



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL  
DOUTORADO EM CIÊNCIA ANIMAL

HERICA GIRLANE TERTULINO DOMINGOS

**CONTROLE DE TEMPERATURA PELAS ABELHAS AFRICANIZADAS (*Apis mellifera* L.) EM COLMEIAS SOB CONDIÇÕES DE SOL E SOMBRA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

MOSSORÓ

2017

HERICA GIRLANE TERTULINO DOMINGOS

**CONTROLE DE TEMPERATURA PELAS ABELHAS AFRICANIZADAS (*Apis mellifera* L.) EM COLMEIAS SOB CONDIÇÕES DE SOL E SOMBRA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Tese apresentada ao Doutorado em Ciência Animal do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

Linha de Pesquisa: Produção Animal

Orientador: Prof. Dr. Lionel Segui Gonçalves

MOSSORÓ

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D671c Domingos, Herica Girlane Tertulino.  
Controle de temperatura pelas abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) em colmeias sob condições de sol e sombra no Semiárido Nordestino / Herica Girlane Tertulino Domingos. - 2017.  
90 f. : il.

Orientador: Lionel Segui Gonçalves.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, 2017.

1. Termorregulação. 2. Tempertura de superfície. 3. Sombreamento.. 4. Conforto térmico. 5. *Apis mellifera*. I. Gonçalves, Lionel Segui, orient. II. Título.

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

HERICA GIRLANE TERTULINO DOMINGOS

**CONTROLE DE TEMPERATURA DE ABELHAS AFRICANIZADAS (*Apis mellifera*  
L.) EM COLMEIAS SOB CONDIÇÕES DE SOL E SOMBRA NO SEMIÁRIDO  
NORDESTINO**

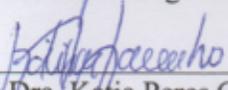
Tese apresentada ao Doutorado em Ciência Animal do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semiárido como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.

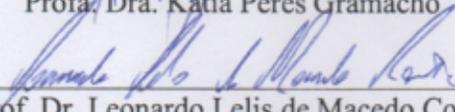
Linha de Pesquisa: Produção Animal

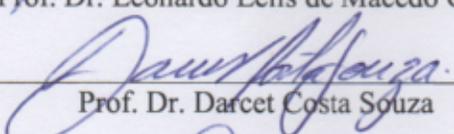
Defendida em: 27/04/2017

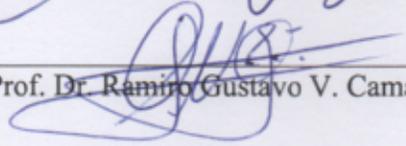
**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Lionel Segui Gonçalves

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Katia Peres Gramacho

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Leonardo Lelis de Macedo Costa

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Darcet Costa Souza

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ramiro Gustavo V. Camacho

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

**HÉRICA GIRLANE TERTULINO DOMINGOS** - Graduiu-se em Zootecnia pela Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) em 2009.1, sendo o trabalho de conclusão de curso “Influência do sombreamento e da aspersão de água sobre a produção de leite e respostas fisiológicas de vacas holandesas no semiárido. Na graduação, realizou trabalhos de iniciação científica na área de Biometeorologia, Comportamento e Bem-Estar Animal junto ao Núcleo de Biometeorologia, Biofísica Ambiental e Bem-Estar Animal (NUBBEA). É co-autor do trabalho “Cutaneous Evaporation in Different Body Regions of Black and White Holstein Cows in a Tropical Environment”, que recebeu o prêmio de melhor trabalho, na área animal, no 18º International Congresso of Biometeorology no ano de 2008 em Tokio, Japão. Em janeiro de 2009, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da UFERSA, com período sanduíche na Universidade Estadual Paulista - UNESP/Jaboticabal. Em 2012 recebeu o título de mestre em Ciência Animal com dissertação intitulada “Estudo da produção de calor metabólico em caprinos manejados no semiárido nordestino”. Em agosto de 2012 ingressou no doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, sob a orientação do Prof. Dr. Lionel Segui Gonçalves. É pesquisadora e membro do conselho fiscal do Centro Tecnológico de Apicultura e Meliponicultura do Rio Grande do Norte-CETAPIS. Membro do corpo editorial do “Jornal of Animal Behavior and Biometeorology”. Atua principalmente em estudos que envolvem Biometeorologia Animal, Biofísica Ambiental, Comportamento, Bem-Estar Animal e Apicultura.

*Ao meu querido orientador,  
Lionel Segui Gonçalves  
a quem hoje posso chamar de AMIGO.  
Com muito carinho e amor,*

***Dedico.***

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao autor da minha vida, aquele que me ama com amor incondicional. Meu DEUS, obrigada por seus cuidados de Pai. Lembro-me perfeitamente dos dias que orei pedindo que meu doutorado fosse abençoado, e hoje estou aqui para te dizer: muito obrigada, o Senhor me deu muito mais do que eu pensei e imaginei. Sem Ti eu nada sou. A ti Deus, que cuida de mim, que guarda meus dias e sabe exatamente o que é melhor pra mim, meu muito obrigada!

Ao meu orientador Prof. Dr. Lionel Segui Gonçalves, palavras nunca seriam suficientes para expressar a minha gratidão. Que privilégio eu tive de te conhecer. Um homem com um caráter indiscutível e um coração que não cabe no peito. Agradeço por ter acreditado no meu trabalho, pelas palavras de apoio, pelo incentivo e por ter ficado ao meu lado na primeira vez que entrei em um apiário (risos). Eu senti medo e uma vontade enorme de descobrir porque o senhor olhava para as abelhas com tanto amor. Eu descobri. Elas são incríveis! Ao senhor, meu querido professor, meu muito obrigada.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Universidade Federal Rural do Semiárido – PPGCA/UFERSA.

Ao Centro Tecnológico de Apicultura e Meliponicultura do Rio Grande do Norte – CETAPIS/RN, a qual me orgulho de ser membro, por todo suporte e infraestrutura necessários para a realização deste trabalho.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Rio Grande do Norte – FAPERN, pela concessão da bolsa.

À todos os meus colegas de trabalho, Nira Lopes de Lima, Renata Valéria Regis de Sousa Gomes, Victor Hugo Pedraça Dias, Dayson Castilhos, Joselena Mendonça Ferreira, juntos formamos um time muito forte em favor das abelhas e da apicultura. De uma forma muito especial quero agradecer a Daiana da Silva Sombra e a Ricardo Gonçalves Santos que foram indispensáveis para a execução deste trabalho. Tem um pouco de vocês dois em cada detalhe do meu doutorado.

À prof. Dra. Kátia Peres Gramacho que eu conhecia só de ouvir falar (risos) e hoje me orgulho de tê-la conosco. Sua estória, garra, perseverança, inteligência e alegria são realmente inspiradoras. Você é a tradução do “a gente colhe o que planta”. Obrigada por estar por perto, por todo apoio e palavra amiga.

Ao prof. Dr. Dejair Message que um dia veio somar forças ao nosso time e até hoje tem contribuído para o crescimento do nosso grupo.

Aos membros da banca pela disponibilidade em contribuir com este trabalho.

À Profa. Dra. Neide Malusá Gonçalves, que é um exemplo de esposa e companheira, e me ensinou muito sobre isso. Obrigada por todo carinho, incentivo e conselhos. Muito obrigada por tudo que fez por mim.

Aos meus amigos, aqueles que fazem minha vida mais doce. Toda minha gratidão a vocês que sabem que estão incluídos nesse agradecimento. Obrigada pelo convívio, orações, torcida e toda força de sempre, em especial a João Batista Freire de Souza Junior por toda contribuição científica e principalmente por ser um grande incentivador das minhas pesquisas.

Á minha família, de forma especial aos meus pais, irmão, cunhados, sogros, sobrinhos...sem dúvidas nenhuma vocês são meu combustível. Vocês são aqueles que verdadeiramente estão comigo em todos os momentos. Vocês são insubstituíveis. Obrigada pelo amor que dispensa qualquer explicação. Obrigada por estarem comigo. Amo vocês!

Finalizo com um agradecimento mais que especial, ao meu amado esposo Cássio Raniery Souza da Silva, minha fonte de inspiração, meu alicerce. Aquele que me acalma, me levanta, me alegra. Meu maior incentivador. Aquele que me apoia em tudo que eu faço e divide comigo todos os seus dias. Tudo fica mais fácil quando você está comigo e é por nós que hoje estou aqui. Essa conquista é sua também. Obrigada pela paciência e por segurar na minha mão no momento que eu mais precisei de você. Te amo e amo!

Agradeço a todos, de todo coração.

“O coração do sábio ministra à sua boca, e seus lábios são hábeis para o ensino. As palavras agradáveis são como favo de mel, são doces para a alma e revigoram a saúde e a alegria de viver.”

Provérbios 16:23,24

## **CONTROLE DE TEMPERATURA PELAS ABELHAS AFRICANIZADAS (*Apis mellifera* L.) EM COLMEIAS SOB CONDIÇÕES DE SOL E SOMBRA NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

DOMINGOS, Herica Girlane Tertulino. **Controle de temperatura pelas abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) em colmeias sob condições de sol e sombra no semiárido nordestino.** 2017. 89f. Tese (Doutorado em Ciência Animal: Sanidade e Produção Animal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró – RN, Brasil.

### **RESUMO**

O controle de temperatura em *Apis mellifera*, é realizado pelas próprias abelhas através de ajustes comportamentais de forma a manter a temperatura em níveis ótimos. Condições climáticas desfavoráveis, como altas temperaturas e intensa radiação solar podem causar o superaquecimento das colônias e conseqüentemente prejuízos para a apicultura. Este trabalho teve como objetivo avaliar como as abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) realizam o controle de temperatura, sob duas condições distintas, expostas e protegidas da radiação solar direta em ambiente semiárido. Foram utilizadas três colônias de abelhas africanizadas alojadas em colmeias modelo Langstroth que eram trocadas a cada 3 meses, totalizando doze colônias. Foram registradas as temperaturas e umidades internas das três colônias, utilizando-se um termohigrômetro digital. A temperatura de superfície corpórea das abelhas foi aferida em três partes do corpo da abelha, cabeça, tórax e abdômen, utilizando-se um mini termômetro de infravermelho. As observações do comportamento social de ventilação foi classificada em quatro níveis que variavam de nenhuma, a alta atividade ventilatória. Quando as colmeias estavam na sombra a temperatura interna das colmeias permaneceu dentro da faixa considerada ótima, enquanto ao sol, essa condição não foi alcançada. Na sombra as abelhas conseguiram manter a umidade relativa estável. Já no sol, houve um aumento da umidade interna pois as abelhas levavam água para a colmeia com o intuito de baixar a temperatura interna. O comportamento de ventilação foi bem mais expressivo nas colmeias que estavam ao sol, já na sombra apenas poucas abelhas eram recrutadas para esta tarefa. As abelhas que estavam na sombra, conseguiram manter suas temperaturas corporais em níveis relativamente normais, enquanto as abelhas que estava ao sol, tiveram um aumento considerado de suas temperaturas. A temperatura do tórax é a mais elevada, seguida da cabeça e do abdômen. Os mecanismos de controle de temperatura utilizados a nível de colônia e em nível individual na sombra foram, baixa atividade de ventilação e transferência de calor para a cabeça, respectivamente. No sol, a nível de colônia foram, distribuição de água na colmeia e alta atividade de ventilação e a nível individual transferência de calor para cabeça e abdômen e utilização de água para molhar a superfície corporal. Os resultados obtidos neste trabalho representa uma significativa coletânea de dados individuais de temperatura de superfície das abelhas e dados de temperatura e umidade no interior das colmeias, que se constituem em importantes subsídios para a compreensão de três aspectos fundamentais para a apicultura, o abandono das abelhas na seca, a baixa produtividade no semiárido e a necessidade de construção de latadas para fornecimento de sombra nos apiários.

**Palavras-chave:** Termorregulação. Temperatura de superfície. Sombreamento. Conforto térmico. *Apis mellifera*.

## **TEMPERATURE CONTROL OF AFRICANIZED BEES (*APIS MELLIFERA L.*) IN HIVES UNDER SUN AND SHADE CONDITIONS IN THE NORTHEASTERN SEMIARID REGION**

DOMINGOS, Herica Girlane Tertulino. **Temperature control of africanized bees (*Apis mellifera L.*) in hives under sun and shade conditions in the northeastern semiarid region.** 2017. 89f. Thesis (Doctorate in Animal Science: Animal Health and Production) - Graduate Program in Animal Science, Federal Rural Semiarid University, Mossoró - RN, Brazil.

### **ABSTRACT**

The temperature control in *Apis mellifera* is realized by the bees themselves through behavioral adjustments in order to keep the temperature at optimum levels. Unfavorable climatic conditions such as high temperatures and intense solar radiation can cause overheating of the colonies and consequently damage to beekeeping. The objective of this work was to evaluate how africanized bees (*Apis mellifera L.*) control temperature under different conditions, exposed and protected from direct solar radiation in a semiarid environment. Three colonies of Africanized bees housed in Langstroth hives that were changed every 3 months were used, total of twelve colonies. The internal temperatures and humidity of the three colonies were recorded using thermohygrometer. The body surface temperature of the bees was measured in three parts of the bee's body, head, chest and abdomen, using a mini infrared thermometer. Observations of the social behavior of ventilation were classified into four levels ranging from none to high ventilatory activity. When the hives were in the shade the internal temperature of the hives remained within the range considered optimal, while in the sun, this condition was not reached. In the shade, the bees managed to keep the relative humidity stable. In the sun, there was an increase in internal humidity as the bees carried water to the hive in order to lower the internal temperature. The ventilation behavior was much more expressive in hives than in the sun, since in the shade only few bees were recruited for this task. The bees that were in the shade, managed to maintain their body temperatures at relatively normal levels, while the bees that was in the sun, had a considered increase of its temperatures. The chest temperature is the highest, followed by the head and abdomen. The mechanisms of temperature control used at colony level and at individual level in the shade were, low ventilation activity and heat transfer to the head, respectively. In the sun, at colony level were distribution of water in the hive and high activity of ventilation and at the individual level transfer of heat to head and abdomen and use of water to wet the body surface. The results obtained in this work, represent a mean collected data of individuals surface temperature of the bees and data of temperature and humidity inside the hives, which constitute important subsidies for an understanding of three fundamental principles for a beekeeping, or abandonment of the bees In drought, a low productivity in the semi-arid and a need of construction of cans for the supply of shade in the apiaries.

