção de crias vivas e mortas, correlacionado ao material de cada classe de ninho-armadilha e ao mês de nidificação. Foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Material	Mês	N.º crias vivas	N.º crias mortas	Proporção de crias vivas e mortas
Biocanudos brancos	Janeiro	175	34	$4,15 \pm 4,11$ bc
	Fevereiro	141	12	$4,45 \pm 2,85$ b
	Março	188	43	$3,15 \pm 3,08$ cd

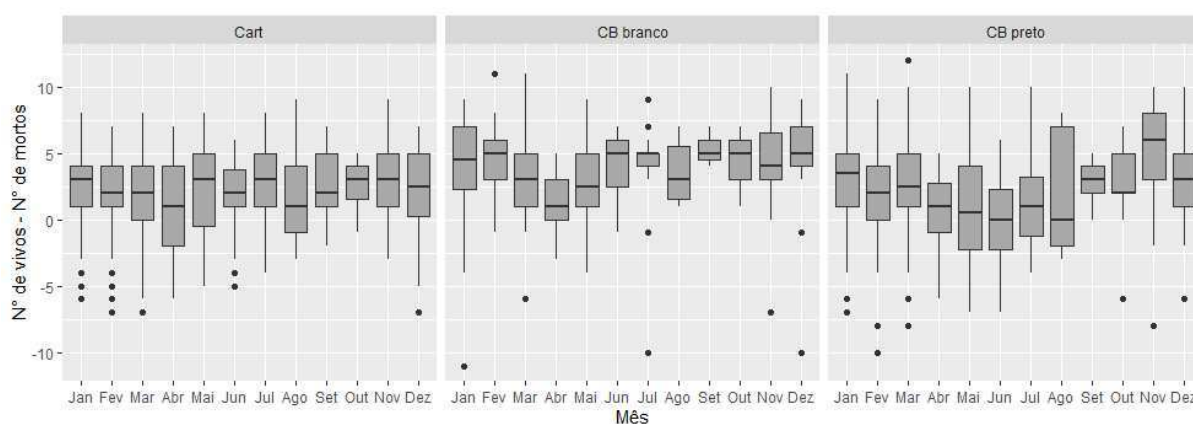
Biocanudos pretos	Abril	47	19	$1,33 \pm 2,24$ e
	Maio	105	20	$2,81 \pm 3,52$ d
	Junho	90	11	$4,16 \pm 2,29$ bc
	Julho	87	15	$3,79 \pm 3,85$ c
	Agosto	29	4	$3,57 \pm 2,57$ c
	Setembro	37	0	$5,29 \pm 1,11$ a
	Outubro	43	3	$4,44 \pm 2,07$ b
	Novembro	49	9	$3,64 \pm 4,43$ c
	Dezembro	106	12	$4,70 \pm 4,17$ ab
	Números totais			
	(biocanudos brancos)	1097	182	$3,64 \pm 3,37$ cA
	Janeiro	711	182	$3,11 \pm 3,47$ bc
	Fevereiro	318	92	$2,28 \pm 3,32$ d
	Março	319	67	$2,93 \pm 3,53$ c
	Abril	76	53	$0,61 \pm 2,67$ e
	Maio	69	50	$0,68 \pm 4,30$ e
	Junho	31	31	$0,00 \pm 3,58$ e
	Julho	63	29	$1,42 \pm 3,60$ de
	Agosto	16	6	$2,00 \pm 5,15$ d
	Setembro	40	6	$2,83 \pm 1,47$ c
	Outubro	40	17	$2,56 \pm 3,94$ cd
Tubos de cartolina	Novembro	320	22	$5,32 \pm 3,24$ a
	Dezembro	333	37	$3,44 \pm 3,02$ b
	Números totais			
	(biocanudos pretos)	2336	592	$2,77 \pm 3,56$ cB
	Janeiro	202	55	$2,16 \pm 3,21$ bc
	Fevereiro	120	41	$2,03 \pm 3,48$ bc
	Março	179	75	$1,63 \pm 3,30$ cd
	Abril	91	58	$0,89 \pm 3,70$ d
	Maio	106	37	$1,97 \pm 3,67$ c
	Junho	49	23	$1,44 \pm 3,43$ cd
	Julho	52	11	$2,93 \pm 3,15$ ab
	Agosto	43	10	$1,94 \pm 3,27$ c

	Setembro	73	9	$2,67 \pm 2,37$ b
	Outubro	58	10	$2,53 \pm 1,84$ b
	Novembro	248	33	$3,21 \pm 2,47$ a
	Dezembro	139	48	$1,98 \pm 3,33$ c
Números totais (tubos de cartolina)		1360	410	$2,21 \pm 3,20$ bC

Fonte: elaborada pelo autor.

No gráfico 7, é possível observar que, novamente, os NAs de maiores dimensões, ou seja, os biocanudos brancos e pretos possuíram a maior variação mensal na diferença entre crias vivas e mortas de *C. analis*, sobretudo os biocanudos de cor preta. Apesar de registrarem a pior proporção de mortalidade individual de crias e uma nidificação menor que aquela dos biocanudos pretos, os tubos de cartolina apresentaram uma homogeneidade de proporção maior ao longo de todos os meses do ano em relação àquela vista em ambas as cores de biocanudo.

Gráfico 7 – O diagrama de caixa (*box plot*) da proporção de crias de *Centris analis* vivas e mortas, correlacionada ao material de cada classe de ninho-armadilha e ao mês de nidificação, foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

6.2.3 Sobrevivência ou mortalidade do ninho-armadilha como um todo

A sobrevivência ou mortalidade de cada NA como um todo tomou-se como “vivos” aqueles que apresentaram a sobrevivência de, pelo menos, um indivíduo e como “mortos” aqueles que tiveram mortalidade total. Quando avaliada anualmente, não apresentou variações

tão grandes em seus valores como aquelas observadas na análise das variáveis resposta discutidas acima, sendo menor em 2019 ($0,824 \pm 0,0654$) e maior em 2024 ($0,992 \pm 0,0079$) (tabela 11). Novamente, a amostragem de apenas três meses realizada durante o ápice do período chuvoso em 2024 interferiu nos resultados, com 127 NAs vivos para apenas um NA morto, devendo ser desconsiderada em prol daqueles obtidos entre 2022 ($0,929 \pm 0,0122$) e 2023 ($0,930 \pm 0,0188$).

Tabela 11 – O número de ninhos-armadilha individuais de *Centris analis* vivos, mortos e a sobrevivência ou mortalidade de ninhos-armadilha por ano de estudo foram desenvolvidos no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Ano	Nº de ninhos-armadilha vivos	Nº de ninhos-armadilha mortos	Sobrevivência/mortalidade de ninhos-armadilha
2019	28	6	$0,824 \pm 0,0654$ b
2020	237	43	$0,846 \pm 0,0215$ b
2021	641	105	$0,859 \pm 0,0127$ b
2022	416	32	$0,929 \pm 0,0122$ ab
2023	172	13	$0,930 \pm 0,0188$ ab
2024	127	1	$0,992 \pm 0,0079$ a

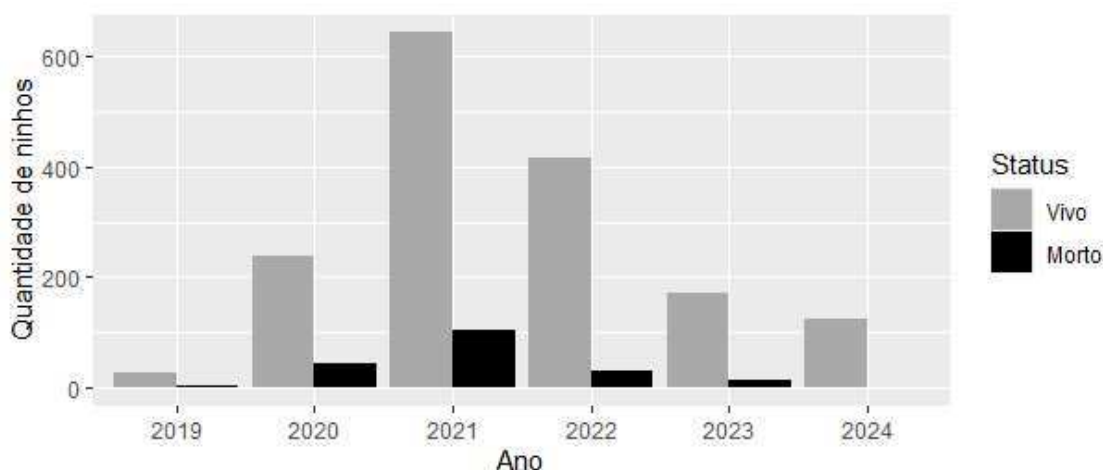
Fonte: elaborada pelo autor.

Embora esses dois anos tenham apresentado uma diferença maior em seus números de NAs vivos (416 em 2022 e 172 em 2023), a diferença entre seus NAs mortos foi de 19 entre os dois anos, resultando em valores médios e de variação quase idênticos, o que demonstra a estabilidade encontrada na mortalidade da população de ninhos de *C analis* na área de estudo após o fim da pandemia da covid-19 (tabela 11). Os três primeiros anos de estudo, apesar de sofrerem com um manejo prejudicado pelos lockdowns da pandemia e com um menor número de meses em 2019, revelaram números de NAs vivos e mortos diferentes entre si, porém proporcionais, resultando em valores estatisticamente similares entre si em 2019 ($0,824 \pm 0,0654$), 2020 ($0,846 \pm 0,0215$) e 2021 ($0,859 \pm 0,0127$).

Essas proporções encontradas entre as quantidades anuais de NAs vivos e mortos podem ser mais bem observadas no gráfico 8. Apesar da existência dos padrões de similaridades interanuais mencionados anteriormente, é possível visualizar um padrão de mortalidade de NAs constante ao longo de todos os anos de experimento, com a quantidade de ninhos vivos

mantendo-se sempre superior àquela de ninhos mortos, não obstante os números totais de NAs registrados ano após ano.

Gráfico 8 – O gráfico de barras referente à sobrevivência ou mortalidade de ninhos-armadilha individuais de *Centris analis*, por ano de estudo, foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

O teste de razão de verossimilhança, que foi realizado com base em distribuição teórica binomial (BI), mostrou que somente os fatores estimulantes intrínsecos do ano de estudo ($p = 0,000 < 0,05$), do número de parasitas por NA ($p = 0,005 < 0,05$) e do sítio de incubação utilizado ($p = 0,018 < 0,05$) foram significativos para um aumento da diferença entre o número de NAs de *C. analis* vivos e mortos como um todo (tabela 12).

Tabela 12 – Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica binomial (BI) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes intrínsecos e ambientais em relação à sobrevivência ou mortalidade de ninhos-armadilha individuais de *Centris analis*, Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). Esse teste foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Variáveis explicativas	Df	AIC	LRT	Pr(Chi)
Ano	5	1231,900	46,569	0,000
Comprimento	2	1195,888	4,557	0,102
Número de parasitas	1	1201,357	8,026	0,005
Sítio de incubação	1	1198,931	5,600	0,018
Material: mês	22	1182,347	31,016	0,096

Fonte: elaborada pelo autor.

A análise da diferença entre o número de NAs de vivos e mortos relativa ao sítio de incubação onde se desenvolveram demonstra uma pequena diferença entre os dois, porém a proporção de NAs vivos e mortos ainda foi melhor no sítio de incubação berçário ($0,893 \pm 0,0082$) do que no sítio BOD ($0,878 \pm 0,0165$) (tabela 13). Embora seja importante considerar que o berçário foi utilizado de agosto de 2019 até março de 2024 e que o BOD só começou a ser utilizado a partir de novembro de 2020, o berçário teve ainda assim 1122 NAs vivos (1274) a mais que o total de NAs mortos (152), enquanto a diferença entre NAs vivos (347) e mortos (48) foi de apenas 299 para o sítio BOD. Embora ambas as proporções sejam parecidas, a mortalidade total no Berçário foi menor, apesar da ausência de controle de temperatura durante o desenvolvimento dos imaturos.

Tabela 13 – Número de ninhos-armadilha individuais de *Centris analis* vivos, mortos e a sobrevivência ou mortalidade de ninhos-armadilha, correlacionados aos dois sítios de incubação, o berçário e a incubadora do tipo Demanda Bioquímica de Oxigênio (*Biochemical Oxygen Demand*), denominada BOD. Foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

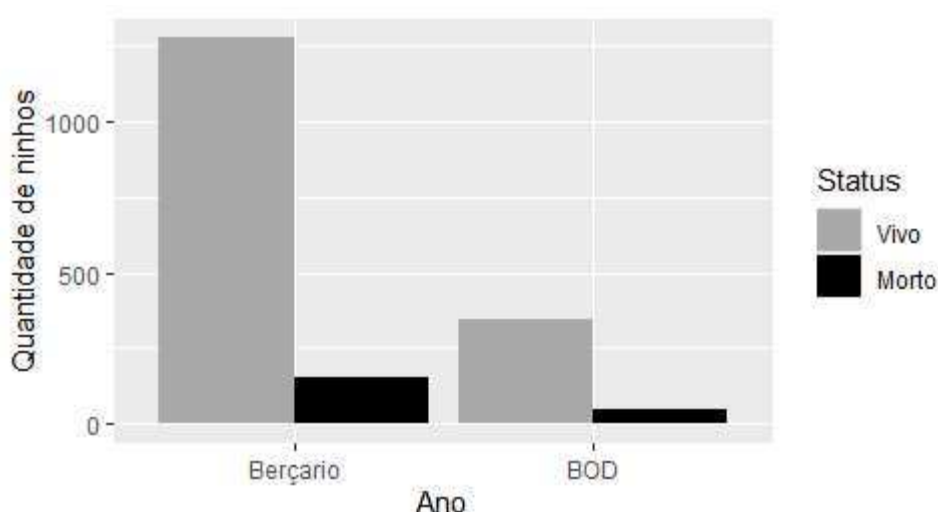
Sítios de incubação	Nº de ninhos-armadilha vivos	Nº de ninhos-armadilha mortos	Sobrevivência/mortalidade de ninhos-armadilha
Berçário	1274	152	$0,893 \pm 0,0082$ a
BOD	347	48	$0,878 \pm 0,0165$ b

Fonte: elaborada pelo autor.

A análise do gráfico 9 permite visualizar melhor esses resultados.

É possível visualizar esses resultados por meio do gráfico 9. Como na tabela 13, as proporções encontradas em ambos os sítios de incubação são similares, porém é possível notar melhor os efeitos dos números NAs vivos e mortos no resultado final. Mesmo que a diferença de NAs mortos entre o berçário e a BOD tenha sido de 104 ninhos, a diferença entre os NAs vivos nos dois sítios foi de 927 NAs. A sobrevivência foi maior e a mortalidade menor no sítio de incubação berçário, resultando em proporções visualmente similares, porém diferentes.

Gráfico 9 – O gráfico de barras referente ao número de ninhos-armadilha individuais de *Centris analis* vivos e mortos em cada um dos dois sítios de incubação, o berçário e a incubadora do tipo Demanda Bioquímica de Oxigênio (*Biochemical Oxygen Demand*), denominada BOD. Esse gráfico foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

6.3 Razão sexual

Em relação à produção de machos de *C. analis* por NA, o ano de 2023 apresentou o maior número de indivíduos emergidos, conjuntamente com a segunda maior variação anual ($1,89 \pm 1,63$), especialmente durante os meses de janeiro, maio, julho e dezembro (tabela 14). Embora apenas os três primeiros meses do ano de 2024 tenham sido amostrados, esse ano apresentou a segunda maior produção registrada durante o experimento ($1,67 \pm 1,68$), com seu ponto mais alto novamente no mês de janeiro, com 78 machos emergidos a partir de 42 NAs. Durante o ano de 2022 ($1,05 \pm 1,51$), os meses com maior número de machos emergidos concentraram-se no segundo semestre, de setembro a dezembro, padrão este também observado em 2021 ($0,53 \pm 1,18$) com maior número de machos emergido em janeiro e, principalmente, de agosto até dezembro. O longo *lockdown* ocorrido durante a pandemia em 2020 ($0,57 \pm 1,11$) resultou na perda da maioria dos dados do primeiro semestre do ano, restando somente aqueles referentes ao mês janeiro e aos meses de julho a dezembro. Ainda assim, dezembro representou o mês com maior número de machos, com 67 indivíduos emergidos a partir de 91 NAs. Por fim, no ano de 2019 ($0,24 \pm 0,70$), machos emergiram apenas em setembro e dezembro, em maior quantidade nesse último mês.