**Keywords:** Thermoregulation. Surface temperature. Shading. Thermal comfort. *Apis mellifera*

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b>	Diagrama do Fluxo de controle de temperatura em uma colônia de abelhas em ambientes quentes. 26
<b>Figura 2</b>	Diagrama do Fluxo de controle de temperatura em uma colônia de abelhas em ambientes frios. 28
<b>Figura 3</b>	Análise das chuvas acumuladas de 2012 a 2017 (parcial) no Rio Grande do Norte. 31
<b>Figura 4</b>	Mini termômetro de infravermelho (FLUKE modelo 62) sem contato, utilizado para medir a temperatura de superfície de abelhas africanizadas. 35
<b>Figura 5</b>	Colmeia de observação contendo um quadro de cria, instalada no Laboratório de Enxameagem do CETAPIS-RN. 35
<b>Figura 6</b>	Medição da temperatura de superfície de abelhas africanizadas em colmeia de observação utilizando um mini termômetro de infravermelho. 36
<b>Figura 7</b>	Estruturas construídas para as condições experimentais de sombreamento (esquerda) e exposição à radiação solar (direita). 37
<b>Figura 8</b>	A) Tanque de água da Fazenda Experimental da UFERSA e B) presença de abelhas coletando água. 38
<b>Figura 9</b>	A) Sensor termopar tipo K acoplado a um termo-higrômetro digital inserido no centro do alvado para a medição da temperatura e umidade interna das colmeias. B) Termo-higrômetro digital 39
<b>Figura 10</b>	Estação Meteorológica automática do CETAPIS, instalada na Fazenda Experimental Rafael Fernandes 41
<b>Figura 11</b>	Valores médios da velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar e radiação solar global, observados em Mossoró, RN, Brasil, de Outubro de 2014 a Agosto de 2015. 44
<b>Figura 12</b>	Média geral da temperatura interna de colmeias de abelhas africanizadas em dois ambientes, sol e sombra. 46
<b>Figura 13</b>	Valores médios da temperatura interna de colmeias de abelhas africanizadas expostas (sol) e protegidas da radiação solar direta (sombra), em três diferentes horários de observação. 46
<b>Figura 14</b>	Temperatura interna de colmeias de abelhas africanizadas em dependência da temperatura do ar, onde A é referente as colmeias à sombra e B ao sol. 48

<b>Figura 15</b>	Interação entre a temperatura interna de colmeias de abelhas africanizadas, e quatro classes de radiação, em dois ambientes, sol e sombra.	49
<b>Figura 16</b>	Média geral da umidade interna de colmeias de abelhas africanizadas em dois ambientes, sol e sombra.	50
<b>Figura 17</b>	Valores médios da umidade interna de colmeias de abelhas africanizadas expostas (sol) e protegidas da radiação solar direta (sombra), em três diferentes horários de observação.	51
<b>Figura 18</b>	Valores médios da umidade interna em relação a temperatura interna nos três horários de observação nos ambientes sol (A) e sombra (B).	53
<b>Figura 19</b>	Interação entre a umidade interna de colmeias de abelhas africanizadas, e quatro classes de radiação, em dois ambientes, sol e sombra.	53
<b>Figura 20</b>	Níveis da atividade de ventilação de abelhas africanizadas expostas e protegidas da radiação solar, em função da hora do dia.	54
<b>Figura 21</b>	Valores médios da temperatura do ar e da temperatura torácica de abelhas forrageiras em três períodos diferentes ao longo do dia.	56
<b>Figura 22</b>	Média geral da temperatura de superfície de abelhas africanizadas em dois ambientes, sol e sombra.	58
<b>Figura 23</b>	Valores médios da temperatura de superfície de abelhas africanizadas expostas (sol) e protegidas da radiação solar direta (sombra), de acordo com a hora do dia.	59
<b>Figura 24</b>	Valores médios da temperatura de superfície de abelhas africanizadas em três regiões corporais, e da temperatura do ar, de acordo com a hora do dia.	60
<b>Figura 25</b>	Valores médios temperatura de superfície de abelhas africanizadas em três regiões corporais, nos dois ambientes, sol e sombra.	60
<b>Figura 26</b>	Mecanismos de perda de calor utilizados por abelhas africanizadas no semiárido nordestino, tanto a nível de colônia, como a nível individual, em situação de conforto à sombra e estresse térmico ao sol	74

## LISTA DE TABELAS

		Página
<b>Tabela 1</b>	Total de apicultores, colmeias existentes, percentual de perdas de enxames e total de colmeias vazias, em fevereiro de 2013, por estado do Nordeste.	30
<b>Tabela 2</b>	Valores médios, mínimos e máximos das variáveis ambientais temperatura do ar, radiação solar global, umidade relativa do ar e velocidade do vento observados em Mossoró, RN, Brasil, de Outubro de 2014 a Agosto de 2015.	43
<b>Tabela 3</b>	Médias das temperaturas internas das colmeias, valores mínimos e máximos, para cada horário de observação, nos dois ambientes, sol e sombra.	45
<b>Tabela 4</b>	Resumo da análise de variância da temperatura interna e da umidade interna.	45
<b>Tabela 5</b>	Médias da umidade interna, valores mínimos e máximos, para cada horário de observação, nos dois ambientes, sol e sombra.	51
<b>Tabela 6</b>	Médias da temperatura torácica, valores mínimos e máximos, em três períodos ao longo do dia.	57
<b>Tabela 7</b>	Resumo da análise de variância dos efeitos da região corporal, hora, ambiente, quadro e suas respectivas interações consideradas no modelo estatístico sobre a temperatura superficial das abelhas estudadas.	57
<b>Tabela 8</b>	Temperatura de superfície de abelhas africanizadas (cabeça, tórax e abdômen) coletadas de quadros do centro e laterais das colmeias, de acordo com o ambiente (sol e sombra), em diferentes faixas de temperatura do ar ( $T_A$ ) e radiação solar ( $R_A$ )	61

## SUMÁRIO

	Página
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> ..... 16
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> ..... 19
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> ..... 19
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> ..... 19
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> ..... 20
<b>3.1</b>	<b>Caracterizando o clima Semiárido Nordestino</b> ..... 20
<b>3.2</b>	<b>Impacto dos fatores climáticos na apicultura</b> ..... 21
<b>3.3</b>	<b>Classificação das abelhas quanto ao ambiente térmico</b> ..... 22
<b>3.4</b>	<b>Termorregulação</b> ..... 23
<b>3.4.1</b>	Zona de termoneutralidade ..... 23
<b>3.4.2</b>	Regulação da temperatura ..... 24
<b>3.4.3</b>	Mecanismos de adaptação a climas quentes ..... 25
<b>3.4.4</b>	Mecanismos de adaptação a climas frios ..... 27
<b>3.4.5</b>	Enxameações migratórias e fatores limitantes no Semiárido Nordestino ..... 29
<b>3.5</b>	<b>Importância do sombreamento</b> ..... 32
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> ..... 34
<b>4.1</b>	<b>Local do experimento e material biológico</b> ..... 34
<b>4.2</b>	<b>Medição da temperatura de superfície em colmeia de observação</b> ... 34
<b>4.3</b>	<b>Coleta de dados em apiário experimental</b> ..... 36
<b>4.4</b>	<b>Temperatura e umidade interna da colmeia</b> ..... 39
<b>4.5</b>	<b>Temperatura de superfície</b> ..... 39
<b>4.6</b>	<b>Avaliação da atividade de ventilação</b> ..... 40
<b>4.7</b>	<b>Dados meteorológicos</b> ..... 41
<b>4.8</b>	<b>Análise estatística</b> ..... 42
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> ..... 43
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b> ..... 64
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> ..... 76
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> ..... 80

## 1 INTRODUÇÃO

As abelhas *Apis mellifera mellifera* (alemãs) foram introduzidas no Brasil em 1839 e posteriormente foram introduzidas outras subespécies como a *Apis mellifera caucasica*, *Apis mellifera ligustica*, *Apis mellifera carnica*. Em 1956, foram introduzidas anteriormente as abelhas *Apis mellifera scutellata* (africanas) pelo Dr. Kerr, com o intuito de ampliar a apicultura no país, uma vez que estas abelhas eram mais produtivas (KERR, 1967).

Após um acidente, em que as abelhas africanas escaparam do apiário foi possível o cruzamento desta subespécie com as europeias que já haviam sido introduzidas, resultando em um poli-híbrido (*Apis mellifera* L.) denominado de abelhas africanizadas (GONÇALVES, 1974), cuja predominância de características é das abelhas africanas.

Essas abelhas, em menos de 50 anos no Brasil, já haviam se disseminado por toda América do Sul (GRAMACHO; GONÇALVES, 2002) exibindo fortes características africanas como alta adaptabilidade e capacidade de reprodução, resistência a doenças, capacidade enxameatória e forte comportamento defensivo (BENSON, 1985; WINSTON, 1992). As abelhas africanizadas têm sido estudadas no mundo inteiro visando a seleção e melhoramento dos subprodutos da colmeia, como própolis, mel, geleia real, pólen entre outras (GRAMACHO, 2004).

As abelhas exercem grande importância para a economia em todo mundo sendo responsáveis pela polinização de muitos frutos (SALLES et al., 2003), e tendo em sua criação racional, a apicultura, uma importante fonte de renda e representando uma atividade do agronegócio em crescimento (QUEIROZ et al., 2001), além de causar impactos econômicos, sociais e ambientais positivos (ALMEIDA et al., 2013). No Brasil, esta atividade está em constante crescimento, mas o desenvolvimento de técnicas que proporcione um maior avanço da atividade apícola, ainda é um grande desafio.

As abelhas são consideradas heterotérmicas e embora apresentem alta capacidade de adaptação aos mais diferentes ambientes, suas colônias podem ter prejuízos quando manejadas sob condições adversas e como consequência, a produção também é afetada. Vários fatores ambientais podem exercer influência sobre as colônias, entre eles temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar (LORENZON et al., 2004; ALMEIDA, 2008) e suas consequências tem sido demonstradas em algumas pesquisas (BRANDEBURGO; GONÇALVES 1989; LIPINSKI, 2001; LORENZON et al., 2004, ALMEIDA, 2008).

O controle de temperatura em *Apis mellifera*, é realizado pelas próprias abelhas através de ajustes comportamentais de forma a manter a temperatura em níveis ótimos, dentro de uma faixa térmica entre 33 a 36°C (TAUTZ et al., 2003; JONES; OLDROYD, 2007). Esse controle é fundamental para a cria, uma vez que o desenvolvimento em temperaturas inapropriadas pode afetar a sobrevivência, características morfológicas, fisiológicas, que irão gerar consequências para a vida adulta das abelhas (JONES et al., 2005).

Em ambientes como o Semiárido Nordestino a temperatura ambiente pode ser muito maior que a temperatura da superfície corporal da abelha, e a convecção e a radiação podem ser mecanismos de ganho e não de perda de calor. Aliado a isto, esse ambiente também é caracterizados por intensa radiação solar, conseqüentemente a abelha passa a ganhar calor por radiação, o que torna ainda mais difícil manter a termorregulação. Essas características promovem o superaquecimento dentro das colmeias e os custos, a nível de colônia, para manter a temperatura interna estável, são muito elevados, podendo inclusive levar as abelhas a abandonarem suas colmeias mesmo na presença de crias e rainha como foi demonstrado por Almeida (2008).

Prevenir o superaquecimento das colmeias torna-se então fundamental para a apicultura em climas quentes. Para isto, as alterações causadas na temperatura superficial de abelhas assim como nas temperaturas internas das colmeias devido a exposição a fatores climáticos extremos (períodos longos de seca, altas temperaturas e intensa insolação) devem ser estudados em abelhas manejadas no Semiárido nordestino.

Nesses ambientes, a utilização de métodos adequados de manejo que minimizem os efeitos do ambiente, como é o caso do sombreamento, são de fundamental importância uma vez que diminuem as perdas, e aumentam o rendimento na apicultura. O sombreamento é então, uma alternativa viável e indispensável para contornar os prejuízos nesses ambientes e sua importância para a atividade apícola no semiárido nordestino já foi descrita por alguns pesquisadores (SOMBRA, 2013; SANTOS, 2015).

É inegável a importância de estudos que descrevam e quantifiquem as perdas econômicas devido as condições ambientais desfavoráveis, no entanto, compreender como as abelhas controlam suas temperatura tanto individualmente, como a nível de colônia, e que respostas comportamentais e fisiológicas desenvolvem para manter seus níveis termorregulatórios ajustados ao longo do dia, são de fundamental importância principalmente quando comparam ambientes onde as temperaturas internas das colmeias ficam mais amenas, como é o caso de ambientes sombreados, e onde as temperaturas internas tendem a elevar-se devido a exposições a radiação solar direta. São justamente esses estudos de como as abelhas

controlam suas temperaturas, que justificam as perdas produtivas em climas quentes e dão embasamento para pesquisas que comprovam a importância de se oferecer um ambiente termicamente confortável para as abelhas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar como as abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) realizam o controle de temperatura no semiárido nordestino, sob duas condições distintas, expostas e protegidas da radiação solar direta.

### **2.2 Específicos**

Avaliar em colônias de abelhas africanizadas expostas e protegidas da radiação solar direta, os seguintes aspectos:

- 1) Controle da temperatura de superfície em três regiões, cabeça, tórax e abdômen.
- 2) Controle de temperatura a nível de colônia
- 3) Variações na temperatura interna das colônias
- 4) Relações entre as variáveis ambientais e a temperatura de superfície das abelhas.
- 5) Relações entre as variáveis ambientais e a temperatura e umidade interna das colônias.
- 6) Relações entre as variáveis ambientais e o comportamento de ventilação.
- 7) Transferência de calor entre as regiões corporais da abelha.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Caracterizando o clima Semiárido Nordestino

A maior parte do Brasil situa-se em zonas de baixas latitudes, sendo que as regiões Norte e Nordeste do Brasil encontram-se muito próximas a linha do equador, desta forma recebem uma quantidade mais intensa de raios solares ao longo do ano e conseqüentemente suas temperaturas são mais elevadas. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE - Portaria Nº 89, de 16 de março de 2005) a Região Semiárida do país ocupa 18,2% (982.563,3 km<sup>2</sup>) do território nacional.

Abrange a maioria dos estados nordestinos (89,5%) e o restante (10,5%) é situado na Região Sudeste (Minas Gerais). Esta região foi delimitada com base na isoietia de 800 mm, no Índice de Aridez de Thorntwaite de 1941 (municípios com índice de até 0,50) e no Risco de Seca (superior a 60%). O clima quente e seco que caracteriza o semiárido nordestino apresenta altas temperaturas, acima dos 20°C de médias anuais (com mínima de 8°C e máxima ao redor de 40°C), precipitações pluviais irregulares, com curta duração, podendo ter alta intensidade (280 a 800 mm) ou apresentar ciclos de seca frequentes (COELHO et al., 2009).