Tabela 14 – Número total de ninhos-armadilha, número total de machos e número total médio de machos de *Centris analis* por ninhos-armadilha, correlacionado ao mês e ao ano de nidificação. Esse número foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Ano	Mês	N.º total de ninhos	N.º total de machos	Número total médio de machos por ninhos	
2019	Setembro	7	2	0,29 ± 0,76 b	
	Dezembro	11	6	0,55 ± 1,04 a	
Números totais (2019)		18	8	0,24 ± 0,70 bE	
2020	Janeiro	27	9	0,33 ± 0,62 d	
	Julho	10	7	0,70 ± 0,95 b	
	Agosto	9	3	0,33 ± 0,71 d	
	Setembro	22	8	0,36 ± 0,73 d	
	Outubro	8	8	1,00 ± 1,51 a	
	Novembro	100	58	0,58 ± 1,16 c	
	Dezembro	91	67	0,74 ± 1,29 b	
	Números totais (2020)		267	160	0,57 ± 1,11 cD
	Janeiro	190	197	1,04 ± 1,59 a	
	Fevereiro	160	25	0,16 ± 0,54 c	
2021	Março	136	26	0,19 ± 0,60 c	
	Abril	65	17	0,26 ± 0,62 bc	
	Maió	46	6	0,13 ± 0,50 c	
	Junho	30	6	0,20 ± 0,76 c	
	Julho	30	6	0,20 ± 0,48 c	
	Agosto	4	5	1,25 ± 2,50 a	
	Setembro	5	4	0,80 ± 1,30 ab	
	Outubro	9	11	1,22 ± 1,39 a	
	Novembro	30	50	1,67 ± 2,02 a	
	Dezembro	41	43	1,05 ± 1,47 ab	
Números totais (2021)		746	396	0,53 ± 1,18 bD	
2022	Janeiro	60	58	0,97 ± 1,23 c	
	Fevereiro	45	30	0,67 ± 1,49 d	
	Março	72	53	0,74 ± 1,29 c	

	Abril	33	11	$0,33 \pm 0,74$ d
	Maio	43	27	$0,63 \pm 1,20$ d
	Junho	24	29	$1,21 \pm 1,59$ b
	Julho	26	26	$1,00 \pm 1,23$ bc
	Agosto	31	21	$0,68 \pm 1,74$ d
	Setembro	23	29	$1,26 \pm 1,18$ b
	Outubro	21	33	$1,57 \pm 1,60$ ab
	Novembro	39	98	$2,51 \pm 1,85$ a
	Dezembro	31	56	$1,81 \pm 1,72$ ab
Números totais (2022)		448	471	$1,05 \pm 1,51$ bC
2023	Janeiro	54	108	$2,00 \pm 1,68$ a
	Fevereiro	26	50	$1,92 \pm 1,79$ b
	Março	23	34	$1,48 \pm 1,41$ c
	Abril	9	11	$1,22 \pm 1,48$ d
	Maio	23	58	$2,52 \pm 1,53$ a
	Junho	11	21	$1,91 \pm 1,14$ b
	Julho	5	11	$2,20 \pm 2,49$ a
	Setembro	1	1	$1,00 \pm 0,00$ d
	Outubro	2	3	$1,50 \pm 2,12$ c
	Novembro	10	14	$1,40 \pm 1,65$ cd
	Dezembro	19	39	$2,05 \pm 1,65$ ab
	Números totais (2023)	183	350	$1,89 \pm 1,63$ bA
2024	Janeiro	42	78	$1,86 \pm 1,84$ a
	Fevereiro	33	55	$1,67 \pm 1,59$ b
	Março	51	77	$1,51 \pm 1,62$ c
Números totais (2024)		126	210	$1,67 \pm 1,68$ bB

Fonte: elaborada pelo autor.

Com relação à produção de fêmeas de *C. analis* por NA, foram os anos de 2024 ($1,33 \pm 1,38$) e de 2023 ($1,21 \pm 1,35$) que apresentaram a maior produção (tabela 15). Apesar do tempo de amostragem menor em 2024, 167 fêmeas emergiram de 126 NAs, em comparação com as 223 fêmeas emergidas de 185 ninhos ao longo dos 12 meses de 2023. Em ambos os anos, houve um aumento do número de indivíduos emergidos em janeiro e fevereiro, além de uma boa produção registrada também nos meses de novembro e dezembro de 2023. Em 2022 ($0,70 \pm$

1,00), a produção de fêmeas foi mais baixa, concentrando-se novamente no segundo semestre entre setembro e dezembro, com 27 abelhas emergindo de 21 NAs em outubro e 50 indivíduos emergindo de 39 ninhos em novembro. Os dois anos mais afetados pelos *lockdowns* da pandemia da covid-19, 2021 ($0,41 \pm 0,90$) e 2020 ($0,50 \pm 0,92$), apresentaram números médios e de variação semelhantes apesar da diferença de meses amostrados em cada um, novamente com um aumento na produção de fêmeas no segundo semestre de cada ano, a partir dos meses de setembro ou outubro. A quantidade de fêmeas de *C. analis* emergida por NA em 2019 foi a menor registrada, com apenas 11 abelhas emergindo a partir de 33 NAs durante os meses de agosto, setembro e dezembro, tendo este último mês o maior número registrado.

Tabela 15 – Número total de ninhos-armadilha, número total de fêmeas e número total médio de fêmeas de *Centris analis* por ninhos-armadilha, correlacionado ao mês e ao ano de nidificação. Foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Ano	Mês	N.º total de ninhos	N.º total de fêmeas	Número total médio de fêmeas por ninhos
2019	Agosto	15	3	$0,20 \pm 0,41$ c
	Setembro	7	2	$0,29 \pm 0,49$ c
	Dezembro	11	6	$0,55 \pm 1,21$ a
Números totais (2019)		33	11	$0,32 \pm 0,77$ bD
2020	Janeiro	27	10	$0,37 \pm 0,74$ d
	Julho	10	3	$0,30 \pm 0,48$ d
	Agosto	9	4	$0,44 \pm 0,88$ cd
	Setembro	22	17	$0,77 \pm 1,15$ b
	Outubro	8	9	$1,13 \pm 1,64$ a
	Novembro	100	43	$0,43 \pm 0,84$ cd
	Dezembro	91	54	$0,59 \pm 0,99$ c
Números totais (2020)		267	140	$0,50 \pm 0,92$ cC
2021	Janeiro	190	129	$0,68 \pm 1,25$ b
	Fevereiro	160	41	$0,26 \pm 0,61$ c
	Março	136	31	$0,23 \pm 0,56$ c
	Abril	65	13	$0,20 \pm 0,40$ c
	Maiο	46	1	$0,02 \pm 0,15$ d
	Junho	30	2	$0,07 \pm 0,25$ d
	Julho	30	12	$0,40 \pm 0,56$ b

2022	Setembro	5	8	1,60 ± 2,07 a
	Outubro	9	11	1,22 ± 0,67 b
	Novembro	30	33	1,10 ± 1,47 b
	Dezembro	41	21	0,51 ± 0,93 b
	Números totais (2021)	742	302	0,41 ± 0,90 bC
	Janeiro	60	39	0,65 ± 1,09 c
	Fevereiro	45	34	0,76 ± 1,25 b
	Março	72	30	0,42 ± 0,69 c
	Abril	33	8	0,24 ± 0,56 d
	Maio	43	20	0,47 ± 0,67 c
	Junho	24	17	0,71 ± 0,95 b
	Julho	26	20	0,77 ± 1,03 b
	Agosto	31	13	0,42 ± 0,92 c
	Setembro	23	26	1,13 ± 1,10 a
	Outubro	21	27	1,29 ± 0,90 a
	Novembro	39	50	1,28 ± 1,07 a
2023	Dezembro	31	31	1,00 ± 1,21 ab
	Números totais (2022)	448	315	0,70 ± 1,00 bB
	Janeiro	54	70	1,30 ± 1,49 b
	Fevereiro	26	24	0,92 ± 1,29 bc
	Março	23	10	0,43 ± 0,66 c
	Abril	9	7	0,78 ± 0,83 c
	Maio	23	38	1,65 ± 1,37 a
	Junho	11	12	1,09 ± 0,94 bc
	Julho	5	7	1,40 ± 1,14 b
	Agosto	2	3	1,50 ± 2,12 ab
	Setembro	1	3	3,00 ± 0,00 d
	Outubro	2	2	1,00 ± 1,41 bc
	Novembro	10	16	1,60 ± 1,65 a
	Dezembro	19	31	1,63 ± 1,54 a
	Números totais (2023)	185	223	1,21 ± 1,35 bA
	Janeiro	42	52	1,24 ± 1,49 b
2024	Fevereiro	33	40	1,21 ± 1,11 b

	Março	51	75	1,47 ± 1,46 a
Números totais (2024)		126	167	1,33 ± 1,38 aA

Fonte: elaborada pelo autor.

O teste de razão de verossimilhança, realizado com base em distribuição teórica de Poisson (PO), mostrou que, diferentemente das análises realizadas anteriormente para outras variáveis resposta, nenhum fator estimulante intrínseco foi significativo ($p > 0,05$) para influenciar a razão sexual entre machos e fêmeas de *C. analis* em NAs durante o experimento (tabela 16).

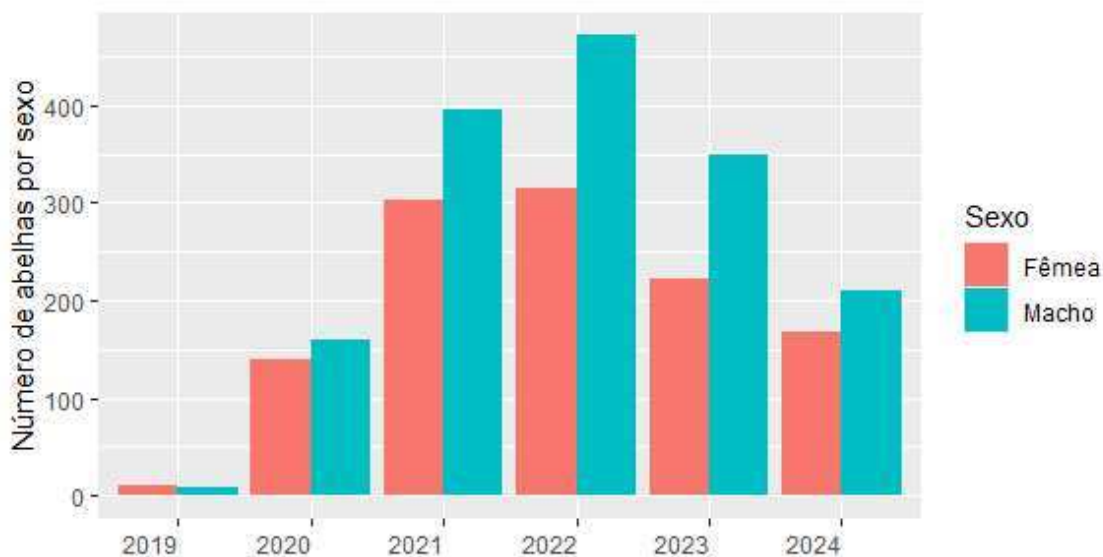
Tabela 16 – Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica de Poisson (PO) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes intrínsecos e ambientais em relação à razão sexual entre machos e fêmeas de *Centris analis* emergidos em ninhos-armadilha, Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). Foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Variáveis explicativas	Df	AIC	LRT	Pr(Chi)
Ano	5	7433,918	7,731	0,172
Comprimento	2	7432,975	0,788	0,674
Número de parasitas	1	7435,787	1,600	0,206
Sítio de incubação	1	7434,208	0,021	0,884
Material: mês	22	7399,657	7,470	0,998

Fonte: elaborada pelo autor.

Ao longo dos seis anos de estudo, exceto em 2019 (oito machos em 18 NAs e 11 fêmeas em 33 NAs), o número de crias macho de *C. analis* sempre foi maior que o número de fêmeas emergido por NA, especialmente em 2022 (471 machos e 315 fêmeas em 448 NAs) (gráfico 10). Considerando que nenhuma das variáveis explicativas testadas, ligadas ao manejo ou ao parasitismo de abelhas cleptoparasitas nos ninhos, mostrou-se significativa para influenciar a razão sexual das crias. Suspeita-se que esses resultados estejam ligados aos fatores ambientais como a oferta de alimento presente em campo.

Gráfico 10 – Gráfico de barras referente ao número de machos e fêmeas de *Centris analis* emergidos por ano de estudo. Foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

6.4 Comprimento da célula vestibular

Buscando identificar uma possível correlação de fatores ambientais e intrínsecos em relação ao comprimento da célula vestibular encontrada em ninhos de *C. analis*, o teste de razão de verossimilhança, realizado com base em distribuição teórica Gama Generalizada (GG), mostrou que somente os fatores estimulantes intrínsecos da temperatura ambiental média ($p = 0,009 < 0,05$) e do número de células de cria por NA ($p = 0,000 < 0,05$) foram significativos para alterar o comprimento encontrado na célula vestibular dos NAs colonizados (tabela 17).

Tabela 17 – Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica Gama Generalizada (GG) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes ambientais e intrínsecos em relação ao comprimento da célula vestibular encontrada em ninhos de *Centris analis*, Df (graus de liberdade), AIC (critério de informação de Akaike), LRT (teste de razão de verossimilhança), Pr(Chi) (valor-p). Foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Variáveis explicativas	Df	AIC	LRT	Pr(Chi)
Precipitação	1	2936,620	2,778	0,096
Temperatura	1	2940,698	6,857	0,009
Número de parasitas	1	2936,111	2,270	0,132
Número de células	1	3041,383	107,542	0,000

Fonte: elaborada pelo autor.

Agrupando-se todos os NAs amostrados ao longo do estudo em classes referentes ao número de células de cria que foram construídas em cada NA individual, variando do mínimo encontrado de uma célula de cria (145 ninhos) até o máximo de 12 células de cria (2 NAs), e comparando, logo em seguida, o comprimento médio em centímetros das células vestibulares presentes em cada uma destas 12 classes, é possível estabelecer uma clara relação inversamente proporcional entre o número de células de cria e o comprimento da célula vestibular (tabela 18). Observou-se que, à medida que o número de células de cria aumenta, o comprimento médio da célula vestibular encontrada em cada ninho diminui, assim como a variação em seu tamanho, como demonstrado em NAs com uma célula de cria com comprimento médio de $8,79 \text{ cm} \pm 3,65 \text{ cm}$ na célula vestibular, naqueles com seis células de cria e comprimento médio de $3,83 \text{ cm} \pm 2,62 \text{ cm}$ na célula vestibular e, por último, nos que possuem 12 células de cria, porém células vestibulares de $3,05 \text{ cm} \pm 2,05 \text{ cm}$ de comprimento. Essa diminuição de comprimento médio é quase perfeitamente constante e gradual ao longo das 12 classes de número de células de cria, exceto ao diminuir para $2,34 \text{ cm} \pm 1,95 \text{ cm}$ em ninhos com 11 células de cria antes de aumentar novamente para $3,05 \text{ cm} \pm 2,05 \text{ cm}$ em NAs com 12 células de cria. Esse fenômeno pode ser explicado, todavia, pela diferente quantidade de NAs amostrados para cada classe, tendo sido encontrados sete NAs com 11 células e dois NAs com 2 células, influenciando, assim, a análise estatística.

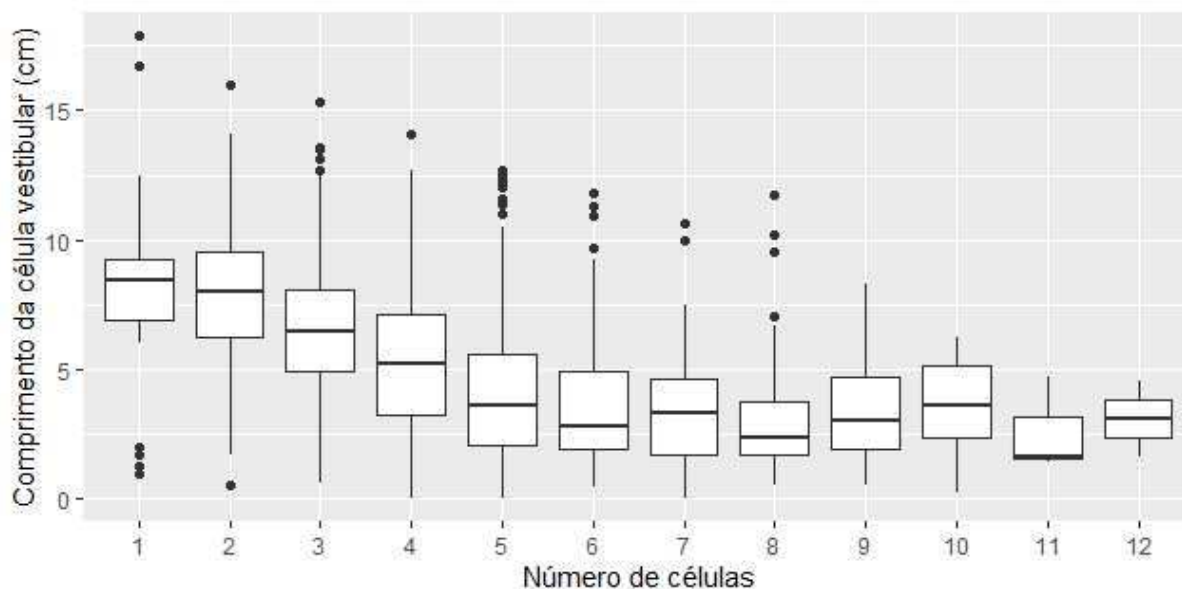
Tabela 18 – Número de células de cria encontradas em cada ninho-armadilha individual, número total de ninhos-armadilha e comprimento médio em centímetros da célula vestibular encontrada em ninhos-armadilha de *Centris analis*. Essa tabela foi desenvolvida no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.

Nº de células de cria em cada ninho-armadilha individual	N.º total de ninhos-armadilha	Comprimento médio de célula vestibular/ninho-armadilha (cm)
01	145	8,79 ± 3,65
02	159	7,70 ± 3,59
03	179	6,25 ± 3,38
04	206	5,24 ± 3,09
05	212	4,49 ± 3,08
06	171	3,83 ± 2,62
07	107	3,54 ± 2,56
08	82	3,39 ± 2,52
09	35	3,21 ± 2,11
10	25	3,30 ± 1,99
11	7	2,34 ± 1,95
12	2	3,05 ± 2,05

Fonte: elaborada pelo autor.

É possível observar melhor a natureza constante e gradual da diminuição do comprimento médio da célula vestibular e sua variação relativa ao aumento do número de células de cria por NA no gráfico 11, onde se observa uma queda constante do comprimento em centímetros nos ninhos com uma até oito células de cria. Embora os valores não diminuam mais de maneira tão radical a partir de nove células de cria em diante, há certa estabilização acompanhada por pequenas alterações em seus valores de comprimento até chegar àqueles ninhos com 11 e 12 células de cria, como mencionado anteriormente.

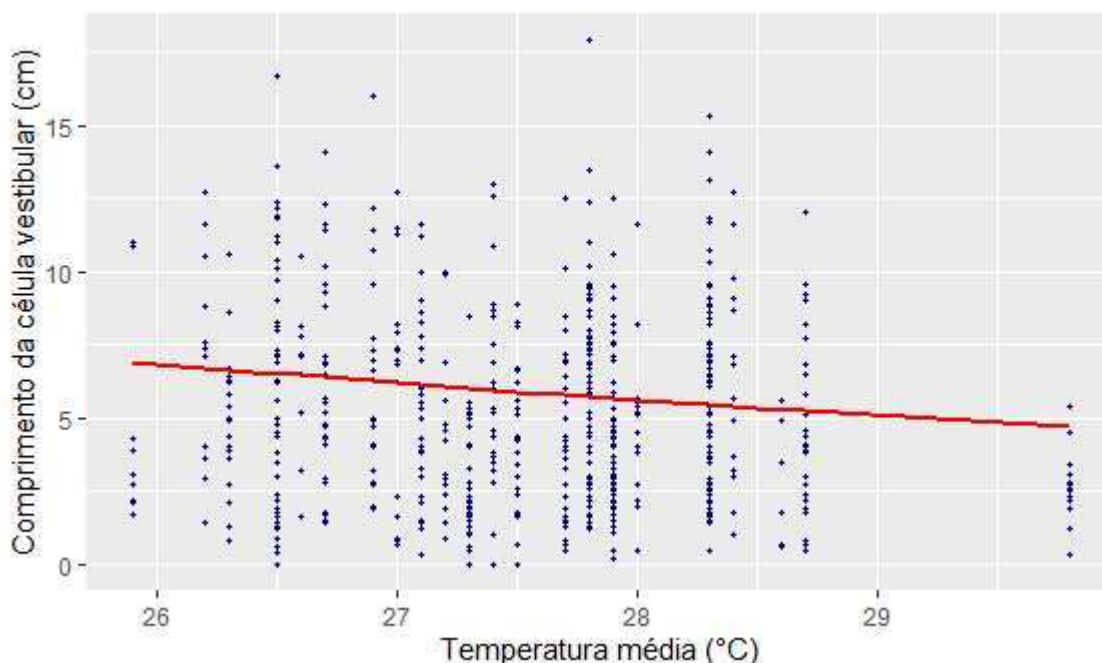
Gráfico 11 – O diagrama de caixa (*box plot*) do comprimento em centímetros da célula vestibular encontrada em ninhos-armadilha de *Centris analis*, em relação ao número de células de cria individuais encontradas em cada ninho-armadilha, foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

Do mesmo modo, constatou-se que a correlação da temperatura ambiental média em graus celsius, variando de aproximadamente 26 °C até acima de 29,5 °C, com o comprimento médio em centímetros das células vestibulares presentes nos NAs, também resultava em uma clara relação inversamente proporcional entre ambas (gráfico 12). Com o aumento da temperatura ambiental média, o comprimento médio da célula vestibular encontrada em cada ninho diminui, embora sua variação não tenha sido afetada de maneira tão clara como foi observado com o número de células de cria. Essa diminuição de comprimento médio é, no entanto, mais constante e gradual do que aquela observada na gráfico 11, sem exceções encontradas.

Gráfico 12 – O gráfico de linha do comprimento em centímetros da célula vestibular encontrada em ninhos-armadilha de *Centris analis*, em relação à temperatura ambiental média em graus celsius, foi desenvolvido no período de agosto de 2019 até março de 2024, no Setor de Abelhas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará.



Fonte: elaborada pelo autor.

7 DISCUSSÃO

7.1 Tempo de emergência de crias

Embora o tempo de desenvolvimento das crias de *C. analis* tenha se estabilizado após o fim da pandemia, entre 2021 e 2023, ainda houve uma considerável variação nos tempos de emergência ao longo de todo o tempo de estudo. Esses achados são consistentes com estudos prévios que indicam a influência de fatores ambientais, como temperatura e umidade, no desenvolvimento de abelhas solitárias, que frequentemente emergem em períodos diferentes de forma a evitar condições ambientais desfavoráveis ao seu forrageio e reprodução (CANE, 2001; RIBEIRO *et al.*, 2020). Além disso, alterações climáticas podem afetar o metabolismo dos imaturos, acelerando ou retardando o desenvolvimento das crias em resposta às condições externas (ALVES-DOS-SANTOS; GIMÉNEZ; LAROCA, 2002).

A interação entre os materiais de confecção dos NAs e os tempos de emergência revelou diferenças notáveis. Os biocanudos brancos foram pouco selecionados para a nidificação se comparados aos biocanudos pretos e aos tubos de cartolina. Estudos indicam que a escolha de

substrato de nidificação por abelhas solitárias é fortemente afetada por fatores como cor, diâmetro e tipo de material, interferindo na preferência das fêmeas e, consequentemente, na taxa de ocupação dos ninhos (ALONSO *et al.*, 2012; GARÓFALO, 2012; MICHENER, 2007).

A inexistência de diferença significativa entre os tempos médios de emergência dos biocanudos pretos e dos tubos de cartolina sugere que ambos os materiais são igualmente viáveis para o manejo racional de *C. analis*. A literatura aponta que abelhas solitárias podem adaptar-se a diferentes materiais de nidificação, desde que estes apresentem características estruturais adequadas, como diâmetro interno compatível, e que favoreçam a estabilidade térmica interna do ninho (ROZEN; BUCHMANN, 1990; JESUS *et al.*, 2021).

As condições climáticas e a localização do criatório racional mostraram-se fatores preponderantes para o tempo de desenvolvimento das crias, evidenciando variações mensais e anuais. Estudos indicam que temperatura, umidade e disponibilidade de recursos alimentares impactam diretamente a biologia de desenvolvimento de abelhas solitárias, influenciando a duração do período larval e pupal (CAMARGO; PEDRO, 2002; PEREIRA *et al.*, 2018; VILLANUEVA-GUTIERREZ; ROUBIK, 2004).

7.2 Número de crias, proporção de crias vivas e mortas

7.2.1 Número de crias

O aumento significativo da nidificação de *C. analis* em 2024, embora possa ser, em parte, atribuído ao período de amostragem restrito aos primeiros três meses do ano, também coincidiu com o auge do período chuvoso. A alta umidade e maior disponibilidade de recursos florais podem ter estimulado um aumento na nidificação e, consequentemente, no número de crias emergidas, um fenômeno já documentado em outros estudos sobre a relação entre sazonalidade e atividade de abelhas solitárias (ALVES-DOS-SANTOS; FREITAS; OLIVEIRA, 2020).

A influência das dimensões dos NAs reforça a hipótese de que ninhos mais longos e de maior diâmetro oferecem condições mais favoráveis para um maior número de criações. Estudos anteriores indicam que espécies de *Centris* e outros gêneros de abelhas solitárias ajustam seu comportamento de nidificação de acordo com o espaço disponível, priorizando ninhos mais amplos que possibilitem um maior número de câmaras de cria e aumentem a taxa de sobrevivência das larvas, permitindo, também, alocar mais recursos para os imaturos na

presença de espaços maiores (LOURENÇO *et al.*, 2019; MAGALHÃES, 2012; SABINO, 2012; VISSCHER; SEELEY, 2007).

A influência do material dos NAs na nidificação de abelhas já foi explorada por diversos autores, que destacam a preferência de fêmeas de abelhas solitárias por ninhos com determinadas características de textura e cor (ALMEIDA; LAROCA, 1994; CAMARGO; PEDRO, 2003). A maior quantidade total de crias emergidas dos biocanudos pretos (2928 indivíduos), em contraste com os 1770 indivíduos emergidos dos tubos de cartolina, pode estar relacionada às diferenças nas dimensões de comprimento e diâmetro desses ninhos, fatores previamente correlacionados às taxas de sucesso reprodutivo de diversas espécies de abelhas solitárias (LOURENÇO *et al.*, 2019; FREITAS *et al.*, 2022; MICHENER, 2007).

O comportamento mensal de emergência das crias demonstrou que os biocanudos brancos e pretos apresentaram maior variação ao longo do ano, especialmente os pretos, que foram os preferidos pelas fêmeas de *C. analis*. Em contraste, os tubos de cartolina mostraram valores mais estáveis, com exceção dos meses de agosto e novembro. Essa estabilidade pode estar relacionada às dimensões utilizadas, que afetam a temperatura e a umidade internas dos ninhos, influenciando diretamente a taxa de desenvolvimento das larvas (TORRES; GONÇALVES, 2021). Além disso, as condições climáticas, como a sazonalidade das chuvas e a disponibilidade de alimento, são fatores determinantes para a nidificação e o sucesso reprodutivo das abelhas solitárias (POTTS *et al.*, 2010).

7.2.2 Proporção de crias individuais vivas e mortas

A análise da diferença entre o número de crias vivas e mortas por NA ao longo dos anos revelou um aumento significativo na proporção de crias vivas em 2024, seguido pelos anos de 2023 e 2022 (tabela 8). A maior proporção entre crias vivas e mortas registrada em 2024, embora possa ser atribuída à amostragem restrita aos três primeiros meses do ano, aponta também para a importância do período chuvoso na sobrevivência de crias, com maior umidade no ar e maior disponibilidade de recursos florais no entorno do criatório racional (ALVES-DOS-SANTOS; FREITAS; OLIVEIRA, 2020; VISSCHER; SEELEY, 2007). A elevada presença de outliers pode estar associada a fatores ambientais, como oscilações de temperatura e disponibilidade de recursos, ou à maior exposição à predação e ao parasitismo (POTTS *et al.*, 2010; TORRES; GONÇALVES, 2021). A influência da infestação por parasitas, como abelhas pertencentes ao gênero *Coelioxys* sobre a taxa de sobrevivência das crias de abelhas solitárias

é um fator determinante para o seu sucesso reprodutivo (AGUIAR; GARÓFALO; ALMEIDA, 2006; CAMARGO; PEDRO, 2003; MICHENER, 2007).

NAs de maiores dimensões, especialmente os biocanudos brancos e pretos, apresentaram maior variação mensal na diferença entre crias vivas e mortas de *C. analis*, com destaque para os biocanudos pretos. Essa variação maior pode estar associada a uma elevada suscetibilidade a variações microclimáticas dentro do ninho, como já reportado em estudos sobre a influência do tamanho do ninho na termorregulação e desenvolvimento das larvas (KAPOSVARI; SZENTGYORGYI; KOVACS, 2019). Apesar de apresentarem a pior proporção de mortalidade individual de crias e uma menor taxa de nidificação quando comparados aos biocanudos pretos, os tubos de cartolina exibiram uma maior estabilidade ao longo dos meses. Isso pode estar relacionado às características térmicas e de umidade do material (GRANDI; TEPEDINO, 2002; POTTS *et al.*, 2010; TORRES; GONÇALVES, 2021).

7.2.3 *Sobrevivência ou mortalidade do ninho-armadilha como um todo*

A literatura indica que condições climáticas influenciam diretamente a sobrevivência dos NAs, com umidade relativa e temperatura desempenhando papéis cruciais na eclosão e no desenvolvimento de imaturos (KLEIN *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2022). O padrão de mortalidade constante ao longo dos anos sugere um equilíbrio populacional, possivelmente devido à capacidade de adaptação da espécie a variações sazonais, como discutido por Santos *et al.* (2020) e Almeida *et al.* (2023). Estudos anteriores destacam que fatores como a competição intraespecífica e o parasitismo por vespas ou fungos podem comprometer a sobrevivência dos NAs, reforçando a relevância dos fatores identificados neste estudo (SILVA; COSTA, 2019; FERREIRA *et al.*, 2021).

Embora o Berçário tenha sido utilizado desde agosto de 2019, e o BOD apenas a partir de novembro de 2020, a diferença de NAs vivos (1122 a mais no Berçário) sugere condições mais favoráveis neste sítio. Estudos sobre criação controlada de abelhas e vespas solitárias indicam que parâmetros como ventilação extra permitida pelo Berçário pode afetar a taxa de sobrevivência, o que poderia explicar os resultados obtidos (GONZÁLEZ *et al.*, 2020; MACHADO *et al.*, 2022). Entretanto, é provável que, dadas a similaridade de temperatura entre o ambiente do sítio Berçário e o interior do BOD, o controle de temperatura neste caso não tenha causado diferenças durante o desenvolvimento dos imaturos. Mesmo sem controle de temperatura, as condições ambientais do Berçário podem ter favorecido a sobrevivência, uma

observação alinhada com estudos de Crone & Williams (2016) sobre influência de microclima na sobrevivência de insetos nidificantes.

7.3 Razão sexual

Nenhum fator intrínseco foi significativo ($p > 0,05$) para influenciar a razão sexual entre machos e fêmeas de *C. analis* em NAs (tabela 16). O resultado contrasta com outras variáveis-resposta analisadas e sugere que a razão sexual não é diretamente modulada por fatores como manejo ou parasitismo de abelhas cleptoparasitas, conforme foi observado em estudos semelhantes (GONZÁLEZ *et al.*, 2020; SILVA; FREITAS, 2021).

O fato de o número de machos emergidos ser consistentemente superior ao de fêmeas ao longo dos seis anos de estudo, exceto em 2019, é coerente com padrões descritos por Camargo *et al.* (2018), que associam o viés na razão sexual a fatores ambientais, como disponibilidade de alimento e temperatura (TOTH *et al.*, 2019). Além disso, Lourenço *et al.* (2019) também relataram uma tendência de maior produção de machos em *C. analis* na mesma localização geográfica do presente estudo, reforçando a hipótese de que condições ecológicas podem desempenhar um papel crucial na determinação da razão sexual em *C. analis* no ambiente urbano antropizado de Fortaleza-CE.

7.4 Comprimento da célula vestibular

O padrão inversamente proporcional entre o número de células de cria em NAs e o comprimento médio das células vestibulares já foi observado em outros estudos sobre a nidificação de abelhas solitárias (CAMILO; ZANETTE, 2010; ALVES-DOS-SANTOS; FREITAS; PIRES, 2018). Esse padrão pode estar associado às limitações espaciais impostas pelas fêmeas construtoras, que ajustam o tamanho da célula vestibular de acordo com a disponibilidade de espaço e com o número de células já construídas (TORRES; BORGES, 2019).

Com temperaturas médias superiores a 29,5 °C, as células vestibulares apresentaram menor comprimento médio, o que pode estar relacionado a estratégias adaptativas para minimizar os efeitos térmicos sobre o desenvolvimento das larvas (ROUBIK, 2006). Diferentes estudos já apontaram que a temperatura pode afetar não apenas o crescimento larval, mas também a taxa de desenvolvimento e a razão sexual em algumas espécies de abelhas solitárias (VAN VEEN; BOOMSMA, 2002; SEIDELMANN; VEIT; WINTER, 2010).

Os resultados também corroboram trabalhos que sugerem que o aumento da densidade de células de cria pode impactar a alocação de recursos pelas fêmeas, levando a variações no tamanho das células vestibulares para otimizar o uso do espaço disponível nos ninhos (FERREIRA; IMPERATRIZ-FONSECA; KLEINERT, 2011). A florada de espécies vegetais relevantes durante épocas do ano de maior temperatura ambiental média, levando a um aumento do forrageamento e subsequente maior provisionamento de recursos pelas fêmeas fundadoras, pode estar relacionado a esse fenômeno.

8 CONCLUSÕES

As variações mensais e anuais dos fatores ambientais e o material de confecção dos ninhos-armadilha influenciaram o tempo de desenvolvimento das crias de *Centris analis*, tendo as fêmeas preferência para a nidificação em biocanudos e tubos de cartolina pretos, embora os dois tipos de materiais não apresentassem diferenças nos tempos de desenvolvimento dos imaturos.

Os ninhos-armadilha com maiores dimensões (comprimento e diâmetro) e a cor influenciaram a construção de células de cria pelas fêmeas fundadoras, destacando-se que os biocanudos pretos apresentaram o maior número de indivíduos por ninho, e a menor mortalidade de crias individuais ocorreu nos tubos de cartolina. O sítio de incubação berçário apresentou a menor mortalidade de ninhos-armadilha.

A razão sexual foi deslocada para os machos e não foi influenciada por nenhum fator intrínseco ou ambiental.