De acordo com Araújo (2011) o Semiárido nordestino apresenta balanço hídrico negativo e elevado índice de aridez uma vez que a maior parte das chuvas se concentram em três a quatro meses dentro da estação úmida (Janeiro a Abril). Além disso, as chuvas não são distribuídas uniformemente, algumas áreas podem ficar anos sem presença de chuva, como é o caso do Rio Grande do Norte que há muito tempo vem sendo castigado por consecutivas secas, conforme demonstrado por Gonçalves et al (2013).

Além das altas temperaturas e pluviosidade baixa, a região semiárida também é caracterizada por uma radiação solar intensa, durante todo o ano (SILVA et al., 2010) com valor médio de 844 W m<sup>-2</sup> (COSTA et al., 2014). Utilizando um piranômetro portátil, Silva et al., (2010) mediram a radiação solar em uma região semiárida e encontraram registros de até 1.018 W m<sup>-2</sup> ao meio-dia.

Neste ambiente quente, a combinação dos fatores climáticos principalmente, as altas temperaturas, alta radiação solar e déficit hídrico, representa um desafio para a apicultura. Estas condições climáticas modificam o balanço de calor no corpo, provocando alterações na fisiologia e respostas comportamentais como uma forma de conseguirem lidar com o meio ambiente (CHAIYABUTR et al., 2008; DESHAZER et al., 2009).

### 3.2 Impacto dos fatores climáticos na apicultura

Conhecer a tolerância térmica e a capacidade de adaptação das abelhas a altas temperaturas é uma forma de embasamento técnico para a exploração da atividade apícola. Se o calor produzido e o calor dissipado estiverem equilibrados, ou seja, se as abelhas estiverem dentro da faixa de conforto térmico, elas não precisarão recorrer a processos reguladores de temperatura corporal. Nesta faixa, se outros fatores como nutrição e estado sanitário também estiverem satisfeitos, ocorrerá a mais eficiente produção.

De acordo com Finch (1985), essa é uma condição difícil de ser alcançada sob altas temperaturas, uma vez que nessas condições a temperatura do ar pode estar próxima ou ser superior àquela da superfície corporal, o que torna o mecanismo de convecção ineficaz. Aliado a isto, regiões de baixa latitude em geral são caracterizados por intensa radiação solar, e como consequência, a radiação passa a ser um mecanismo de ganho de calor (SILVA 2000; INCROPERA et al., 2008). Nestas condições, o organismo passa a depender de ajustes fisiológicos e comportamentais para que funcionem de forma eficaz (BAËTA; SOUZA, 1997), compensando assim, as condições ambientais adversas. Se esses ajustes não forem eficientes ocorrerá um declínio no desempenho em qualquer sistema produtivo.

Dentre os fatores climáticos que exercem influência no desenvolvimento de uma colônia estão a temperatura do ar, radiação solar, precipitação, umidade relativa do ar, vento e pressão atmosférica (BARBOSA FILHO, 2008). Estes fatores (abióticos) estão intimamente ligados aos comportamentos intrínsecos à colônia (fatores bióticos) de forma que não se pode analisar apenas um fator, mas a relação de ambos uma vez que os dois influenciam no comportamento das abelhas (NASCIMENTO JUNIOR, 1981) e apresentam diversos efeitos específicos sobre os indivíduos das colônias (KERR et al., 1970; WEAVER, 1979; BRANDEBURGO; GONÇALVES, 1989; SEVERSON; ERICKSON, 1989; SILVA, E. C. A., 1993; SCHMICKL; CRAILSHEIM, 2002; GARCIA; NOGUEIRA-COUTO, 2005; ALMEIDA, 2008; BRIGHENTI et al., 2010; TOLEDO et al., 2010, 2012).

No Rio Grande do Norte, a combinação da seca com os demais fatores adversos, tem limitado o equilíbrio térmico das colônias (ALMEIDA, 2008) e causado sérios efeitos sobre as atividades apícolas, com maior agravamento a partir de 2012 com elevadas perdas de colônias em todo o estado. De acordo com Gonçalves et al., (2013) o município de Serra do Mel, que tinha um total de 5.000 colmeias em 2011 perdeu quase 90% delas, mantendo-se

pouco menos de 500 colônias em 2012. Em Jurema-PE a produção de mel foi reduzida de 4.000 kg em 2011 para 822 kg em 2012. O Rio Grande do Norte que vinha crescendo em exportações de mel, desde 2005, em 2011 exportou 1,522,297 kg de mel. No entanto, devido à seca em 2012 exportou apenas 266.000 kg e os apicultores chegaram a perder 90% de suas colônias por causa da enxameação por abandono.

Outros fatores também podem ser afetados pelas condições climáticas. Operárias africanizadas mantidas sobre condições ideais de desenvolvimento tiveram longevidade média maior quando comparadas com abelhas submetidas a temperatura interna de 39°C (SOUZA; SIMOKOMAKI, 1997). O ritmo das atividades de forrageamento podem aumentar ou diminuir dependendo de fatores ambientais como temperatura (ROUBIK, 1989) e umidade (ALVES et al., 2012).

Em estudos conduzidos por Brandeburgo (1986) foi observado que altas temperaturas influencia no comportamento defensivo das abelhas. Segundo Faria (2010), o crescimento e a reprodução também podem ser influenciados pela temperatura do ar e umidade relativa (PARK, 1949; LINDAUER, 1955). Acima de 40°C pode acontecer o derretimento dos favos de cera (SEELEY, 2006). Se a temperatura interna estiver muito elevada pode haver mortalidade das crias, então as abelhas tendem a se aglomerar na entrada da colmeia com o intuito de diminuir a temperatura interna (FREE, 1993).

Almeida (2008) avaliando o comportamento enxameatório de abelhas africanizadas sob temperatura e umidade induzida em câmara climática, observou que as abelhas abandonavam a colmeia quando a temperatura interna atingia 41°C. Esta enxameação ou abandono faz com que todos os anos os apicultores percam em média 50% de suas colônias (GONÇALVES, 2004), podendo chegar a perdas drásticas como em 2012 em que essas perdas chegaram a 90% (GONÇALVES et al., 2013).

### **3.3 Classificação das abelhas quanto ao ambiente térmico**

Não há uma forma simples de classificação dos animais com relação a sua resposta ao ambiente térmico (SCHMIDT-NIELSEN, 2002; MOYES; SCHULTE, 2010). De acordo com Silva (2008), os organismos são denominados homeotérmicos quando tentam manter a temperatura interna constante independente da variação ambiental, e heterotérmicos ou pecilotérmicos quando suas temperaturas tendem a acompanhar a variação ambiental. Para este

mesmo autor, os organismos também podem ser classificados quanto a importância do metabolismo como fonte de geração de calor, sendo assim podem ser endotérmicos, quando o calor corporal é gerado internamente pelos processos metabólicos; e ectotérmicos quando a temperatura interna depende da absorção de energia térmica do ambiente. O animal endotérmico pode manter constante sua temperatura corpórea, alterando a intensidade da produção de calor e mantendo o equilíbrio térmico (SCHMIDT-NIELSEN, 2002; MOYES; SCHULTE, 2010).

A influência da atividade locomotora sobre a temperatura corporal em heterotérmicos é maior que em homeotérmicos (ES'KOV, 1992). Em pecilotérmicos, a alta variabilidade da temperatura corporal está relacionada as mudanças em sua atividade locomotora. Quando esta atividade diminui a temperatura corporal se aproxima da temperatura ambiente (ES'KOV, 1992; KIPYATKOM; LOPATINA, 2003).

Em geral, os insetos pertencem a classe dos ectotérmicos, mas um grupo que compreende as abelhas, vespas e formigas (ordem Hymenoptera) possuem a combinação dos mecanismos endotérmicos e ectotérmicos (MOYES; SCHULTE, 2010). As abelhas *Apis mellifera* se destacam entre os insetos sociais devido aos mecanismos perfeitos de regulação da temperatura dentro do ninho e são consideradas pecilotérmicas, ou seja, ajustam sua temperatura corporal de acordo com a temperatura ambiental (ES'KOV; TOBOEY, 2009) isso permite que o desempenho de suas atividades sejam afetadas pelas variações ambientais (SILVA, 2000; VOLLET NETO, 2011).

Abelhas adultas em atividade motora, conseguem regular a temperatura corpórea de acordo com suas necessidades. Já as abelhas jovens ainda não apresentam essa capacidade de heterotermia sendo então ectotérmicas e dependem da temperatura ambiente colonial. As abelhas *Apis mellifera* são consideradas excelentes em controlar a temperatura, trazendo com isto benefícios para toda colônia (LOLI, 2008) e tornando essa inter-relação e interdependência dos membros da família especialmente marcantes nestas abelhas (ES'KOV, 1995).

### **3.4 Termorregulação**

#### **3.4.1 Zona de termoneutralidade**

A troca de energia térmica entre animais e ambiente muitas vezes envolve processos que podem afetar a morfologia, a fisiologia e o comportamento dos animais e a gama de

temperatura que podem tolerar é bastante variável e pode mudar com o tempo. Uma contínua exposição a um ambiente térmico próximo ao limite de tolerância pode causar uma expansão desse limite, logo esses limites não são imutáveis (SILVA, 2008)

A zona de conforto térmico para um indivíduo é denominada zona de termoneutralidade ou zona termoneutra (IUPS THERMAL COMMISSION, 2003). Essa zona representa o ambiente ótimo para um determinado animal em que ele não realiza nenhum esforço para ganhar ou perder calor e é limitada pela máxima e pela mínima temperatura ótima. De acordo com Silva (2008), se a temperatura ambiente estiver abaixo da mínima temperatura ótima, há a necessidade da ativação dos mecanismos de termogênese e o esforço realizado pelo organismo para não perder energia térmica é uma medida do estresse causado pelo frio. Se a temperatura ambiente estiver acima da máxima temperatura ótima há a necessidade de dispêndio de energia que constitui uma resposta ao estresse pelo calor.

### 3.4.2 Regulação da temperatura

De acordo com Silva (2000), termorregulação é o controle ou regulação da temperatura em um sistema físico qualquer. Organismos vivos são sistemas físicos geradores de energia e estão em constante troca com o ambiente. Termorregulação pode ser ainda a capacidade que um organismo possui de controlar, manter e normalizar suas condições internas através da temperatura, na forma de resposta comportamental ou fisiológica ao seu ambiente natural (MAY, 1979). Desta forma, resistir as variações ambientais tornou-se uma forma de sobrevivência e reprodução para os organismos (RODRIGUES, 2004) fazendo com que eles desenvolvessem adaptações fisiológicas e comportamentais afim de manter a temperatura corporal dentro de limites aceitáveis (VOLLET-NETO, 2011).

A regulação da temperatura dentro do ninho em abelhas *Apis mellifera* acontece dentro de limites específicos, às vezes bastante estreitos, apesar de extremos na temperatura ambiente, tentando manter a temperatura da colônia entre 33-36°C, com média de 34,5° C (DUNHAM, 1929; JONES, 2005; TAUTZ et al., 2003; JONES; OLDROYD, 2007), com o objetivo de manter uma temperatura ótima dentro do ninho (SEELEY, 2006) e através do sucesso obtido, é atualmente o principal modelo biológico em estudos de termorregulação (VOLLET-NETO, 2011).

Se as temperaturas do ninho não forem mantidas dentro desses limites específicos, muitas vezes há consequências indesejáveis na fisiologia e comportamento, no

desenvolvimento da cria conseqüentemente comprometendo a sobrevivência da colônia, pode afetar ainda as características morfológicas gerando conseqüências para a vida adulta (TAUTZ et al., 2003; JONES et al., 2005; MCMULLAN; BROWN, 2005). A manutenção da temperatura é indispensável para o desenvolvimento e crescimento normal dos estágios larvais e pupais (DEGRANDI-HOFFMAN et al., 1993). Trabalhando com a *Apis mellifera* Jones et al., (2005) verificaram que a temperatura de 35°C era ideal para um melhor desenvolvimento da espécie, e que temperaturas acima ou abaixo de 35°C resultava em operárias com uma diminuição na capacidade de execução de tarefas e memorização.

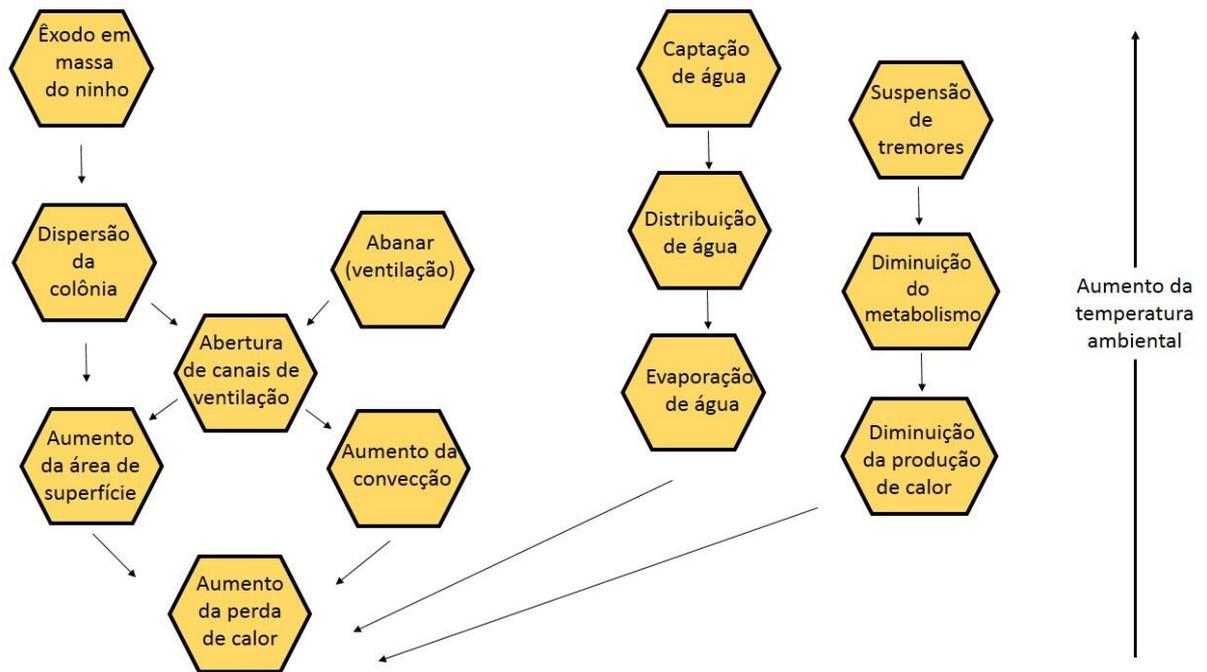
A regulação da temperatura é um dos assuntos mais interessantes e estudados em abelhas. As colônias de abelhas consistem em um sistema social harmonioso em que trabalham juntas para atender as demandas colocadas sobre elas devido ao estresse ambiental. A manutenção da temperatura estável no centro da colmeia sob uma grande variedade de condições ambientais (HEINRICH 1985; SOUTHWICK 1983), é obtida através de ajustes sociais homeostáticos que são mecanismos específicos de controle de temperatura e a temperatura tende a diminuir a medida que se distancia do centro.