O comprimento (cm) da célula vestibular foi influenciado pelo número de células de cria construído e pela temperatura média ambiental de maneira inversamente proporcional.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. R. *et al.* Environmental influences on solitary bee nesting success. **Journal of Pollination Ecology**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 112–127, 2023.
- ALONSO, Juliana D. S.; SILVA, Janaina F.; GARÓFALO, Carlos A. The effects of cavity length on nest size, sex ratio and mortality of *Centris (Heterocentris) analis* (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Apidologie**, [s. l.], v. 43, p. 436–448, 2012.
- ALVES-DOS-SANTOS, I.; FREITAS, B. M.; OLIVEIRA, R. Impacto da sazonalidade na atividade de abelhas solitárias: uma revisão. **Revista Brasileira de Ecologia**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 112-130, 2020.
- ALVES-DOS-SANTOS, I.; FREITAS, B. M.; PIRES, C. S. S. Apoidea como polinizadores: biodiversidade e conservação. **Ecologia e Conservação de Polinizadores**, [s. l.], v. 2, p. 45-63, 2018.
- CAMARGO, J. M. F.; PEDRO, S. R. M. Biologia da nidificação de abelhas solitárias e influência do substrato. **Acta Biológica Paranaense**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 85-102, 2003.
- CAMILO, G. R.; ZANETTE, L. R. The role of nest spacing and nest aggregation on solitary bee reproductive success. **Journal of Insect Conservation**, [s. l.], v. 14, p. 113-121, 2010.
- CARNEIRO, Liedson Tavares; MACHADO, Isabel Cristina. Oil flowers and related oil-collecting bees: a 50-year timeline of knowledge and future directions. **Arthropod-Plant Interactions**, [s. l.], v. 17, ed. 4, p. 543–562, 17 ago. 2023.
- CAVALCANTE, A. M. *et al.* Bionomic Aspects of the Solitary Bee *Tetrapedia diversipes* Klug, 1810 (Hymenoptera: Apidae: Tetrapediini). **Sociobiology**: An international journal on social insects, [s. l.], v. 66, n. 1, p. 113-119, 25 abr. 2019.
- CRONE, E. E.; WILLIAMS, N. M. Microclimatic effects on insect development in artificial nests. **Ecological Entomology**, [s. l.], v. 41, n. 3, p. 256–267, 2016.
- FAO, Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response, In: Freitas, B. M.; Pereira, J. O. P. (eds.) **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination**, Imprensa Universitária, Fortaleza, Brasil, p. 19-2, 2004.
- FERREIRA, C. J. B.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT, A. M. P. Nesting biology and reproductive strategies of solitary bees. **Neotropical Entomology**, [s. l.], v. 40, p. 567-575, 2011.
- FREITAS, Breno M.; BEZERRA, Antonio Diego M. (ed.). **Criação, multiplicação e manejo de abelhas nativas para a polinização agrícola no Brasil**. 1. ed. Fortaleza, CE: Laboratório de abelhas, Universidade Federal do Ceará, 2024. 280 p.
- FREITAS, B.M. *et al.* Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, [s. l.], v.40, p. 332-346, 2009.

FREITAS, B. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT, A. M. P. Efeitos da pandemia da COVID-19 sobre populações de polinizadores manejados e impactos na polinização. **Journal of Pollination Biology**, [s. l.], v. 14, p. 45-58, 2022.

GALLAI, N. *et al.* Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 68, p. 810-821, 2009.

GIANNINI T.C., Cordeiro G.D., Freitas B.M., *et al.* The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. **Journal Economic Entomology**, [s. l.], 108: p. 849-857, 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil Municipal 2017**. Fortaleza-CE, 2017a.

IPBES. **Global assessment of biodiversity and ecosystem services**, Brondizio E. S. Settele J. Díaz S. and Ngo H. T. (editors). IPBES Secretariat, Bonn, Germany, 2019.

KLEIN, Alexandra-Maria *et al.* **A Polinização Agrícola por Insetos no Brasil: Um Guia para Fazendeiros, Agricultores, Extensionistas, Políticos e Conservacionistas**. 1. ed. Albert-Ludwigs University Freiburg: Nature Conservation and Landscape Ecology, 2020. 149 p.

KLEIN, Alexandra-Maria *et al.* Climate variability and nesting success in solitary bees. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 27, n. 5, p. 884–896, 2021.

KÖPPEN, W. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. **Petermanns Mitt**, [s. l.], v. 64, 1918.

KROMBEIN, K.V. **Trap-nesting wasps and bees: life histories, nests and associates**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1967. 570p.

LOURENÇO, Diego de Vasconcelos *et al.* Nesting and reproductive habits of the solitary bee *Centris analis* in trap nests under a tropical climate. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, Brasil, v. 50, n. 3, p. 468-475, 2019.

MACHADO, L. P. *et al.* Temperature and humidity effects on wasp and bee larval development. **Insect Science**, [s. l.], v. 29, n. 6, p. 1342–1355, 2022.

MARTINS, Aline C.; MELO, Gabriel A.R.; RENNER, Susanne S. The corbiculate bees arose from New World oil-collecting bees: Implications for the origin of pollen baskets. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [s. l.], v. 80, p. 88-94, 2014.

MICHENER, C. D. *The Bees of the World*. 2. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2007.

MORO, M.F. *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia-Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, [s. l.], v. 66, n. 3, p. 717- 743, 2015.

MUNIZ, Vitória Inna Mary de Sousa. **Parâmetros reprodutivos e alimentares da abelha solitária *Epanthidium tigrinum* (Schr.) (Hymenoptera, Megachilidae) para criatório racional**. Orientador: Prof. Dr. Breno Magalhães Freitas. 2021. 103 p. Dissertação (Mestrado) (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil, 2021.

- OLIVEIRA, S. P. *et al.* Rainfall patterns and their effects on cavity-nesting insect populations. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 32, n. 4, e2501, 2022.
- PEREIRA, Maurício Gomes. **Artigos científicos**: como redigir, publicar e avaliar. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 383 p.
- POTTS, S. G.; BIESMEIJER, J. C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O.; KUNIN, W. E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, [s. l.], v. 25, n. 6, p. 345-353, 2010.
- PRAZ, Christophe J.; MÜLLER, Andreas; DORN, Silvia. Specialized bees fail to develop on non-host pollen: Do plants chemically protect their pollen?. **Ecology**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 795-804, 2008.
- RASMUSSEN, Claus; OLESEN, Jens M. Oil Flowers and Oil-collecting Bees. **Det Norske Videnskaps-Akademi. I. Matematisk Naturvidenskapelige Klasse, Skrifter, Ny Serie**, [s. l.], v. 39, p. 23-31, 2000.
- RECH, André Rodrigo; AGOSTINI, Kayna; OLIVEIRA, Paulo Eugênio; MACHADO, Isabel Cristina (org.). **Biologia da polinização**. 1. ed. Rio de Janeiro: Projeto Cultural, 2014. 527 p.
- RICKETTS, T. H. *et al.* Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? **Ecology letters**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 499-515, 2008.
- ROUBIK, D. W. Ecological impact of native and exotic bees in tropical ecosystems. Annual Review of Ecology, **Evolution, and Systematics**, [s. l.], v. 37, p. 347-366, 2006.
- SAMPAIO, Ivan Barbosa Machado. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. 265 p.
- SANTOS, C. O.; PEIXOTO, P. E. C.; AGUIAR, C. M. L. Cavity Length Affects the Occupation of Trap-Nests by *Centris analis* and *Tetrapedia diversipes* (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology**: An international journal on social insects, [s. l.], v. 67, n. 2, p. 261-267, 30 jun. 2020.
- SILVA, T. R.; COSTA, J. A. Predation and parasitism in trap nests of solitary bees. **Journal of Insect Ecology**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 78-93, 2019.
- STASINOPOULOS, M.D. *et al.* **Flexible regression and smoothing**: using GAMLSS in R. CRC Press, 2017.
- TORRES, V. O.; BORGES, F. R. Nesting behavior of solitary bees: spatial distribution and implications for conservation. **Journal of Pollination Ecology**, [s. l.], v. 25, p. 92-104, 2019.
- TORRES, C. W.; GONÇALVES, R. B. Efeitos das condições microclimáticas dos ninhos-armadilha no desenvolvimento de abelhas solitárias. **Entomologia Neotropical**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 215-230, 2021.
- VAN VEEN, J. F.; BOOMSMA, J. J. Effects of nest density and habitat quality on reproductive success of solitary bees. **Oecologia**, [s. l.], v. 132, p. 80-87, 2002.

VIANA, Blandina F. 2016. Agricultura e Polinizadores: Parceria que dá muito mais do que frutos. In: **Anais dos Encontros sobre os Benefícios das Abelhas na Agricultura**, Nossa Senhora da Glória, Sergipe, Brasil. Anais. p. 17-27.2016.

VISSCHER, P. K.; SEELEY, T. D. Nest site selection and recruitment behavior in honey bees and other social insects. **Annual Review of Entomology**, [s. l.], v. 52, p. 255-275, 2007.

WU, Shuo; LIU, Jizhan; LEI, Xiaojie; ZHAO, Shengyi; LU, Jiajun; JIANG, Yingxing; XIE, Bin Bin; WANG, Ming. Research Progress on Efficient Pollination Technology of Crops. **Agronomy**, [s. l.], v.12, n.11, p.2872, 2022.

CAPÍTULO 3:

**NIDIFICAÇÃO DA ABELHA *Centris (Heterocentris) analis* (FABRICIUS, 1804)
EM AMBIENTE RURAL E EFEITOS SOBRE A PRODUÇÃO DE ACEROLA
(*Malpighia emarginata* DC.)**

RESUMO

A abelha coletora de óleo *Centris analis* é nativa do Brasil e destaca-se por sua habilidade em colonizar ninhos-armadilha de maneira eficaz, tornando-se uma candidata promissora para a polinização de diversas culturas agrícolas, incluindo a da acerola (*Malpighia emarginata* DC.). O presente estudo objetivou monitorar os hábitos de nidificação das fêmeas dessa espécie em um criatório racional situado em uma plantação de acerola. O foco principal foi identificar fatores intrínsecos ou ambientais que pudessem influenciar a produção de frutos, contribuindo, assim, para o desenvolvimento de técnicas de manejo racional mais eficientes, maximizando o desempenho dessa abelha na polinização agrícola e promovendo melhores resultados nas colheitas. Com esse propósito, 768 ninhos-armadilha diferenciados em duas classes de comprimento e diâmetro foram ofertados no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE, de outubro de 2020 a fevereiro de 2023, com uma última visita realizada em agosto de 2023. Visitas à propriedade rural foram realizadas de modo semanal ou quinzenal, e dados sobre a preferência de nidificação e a produção de acerolas foram coletados e analisados, assim como dados referentes a variáveis ambientais, como a presença e a intensidade de florada a cada visita. Os resultados mostraram que houve influências significativas da presença de florada ($p < 0,05$), da intensidade de florada ($p < 0,05$) e da precipitação pluviométrica ($p < 0,05$) em relação à razão do número de ninhos-armadilha nidificados pelo número de ninhos-armadilha instalados. As abelhas nidificaram mais frequentemente nos ninhos-armadilha de menores dimensões, com 197 mm de comprimento e 6 mm de diâmetro, do que naqueles de 210 mm de comprimento e 10 mm de diâmetro. Em relação à produção de acerolas, houve aumento da colheita após a instalação do criatório racional no dia 14/10/2020. Interrupções ocorreram somente em decorrência de situações ambientais disruptivas à nidificação das abelhas *C. analis*, como ataque de cupins e alagamento do criatório racional e do pomar. Houve influências significativas da intensidade de florada ($p < 0,05$) e da interação entre o ano e o mês ($p < 0,05$) em relação ao número de caixas colhidas. Conclui-se que a presença e a intensidade de florada das aceroleiras impactam diretamente a colonização de ninhos-armadilha por fêmeas de *C. analis*, devendo ser monitorado atentamente como parte do manejo racional dessa espécie. A monitoração constante de parâmetros ambientais do cultivo, como a precipitação pluviométrica e a ocorrência de parasitas, evita perda de produtividade e contribui para uma melhora do número de abelhas em atividade no

pomar, sendo tão importante quanto o controle de variáveis intrínsecas, tais como as dimensões escolhidas para uso em ninhos-armadilha.

Palavras-chave: abelhas coletoras de óleo; *Centris analis*; manejo para polinização; *Malpighia emarginata* DC.; parâmetros ambientais.

ABSTRACT

The oil-collecting bee *Centris analis* is native to Brazil and stands out for its ability to effectively colonize trap nests, making it a promising candidate for the pollination of various agricultural crops, including acerola (*Malpighia emarginata* DC.). The present study aimed to monitor the nesting habits of females of this species in a rational breeding facility located in an acerola plantation. The main focus was to identify intrinsic or environmental factors that may influence fruit production, thereby contributing to the development of more efficient rational management techniques, maximizing the performance of this bee in agricultural pollination and promoting better harvest outcomes. To this end, 768 trap nests differentiated into two length and diameter classes were offered at the Sítio São José in Sapupara, a district of the Municipality of Maranguape – CE, from October 2020 to February 2023, with a final visit conducted in August 2023. Visits to the rural property were made weekly or biweekly, and data on nesting preferences and acerola production were collected and analyzed, as well as data regarding environmental variables, such as the presence and intensity of flowering at each visit. The results showed that there were significant influences from the presence of flowering ($p < 0.05$), the intensity of flowering ($p < 0.05$), and rainfall ($p < 0.05$) relative to the ratio between the number of colonized trap nests and the number of installed trap nests. The bees nested more frequently in the smaller trap nests, measuring 197 mm in length and 6 mm in diameter, than in those measuring 210 mm in length and 10 mm in diameter. Regarding acerola production there was an increase in the harvest after the installation of the rational breeding facility on October 14, 2020. Disturbances to the production occurred only due to environmental events that disrupted the nesting of *C. analis* bees, such as termite attacks and flooding of the breeding facility and orchard. There were significant influences from the intensity of flowering ($p < 0.05$) and the interaction between year and month ($p < 0.05$) regarding the number of boxes harvested. It is concluded that the presence and intensity of flowering of acerola shrubs directly impact the colonization of trap nests by female *C. analis*, which should be closely monitored as part of the rational management program for this species. Constant monitoring of environmental parameters of culture, such as rainfall and the occurrence of parasites, prevents loss of productivity and contributes to an increase in the number of active bees in the orchard, being as important as controlling intrinsic variables, such as the size dimensions chosen to be used in trap nests.

Keywords: oil-collecting bees; *Centris analis*; management for pollination; *Malpighia emarginata* DC.; environmental parameters.

9 INTRODUÇÃO

Os insetos desempenham um papel crucial no processo da polinização, pois são responsáveis por cerca de 75% da polinização das culturas alimentares globais, contribuindo com até 9,5% do valor da produção agrícola destinada ao consumo humano (FREITAS; BEZERRA, 2024; GALLAI et al., 2009; KLEIN et al., 2020; RECH et al., 2014; VIANA, 2016; WU et al., 2022). Entre esses insetos polinizadores, as abelhas se destacam por sua importância na polinização de aproximadamente 73% das espécies vegetais cultivadas para alimentação humana (FAO, 2004; FREITAS; BEZERRA, 2024; RICKETTS et al., 2008).

Aceroleiras (*M. emarginata*) são arbustos originários do Caribe, pertencentes à família Malpighiaceae, cujos frutos possuem até 4.500 mg de vitamina C por 100 g de polpa, mais do que muitas frutas cítricas (EMBRAPA, 2023; FREITAS et al., 1999, KLEIN et al., 2020; OLIVEIRA; SCHLINDWEIN, 2009; OLIVEIRA et al., 2014; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014). A acerola constitui assim uma importante cultura agrícola para consumo humano; porém, normalmente apenas cerca de 30% das flores de cada árvore individual produzem frutos, apesar de possuírem altos níveis de polinização natural (KLEIN et al., 2020; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014). Além disso, o único recurso que *M. emarginata* oferta aos polinizadores é o pólen, que costuma ser mais oleoso que o pólen de outras plantas. Abelhas generalistas como *A. mellifera* não costumam visitar as flores da acerola, exceto quando há pouca oferta de recursos no entorno. (FREITAS et al., 1999, KLEIN et al., 2020; OLIVEIRA; SCHLINDWEIN, 2009; OLIVEIRA et al., 2014; SAZAN; BEZERRA; FREITAS, 2014).

Por essa razão, *M. emarginata* é altamente dependente da polinização realizada pelas abelhas que forrageiam do óleo floral, como aquelas pertencente aos gêneros *Centris* e *Epicharis* (FREITAS; BEZERRA, 2024; KLEIN et al., 2020). Essas abelhas utilizam esse recurso como matéria-prima essencial para a construção e proteção dos ninhos, mas também para o provisionamento larval, além de possuírem especializações anatômicas e comportamentais que as tornam aptas para forragear o pólen e o óleo das flores da família Malpighiaceae de maneira eficiente (CARNEIRO; MACHADO, 2023; LOURENÇO et al., 2019; MICHENER, 2007; PRAZ; MÜLLER; DORN, 2008; RASMUSSEN; OLESEN, 2000). A espécie *C. analis* é um caso emblemático: nidifica, em cavidades já existentes, na madeira e apresenta características como baixo territorialismo — permitindo que várias fêmeas fundadoras compartilhem o mesmo espaço — além de ter um ciclo de vida multivoltino (FREITAS; BEZERRA, 2024; LOURENÇO et al., 2019).