Esses ajustes são fantásticos no sentido de que, até certo ponto são eles que garantem a sobrevivência das colônias em condições adversas, seja em estresse pelo frio ou pelo calor, no entanto, não apresentam apenas benefícios, isto requer um alto custo energético para abelhas que precisam redirecionar suas funções dentro da colônia para o trabalho de arrefecimento ou aquecimento do ninho (ANGILLETTA, 2009).

### 3.4.3 Mecanismos de adaptação a climas quentes

Em climas quentes, os principais mecanismos utilizados pelas abelhas para manter a termólise estão representados na figura 1 e foram adaptados de Graham et al., 1992 *apud* Dadant; Sons, 1992.

Se a temperatura interna estiver muito elevada as abelhas podem formar barbas ou acúmulo de abelhas no alvado, evitando liberar o calor metabólico dentro da colônia. Estudos experimentais sobre as causas das enxameações das abelhas africanizadas no nordeste realizados pelo grupo do Prof. Lionel S. Gonçalves na UFERSA em Mossoró-RN comprovaram que ao se atingir a temperatura de 41°C no interior das colmeias, as abelhas abandonam seus ninhos (enxameação por abandono), mesmo na presença de crias e rainhas (ALMEIDA, 2008).



**Figura 1.** Diagrama do Fluxo de controle de temperatura em uma colônia de abelhas em ambientes quentes (modificado de Graham et al 1992 *apud* Dadant; Sons, 1992).

A atividade de ventilação é um outro mecanismo comportamental realizado pelas abelhas, indispensável para o controle da temperatura e umidade, distribuição de feromônios e evaporação da água do néctar. A circulação de ar dentro da colmeia é mantida pela atividade de ventilação das abelhas, permitindo que haja uma troca de ar entre a colônia e o ambiente. Essa troca permite que o ar quente gerado pela alta taxa metabólica das abelhas seja trocado por ar fresco (GRAHAM et al., 1992 *apud* DADANT; SONS, 1992). As abelhas se posicionam dentro da colmeia e no alvado, de forma que as abelhas que estão dentro, determinam a direção do fluxo de ar para dentro e para fora. Quando as abelhas estão posicionadas na entrada da colmeia com o abdômen apontado para fora, o ar quente flui para fora, e quando para de abanar permitem a entrada de ar fresco (SOUTHWICK; MORITZ, 1987b *apud* DADANT; SONS, 1992).

Um terceiro mecanismo muito importante para a manutenção da homeostase é a água, que constitui um elemento fundamental para as colônias de abelhas. Quanto maior for a temperatura, maior será a necessidade de água para a colônia. O consumo de água de uma colônia varia com o tamanho e o local da colônia. Colônias de abelhas podem exigir 200 gramas

ou mais de água por dia e a quantidade trazida por ano, desconsiderando a água a partir do néctar recolhido, foi estimado em cerca de 44 libras (NELSON, 1983 *apud* DADANT; SONS, 1992) que equivale a quase 20kg.

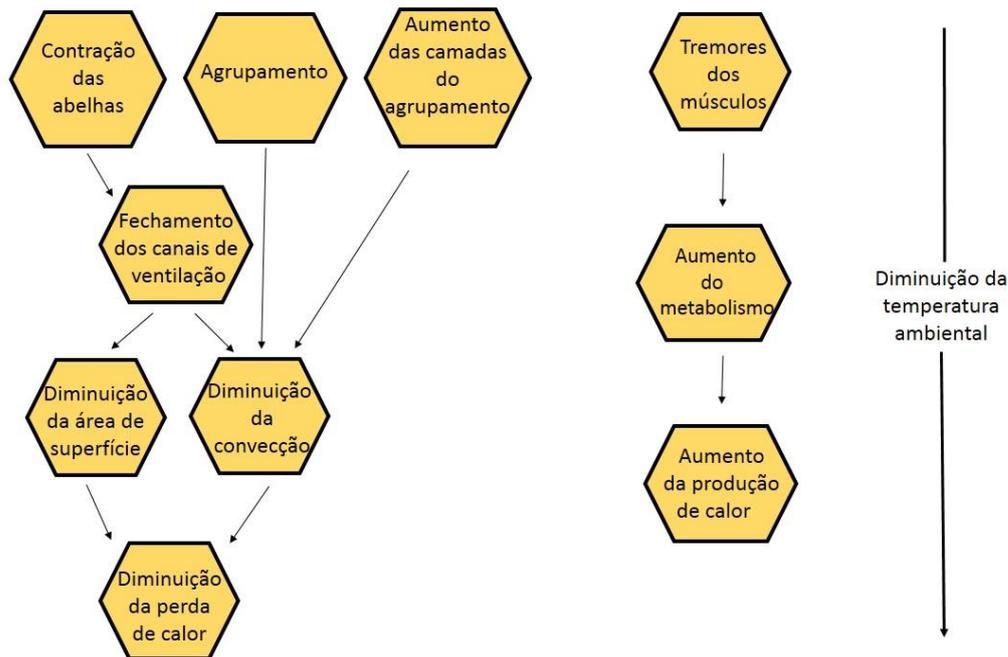
De acordo com Lindauer (1955), a coleta de água é regulada pelo tempo que as abelhas utilizam para receber a água. Quando a entrega é concluída dentro de dois minutos, o transporte de água é mantido sem interrupção e as abelhas continuam recolhendo água (SEELEY et al., 1991). Se o processo de descarregar a água levar mais tempo, os intervalos entre as viagens de forrageamento aumentam. A coleta irá parar completamente quando o tempo de descarga levar em torno de 10 minutos (KU HNHOLZ; SEELEY, 1997).

Em altas temperaturas, as abelhas vão aceitar mais facilmente o néctar que tem um elevado teor de água sobre uma fonte de néctar que tem um teor de água inferior. Este comportamento induz as forrageiras a coletarem água em suas peças bucais. A água é então distribuída no interior das células impedindo o ressecamento das larvas enquanto outras abelhas distribuem as gotas dentro da colmeia (DANDANT; SONS, 1992). Esse mecanismo constitui uma forma eficiente de arrefecimento por evaporação uma vez que, para ocorrer a passagem de 1,0 grama de água do seu estado líquido para vapor são necessários aproximadamente 2.400 kJ de energia térmica (SILVA 2000 E 2008; DOMINGOS 2013), que equivalem a mais de 500 calorias.

Se não houver água disponível nas proximidades do apiário, esta deve ser fornecida pelo apicultor, isto facilita o trabalho das abelhas reduzindo a distância do voo para a coleta de água (WOYCIECHOWSKI, 2007). Não há dúvidas que a água é muito importante para a manutenção da vida na colônia e em ambientes quentes sua falta pode trazer consequências muito graves.

#### 3.4.4 Mecanismos de adaptação a climas frios

Em baixas temperaturas, os principais mecanismos utilizados pelas abelhas para manter o controle da temperatura estão representados na figura 2 e foram adaptados de Graham et al 1992 *apud* Dadant; Sons, 1992.



**Figura 2.** Diagrama do Fluxo de controle de temperatura em uma colônia de abelhas em ambientes frios (modificado de Graham et al 1992 *apud* Dadant; Sons, 1992).

Uma das respostas desenvolvidas pelas abelhas quando estão em baixas temperaturas é o agrupamento. Mesmo em baixas temperaturas, as abelhas são capazes de manter a temperatura na área do ninho relativamente estável mantendo-se aglomeradas ao redor do ninho e gerando calor metabólico (STABENTHEINER et al., 2003). As abelhas se agrupam de forma a reduzir a área de superfície exposta onde as trocas de calor se realizam, formando um cluster de forma a conservar o calor (MOEBUS 1978 *apud* DANDANT; SONS, 1992). Esse cluster é formado por camadas de abelhas de forma que dentro do aglomerado elas conseguem manter a temperatura elevada, conservando as funções vitais e evitando atrasos no desenvolvimento das larvas e pupas (PETZ et al., 2004).

De acordo com Dadant & Sons (1992) o entrelaçamento dos pelos torácicos formam pequenos espaços aéreos mortos, criando uma camada de isolamento eficaz para a colônia; algo que elas não poderiam atingir como indivíduos. Essa retenção de calor reflete em uma poupança na perda de calor em baixas temperaturas uma vez que as áreas disponíveis para a realização das trocas de calor são minimizadas (SOUTHWICK 1985ab). O calor gerado no centro deste aglomerado de abelhas é proveniente do consumo de mel (RITTER 1982) e passa a ser conduzido através do corpo para as outras abelhas que estão na parte mais externa

(KRONENBERG, et al. 1982; SCHMARANTZER, 1978). Uma outra estratégia para produzir calor em abelhas foi descoberta por Esch (*apud* DANDANT; SONS, 1992), e consiste em tremores nos músculos torácicos. Este autor conseguiu medir o potencial elétrico do músculo mostrando que contrações de baixa amplitude estavam ocorrendo, embora a amplitude deste tremor seja muito pequena para ser vista.

### 3.4.5 Enxameações migratórias e fatores limitantes no Semiárido Nordeste

A enxameação é um processo natural que acontece quando um enxame de abelhas sai à procura de um outro local para nidificar e está relacionado a fatores genéticos e ambientais. As enxameações podem ser de dois tipos, reprodutivas e migratórias (ou por abandono).

A enxameação reprodutiva é essencial para a sobrevivência das espécies sendo o processo pelo qual os enxames se multiplicam (ROOT et al, 1990; NOGUEIRACOUTO; COUTO, 2002;) ocorrendo em períodos de grande fluxo de alimento quando os enxames encontra-se bastante populosos (SOUZA, 2007). De acordo com Winston (2003), a enxameação reprodutiva é estimulada pela ocorrência tanto de fatores internos da colônia, como de fatores externos, quando há na natureza afluência de recursos alimentares, fazendo com que a população dentro da colmeia aumente. Nesse processo rainhas novas são criadas, e quando uma delas está por emergir, parte do enxame deixa a colônia junto com a rainha antiga.

Por outro lado, a enxameação migratória ou por abandono ocorre em resposta a algum distúrbio, que induz as abelhas a abandonarem a colmeia em busca de um outro local para sua sobrevivência (DINIZ, 1990). Esse abandono segundo Lipinsk (2001), ocorre por todos os indivíduos da colônia sem deixar qualquer célula de rainha. Os fatores que podem desencadear em uma enxameação migratória podem ser vários, como falta de alimento, instalações inadequadas, falta de água, ataque de inimigos naturais, no entanto, segundo Zacepins & Karasha (2013) esse abandono ocorre principalmente em função do aumento da temperatura externa. Estudos do monitoramento da temperatura e umidade relativa em colônias de abelhas africanizadas auxiliam em estudos do comportamento enxameatório e foi justamente o que constatou Almeida (2008) ao analisar o comportamento de resposta de colônias de abelhas africanizadas durante enxameação induzida por aumento de temperatura, e seus resultados mostraram que a temperatura interna da colmeia, ao atingir 41°C, provoca a saída em massa

dos indivíduos da colônia deixando cria , alimento, rainha , e indicando portanto, enxameação por abandono.

A enxameação migratória ou por abandono que ocorre na natureza tem causado grandes prejuízos econômicos para os apicultores, pois a redução dos enxames, além de significar perda de colônias, resulta em perdas de produção. De acordo com o *International Bee Research Association* (2010), dentre as muitas possíveis causas do desaparecimento de colônias de abelhas *Apis mellifera*, está o aumento da temperatura. Para Vidal (2013), não só as altas temperaturas, mas também a falta de sombreamento nos apiários tem causado o comportamento de abandono de enxames no nordeste do Brasil, mostrando que a radiação solar também influencia nesse comportamento.

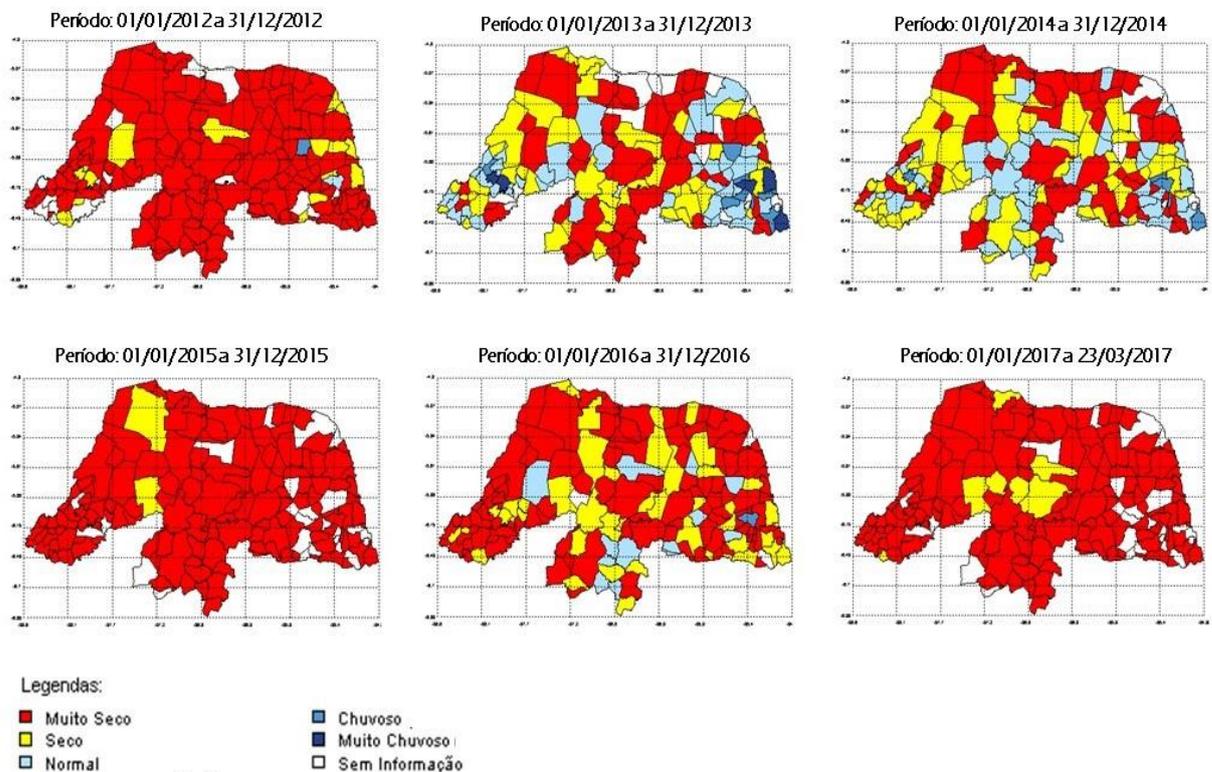
A escassez de chuvas também representa um fator preocupante no setor apícola, uma vez que impede a floração, e conseqüentemente as abelhas precisam migrar para outras regiões. O nordeste brasileiro está situado em uma área que recebe pouca influência de massas de ar úmidas, permanecendo por muito tempo massas de ar quente e seca, que gera *déficit* de precipitações. Entre 2009 e 2013 o Brasil que estava em 4º lugar no ranking dos maiores exportadores de mel do mundo, caiu para a 11ª colocação. Essa queda deu-se a partir de 2012, quando a região Nordeste passou por um grande período de estiagem, prejudicando a produção de todo país (IBGE e ABEMEL *apud* KRIDI, D. S., 2014). De acordo com Winston (2003), a taxa de abandono das abelhas tropicais varia de 15 a 30%, mas pode chegar a 100% se as condições forem muito adversas. A seca de 2012, acarretou em abandono de colmeias em todos os estados do Nordeste. Segundo dados da União Nordestina de Apicultura e Meliponicultura – UNAMEL citados por Vidal (2013), ocorreram perdas de enxames em todos os estados nordestinos e a tabela 1 descreve esse percentual de perdas.