Porém, ainda há lacunas no entendimento sobre o manejo racional dessa espécie para a polinização dirigida da acerola. Fatores intrínsecos ao método do manejo racional e influências ambientais ainda não foram completamente elucidados em relação à colonização de ninhos armadilha e aos efeitos sobre a produção. Desse modo, o presente estudo objetivou acompanhar os hábitos de nidificação de fêmeas dessa espécie em um criatório racional localizado em cultivo de acerola, para verificar a influência de sua população na produção em uma propriedade rural, com o intuito de identificar fatores estimulantes intrínsecos ou ambientais que possam colaborar para a elaboração de técnicas mais eficazes de manejo racional, para maximizar o desempenho de *Centris analis* na polinização da aceroleira.

10 MATERIAIS E MÉTODOS

10.1 Descrição da área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida durante o período de outubro de 2020 a fevereiro de 2023, com uma única visita realizada em agosto de 2023, em cultivo de acerola de variedade Junco (NRA 309) em pomar de área de 0,9 ha, no Sítio São José, localizado em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE (latitude: 3°58'47.9"S e longitude: 38°41'09.5"W, altitude: 800 m acima do nível do mar) (MATOS *et al.*, 2022). O clima da área, conforme a classificação climática de Köppen (1918), é caracterizado como tropical quente úmido, sendo assim classificado como As'. A pluviosidade média anual é de 1.378,9 mm, com a estação chuvosa predominando entre os meses de janeiro e maio e com temperaturas médias entre 26°C a 28°C, com umidade relativa do ar média de 78,3%. (IPECE, 2017b).

O local está situado na zona rural de Sapupara e rodeado, majoritariamente, por cobertura vegetal nativa, caracterizada como mata seca (floresta subcaducifolia tropical pluvial) (MORO *et al.*, 2015). No sítio, é possível encontrar espécies nativas na vegetação de entorno do plantio e espécies frutíferas exóticas cultivadas, sendo elas a gravioleira (*Annona muricata* L.), o limoeiro (*Citrus × limon* (L.) Osbeck), o maracujazeiro (*Passiflora edulis* Sims), o mamoeiro (*Carica papaya* L.), a pitaia (*Hylocereus* sp. (A.Berger) Britton & Rose) e, principalmente, a aceroleira (*Malpighia emarginata* DC.) (KLEIN *et al.*, 2020; MUNIZ *et al.*, 2020).

10.2 Desenho experimental e ninhos-armadilha

Foram utilizadas 106 tábuas de madeira, cada qual com oito ranhuras semicirculares paralelas, de forma que a sobreposição de cada duas tábuas formava os orifícios para a inserção dos ninhos-armadilha (NAs). Essas tábuas foram empilhadas em dez colunas paralelas, quatro contendo dez tábuas de madeira e seis contendo onze tábuas, possibilitando a oferta total de 768 cavidades para a inserção de NAs (figura 8). As dez colunas paralelas de tábuas de madeira foram instaladas a 1,30 m do solo em um único sítio de nidificação posicionado na borda do cultivo, que consistiu em uma mesa de madeira sob um telhado de telhas ecológicas onduladas para proteção contra o sol e a chuva, sustentado por quatro estacas de madeira (figura 9), colocado sob a sombra da copa de uma gravioleira (*Annona muricata* L.) a fim de prover proteção extra contra o sol e a chuva ao telhado.

Figura 8 – O criatório racional de abelhas solitárias da espécie *Centris analis* utilizado como sítio de nidificação, contendo 106 tábuas de madeira empilhadas em 10 "torres" para o acondicionamento de ninhos-armadilha, foi desenvolvido no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, localizado em cultivo de acerola do Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 9 – O abrigo do criatório racional de abelhas solitárias da espécie *Centris analis*, consistindo em uma mesa de madeira sob um telhado de telhas ecológicas sustentado por 4 estacas de madeira, posicionado na borda do cultivo, foi desenvolvido no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, localizado em cultivo de acerola do Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.



Fonte: elaborada pelo autor.

Ao longo do estudo, foram continuamente disponibilizados 768 NAs divididos em duas classes em relação ao seu comprimento e ao seu diâmetro, como pode ser observado na tabela 19:

Tabela 19 – Classes de ninhos-armadilha e suas características, ofertadas para a livre colonização por fêmeas de *Centris analis* no criatório racional de abelhas solitárias, desenvolvidas no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.

Detalhes	Classes de Ninhos-Armadilha (NAs)	
	Primeira Classe	Segunda Classe
Cor Exterior	Preta	Preta
Cor Interior	Branca	Branca
Comprimento (mm)	197	210
Diâmetro (mm)	6	10
Quant. Total (unid.)	608	160
Total Ofertado	768	

Fonte: elaborada pelo autor.

Ambas as classes de NAs utilizadas foram compostas de canudos feitos de papel biodegradável, denominados biocanudos, em decorrência de serem produzidos pela empresa BioCanudo®. Todos os biocanudos utilizados possuíam interior de cor branca e exterior preto, além de terem uma de suas extremidades fechada com fita gomada, em adaptação da técnica de NAs proposta por Krombein (1967). A primeira classe foi constituída de 608 biocanudos com 197 mm de comprimento e 6 mm de diâmetro, enquanto a segunda classe foi composta por 160 biocanudos com 210 mm de comprimento e 10 mm de diâmetro.

10.3 Nidificação e efeitos sobre a produção de acerola

10.3.1 Preferência e razão de cavidades ocupadas

Para avaliar a preferência das fêmeas de *C. analis* por uma das duas classes de NAs e a razão de NAs ofertados por NAs colonizados (ou nidificados), foram realizadas visitas semanais ao Sítio São José, normalmente às sextas-feiras. Essas visitas foram também feitas esporadicamente, de maneira quinzenal, durante os meses de janeiro a maio, em decorrência do aumento das chuvas que dificultaram o acesso ao sítio.

Durante cada visita, o número de NAs de ambas as classes de comprimento e de diâmetro colonizados (nos quais havia uma fêmea fundadora de *C. analis* construindo um ninho ou que já haviam sido operculados) foi contabilizado e comparado com a quantidade registrada em visitas anteriores. Ninhos operculados, cujos indivíduos adultos não emergiram após 120

dias depois da data em que sua operculação foi observada pela primeira vez, foram considerados mortos e substituídos por novos NAs, em adaptação ao método proposto por Cavalcante *et al.* (2019).

Além disso, a presença de flores nas aceroleiras do cultivo foi registrada em todas as visitas, e a sua intensidade foi estimada em um valor que variou de 0% (ausência de flores em todas as plantas do cultivo) a 100% (presença de flores em todas as aceroleiras do pomar, auge da florada), com base em observação local. Esses dados foram utilizados para avaliar sua correlação com o número de NAs ofertados em relação ao número de NAs nidificados pelas fêmeas de *C. analis*.

10.3.2 Efeitos sobre a produção de acerola

A fim de avaliar o efeito da colonização dos NAs sobre a produção de acerolas do Sítio São José, ou seja, o número de caixas de acerola vendidas, os senhores Francisco José Lemos e Sandoval Rodrigues de Araújo, responsáveis pela produção dessa cultura do sítio, enviaram os dados referentes às datas de colheita e à quantidade em unidades de caixas colhidas. Esses dados foram, então, comparados à quantidade de NAs ofertados e nidificados, assim como à presença e à intensidade de florada que ocorreram na mesma época.

10.4 Análises estatísticas

Todos os dados referentes à preferência das fêmeas de *Centris analis* por uma das duas classes de NAs e aos efeitos das variáveis ambientais sobre a razão de NAs ofertados por NAs colonizados e sobre a produção (colheita) de acerolas foram registrados em tabelas no software Microsoft Excel 2013. Estes dados são, respectivamente:

- o número de NAs colonizados de ambas as classes;
- o número de NAs ofertados;
- a presença e a intensidade de florada;
- o número em unidades de caixas de acerola colhidas.

Durante a análise dos efeitos das variáveis ambientais sobre a razão de NAs ofertados e nidificados, a razão do número de NAs instalados pelo número de NAs nidificados foi tomada como a variável resposta, e a presença e a intensidade da florada, bem como os dados ambientais de temperatura e precipitação coletados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) foram considerados como variáveis explicativas. Constatou-se que as variáveis utilizadas neste estudo não pertencem à família exponencial linear, que consiste em um conjunto de

distribuições de probabilidades que podem ser expressas de uma forma específica. Essa configuração facilita a modelagem estatística e a aplicação de métodos como a regressão generalizada. A família exponencial linear é caracterizada por uma função de verossimilhança comum, o que torna a análise de dados mais simples (STASINOPOULOS et al., 2017). Já que as variáveis não se enquadram nessa família, foi necessário optar por distribuições teóricas mais apropriadas para modelar os dados, utilizando-se o modelo GAMLSS para essa finalidade.

O Modelo Aditivo Generalizado para Localização, Escala e Forma (GAMLSS) representa uma extensão dos modelos aditivos generalizados (GAM) e dos modelos lineares generalizados (GLM). Essa abordagem possibilita a utilização de distribuições que não se enquadram na família exponencial linear, conforme evidenciado nas análises realizadas neste estudo. Ademais, o GAMLSS oferece a flexibilidade de modelar variáveis-resposta com qualquer tipo de distribuição, permitindo, também, que parâmetros além da média e da variância sejam considerados. Assim, é viável modelar os parâmetros de localização, escala e forma em função de covariáveis, enquanto preditores lineares podem integrar funções suavizadas não paramétricas (STASINOPOULOS et al., 2017), tal como foi feito neste trabalho, o que justifica a escolha desse modelo.

Para analisar os efeitos das variáveis ambientais sobre a razão do número de NAs instalados pelo número de NAs colonizados, foi empregado um modelo GAMLSS com a **distribuição teórica sinh-arcsinh original (SASHo)**, que é uma maneira de generalizar a distribuição normal, permitindo analisar dados que tenham características complexas, como assimetria, caudas longas e curtose. No contexto deste estudo, a SASHo mostra-se adequada, pois em alguns momentos, muitos NAs podem ser nidificados por fêmeas fundadoras, enquanto que, em outros momentos, nenhum NA disponibilizado pode ser ocupado. A distribuição consegue trabalhar com essa variabilidade e modelar a relação entre os NAs instalados e os colonizados de maneira mais precisa.

O modelo GAMLSS foi utilizado novamente para averiguar os efeitos das variáveis ambientais sobre a colheita de caixas de acerola, considerando agora o número de caixas colhidas como a variável resposta e a presença e a intensidade de florada, assim como a interação ano: mês como as variáveis explicativas. Para ambas as análises, o objetivo foi verificar se e como as variáveis explicativas afetam as variáveis respostas; para isso, foi utilizada a **distribuição teórica binomial negativa (NBI)**, que torna possível trabalhar com dados que envolvem contagens, especialmente quando estamos lidando com eventos raros ou quando a variabilidade dos dados é alta, sendo usada para descrever situações em que se quer

saber o número de tentativas necessárias para se alcançar certo número de sucessos ou um objetivo específico.

No caso do número de caixas de acerola colhidas, a distribuição NBI torna-se adequada porque a quantidade de caixas colhidas pode variar bastante de um dia para outro, podendo haver dias em que se colhem dezenas de caixas e outros em que se colhem poucas unidades ou nenhuma. A distribuição permite modelar essa variabilidade e entender melhor quantas tentativas (dias de colheita) são necessárias para alcançar certo número de caixas colhidas. Além disso, a distribuição NBI também é útil para lidar com dados nos quais há superdispersão, ou seja, quando a variabilidade é maior do que o esperado.

Dessa forma, o teste de razão de verossimilhança (LRT - *Likelihood Ratio Test*) foi utilizado, posteriormente, para identificar quais variáveis explicativas tinham um impacto significativo sobre as variáveis respostas. O teste LRT avalia a adequação de dois modelos, geralmente um modelo mais simples (modelo nulo) em contraste com outro mais complexo (modelo alternativo), analisando se o modelo alternativo proporciona uma melhoria significativa no ajuste dos dados em relação ao modelo nulo (STASINOPOULOS et al., 2017). Os resultados obtidos por meio dos testes de razão de verossimilhança foram organizados em tabelas, cujas colunas representam, respectivamente:

Df são os graus de liberdade.

AIC é o critério de informação de Akaike. É normalmente utilizado para comparar modelos. Modelos com menor AIC tendem a ser melhores que modelos com AIC elevado.

LRT é o teste de razão de verossimilhança. É calculado com a seguinte fórmula:

$$\text{LRT} = -2 \log \Lambda = -2 \log \left(\frac{L(\theta_0)}{L(\hat{\theta})} \right)$$

Onde:

$L(\theta_0)$ é a **verossimilhança do modelo nulo** (o modelo mais simples), avaliada no valor do parâmetro θ_0 (os parâmetros estimados sob o modelo nulo).

$L(\theta)$ é a **verossimilhança do modelo alternativo** (o modelo mais complexo), avaliada no valor do parâmetro θ (os parâmetros estimados sob o modelo alternativo).

Pr(Chi), ou **valor-p** = O nível descritivo do teste é a probabilidade de se observar uma estatística de LRT tão extrema quanto a calculada, dado que a hipótese nula é verdadeira. O valor-p foi calculado tomando-se $p < 0,05$ para assumir que existe diferença significativa. Pode ser obtido utilizando-se a distribuição qui-quadrado (χ^2) com df graus de liberdade, sendo calculado pela fórmula:

$$p = P(\chi_k^2 \geq \text{LRT})$$

Em outras palavras, o valor-p representa a probabilidade de que a estatística qui-quadrado (χ^2) seja maior ou igual ao valor observado de LRT. O índice k que aparece subscrito em χ refere-se aos graus de liberdade (df) (PEREIRA, 2014; SAMPAIO, 2002; STASINOPOULOS et al., 2017).

11 RESULTADOS

11.1 Preferência e razão de cavidades ocupadas

O teste de razão de verossimilhança que foi realizado com base em distribuição teórica sinh-arcsinh original (SASHo), com o intuito de encontrar uma possível correlação de fatores ambientais em relação à preferência de cavidades ocupadas por fêmeas de *C. analis*, mostrou que somente os fatores estimulantes intrínsecos da precipitação pluviométrica ($p = 0,0000076 < 0,05$), da presença de florada de *M. emarginata* ($p = 0,0000000 < 0,05$) e da intensidade de florada de *M. emarginata* ($p = 0,0000009 < 0,05$) foram significativos para um aumento do número de cavidades colonizadas por fêmeas fundadoras, em relação a cavidades ofertadas (tabela 20).

Tabela 20 – Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica sinh-arcsinh original (SASHo) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes ambientais sobre a razão entre ninhos-armadilha ofertados e nidificados por fêmeas de *Centris analis*. Foi desenvolvido no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.

Variáveis explicativas	Df	AIC	LRT	Pr(Chi)
Temperatura	1	-187,223	-5,720	1,000
Precipitação	1	-161,475	20,028	0,0000076
Presença de florada	1	-134,310	47,193	0,0000000
Intensidade de florada	1	-157,283	24,219	0,0000009

Fonte: elaborada pelo autor.

Ao longo do estudo, foi realizado um total de 41 visitas ao Sítio São José, sendo registrada mais ocorrência de florada, em 31 visitas, do que ausência, que foi observada somente em 10 visitas (tabela 21). A raridade de uma ausência completa de florada pode ser explicada pelo fato de a florada ser considerada como ocorrência a partir do momento em que são encontradas flores em, pelo menos, um indivíduo de *M. emarginata* presente no pomar, fenômeno relativamente comum, uma vez que a floração desta espécie costuma ocorrer ao longo do ano inteiro. Conjuntamente à ocorrência de florada, foi possível também observar maior número de abelhas voando na área do cultivo, assim como um aumento no número de fêmeas de *C. analis* voando no criatório racional

Tabela 21 – O número de visitas realizadas ao local da pesquisa, onde foram registradas a presença ou ausência de florada das aceroleiras, e o número total de visitas realizadas. Esta tabela foi desenvolvida no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.

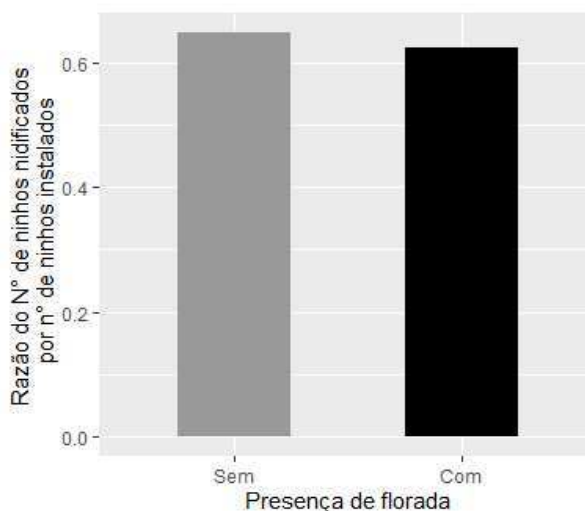
Florada	N.º de visitas em que se registrou presença ou ausência de florada	N.º total de visitas realizadas
Ausente	10	41
Presente	31	41

Fonte: elaborada pelo autor.

Durante as visitas em que foi registrada ausência de florada, constatou-se que a razão do número de NAs ocupados pelo número de NAs ofertados foi maior do que aquela observada em visitas com presença de florada, isto é, havia mais ninhos colonizados durante períodos de ausência de florada do que quando ela ocorria (gráfico 13). Embora as razões de ambas as

ocorrências tenham dados valores próximos, acima de 0,6, a razão observada durante a presença de florada ainda foi superior.

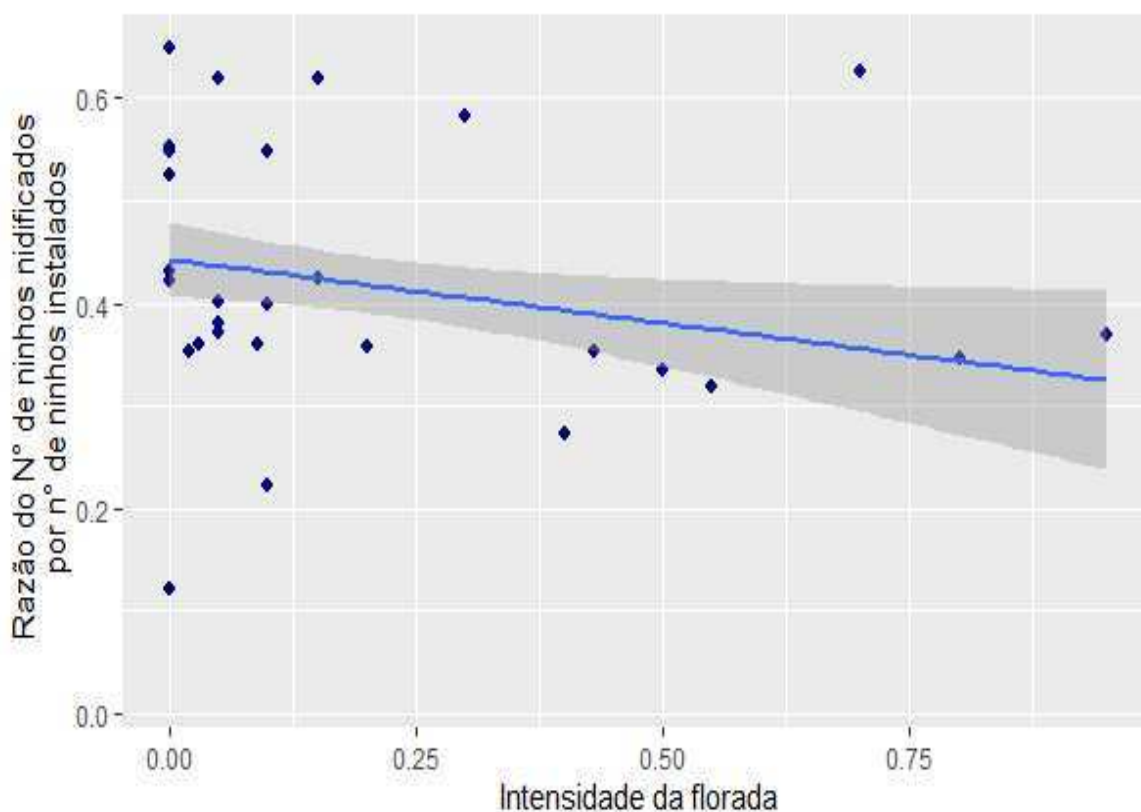
Gráfico 13 – Gráfico de barras referente à razão do número de ninhos-armadilha nidificados pelo número de ninhos-armadilha instalados, em relação à presença de florada das aceroleiras no cultivo. O gráfico foi desenvolvido no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.



Fonte: elaborada pelo autor.

Ao se analisar a relação entre a intensidade de florada e a razão entre o número de NAs nidificados e o número de NAs instalados, observou-se uma correlação inversamente proporcional entre essas duas variáveis. Isso significa que, à medida que a intensidade da florada aumentava, a razão mencionada tendia a diminuir gradualmente (gráfico 14). Entretanto, é importante ressaltar que essa correlação não se apresentou de forma perfeitamente uniforme em toda a análise. A variação no número de cavidades ocupadas em relação ao total de cavidades disponibilizadas mostrou-se relativamente estável quando a intensidade de florada era menor. Porém, quando as intensidades de florada atingiram 50% ou mais, houve um aumento significativo na ocupação das cavidades, resultando em números substancialmente diferentes de ninhos ocupados.

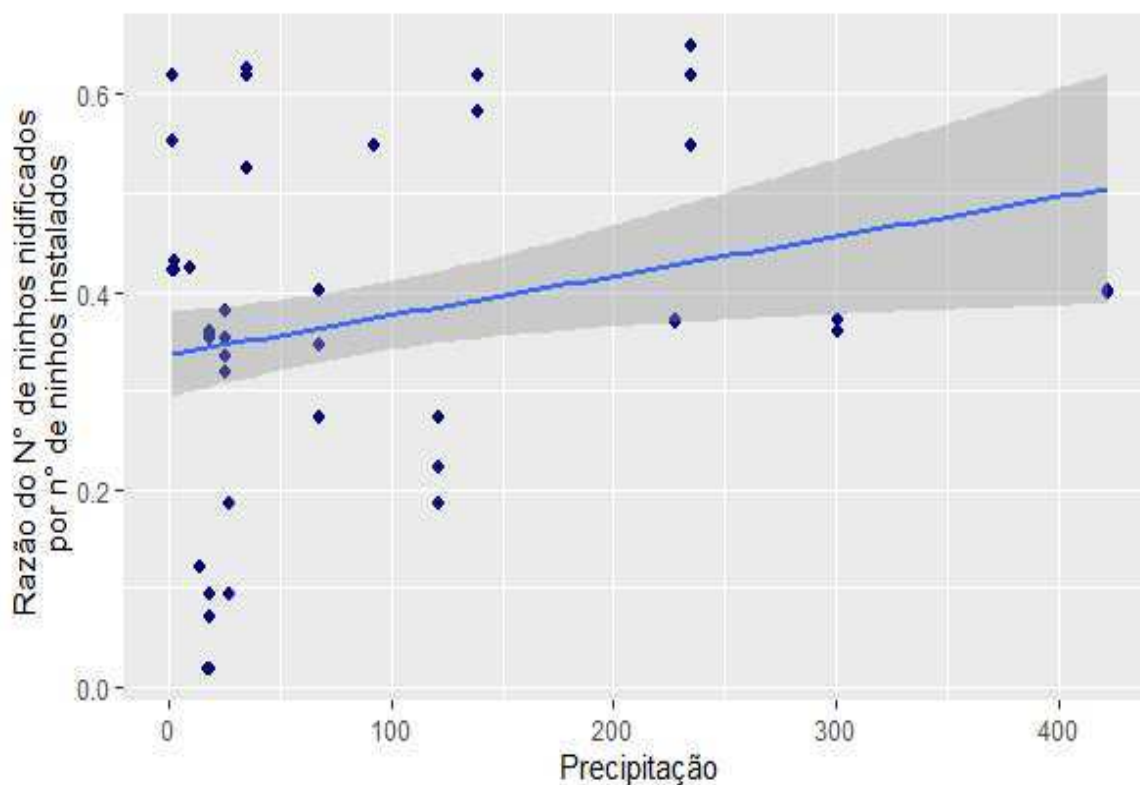
Gráfico 14 – Gráfico de linha referente à razão do número de ninhos-armadilha nidificados pelo número de ninhos-armadilha instalados, em relação à intensidade de florada das aceroleiras no cultivo. Foi desenvolvido no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.



Fonte: elaborada pelo autor.

Durante a análise da relação entre a precipitação pluviométrica em milímetros e a razão entre o número de cavidades colonizadas e ofertadas, também foi identificada uma correlação entre essas duas variáveis explicativas, porém agora diretamente proporcional: o número de NAs ocupados tendia a aumentar gradativamente à medida que a precipitação pluviométrica também aumentava (gráfico 15). Contudo, à mesma maneira que observado no gráfico 14, essa correlação não se apresentou de modo completamente uniforme. A variação no número de NAs ocupados em relação ao número de NAs disponibilizados mostrou-se relativamente estável quando a precipitação era menor, indicando que um menor volume de chuvas leva a uma variação menor do número de cavidades nidificadas por fêmeas de *C. analis*. Em contrapartida, quando a precipitação atingiu volumes maiores, principalmente a partir de 200 mm ou mais, a variação na razão mencionada acima apresentou aumento considerável, apontando para o fato de que a quantidade de cavidades ocupadas durante o ápice do período chuvoso no sítio variava agressivamente.

Gráfico 15 – Gráfico de linha referente à razão do número de ninhos-armadilha nidificados pelo número de ninhos-armadilha instalados, em relação à precipitação pluviométrica em milímetros. Esse gráfico foi desenvolvido no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.



Fonte: elaborada pelo autor.

11.2 Efeitos da introdução de ninhos-armadilha no pomar sobre a produção de frutos

Houve um aumento considerável no número de caixas colhidas por dia mensalmente no Sítio São José após a introdução do criatório racional e dos NAs no pomar de acerolas, a partir de outubro de 2020 (tabela 22). Antes da introdução dos NAs, o maior número de caixas de acerola colhidas em um mês havia sido de 89, colhidas ao longo de 11 dias em agosto. Em outubro do mesmo ano, foram colhidas, por sua vez, 119 caixas, em quatro dias, e, em dezembro, este número aumentou, sendo colhidas 158 caixas em quatro dias. O ano seguinte de 2021 apresentou o melhor número total médio de caixas colhidas de todos os anos de experimento, com uma média de $26,4 \pm 25,0$ caixas por dia colhidas ao longo do ano, tendo o ápice de sua produção ocorrido em fevereiro com 331 caixas de acerola colhidas ao longo de quatro dias, elevando a média de caixas por dia desse mês para $82,75 \pm 27,60$, a maior registrada durante o estudo.

Tabela 22 – Número de dias de colheita por mês, número total de caixas de acerola colhidas e número total médio de caixas colhidas por dia, correlacionados ao mês e ao ano de nidificação. Tabela desenvolvida no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.

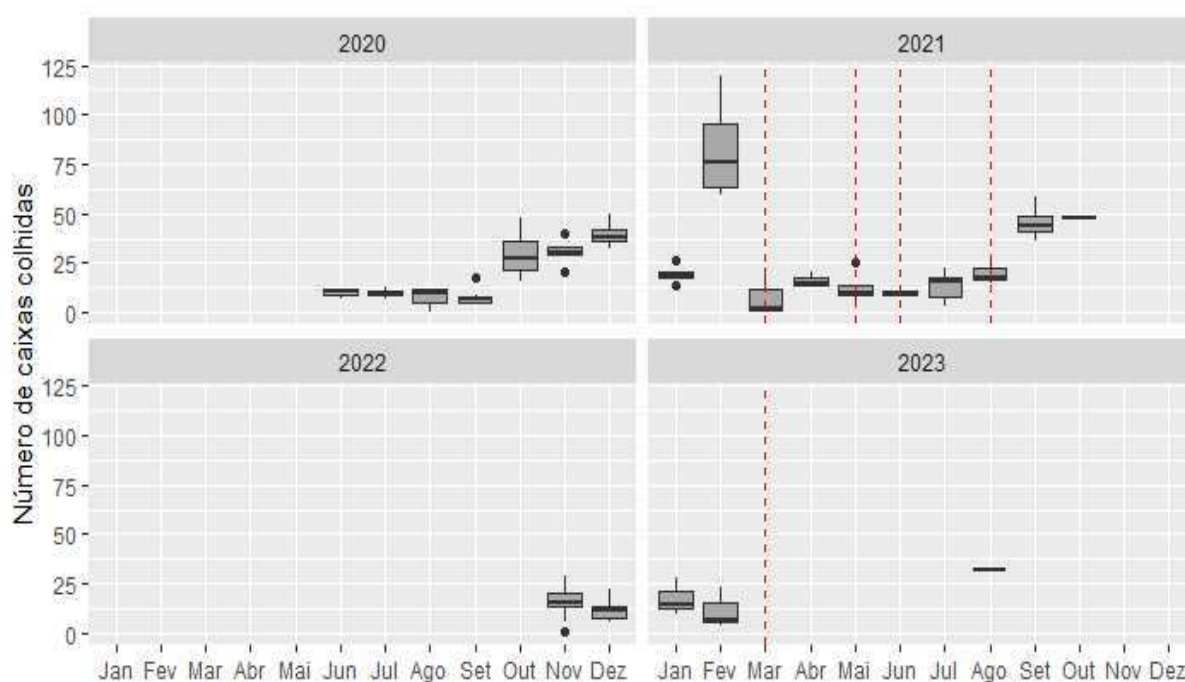
Ano	Mês	N.º de dias de colheita	N.º total de caixas colhidas	N.º total médio de caixas colhidas (dias)
2020	Junho	3	30	10,00 ± 2,65 c
	Julho	4	39	9,75 ± 2,50 c
	Agosto	11	89	8,09 ± 4,23 d
	Setembro	8	60	7,50 ± 4,57 d
	Outubro	4	119	29,75 ± 13,82 a
	Dezembro	4	158	39,50 ± 7,59 a
Números totais (2020)		34	495	16,6 ± 13,4 bB
2021	Janeiro	5	97	19,40 ± 4,34 c
	Fevereiro	4	331	82,75 ± 27,60 a
	Março	3	24	8,00 ± 12,17 d
	Abril	3	48	16,00 ± 3,61 c
	Maio	5	63	12,60 ± 7,64 cd
	Junho	4	39	9,75 ± 1,50 d
	Julho	5	67	13,40 ± 7,73 cd
	Agosto	3	59	19,67 ± 5,69 c
	Setembro	4	182	45,50 ± 9,18 b
	Outubro	2	95	47,50 ± 0,71 b
Números totais (2021)		38	1005	26,4 ± 25,0 cA
2022	Novembro	16	246	15,38 ± 6,89 a
	Dezembro	10	115	11,50 ± 5,10 c
Números totais (2022)		26	361	13,9 ± 6,45 bC
2023	Janeiro	3	52	17,33 ± 9,45 a
	Fevereiro	3	34	11,33 ± 10,21 b
	Agosto	1	32	32,00 ± 0,00 c
Números totais (2023)		7	118	16,9 ± 10,9 aB

Fonte: elaborada pelo autor.

Contudo, essa tendência positiva na produção do sítio não se manteve estável. A partir do mês de março de 2021, iniciou-se uma série de eventos ambientais inesperados. Quatro deles

em 2021 e um deles em 2023, o que rompeu com o seguimento normal do processo de nidificação das abelhas *C. analis*. Por causa disso, nenhum outro mês de 2021 superou a produção ocorrida em fevereiro, o mês em que houve o segundo maior número de caixas colhidas, sendo 182 delas em setembro. Nenhum dos dois anos seguintes superou ou se igualou à produção de 2021, com uma média de $13,9 \pm 6,45$ caixas coletadas por dia em 2022 e $16,9 \pm 10,9$ caixas coletadas por dia em 2023. O gráfico 16 utiliza linhas verticais vermelhas para demarcar os meses de ocorrência de cada evento ambiental disruptivo. Por meio dele, é possível observar a queda na produção registrada sempre que um deles acontecia. Abaixo se encontra uma breve explicação acerca de cada um deles.

Gráfico 16 – Diagrama de caixa (*box plot*) referente ao número total médio de caixas de acerola colhidas, correlacionado ao mês e ao ano. As linhas verticais vermelhas representam eventos ambientais disruptivos à nidificação das abelhas *Centris analis*. O diagrama foi desenvolvido no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.



Fonte: elaborada pelo autor.

No dia 7 de março de 2021, foi identificada uma infestação de cupins do gênero *Nasutitermes* sp. nas tábuas de madeira empilhadas em colunas presentes no criatório racional. Ao identificar a infestação, o produtor rural, proprietário do sítio, sem aviso prévio, resolveu realizar a aplicação do veneno de cupins disponível no local nas tábuas de madeira, desordenando as colunas, derrubando tábuas de madeira e NAs e, possivelmente, molhando tanto biocanudos como cavidades na madeira com o veneno. A infestação não nos foi notificada

até realizarmos uma nova visita ao sítio no dia 12 de março, quando a população de abelhas já havia sido afetada. Mesmo após reorganizarmos o criatório, a população de *C. analis* levou algumas semanas para se recuperar.

No dia 16 de maio de 2021, foi identificada uma nova infestação de cupins do gênero *Nasutitermes* sp. nas tábuas de madeira do criatório racional. Porém, desta vez, o produtor nos notificou prontamente após identificar a infestação e esperou por nossa chegada antes de buscar tratá-la de algum modo. No dia combinado para tratar a infestação, 17 de maio, uma enorme quantidade de lama na estrada, causada pelas fortes chuvas, propiciou o atolamento de nosso veículo impedindo nosso acesso ao sítio. Só foi possível retornar ao local no dia 25 de maio, após a lama secar, quando, por fim, exterminamos a infestação. Infelizmente os cupins danificaram várias tábuas de madeira e prejudicaram a população de *C. analis* por mais algumas semanas.

Em junho do mesmo ano, antes do dia 10 do mês, os funcionários do produtor rural aplicaram uma mistura caseira constituída de cola e sabão em pó nas aceroleiras, como parte de seu manejo. A mistura infelizmente não foi removida e permaneceu nas folhas de inúmeros pés, resultando em “queimaduras” ao seu tecido após ser aquecida pelo sol. Ao chegarmos ao pomar no dia 10, constatamos que havia somente 42 flores em campo, quando deveria haver uma florada muito maior. Os danos causados por essa mistura prejudicaram agressivamente a florada. Por essa razão, tivemos que esperar pela próxima, que estava prevista para ocorrer 20 dias depois, durante a última semana do mês. Mesmo assim, em nossa visita no dia 28 de junho, a nova florada ainda não havia chegado. Com duas floradas prejudicadas e uma oferta de óleo e pólen menor, muitas fêmeas de *C. analis* buscaram outros locais para nidificar, diminuindo novamente a população de abelhas do criatório racional.