**Tabela 1.** Total de apicultores, colmeias existentes, percentual de perdas de enxames e total de colmeias vazias, em fevereiro de 2013, por estado do Nordeste.

<b>ESTADO</b>	<b>Total de apicultores</b>	<b>Total de colmeias</b>	<b>% de enxames</b>	<b>Colmeias vazias</b>
Piauí	12.000	300.000	70	210.000/270.000
Bahia	8.600	283.800	60	147.576
Rio G. Norte	8.500	170.000	82	174.250
Ceará	6.800	204.000	75	153.000
Pernambuco	2.000	300.000	80	240.000
Paraíba	1.500	30.000	80	24.000
Alagoas	556	4.810	80	3.848
<b>Total</b>	<b>46.356</b>	<b>1.458.810</b>	<b>75</b>	<b>1.012.674</b>

Fonte: Unamel 2013 *apud* Vidal 2013.

As análises de chuvas acumuladas no Rio Grande do Norte realizadas anualmente pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN (Figura 3) mostram que nos últimos seis anos, com destaque para o ano de 2012, a maioria dos estados nordestinos estão classificados como muito seco, o que é um fator preocupante para a atividade apícola do estado. Holanda-Neto et al (2015) estudaram a identificação de fatores ligados ao abandono de enxames em municípios do Alto Oeste Potiguar, no Rio Grande do Norte, durante o período de escassez de chuva ocorrido nos anos de 2012 a 2013. Ao todo, esses autores contabilizaram 3.374 colmeias habitadas com enxames de abelhas africanizadas em 2012, e verificaram que em 2013 este número caiu para 1.712, ou seja > 50% de perdas. Os resultados dessas pesquisas mostram que no semiárido nordestino as altas temperaturas aliadas a escassez e irregularidade de chuvas, e falta de sombreamento nos apiários, representam um fator limitante e comprometedor para a apicultura que implicam em abandono das colônias e consequentemente, representa significativas perdas na produção.



**Figura 3.** Análise das chuvas acumuladas de 2012 a 2017 (parcial) no Rio Grande do Norte.  
Fonte: EMPARN

### 3.5 Importância do sombreamento

A intensa radiação solar que caracteriza o semiárido durante todo ano (SILVA et al., 2010) é um fator limitante que desafia todos os sistemas produtivos, inclusive a apicultura. A proteção proporcionada pela sombra é uma barreira contra a radiação térmica e não contra o calor propriamente dito, já que esta proteção não altera a temperatura da atmosfera (SILVA, 2008). Considerando os altos índices de radiação solar nas zonas intertropicais, proteger os animais torna-se indispensável. Uma produção ótima e eficiente deve estar ligada a um conjunto de necessidades que envolvem a genética, o manejo, a sanidade e a nutrição. No entanto, o ambiente muitas vezes limita os avanços obtidos nessas áreas (SILVA et al, 2009).

Quando a radiação solar é absorvida, se transforma em calor gerando desconforto térmico em qualquer sistema de produção (ABREU; ABREU, 2000) tornando-se um fator limitante em climas quentes. Essa energia radiante precisa ser barrada através de isolantes térmicos (OLIVEIRA, et al. 2000) que irão diminuir a transferência de calor. O sombreamento passa a ser fundamental para melhorar o equilíbrio térmico e reduzir perdas produtivas (BERMAN, 2009; MARCILLAC-EMBERTSON et al., 2009; STOWELL et al., 2009) e sua falta nos apiários tem contribuído para a baixa produção e elevada taxa de abandono de colmeias.

Muito embora ainda seja pouco praticado pelos apicultores, o sombreamento é um manejo simples e eficiente (LORENZON et al., 2004; ALENCAR; SOUZA, 2006; PAIVA, 2011; TAVARES et al., 2012; BRITO, et al., 2014), que gera economia energética uma vez que garante um melhor conforto térmico através da diminuição da temperatura interna das colmeias e conseqüentemente reduzindo os trabalhos termorregulatórios, sobrando mais tempo para outras tarefas, como o forrageamento e refletindo positivamente na quantidade e qualidade dos produtos apícolas.

Sombra (2013) avaliando a influência da radiação em colônias de abelhas africanizadas encontrou 65% de redução nas populações de abelhas à sombra e 90% ao sol e produção de mel nas colônias instaladas à sombra aproximadamente 45% superior às colônias expostas a radiação solar. Souza et al., (2006) observou maior quantidade de própolis em colmeias mantidas à sombra. Santos (2015) avaliando o sombreamento no processo de produção de rainhas africanizadas encontrou que colônias sob área sombreada aceitam as larvas introduzidas, quase 20% a mais do que quando as colônias são expostas diretamente no sol. O

desenvolvimento ontogenético dessas rainhas também melhorou aumentando em média, 31 mg no peso corporal quando foi proporcionado condições de sombra. Rainhas que estavam na sombra, viveram em média 215 dias (aproximadamente 8 meses), enquanto sob condições de exposição ao sol, viveram em média 183 dias (aproximadamente 6 meses).

Desta forma é de fundamental importância que os apicultores instalem suas colmeias em áreas sombreadas, de preferência utilizando árvores que possuem copa verde perene o ano todo, como a oiticica e o juazeiro, e quando o sombreamento natural não for possível buscar alternativas artificiais, construindo sobre as colmeias, uma área sombreada de palhas vegetais (exemplos: folhas de coqueiro, carnaúba, bananeira), mais comumente conhecida como latada que é um modelo eficiente e de baixo custo (SANTOS 2015).

## **4 MATERIAL E MÉTODO**

### **4.1 Local do experimento e material biológico**

O estudo foi desenvolvido no Centro Tecnológico de Apicultura e Meliponicultura do Rio Grande do Norte – CETAPIS-RN, instalado na Fazenda Experimental Rafael Fernandes da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), na comunidade Alagoinha, zona rural de Mossoró/RN (latitude 05°11'S e longitude 37°22'W).

O clima de Mossoró, segundo a classificação de Köppen apresenta-se tropical semiárido muito quente e seco, tipo BSw', caracterizado pela escassez e irregularidade de precipitações, com chuvas ocorrendo no verão e forte evaporação, devido as altas temperaturas.

O estudo sobre a temperatura de superfície de abelhas africanizadas *Apis mellifera* L. em colmeias sob condições de sol e sombra no Semiárido Nordeste foi realizado em duas etapas distintas, uma em laboratório, com colmeias de observação de paredes de vidro contendo um quadro de abelhas operárias adultas e a segunda no campo em apiário experimental com 12 colônias de abelhas africanizadas instaladas em colmeias modelo Langstroth.

### **4.2 Treinamento para medição da temperatura de superfície em colmeia de observação**

A primeira etapa deste trabalho foi desenvolvida no Laboratório de Enxameagem do CETAPIS-RN entre os anos 2012 e 2013 e consistiu primeiramente em um teste metodológico para avaliação precisa da temperatura de superfície de abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.). Nesta etapa utilizamos colmeias de observação (Figura 5) com paredes de vidro contendo internamente um quadro com abelhas operárias africanizadas adultas, alimento e rainha fecundada, oriundos de colônias de abelhas africanizadas do apiário experimental do CETAPIS. Esta etapa foi programada para se testar a metodologia e a programação de medida da temperatura corporal de várias partes do corpo das abelhas operárias adultas. Para as aferições da temperatura de superfície utilizou-se um mini termômetro de infravermelho (FLUKE mod. 62) que permitia medições de temperatura sem contato e disfunções de comportamento (Stabentheiner & Schmaranzer, 1987; Schmaranzer & Stabentheiner, 1988;

Kleinhenz et al., 2003) demonstrado na figura 4, considerando a emissividade infravermelha de 0,97 determinado para abelhas de acordo com Stabentheiner & Schmaranzer (1987).



**Figura 4.** Mini termômetro de infravermelho (FLUKE modelo 62) sem contato, utilizado para medir a temperatura de superfície de abelhas africanizadas.

FONTE: <http://www.fluke.com>



**Figura 5.** Colmeia de observação contendo um quadro de cria, instalada no Laboratório de Enxameagem do CETAPIS-RN. Mossoró-RN, CETAPIS/UFERSA, 2017.

No momento das coletas de dados as paredes de vidro da colmeia de observação eram retiradas para permitir a medida direta da temperatura, e a sequência dos treinamentos permitiu ao avaliador uma medição acurada e rápida (leitura dos dados a partir do primeiro foco infravermelho), com o mínimo de alteração comportamental possível.

A temperatura era medida sem contato, em três diferentes regiões do corpo, cabeça, tórax e abdômen, mantendo-se sempre o mesmo foco e distância (aproximadamente 10cm) entre o termômetro e a superfície corporal da abelha (Figura 6). As abelhas podiam entrar e sair a vontade através de um cano plástico que ligava a colmeia ao ambiente externo.



**Figura 6.** Medição da temperatura de superfície de abelhas africanizadas em colmeia de observação utilizando um mini termômetro de infravermelho. Mossoró-RN, CETAPIS/UFERSA, 2017.

#### 4.3 Coleta de dados em apiário experimental

A segunda etapa deste trabalho consistiu na parte de campo realizada em apiário experimental, de Outubro de 2014 a Agosto de 2015 onde utilizamos um total de 12 colônias de abelhas africanizadas, todas em condições o mais idênticas possíveis quanto ao tamanho populacional, alimentação, sanidade e contendo cada uma delas uma rainha fecundada, com o objetivo de se coletar também, dados de temperatura corporal de operárias. As colônias de

abelhas foram observadas ao ar livre, sendo portanto expostas à influência de alterações de temperatura, iluminação, umidade, velocidade do vento e outros fatores físicos ambientais. Nesta etapa utilizamos de cada vez, três colônias de abelhas instaladas em colmeias Langstroth com 10 quadros, com população uniforme, colocadas cada uma delas sob estruturas individuais com pilares de madeira, com espaçamento de 24 metros entre elas e com teto móvel feito com telhas de fibrocimento (Brasilit), para permitir que as colmeias ora recebessem a ação direta dos raios solares, ora ficassem cobertas e protegidas a sombra. Essas 3 colônias eram substituídas por outras colônias do apiário experimental a cada três meses, utilizando-se os mesmos critérios de escolha. Dessa forma, para as medidas de temperatura corporal das abelhas operárias e as demais avaliações, foram utilizadas durante o período experimental, 12 colônias de abelhas dispostas cada vez em grupos de três, colocadas sob as estruturas de madeira que permitiam que as colmeias ficassem ora expostas diretamente ao sol, ora protegidas e à sombra (Figura 7).



**Figura 7.** Estruturas construídas para as condições experimentais de sombreamento (esquerda) e exposição à radiação solar (direita). Mossoró-RN, CETAPIS/UFERSA, 2017.

O trabalho foi realizado em duas condições experimentais distintas:

- 1 – Colmeias expostas a radiação solar direta (colmeias ao sol)
- 2 – Colmeias protegidas da radiação solar direta (colmeias na sombra);

Para as coletas dos dados, a cobertura (telhas de fibrocimento) das estruturas de madeira eram retiradas, conforme a programação de coleta. Em total no experimento foram coletados dados de temperatura corporal de 3.600 operárias de abelhas africanizadas, sendo 1.800 de colmeias submetidas diretamente aos raios solares e 1.800 de colmeias protegidas, à

sombra. As coletas de dados ocorriam a cada 15 dias, sendo o primeiro dia destinado as análises das três colmeia sob condições de sombreamento. No final desse dia, quando finalizavam as coletas de dados, a cobertura era retirada e após dois dias de intervalo, procediam as análises das colmeias expostas diretamente à radiação solar. No final do dia, quando finalizavam as coletas de dados sob o sol, a cobertura era recolocada, aguardando as próximas coletas sob condições de sombreamento. As avaliações começavam às oito horas e terminavam às dezesseis horas. Todo o período de observação ao longo do dia foi dividido da seguinte forma:

- Período 1: todas as avaliações que aconteciam entre 08:00 e 09:00 horas
- Período 2: todas as avaliações que aconteciam entre 12:00 e 13:00 horas
- Período 3: todas as avaliações que aconteciam entre 15:00 e 16:00 horas

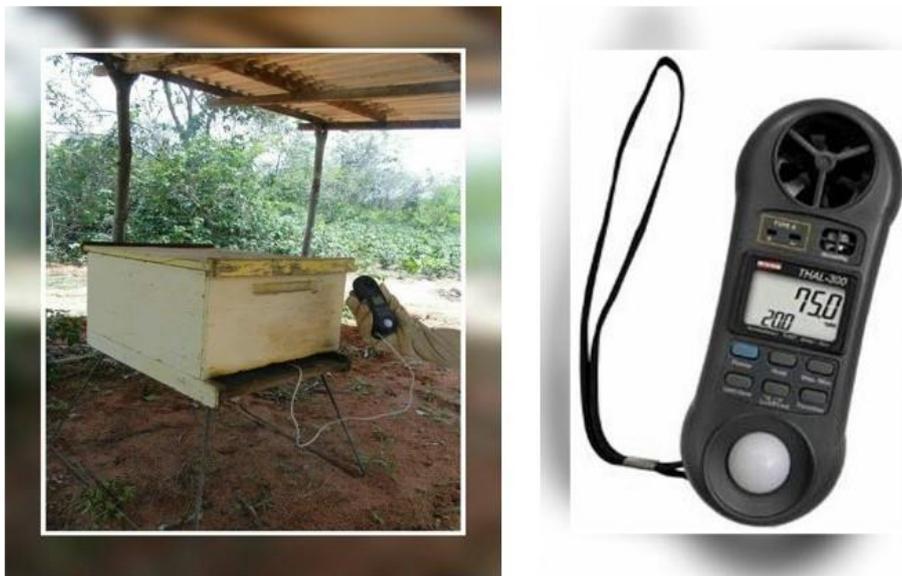
Devido à enorme escassez de alimento, comum na época seca da região semiárida brasileira, as colônias foram alimentadas para evitar a enxameação por abandono. Duas vezes por semana, cada colônia recebeu 250 mL de alimentação energética, composta por 60% de água e 40% de açúcar. Para coletar água as abelhas utilizavam um tanque de água localizado a aproximadamente 200 metros das colmeias (Figura 8).



**Figura 8.** A) Tanque de água da Fazenda Experimental da UFERSA e B) presença de abelhas coletando água. Mossoró-RN, CETAPIS/UFERSA, 2017.

#### 4.4 Temperatura e umidade interna da colmeia

Em cada dia de coleta e para cada período de hora, foram registradas as temperaturas e umidades internas das três colônias, com o mínimo possível de influência experimental, nos seguintes horários: às 8:00, 12:00 e 15:00 horas. Para isto, sensores termopar tipo K eram acoplados a um termohigrômetro digital - Instrutherm, HT-300 e inseridos na parte central da colmeia (Figura 9).



**Figura 9.** A) Sensor termopar tipo K acoplado a um termo-higrômetro digital inserido no centro do alvado para a medição da temperatura e umidade interna das colmeias. B) Termo-higrômetro digital. Mossoró-RN, CETAPIS/UFERSA, 2017

#### 4.5 Temperatura de superfície

As medições da temperatura de superfície aconteciam às 8:00, 9:00, 12:00, 13:00, 15:00 e 16:00 horas. Como precisava-se de um tempo maior para esta avaliação, era utilizado uma colmeia em cada um desses horários, sendo assim, era avaliadas duas colmeias no período 1, duas no período 2 e duas no período 3. Para isto, eram retirados, de cada colmeia, três quadros com abelhas, um da parte central, e um de cada lateral da colmeia e a seguir mensurados os dados de temperatura de superfície de 10 abelhas de cada quadro, escolhidas ao acaso.

Os quadros eram retirados individualmente sempre iniciando com o quadro central, e após a mensuração da temperatura de superfície das 10 abelhas, o quadro era devolvido. Em seguida, retirava-se um quadro de uma das laterais para a medição da temperatura de mais 10 abelhas, devolvendo-se o quadro e procedia as medições com mais 10 abelhas que estavam no quadro da outra lateral da colmeia. Assim, em cada período de observação era avaliada a temperatura de superfície de trinta 30 abelhas por colmeia, totalizando 60 abelhas por período e 180 abelhas avaliadas em cada dia de observação.

A temperatura da superfície corporal foi aferida em três partes do corpo da abelha: cabeça, tórax e abdômen, utilizando-se um mini termômetro de infravermelho (FLUKE mod. 62) já demonstrado na figura 6, e seguindo os mesmos critérios utilizados durante a fase de treinamento.

Em cada período foram avaliadas também a temperatura torácica de abelhas que estavam retornando do campo, imediatamente após sua chegada no alvado. Em cada uma das três colmeias eram mensurados a temperatura torácica de 10 abelhas, totalizando 30 abelhas por período e 90 abelhas avaliadas em cada dia de observação.

#### **4.6 Avaliação da atividade de ventilação**

A avaliação da atividade de ventilação foi realizada sempre pelo mesmo observador, diminuindo a possibilidade de erros causados pela interpretação de diferentes observadores. As observações do comportamento social e registro dos dados para o trabalho de ventilação, foram feitos a partir dos métodos de amostragem comportamental de Martin & Bateson (1993), sendo utilizado o “registro temporal instantâneo” em que as observações são realizadas e em seguida registra-se se o comportamento ocorre ou não; e em “escala ordinal” em que não utiliza-se atribuição de valor numérico, ou seja, os itens foram então relacionados entre si através da “relatividade”, onde um é mais, menos ou igual ao outro, mas não se sabe o quanto. Assim, em cada período de observação foi registrado se havia ou não, abelhas realizando o comportamento de ventilação e essa observação classificada em quatro níveis:

Nível 1: Nenhuma atividade de ventilação: Quando não foi observada nenhuma abelha ventilando no alvado, sendo representada como 0% de atividade ventilatória.

Nível 2: Baixa atividade de ventilação: Quando uma quantidade muito pequena de abelhas foi observada ventilando no alvado, sendo representada como 20% de atividade ventilatória.

Nível 3: Média atividade de ventilação: Quando pelo menos metade da área do alvado estava ocupado com abelhas realizando o trabalho de ventilação, sendo representada como 50% de atividade ventilatória.

Nível 4: Alta atividade de ventilação: Quando toda a área do alvado estava ocupado com abelhas realizando o trabalho de ventilação, sendo representada como 100% de atividade ventilatória.

#### 4.7 Dados meteorológicos

As variáveis meteorológicas temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa do ar (%), radiação solar ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) e velocidade do vento ( $\text{m}/\text{s}$ ) foram obtidos por meio do banco de dados da Estação Meteorológica do CETAPIS, instalada na Fazenda Experimental Rafael Fernandes (Figura 10). Os diferentes níveis de radiação ao longo do dia, foram divididos em quatro classes:

Classe 1:  $< 300 \text{ W}/\text{m}^2$

Classe 2: 300 a  $700 \text{ W}/\text{m}^2$

Classe 3: 700 a  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$

Classe 4:  $>1000 \text{ W}/\text{m}^2$



**Figura 10.** Estação Meteorológica automática do CETAPIS, instalada na Fazenda Experimental Rafael Fernandes.

#### 4.8 Análise estatística

A análise de variância foi realizada pelo método dos quadrados mínimos (SILVA, R.G., 1993) considerando no modelo estatístico os efeitos fixos (Ambiente, Hora, Nível de radiação) e suas interações sobre a temperatura e umidade interna das colmeias, além da temperatura superficial das abelhas no alvado e no interior das colmeias. A comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey-Kramer ( $P < 0,01$ ). Para verificar a relação entre a temperatura interna e as variáveis ambientais foi realizado o teste de correlação de Pearson ( $P < 0,01$ ).

Para testar a ocorrência de diferentes níveis de ventilação (%) entre os dois ambientes onde as colmeias estavam (sol e sombra), o teste de Qui-quadrado de Pearson ( $\chi^2$ ) foi aplicado com  $P < 0,05$ . Toda a análise dos dados mencionados acima foi realizada utilizando o software Statistical Analysis System (SAS, 1999). Também foi realizado uma análise de regressão para verificar a dependência entre as temperaturas interna das colmeias e do ambiente utilizando o software OriginPro 8.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Variáveis meteorológicas

A tabela 2 mostra os valores médios, mínimos e máximos da temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa do ar, e velocidade do vento observados durante o período experimental.

**Tabela 2.** Valores médios, mínimos e máximos das variáveis ambientais temperatura do ar, radiação solar global, umidade relativa do ar e velocidade do vento observados em Mossoró, RN, Brasil, de Outubro de 2014 a Agosto de 2015.

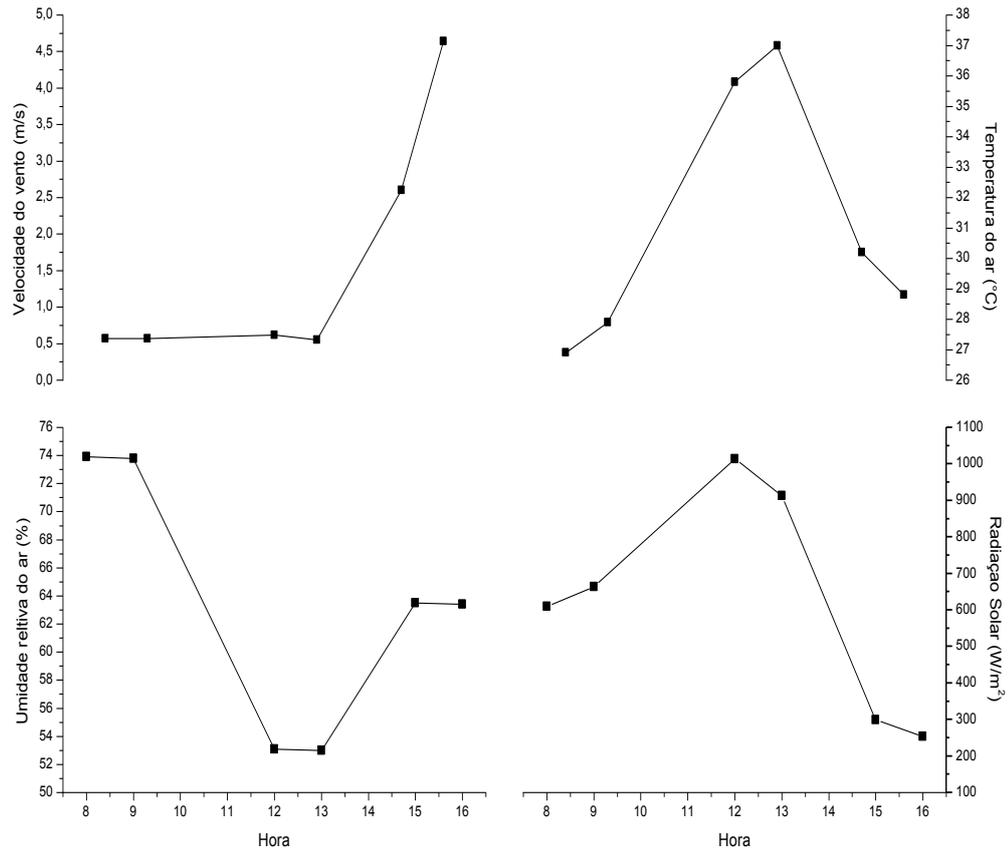
Variável	Média±EPM	Mínimo	Máximo
Temperatura do ar (°C)	30,9±0,23	25,8	38,9
Umidade relativa (%)	62,0±0,57	42,3	79,3
Radiação Global (W/m <sup>2</sup> )	644,0±17,9	209	1123
Velocidade do vento (m/s)	1,52±0,09	0,03	6,32

EPM: Erro padrão da média.

Entre Outubro de 2014 e Agosto de 2015 observou-se em Mossoró-RN uma média da temperatura do ar e da radiação solar de ondas curtas de 30,9° C e 644 W.m<sup>-2</sup>, respectivamente (Tabela 2), com valores máximos de 38,9°C e 1123 W.m<sup>-2</sup> em torno do meio-dia e 13 horas. As temperaturas do ar mais baixas foram observadas entre 08h00 e 09h00, já os menores valores para a radiação solar foram observados entre 15h00 e 16h00, nesse mesmo horário, também foram observados os maiores valores para a velocidade do vento (6,32m/s). A umidade média relativa (62%) teve seus valores mínimos (42,3%) observados entre 12h00 e 13h00. O máximo de umidade relativa foi de 79,3%.

A Figura 11 mostra a variação das médias da temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, conforme os horários de observação. A análise de correlação entre os dados das variáveis meteorológicas mostraram uma correlação negativa entre a umidade relativa com a temperatura do ar. Essa correlação mostra que a elevação da

temperatura do ar foi seguida pela elevação da pressão de saturação do ar em nível maior do que a elevação na pressão parcial de vapor, obviamente, maior capacidade da atmosfera para receber vapor, portanto queda na umidade relativa. A temperatura do ar foi positivamente correlacionada com a radiação solar. A umidade média relativa foi de 62% e a velocidade média do vento foi de 1,52 m/s.



**Figura 11.** Valores médios da velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura do ar e radiação solar global, observados em Mossoró, RN, Brasil, de Outubro de 2014 a Agosto de 2015.

## 5.2 Temperatura interna, umidade interna colmeias e atividade de ventilação

Na tabela 3 encontram-se as médias das temperaturas internas, valores mínimos e máximos das colmeias para cada horário de observação nos dois ambientes, sol e sombra e na

tabela 4 constam os resultados das análises de variância da temperatura interna e da umidade interna das colmeias. Houve efeito do ambiente (sol e sombra), da hora e da interação vs. ambiente, na variação temperatura interna e da umidade interna das colmeias ( $P < 0,01$ ).

**Tabela 3.** Médias das temperaturas internas das colmeias, valores mínimos e máximos, para cada horário de observação, nos dois ambientes, sol e sombra. Diferentes letras maiúsculas no mesmo ambiente indicam diferença significativa entre os horários (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ). Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre os ambientes, no mesmo horário (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

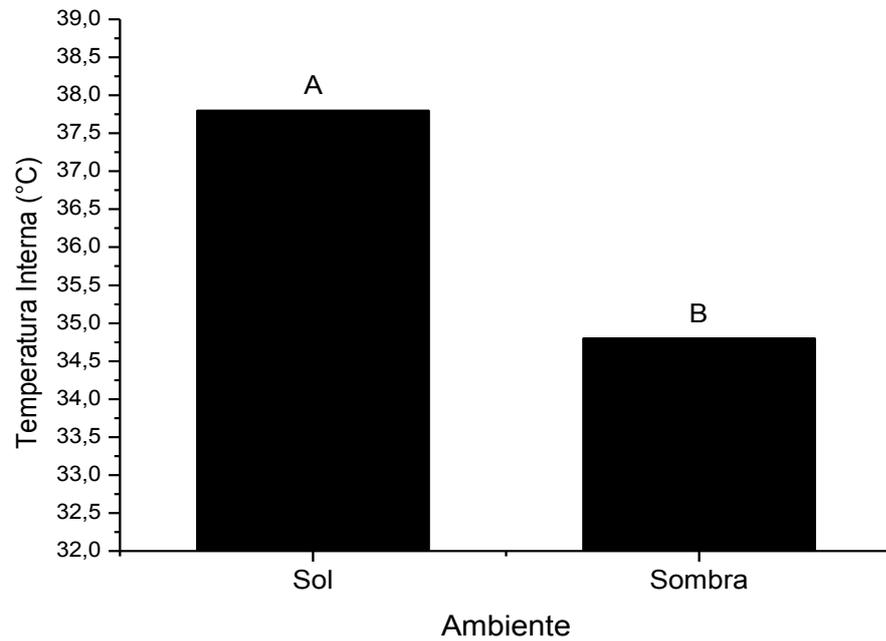
Ambiente	Hora	Média±EPM	Mínimo	Máximo
Sombra	8	33,6±0,01 <sup>Ca</sup>	33,4	33,6
	12	36,1±0,01 <sup>Aa</sup>	36,0	36,3
	15	34,8±0,01 <sup>Ba</sup>	34,7	34,9
Sol	8	36,7±0,01 <sup>Cb</sup>	36,6	37,0
	12	39,3±0,01 <sup>Ab</sup>	39,1	39,5
	15	37,2±0,01 <sup>Bb</sup>	37,1	37,4

EPM: Erro padrão da média.