Durante a manhã do dia 8 de agosto do mesmo ano, o produtor rural constatou que um ataque predatório incomum havia ocorrido ao criatório racional: um predador noturno atacou inúmeros NAs operculados, puxando-os para fora de suas cavidades nas tábuas de madeira e roendo suas paredes para devorar os imaturos em desenvolvimento no seu interior. Após terminar o ataque, deixou os biocanudos roídos, pendendo para fora de suas cavidades, e se retirou do local. O produtor nos avisou do ocorrido, e chegamos ao sítio na manhã do dia 12 para avaliar os danos à população e trocar os NAs roídos por novos. Porém, na madrugada do dia 13, um novo ataque aconteceu, e mais ninhos colonizados foram destruídos, tendo suas crias predadas. Para evitar que um terceiro ataque ocorresse, no dia 16, o produtor rural instalou uma

tela de arame ao redor do abrigo do criatório racional, o que não foi suficiente, pois o predador retornou na madrugada do dia 17 por aberturas entre a tela de arame e as telhas do abrigo, destruindo alguns dos últimos NAs que ainda possuíam crias em seu interior. Retornamos ao sítio, então, na manhã do dia 17, para avaliar os danos e fazer a troca dos ninhos roídos por novos. Nesse mesmo dia, o produtor tampou as aberturas próximas às telhas, e os ataques cessaram.

Apesar de nossa insistência, o produtor nunca instalou uma câmera de vigilância noturna próximo ao criatório racional, impossibilitando a identificação do predador responsável pelos ataques. Levantamos a hipótese de que o animal era um roedor devido aos padrões de mordida encontrados nos biocanudos depredados e ao seu pequeno tamanho corporal. A tela de arame utilizada, que envolvia todo o entorno do abrigo, permitindo seu acesso somente por uma porta, possuía cavidades que, em teoria, permitiriam a livre movimentação das fêmeas de *C. analis* entre os NAs e o campo. Entretanto, as cavidades eram menores que o ideal e dificultavam o voo das fêmeas, embora não impedissem sua passagem. Observamos a população de abelhas no criatório racional de agosto a dezembro de 2021 e constatamos que a tela havia estagnado o seu crescimento, mantendo-se estática e com tendência a lentamente diminuir cada vez mais. Já que nenhum outro ataque havia acontecido, a tela foi completamente removida em janeiro de 2022.

Por fim, o quinto e último evento disruptivo ocorreu em março de 2023, próximo ao dia 18. O criatório racional estava posicionado na borda do cultivo de acerolas, um terreno elevado acima e próximo a um riacho. Embora esse riacho enchesse anualmente durante o ápice do período chuvoso no primeiro semestre de cada ano, estava a uma distância segura o suficiente do abrigo dos ninhos armadilha e não representou qualquer problema de 2020 a 2022. Contudo, chuvas anormalmente fortes em março daquele ano elevaram seu volume de forma anômala, resultando em uma grande enchente que destruiu o criatório racional. A correnteza invadiu o pomar, derrubando o telhado do abrigo e arrastando as tábuas de madeira e NAs do criatório racional em direção às aceroleiras, causando sua perda total. Um funcionário do produtor rural notificou-nos na manhã do dia 18 e, devido à destruição do criatório e à impossibilidade de o produtor arcar com os custos de reparo, o estudo foi interrompido. Uma última visita foi realizada em agosto do mesmo ano para avaliar o estado da produção do sítio.

O teste de razão de verossimilhança que foi realizado com base em distribuição teórica binomial negativa (NBI), com o intuito de encontrar uma possível correlação de fatores

ambientais em relação ao número de caixas de acerola colhidas, mostrou que apenas os fatores estimulantes intrínsecos da intensidade de florada de *M. emarginata* ($p = 0,026 < 0,05$) e da interação entre os anos e os meses de amostragem ($p = 0,000 < 0,05$) foram significativos para um aumento do número de caixas de acerola colhidas (tabela 23).

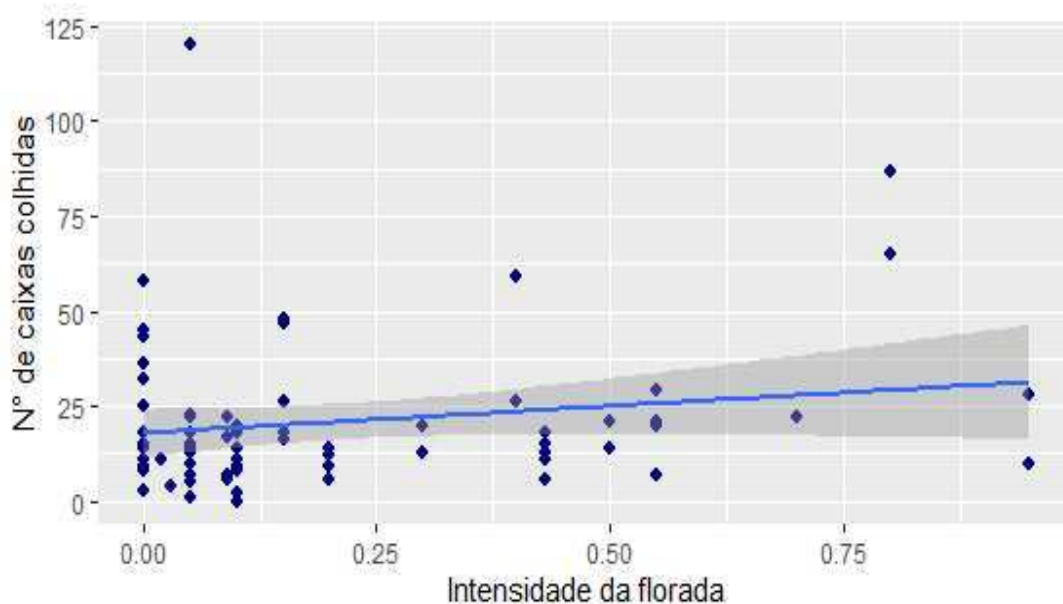
Tabela 23 – Teste de razão de verossimilhança realizado com base em distribuição teórica binomial negativa (NBI) para avaliar a possível correlação de fatores estimulantes ambientais sobre o número de caixas de acerola colhidas. O teste foi desenvolvido no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.

Variáveis explicativas	Df	AIC	LRT	Pr(Chi)
Nº de ninhos nidificados	1	528,665	0,734	0,392
Presença de florada	1	527,933	0,002	0,967
Intensidade de florada	1	532,858	4,927	0,026
Ano: mês (interação)	12	563,394	57,462	0,000

Fonte: elaborada pelo autor.

A análise realizada com o intuito de investigar uma possível relação ou influência da intensidade de florada de *M. emarginata* sobre a quantidade de caixas de acerola colhidas no sítio revelou uma correlação que se mostrou diretamente proporcional entre as duas variáveis explicativas (gráfico 17). À medida que a intensidade da florada aumentava, observou-se um crescimento correspondente e constante no número de caixas colhidas. Embora essa correlação tenha apresentado uma taxa de crescimento mais branda quando comparada às análises anteriores, demonstrou um aumento moderado em relação à intensidade das floradas que ocorriam. É importante ressaltar que a variação no número de caixas colhidas experimentou um aumento significativo a partir do momento em que as floradas atingiram uma intensidade de 50% ou mais. Esse fenômeno pode ser atribuído não somente à própria intensidade das floradas, mas também a outros fatores relevantes, como a metodologia empregada na colheita pelos funcionários do sítio e os eventos disruptivos, que podem afetar a nidificação das fêmeas de *C. analis*, conforme mencionado anteriormente.

Gráfico 17 – Gráfico de linha referente ao número de caixas de acerola colhidas em relação à intensidade de florada das aceroleiras no cultivo. Foi desenvolvido no período de outubro de 2020 a fevereiro e agosto de 2023, no Sítio São José em Sapupara, distrito do Município de Maranguape – CE.



Fonte: elaborada pelo autor.

12 DISCUSSÃO

12.1 Preferência e razão de cavidades ocupadas

Os resultados que indicaram que apenas a precipitação pluviométrica, a presença de florada de *M. emarginata* e a intensidade da florada apresentaram correlação significativa com o aumento do número de NAs colonizados corroboram estudos prévios que relacionam a oferta de recursos florais e as condições climáticas à dinâmica de nidificação de abelhas solitárias (RIBEIRO et al., 2019; JESUS et al., 2021).

A floração contínua de *M. emarginata* ao longo do ano pode explicar a alta disponibilidade de recursos florais (pólen e óleo), como foi apontado por Silva *et al.* (2020). Junto a isso, constatou-se um aumento da atividade de voo das fêmeas de *C. analis* no criatório racional durante períodos de maior floração. Vinícius et al. (2022) demonstraram que a oferta de néctar e óleos vegetais é um fator determinante para o comportamento reprodutivo dessas abelhas.

A maior ocupação das cavidades durante períodos de ausência de florada pode estar relacionada às fêmeas por priorizarem a nidificação a qualquer custo para sua sobrevivência, mesmo que seja com menor oviposição em detrimento da busca por recursos florais (BORGES et al., 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2018). No entanto, quando a florada atingiu aproximadamente 50% ou mais, observou-se um aumento na ocupação das cavidades, o que pode indicar um possível ponto crítico na alocação de esforço entre forrageamento e construção do ninho.

A correlação diretamente proporcional entre a precipitação pluviométrica e a ocupação de NAs reforça o papel da umidade na regulação da nidificação de *C. analis*. Estudos indicam que períodos chuvosos favorecem a atividade de nidificação por proporcionarem maior disponibilidade de barro para a construção dos ninhos de certas abelhas solitárias. No entanto, a variação no número de ninhos ocupados foi estável em períodos de baixa precipitação, aumentando significativamente quando o volume de chuvas ultrapassou 200 mm. Isso sugere que, embora a umidade seja benéfica, excesso de precipitação pode impactar, negativamente, a nidificação, devido ao possível alagamento ou elevação da umidade de cavidades e à subsequente proliferação de fungos, resultando no aumento da mortalidade de imaturos (ALMEIDA *et al.*, 2022; FERREIRA *et al.*, 2019; SANTOS et al., 2020).

12.2 Efeitos da introdução de ninhos-armadilha no pomar sobre a produção de frutos

O aumento significativo na produção causado pela introdução do criatório racional e dos NAs no cultivo de acerolas do Sítio São José pode ser associado ao crescimento da população de abelhas polinizadoras, exercendo, assim, influência positiva na produtividade de culturas frutíferas, entre elas a da acerola (FREITAS, 1999; GIANNINI *et al.*, 2015; MILFONT, 2013; OLIVEIRA; SCHLINDWEIN, 2009; SLAA *et al.*, 2006).

A influência da intensidade de florada de *M. emarginata* e a interação entre anos e meses de amostragem sobre o aumento no número de caixas colhidas é similar àquela encontrada em estudos que evidenciam a relação direta entre a disponibilidade de recursos florais e a atividade das abelhas polinizadoras. (FREITAS *et al.*, 2014) A relação diretamente proporcional entre a intensidade da florada de *M. emarginata* e o número de caixas colhidas também foi observada por Kevan & Imperatriz-Fonseca (2002), que destacaram o impacto positivo das floradas abundantes na produtividade agrícola. No entanto, é importante considerar outros fatores, como a metodologia de colheita e os eventos disruptivos que afetam a nidificação das abelhas, os quais podem ter influenciado as variações na produção observadas ao longo do período de estudo.

13 CONCLUSÕES

A precipitação pluviométrica, a presença e a intensidade da florada de *Malpighia emarginata* influenciaram na ocupação das cavidades ofertadas para a nidificação de *Centris analis*, sendo a precipitação pluviométrica o fator mais importante.

O número médio de caixas de acerola colhidas foi influenciado pela intensidade da florada e pela interação mês/ano após a instalação do criatório racional de *C. analis* na área experimental. Houve uma variação anual destacando-se os anos de 2021, com a maior média de caixas de acerola colhidas, e 2022 com a menor média de caixas colhidas.

Observou-se que a população de abelhas presente no criatório racional é sensível a eventos ambientais, como ataque de cupins, predação de imaturos, enchentes, e a eventos intrínsecos como erros no manejo, considerados disruptivos à nidificação, e permanência das fêmeas de *C. analis* em nidificação. Recomendamos que esses eventos sejam objeto de estudo em futuras pesquisas com a finalidade de aprimorar as técnicas de criação e o manejo dessas abelhas para utilização na polinização agrícola.

REFERÊNCIAS

- CARNEIRO, Liedson Tavares; MACHADO, Isabel Cristina. Oil flowers and related oil-collecting bees: a 50-year timeline of knowledge and future directions. **Arthropod-Plant Interactions**, [s. l.], v. 17, ed. 4, p. 543–562, 17 ago. 2023.
- CAVALCANTE, A. M. *et al.* Bionomic Aspects of the Solitary Bee *Tetrapedia diversipes* Klug, 1810 (Hymenoptera: Apidae: Tetrapediini). **Sociobiology**: An international journal on social insects, [s. l.], v. 66, n. 1, p. 113-119, 25 abr. 2019.
- EMBRAPA. **Sistema produtivo da acerola (Malpighia emarginata Sessé & Mociño ex D.C.)**. 2023.
- FAO, Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response, In: Freitas, B. M.; Pereira, J. O. P. (eds.) **Solitary bees**: conservation, rearing and management for pollination, Imprensa Universitária, Fortaleza, Brasil, p. 19-2, 2004.
- FREITAS, Breno M.; BEZERRA, Antonio Diego M. (ed.). **Criação, multiplicação e manejo de abelhas nativas para a polinização agrícola no Brasil**. 1. ed. Fortaleza, CE: Laboratório de abelhas, Universidade Federal do Ceará, 2024. 280 p.
- FREITAS, B.M. *et al.* Pollination requirements of the West Indian cherry (*Malpighia emarginata*) and its putative pollinators, *Centris* bees, in NE Brazil. **Journal of Agricultural Science, Cambridge**, [s. l.], v. 133, p. 303-311, 1999.
- GALLAI, N. *et al.* Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 68, p. 810-821, 2009.
- GIANNINI T.C., Cordeiro G.D., Freitas B.M., *et al.* The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. **Journal Economic Entomology**, [s. l.], 108: p. 849-857, 2015.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil Municipal 2017**. Maranguape-CE, 2017b.
- KLEIN, Alexandra-Maria *et al.* **A Polinização Agrícola por Insetos no Brasil**: Um Guia para Fazendeiros, Agricultores, Extensionistas, Políticos e Conservacionistas. 1. ed. Albert-Ludwigs University Freiburg: Nature Conservation and Landscape Ecology, 2020. 149 p.
- KÖPPEN, W. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. **Petermanns Mitt**, [s. l.], v. 64, 1918.
- KROMBEIN, K.V. **Trap-nesting wasps and bees: life histories, nests and associates**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1967. 570p.
- MATOS, Aristoteles Pires de *et al.* **Boas práticas agrícolas para produção orgânica de acerola**. BORGES, Ana Lúcia *et al.*, (ed.). 1. ed. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia: Editora Técnica, 2022. 107 p.
- MICHENER, Charles D. **The Bees of the World**. 2. ed. Baltimore, Maryland, United States of America: The Johns Hopkins University Press, 2007. 992 p. ISBN 978-0801885730.

MILFONT, Marcelo Oliveira; Rocha, E.E.; Lima, A.O.; Freitas, Breno M. Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and autopolination. **Environmental Chemistry Letters**. [s. l.], 11:335-341. 2013.

OLIVEIRA, Reislá *et al.* **Abelhas solitárias produzem acerolas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundo Brasileiro para Biodiversidade - FUNBIO, 2014. 24 p. ISBN 978-85-89368-14-8.

OLIVEIRA, Reislá; SCHLINDWEIN, Clemens. Searching for a Manageable Pollinator for Acerola Orchards: The Solitary Oil-Collecting Bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini). **Journal of Economic Entomology**, [s. l.], v. 102, ed. 1, p. 265-273, 1 fev. 2009.

PEREIRA, Maurício Gomes. **Artigos científicos: como redigir, publicar e avaliar**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 383 p.

PRAZ, Christophe J.; MÜLLER, Andreas; DORN, Silvia. Specialized bees fail to develop on non-host pollen: Do plants chemically protect their pollen?. **Ecology**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 795-804, 2008.

RASMUSSEN, Claus; OLESEN, Jens M. Oil Flowers and Oil-collecting Bees. **Det Norske Videnskaps-Akademi. I. Matematisk Naturvidenskapelige Klasse, Skrifter, Ny Serie**, [s. l.], v. 39, p. 23-31, 2000.

RECH, André Rodrigo; AGOSTINI, Kayna; OLIVEIRA, Paulo Eugênio; MACHADO, Isabel Cristina (org.). **Biologia da polinização**. 1. ed. Rio de Janeiro: Projeto Cultural, 2014. 527 p.

RICKETTS, T. H. *et al.* Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? **Ecology letters**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 499-515, 2008.

SAMPAIO, Ivan Barbosa Machado. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. 265 p.