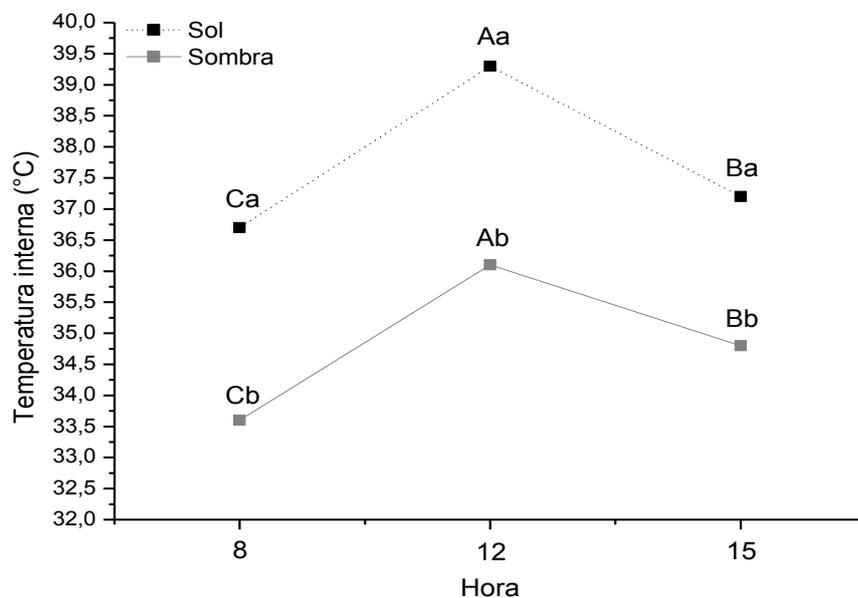
**Tabela 4.** Resumo da análise de variância da temperatura interna e da umidade interna.

Fonte de variação	GL	Tin	URin
Ambiente	1	567,61*	7083,01*
Hora	2	151,23*	1443,78*
Ambiente x Hora	2	3,37*	1490,86*
CV (%)	-	0,14	0,48
R <sup>2</sup>	-	0,99	0,99

Os dados referentes à temperatura interna da colmeia mostraram que há diferença estatisticamente significativa entre as temperaturas internas das colmeias ( $P < 0,01$ ), quando as colmeias estão expostas e protegidas da radiação solar direta (Figura 12) e também para os três horários de observação (Figura 13), sendo que as colmeias ao sol apresentaram sempre médias de temperatura interna significativamente maiores.



**Figura 12.** Média geral da temperatura interna de colmeias de abelhas africanizadas em dois ambientes, sol e sombra. Diferentes letras indica diferença significativa (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).



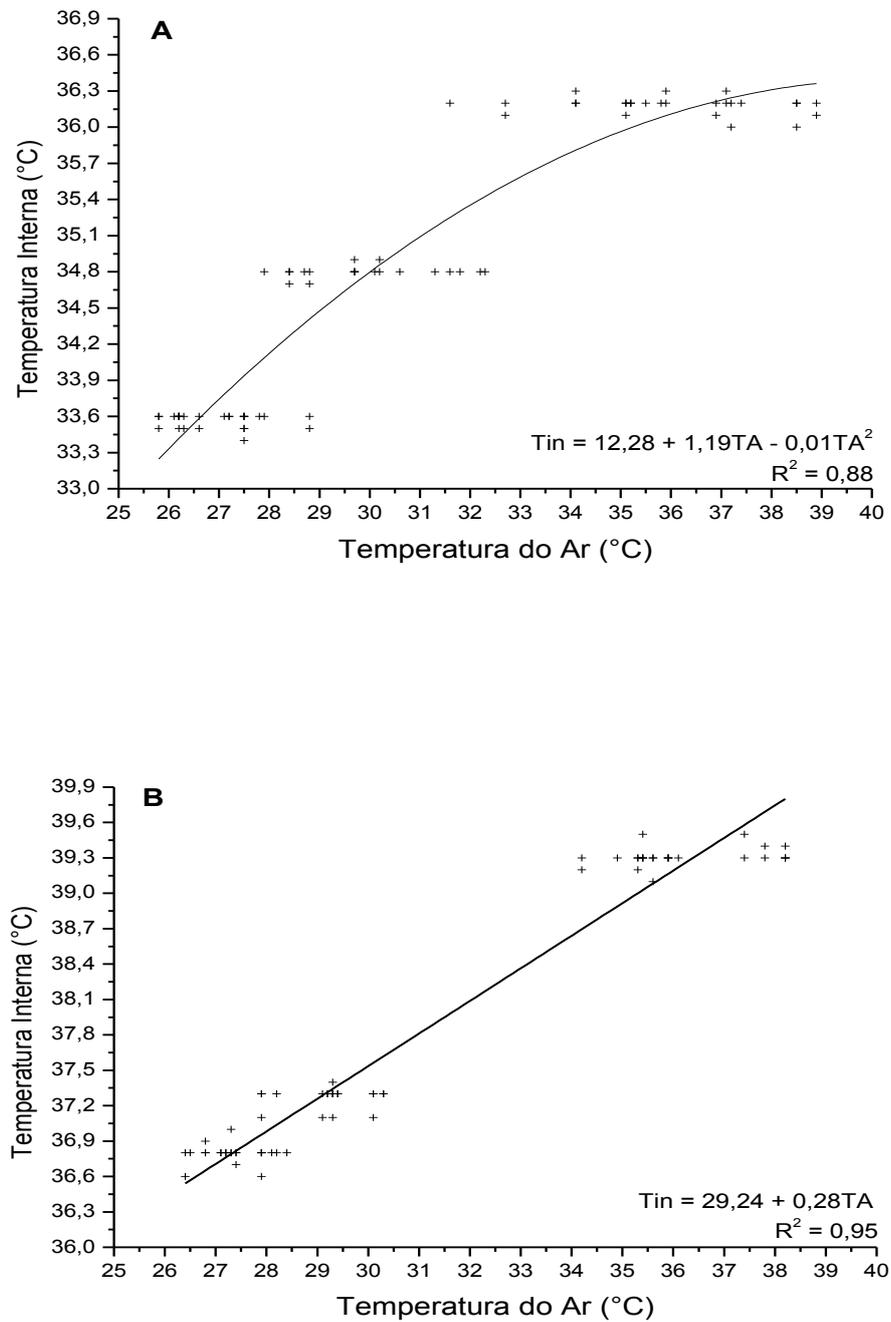
**Figura 13.** Valores médios da temperatura interna de colmeias de abelhas africanizadas expostas (sol) e protegidas da radiação solar direta (sombra), em três diferentes horários de observação. Diferentes letras maiúsculas no mesmo ambiente indicam diferença significativa entre os horários (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ). Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre os ambientes, no mesmo horário (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

A média da temperatura interna das colmeias a sombra foi 34,8°C, já ao sol o valor médio foi de 37,8°C (Figura 12). As colmeias ao sol apresentaram temperatura interna em média 3°C maior que a temperatura nas colmeias a sombra nos três horários registrados (Tabela 3). Com relação aos horários de observação, houve comportamento semelhante nas duas condições ambientais (sol e sombra), apresentando valores de temperatura mais elevadas as 12h00, valores intermediários as 15h00 horas e valores mais baixos as 08h00 (Figura 13, Tabela 3).

As médias da temperatura interna às 08h00 foram 33,6°C a sombra e 36,7°C ao sol, as 12h00 a média a sombra foi 36,1°C e ao sol 39,3°C e as 15h00 essas médias foram 34,8°C e 37,2°C respectivamente. As 12h00 as temperaturas internas tanto no sol como na sombra tiveram seus valores máximos observados, sendo que para este horário, o valor máximo encontrado foi de 36,3°C a sombra e 39,5°C ao sol. Os valores de temperatura interna mais baixos foram observados as 08h00, sendo o valor mínimo 33,4°C observado nas colmeias protegidas da radiação solar, e 36,6°C nas colmeias expostas a radiação solar direta. As menores diferenças de temperatura entre as avaliações ao sol e a sombra foram encontradas no horário das 15h00, quando as diferenças eram em torno de 2,4°C. Para as 08h00 e 12h00 essas diferenças chegaram a 3,1°C e 3,2°C, respectivamente.

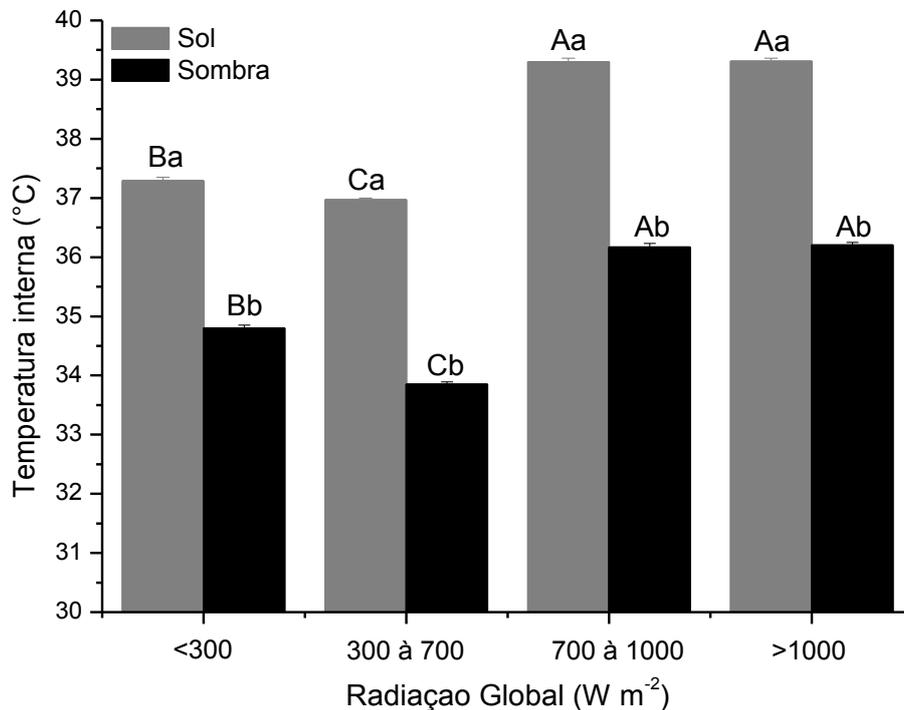
Houve correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade entre todas as variáveis meteorológicas e a temperatura interna. Para a temperatura do ar e temperatura interna das colmeias o coeficiente de correlação foi significativo, tanto ao sol ( $r=0,97$ ) como a sombra ( $r=0,92$ ) indicando que existe forte correlação positiva entre as duas variáveis estudadas. A temperatura interna também demonstrou forte dependência da radiação solar, muito embora para as colmeias que estavam a sombra, essa dependência foi menos pronunciada ( $r=0,56$ ) do que quando comparadas com as colmeias ao sol ( $r=0,79$ ).

Como mostram as regressões (Figura 14 A e B), a temperatura interna das colmeias dependia significativamente da temperatura externa ( $P<0,01$ ), (Tabela 2 e Figura 11), ou seja, as temperaturas atingidas dentro da colmeia variavam de acordo com a variação da temperatura externa ambiente. O coeficiente de determinação e a equação que melhor se ajusta aos dados, também estão descritos na figura 14 A e B. Em A, ambiente sombra, estas variáveis apresentaram uma relação quadrática e em B, ambiente sol, uma relação linear.



**Figura 14.** Temperatura interna de colmeias de abelhas africanizadas em dependência da temperatura do ar, onde A é referente as colmeias à sombra e B ao sol.

O resultado da interação entre a temperatura interna das colmeias e as 4 classes de radiação, para os dois ambientes, estão demonstrados na figura 15.



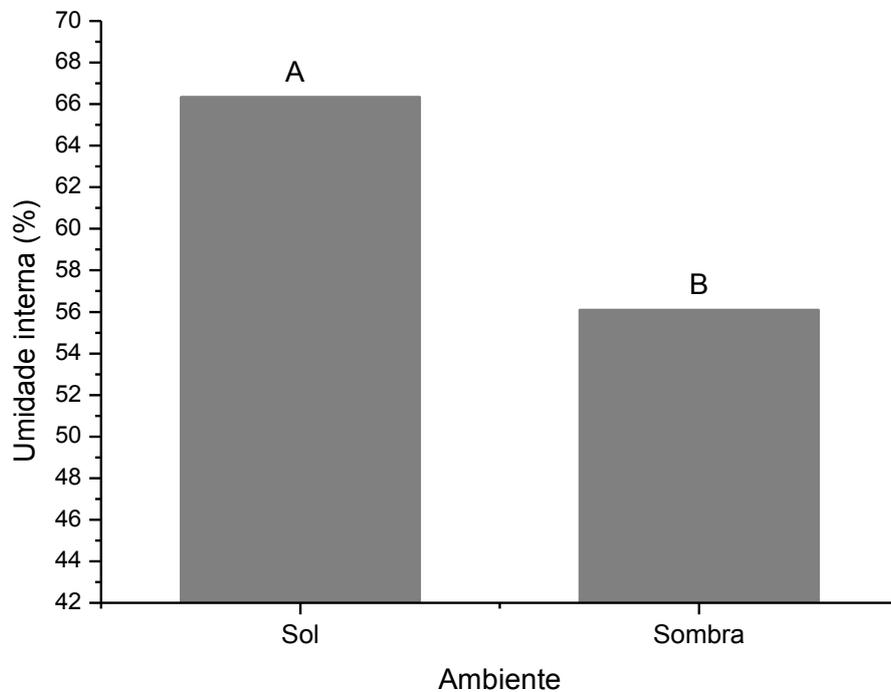
**Figura 15.** Interação entre a temperatura interna de colmeias de abelhas africanizadas, e quatro classes de radiação, em dois ambientes, sol e sombra. Diferentes letras maiúsculas no mesmo ambiente indicam diferença significativa entre os níveis de radiação global (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ). Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre os ambientes, dentro do mesmo nível de radiação global (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

Em todas as classes de radiação houve diferença entre os ambientes ( $P < 0,01$ ). Ao sol, as maiores médias para a temperatura interna foram observadas nas classes 3 e 4, essas duas classes de radiação diferiram das classes 1 e 2 onde foram observados valores menores para a temperatura interna. O mesmo comportamento ocorreu na sombra, no entanto com médias inferiores.