SANTOS, C. O.; PEIXOTO, P. E. C.; AGUIAR, C. M. L. Cavity Length Affects the Occupation of Trap-Nests by *Centris analis* and *Tetrapedia diversipes* (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology: An international journal on social insects**, [s. l.], v. 67, n. 2, p. 261-267, 30 jun. 2020.

SAZAN, M.; BEZERRA, A.D.M.; FREITAS, B.M. Oil collecting bees and *Byrsonima cydoniifolia* A. Juss. (Malpighiaceae) interactions: the prevalence of long-distance cross pollination driving reproductive success. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s. l.], v. 86, n.1, p. 347-357, 2014.

STASINOPOULOS, M.D. *et al.* **Flexible regression and smoothing: using GAMLSS in R**. CRC Press, 2017.

VIANA, Blandina F. 2016. Agricultura e Polinizadores: Parceria que dá muito mais do que frutos. In: **Anais dos Encontros sobre os Benefícios das Abelhas na Agricultura**, Nossa Senhora da Glória, Sergipe, Brasil. Anais. p. 17-27.2016.

14 CONCLUSÕES GERAIS

Em ambiente urbano, as variações ambientais e o material dos ninhos-armadilha influenciaram o desenvolvimento das crias de *Centris analis*. As fêmeas preferiram biocanudos e tubos de cartolina pretos, embora o material não tenha alterado o tempo de desenvolvimento. A cor e o tamanho dos ninhos afetaram a construção das células, com biocanudos pretos permitindo a construção de mais células de cria e tubos de cartolina apresentando menor mortalidade.

O berçário teve a menor mortalidade de ninhos. A razão sexual foi deslocada para machos, sem influência de fatores ambientais ou internos. O comprimento da célula vestibular diminuiu com o aumento do número de células e da temperatura média.

Em ambiente rural, a ocupação das cavidades por *Centris analis* foi mais influenciada pela precipitação pluviométrica, seguida pela florada de *Malpighia emarginata*. Após a instalação do criatório, a florada e a variação mês/ano afetaram a produção de acerola, com 2021 registrando a maior média de colheita e 2022, a menor.

Observou-se que a população do criatório mostrou sensibilidade a fatores ambientais como cupins, predação e enchentes, além de falhas no manejo. Esses eventos comprometem a nidificação e a permanência das fêmeas, sendo recomendada sua investigação em futuras pesquisas para melhorar o manejo e uso das abelhas na polinização.

REFERÊNCIAS GERAIS

- ACKERMAN, J. D. Abiotic pollen and pollination: ecological, functional, and evolutionary perspectives. In: **Pollen and pollination**. Springer, Vienna, 2000. p. 167-185.
- ALMEIDA, P. R. *et al.* Environmental influences on solitary bee nesting success. **Journal of Pollination Ecology**, [s. l.], v. 45, n. 2, p. 112–127, 2023.
- ALONSO, Juliana D. S.; SILVA, Janaina F.; GARÓFALO, Carlos A. The effects of cavity length on nest size, sex ratio and mortality of *Centris (Heterocentris) analis* (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Apidologie**, [s. l.], v. 43, p. 436–448, 2012.
- ALVES-DOS-SANTOS, I.; FREITAS, B. M.; OLIVEIRA, R. Impacto da sazonalidade na atividade de abelhas solitárias: uma revisão. **Revista Brasileira de Ecologia**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 112-130, 2020.
- ALVES-DOS-SANTOS, I.; FREITAS, B. M.; PIRES, C. S. S. Apoidea como polinizadores: biodiversidade e conservação. **Ecologia e Conservação de Polinizadores**, [s. l.], v. 2, p. 45-63, 2018.
- BOSCH, J. Use of a managed solitary bee to pollinate almonds: population sustainability and increased fruit set. **Insects**, [s. l.], v.12, n. 56, 2021.
- BUSCHINI, M. L. T.; WOLFF, L. L. Nesting biology of *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith in southern Brazil (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Brazilian Journal of Biology**, [s. l.], v. 66, n.4, 2006.
- CAMARGO, J. M. F.; PEDRO, S. R. M. Biologia da nidificação de abelhas solitárias e influência do substrato. **Acta Biológica Paranaense**, [s. l.], v. 32, n. 1, p. 85-102, 2003.
- CAMILO, G. R.; ZANETTE, L. R. The role of nest spacing and nest aggregation on solitary bee reproductive success. **Journal of Insect Conservation**, [s. l.], v. 14, p. 113-121, 2010.
- CAMPOS, M. C. R.; SOUZA, E. H.; SOUZA, F. V. D.; LEDO, C. A. S.; SANTOS-SEREJO, J. A. Morfologia floral e biologia reprodutiva de genótipos de aceroleira. **Scientia Agricola**, [s. l.], v. 57, n. 2, p. 277-282, 2000.
- CARNEIRO, Liedson Tavares; MACHADO, Isabel Cristina. Oil flowers and related oil-collecting bees: a 50-year timeline of knowledge and future directions. **Arthropod-Plant Interactions**, [s. l.], v. 17, ed. 4, p. 543–562, 17 ago. 2023.
- CAVALCANTE, A. M. *et al.* Bionomic Aspects of the Solitary Bee *Tetrapedia diversipes* Klug, 1810 (Hymenoptera: Apidae: Tetrapediini). **Sociobiology: An international journal on social insects**, [s. l.], v. 66, n. 1, p. 113-119, 25 abr. 2019.
- CHURCH, Dana L. **The beekeepers**: how humans changed the world of bumble bees. 1. ed. U.S.A.: Scholastic Press, 2021. 308 p.
- COSTA, C.C.F.; GONÇALVES, R.B. What do we know about Neotropical trap-nesting bees? Synopsis about their nest biology and taxonomy. **Papéis Avulsos de Zoologia**, [s. l.], v. 59, 2019.

CRONE, E. E.; WILLIAMS, N. M. Microclimatic effects on insect development in artificial nests. **Ecological Entomology**, [s. l.], v. 41, n. 3, p. 256–267, 2016.

EMBRAPA. **A cultura da acerola**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 144 p. (Coleção Plantar, n. 69). Edição técnica de: CALGARO, Marcelo; BRAGA, Marcos Brandão.

EMBRAPA. **Sistema produtivo da acerola (*Malpighia emarginata* Sessé & Mociño ex D.C.)**. 2023.

FAO, Conservation and management of pollinators for sustainable agriculture - the international response, In: Freitas, B. M.; Pereira, J. O. P. (eds.) **Solitary bees: conservation, rearing and management for pollination**, Imprensa Universitária, Fortaleza, Brasil, p, 19-2, 2004.

FERREIRA, C. J. B.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT, A. M. P. Nesting biology and reproductive strategies of solitary bees. **Neotropical Entomology**, [s. l.], v. 40, p. 567-575, 2011.

FREITAS, Breno M.; BEZERRA, Antonio Diego M. (ed.). **Criação, multiplicação e manejo de abelhas nativas para a polinização agrícola no Brasil**. 1. ed. Fortaleza, CE: Laboratório de abelhas, Universidade Federal do Ceará, 2024. 280 p.

FREITAS, Breno Magalhães; BONFIM, Isaac Gabriel Abraão. 2017. **Importância dos polinizadores na produção de alimentos e na segurança alimentar global**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Brasília, DF, Brasil.

FREITAS, B.M. *et al.* Pollination requirements of the West Indian cherry (*Malpighia emarginata*) and its putative pollinators, *Centris* bees, in NE Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 133, p. 303-311, 1999.

FREITAS, B.M. *et al.* Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. **Apidologie**, [s. l.], v.40, p. 332-346, 2009.

FREITAS, B. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; KLEINERT, A. M. P. Efeitos da pandemia da COVID-19 sobre populações de polinizadores manejados e impactos na polinização. **Journal of Pollination Biology**, [s. l.], v. 14, p. 45-58, 2022.

GALLAI, N. *et al.* Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 68, p. 810-821, 2009.

GIANNINI T.C., Cordeiro G.D., Freitas B.M., *et al.* The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. **Journal Economic Entomology**, [s. l.], 108: p. 849-857, 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil Municipal 2017**. Fortaleza-CE, 2017a.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Perfil Municipal 2017**. Maranguape-CE, 2017b.

IPBES. **Global assessment of biodiversity and ecosystem services**, Brondizio E. S. Settele J. Díaz S. and Ngo H. T. (editors). IPBES Secretariat, Bonn, Germany, 2019.

KEARNS, C. A.; INOUE, D. W. **Techniques for Pollination Biologists**. Niwot: University Press of Colorado, 1993.

KLEIN, Alexandra-Maria *et al.* **A Polinização Agrícola por Insetos no Brasil: Um Guia para Fazendeiros, Agricultores, Extensionistas, Políticos e Conservacionistas**. 1. ed. Albert-Ludwigs University Freiburg: Nature Conservation and Landscape Ecology, 2020. 149 p.

KLEIN, Alexandra-Maria *et al.* Climate variability and nesting success in solitary bees. **Global Change Biology**, [s. l.], v. 27, n. 5, p. 884–896, 2021.

KÖPPEN, W. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. **Petermanns Mitt**, [s. l.], v. 64, 1918.

KROMBEIN, K.V. **Trap-nesting wasps and bees: life histories, nests and associates**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1967. 570p.

LITMAN, Jessica R.; DANFORTH, Bryan N.; EARDLEY, Connal D.; PRAZ, Christophe J. Why do leafcutter bees cut leaves? New insights into the early evolution of bees. **Proceedings of the Royal Society B**, [s. l.], n. 278, p. 3593–3600, 2011.

LOURENÇO, Diego de Vasconcelos *et al.* Nesting and reproductive habits of the solitary bee *Centris analis* in trap nests under a tropical climate. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, Brasil, v. 50, n. 3, p. 468-475, 2019.

MACHADO, L. P. *et al.* Temperature and humidity effects on wasp and bee larval development. **Insect Science**, [s. l.], v. 29, n. 6, p. 1342–1355, 2022.

MARTINS, Aline C.; MELO, Gabriel A.R.; RENNER, Susanne S. The corbiculate bees arose from New World oil-collecting bees: Implications for the origin of pollen baskets. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [s. l.], v. 80, p. 88-94, 2014.

MATOS, Aristoteles Pires de *et al.* **Boas práticas agrícolas para produção orgânica de acerola**. BORGES, Ana Lúcia *et al.*, (ed.). 1. ed. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia: Editora Técnica, 2022. 107 p.

MICHENER, Charles D. **The Bees of the World**. 2. ed. Baltimore, Maryland, United States of America: The Johns Hopkins University Press, 2007. 992 p. ISBN 978-0801885730.

MILFONT, Marcelo Oliveira; Rocha, E.E.; Lima, A.O.; Freitas, Breno M. Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and autopolination. **Environmental Chemistry Letters**. [s. l.], 11:335-341. 2013.

MORO, M.F. *et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia-Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, [s. l.], v. 66, n. 3, p. 717- 743, 2015.

MUNIZ, João Paulo de Oliveira; BOMFIM, Isac Gabriel Abrahão; CORRÊA, Márcio Cleber de Medeiros; FREITAS, Breno Magalhães. Floral biology, pollination requirements and behavior of floral visitors in two species of pitaya. **Revista Ciência Agronômica**, [s. l.], v. 50, n. 4, p. 640-649, 2019.

MUNIZ, Vitória Inna Mary de Sousa. **Parâmetros reprodutivos e alimentares da abelha solitária *Epanthidium tigrinum* (Schr.) (Hymenoptera, Megachilidae) para criatório racional**. Orientador: Prof. Dr. Breno Magalhães Freitas. 2021. 103 p. Dissertação (Mestrado) (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil, 2021.

OLIVEIRA, Reislá *et al.* **Abelhas solitárias produzem acerolas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundo Brasileiro para Biodiversidade - FUNBIO, 2014. 24 p. ISBN 978-85-89368-14-8.

OLIVEIRA, Reislá; SCHLINDWEIN, Clemens. Searching for a Manageable Pollinator for Acerola Orchards: The Solitary Oil-Collecting Bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini). **Journal of Economic Entomology**, [s. l.], v. 102, ed. 1, p. 265-273, 1 fev. 2009.

OLIVEIRA, S. P. *et al.* Rainfall patterns and their effects on cavity-nesting insect populations. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 32, n. 4, e2501, 2022.

PEREIRA, Maurício Gomes. **Artigos científicos: como redigir, publicar e avaliar**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. 383 p.

POTTS, S. G.; BIESMEIJER, J. C.; KREMEN, C.; NEUMANN, P.; SCHWEIGER, O.; KUNIN, W. E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in Ecology & Evolution**, [s. l.], v. 25, n. 6, p. 345-353, 2010.

PRAZ, Christophe J.; MÜLLER, Andreas; DORN, Silvia. Specialized bees fail to develop on non-host pollen: Do plants chemically protect their pollen? **Ecology**, [s. l.], v. 89, n. 3, p. 795-804, 2008.

RASMUSSEN, Claus; OLESEN, Jens M. Oil Flowers and Oil-collecting Bees. **Det Norske Videnskaps-Akademi. I. Matematisk Naturvidenskapelige Klasse, Skrifter, Ny Serie**, [s. l.], v. 39, p. 23-31, 2000.

RECH, André Rodrigo; AGOSTINI, Kayna; OLIVEIRA, Paulo Eugênio; MACHADO, Isabel Cristina (org.). **Biologia da polinização**. 1. ed. Rio de Janeiro: Projeto Cultural, 2014. 527 p.

RICKETTS, T. H. *et al.* Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns? **Ecology letters**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 499-515, 2008.

ROSKOV, Y. *et al.* **Species 2000 & ITIS Catalogue of Life**. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands, 2020.

ROUBIK, D.W. **Ecology and natural history of tropical bees**. 1.ed. New York: Cambridge University Press, 1992. 514p.

SAMPAIO, Ivan Barbosa Machado. **Estatística aplicada à experimentação animal**. 2. ed. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. 265 p.

SANTOS, C. O.; PEIXOTO, P. E. C.; AGUIAR, C. M. L. Cavity Length Affects the Occupation of Trap-Nests by *Centris analis* and *Tetrapedia diversipes* (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology: An international journal on social insects**, [s. l.], v. 67, n. 2, p. 261-267, 30 jun. 2020.

SAZAN, Morgana Silveira. **Centris (Heterocentris) analis (Fabricius, 1804) e Centris (Hemisiella) tarsata Smith, 1874 (Hymenoptera: Apidae)**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2015.

SAZAN, M.; BEZERRA, A.D.M.; FREITAS, B.M. Oil collecting bees and *Byrsonima cydoniifolia* A. Juss. (Malpighiaceae) interactions: the prevalence of long-distance cross pollination driving reproductive success. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n.1, p. 347-357, 2014.

SCHMOLKE, A.; GALIC, N.; HINAREJOS, S. SolBeePop: A model of solitary bee populations in agricultural landscapes. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v.60, p. 2573-2585, 2023.

SHINOHARA, N. K. S. et al. Maria Celene de Almeda: a mãe da acerola (*Malpighia glabra* L.) no Brasil. **Revista Eletrônica Diálogos Acadêmicos**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 49-63, jul./dez. 2015. ISSN 0486-6266.

SILVA, C.I. *et al.* **Catálogo polínico das plantas usadas por abelhas no campus da USP de Ribeirão Preto**. Ribeirão Preto: Holos, 2014.

STASINOPOULOS, M.D. *et al.* **Flexible regression and smoothing: using GAMLSS in R**. CRC Press, 2017.

TORRES, V. O.; BORGES, F. R. Nesting behavior of solitary bees: spatial distribution and implications for conservation. **Journal of Pollination Ecology**, [s. l.], v. 25, p. 92-104, 2019.

TORRES, C. W.; GONÇALVES, R. B. Efeitos das condições microclimáticas dos ninhos-armadilha no desenvolvimento de abelhas solitárias. **Entomologia Neotropical**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 215-230, 2021.

VAN VEEN, J. F.; BOOMSMA, J. J. Effects of nest density and habitat quality on reproductive success of solitary bees. **Oecologia**, [s. l.], v. 132, p. 80-87, 2002.

VIANA, Blandina F. 2016. Agricultura e Polinizadores: Parceria que dá muito mais do que frutos. In: **Anais dos Encontros sobre os Benefícios das Abelhas na Agricultura**, Nossa Senhora da Glória, Sergipe, Brasil. Anais. p. 17-27.2016.

VILHENA, A.M.G.F. *et al.* Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil: temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. **Apidologie**, [s. l.], v.43, p. 51-62, 2012.

VISSCHER, P. K.; SEELEY, T. D. Nest site selection and recruitment behavior in honey bees and other social insects. **Annual Review of Entomology**, [s. l.], v. 52, p. 255-275, 2007.

VIVALLO, F. The species of the bee genus *Centris* of the “*hyptidis* group” revisited with the description of *Centris* (*Anisoctenodes*) new subgenus (Hymenoptera: Apidae: Centridini). **European Journal of Taxonomy**, [s. l.], n. 709, p. 1-17, 2020.

WINSTON, Mark L. **A biologia da abelha**. Porto Alegre: Magister, 2003. 276 p.

WU, Shuo; LIU, Jizhan; LEI, Xiaojie; ZHAO, Shengyi; LU, Jiajun; JIANG, Yingxing; XIE, Bin Bin; WANG, Ming. Research Progress on Efficient Pollination Technology of Crops. **Agronomy**, [s. l.], v.12, n.11, p.2872, 2022.