A figura 15 expressa claramente a influência da radiação global sobre a temperatura interna das colmeias, sendo que esta influência é ainda maior quando as colmeias estão expostas a radiação. Nos dois ambientes, as abelhas regulavam a temperatura interna a um nível bastante constante em uma faixa de radiação até  $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . No entanto, há um aumento expressivo da temperatura interna quando a radiação solar atinge  $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , pois é neste momento onde o aumento da temperaturas interna é mais expressivo. Como mostra a figura 11, esse valor de radiação já pode ser observados nas primeiras horas da manhã. Na sombra, mesmo quando a radiação encontra-se na faixa de  $700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , apesar do aumento quando comparado as classes 1

e 2, a temperatura interna mantém-se dentro da faixa considerada ótima para as abelhas (35°C). No sol, mesmo quando a radiação solar é inferior a 300W.m<sup>-2</sup>, a colmeia já encontra-se fora da faixa de conforto térmico com temperaturas acima de 37°C e consegue mantê-la nessa faixa até 700W.m<sup>-2</sup>, mas é a partir dessa classe de radiação, que acontece um aumento drástico da temperatura interna que chega próximo a 40°C.

Os dados referentes à umidade relativa interna da colmeia mostraram que também há diferença (P<0,01), para esta variável quando as colmeias estão expostas e protegidas da radiação solar direta (Figura 16).

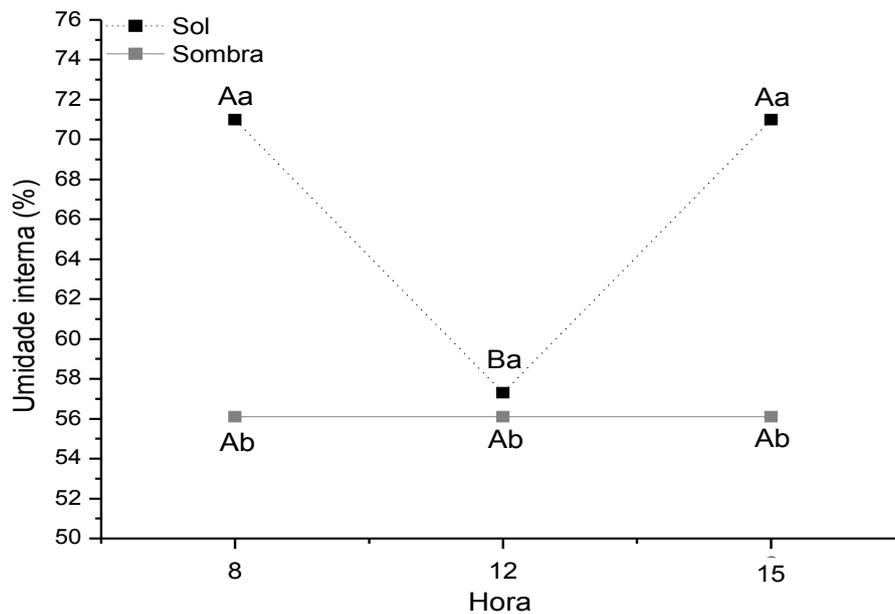


**Figura 16.** Média geral da umidade interna de colmeias de abelhas africanizadas em dois ambientes, sol e sombra. Diferentes letras indicam diferença significativa (Tukey-Kramer, P < 0,01).

Houve também diferença (P<0,01), para os três horários observados (Figura 17), sendo que as colmeias ao sol apresentaram sempre médias de umidade relativa interna significativamente maiores. A tabela 5 mostra os valores médios, mínimos e máximos para a umidade relativa interna, em cada horário de observação e para os dois ambientes, sol e sombra.

**Tabela 5.** Médias da umidade interna, valores mínimos e máximos, para cada horário de observação, nos dois ambientes, sol e sombra. Diferentes letras maiúsculas no mesmo ambiente indicam diferença significativa entre os horários (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ). Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre os ambientes, no mesmo horário (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

Ambiente	Hora	Média±EPM	Mínimo	Máximo
Sombra	8	56,1±0,05 <sup>Aa</sup>	56,0	56,4
	12	56,1±0,05 <sup>Aa</sup>	56,0	57,1
	15	56,1±0,04 <sup>Aa</sup>	55,1	57,1
Sol	8	71,0±0,05 <sup>Ab</sup>	69,8	71,3
	12	57,3±0,01 <sup>Bb</sup>	56,9	57,2
	15	71,0±0,05 <sup>Ab</sup>	69,9	71,3



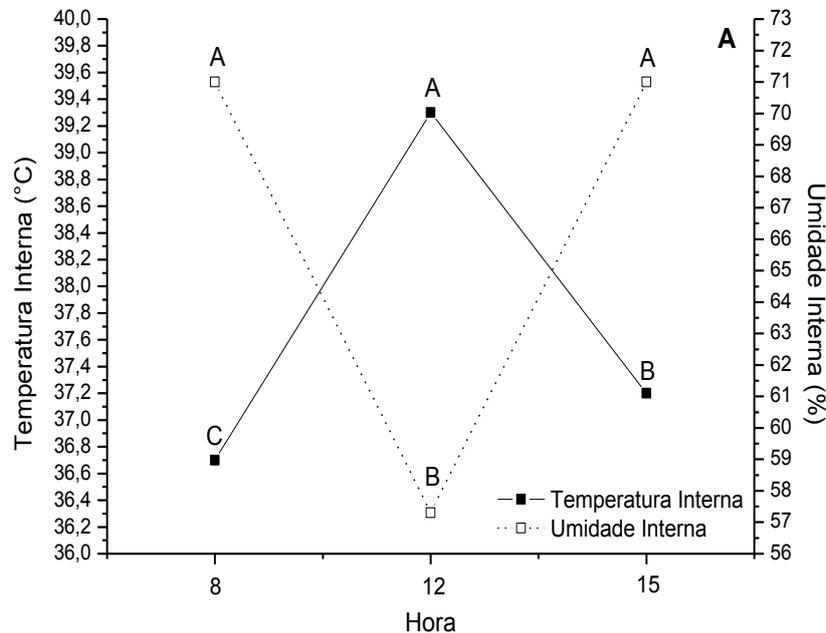
**Figura 17.** Valores médios da umidade interna de colmeias de abelhas africanizadas expostas (sol) e protegidas da radiação solar direta (sombra), em três diferentes horários de observação. Diferentes letras maiúsculas no mesmo ambiente indicam diferença significativa entre os horários (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ). Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre os ambientes, no mesmo horário (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

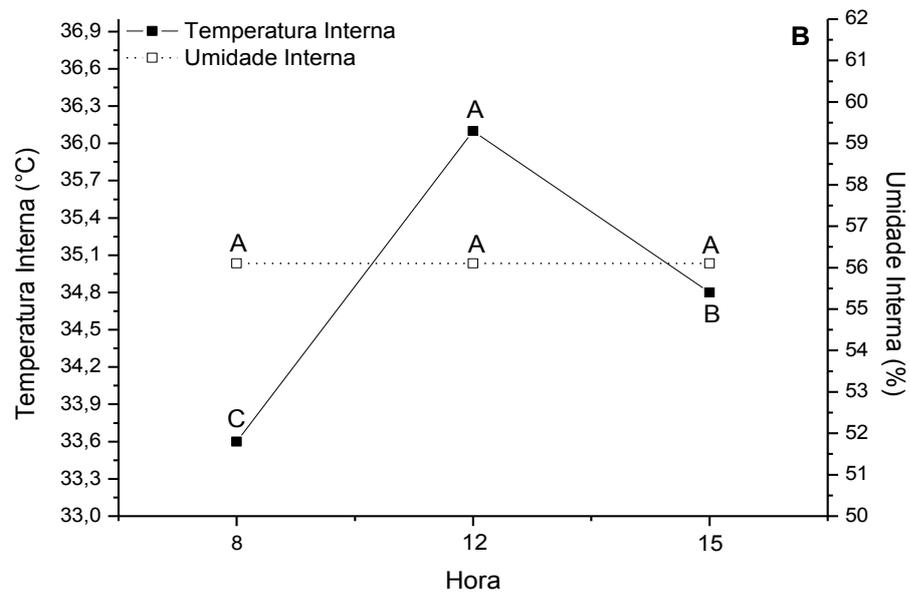
A média da umidade relativa interna das colmeias a sombra foi 56,1%, já ao sol o valor médio foi de 66,4%. Não houve diferença significativa entre os horários de observação para as colmeias que estavam à sombra.

Já para as colmeias ao sol, a umidade interna no horário das 12h00 foi significativamente menor ( $P < 0,01$ ), que a umidade nos horários das 08h00 e das 15h00, e estes não diferiram entre si (Tabela 5). As médias da umidade interna no sol foram 71, 57 e 71% para os horários das 08h00, 12h00 e 15h00 respectivamente.

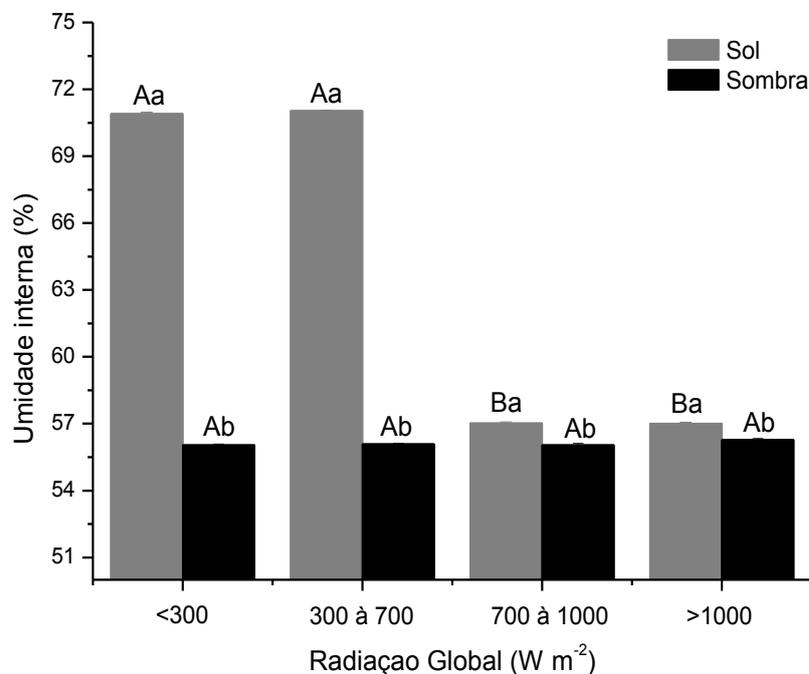
Para as colmeias ao sol, houve correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade entre as variáveis meteorológicas, temperatura do ar e radiação solar com a umidade interna. Para a temperatura do ar e a umidade interna das colmeias ao sol, o coeficiente de correlação foi negativo ( $r = -0,95$ ). A umidade interna também demonstrou forte correlação negativa com a radiação solar ( $r = -0,87$ ).

A figura 18 mostra o comportamento da umidade interna em relação a temperatura interna da colmeia nos três horários de observação nos ambientes sol (A) e sombra (B), e a figura 19 mostra a interação entre umidade interna e as classes de radiação, nos dois ambientes.



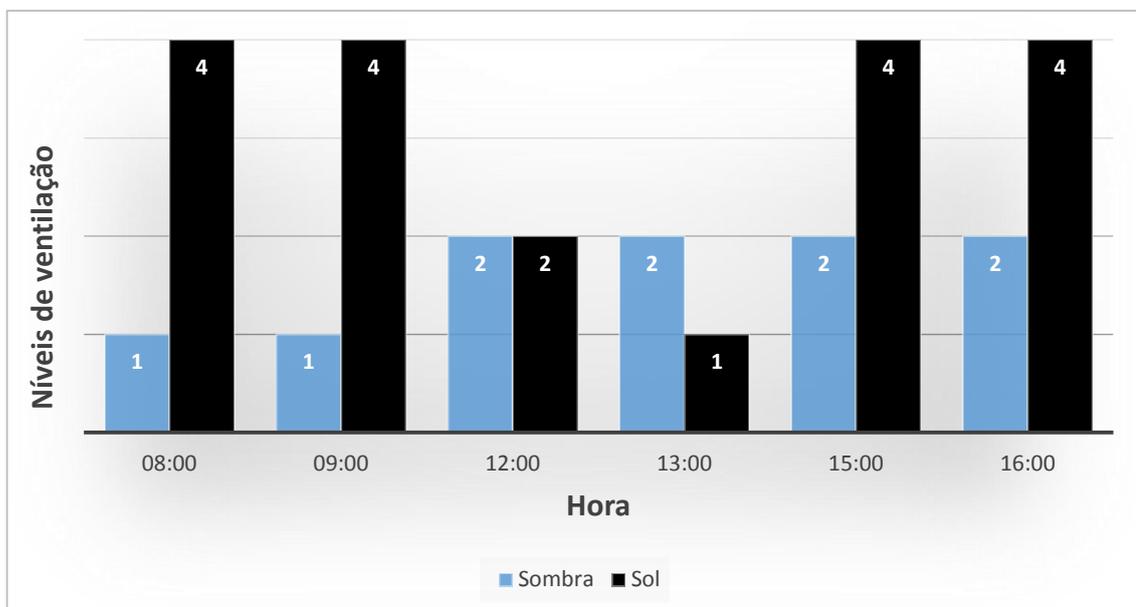


**Figura 18.** Valores médios da umidade interna em relação a temperatura interna da colmeia nos três horários de observação nos ambientes sol (A) e sombra (B). Diferentes letras na mesma variável indicam diferença significativa (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).



**Figura 19.** Interação entre a umidade interna de colmeias de abelhas africanizadas, e quatro classes de radiação, em dois ambientes, sol e sombra. Diferentes letras maiúsculas no mesmo ambiente indicam diferença significativa entre os níveis de radiação global (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ). Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre os ambientes, dentro do mesmo nível de radiação global (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

Na sombra, independente das condições ambientais, as abelhas conseguiram manter a umidade relativa estável em torno de 56%. Já no sol, houve um aumento da umidade interna bastante expressivo as 8:00 e às 15:00 horas que não pode justificado pelas condições ambientais. A temperatura interna estava muito mais elevada no sol (figura 18A) do que na sombra, e como temperatura e umidade são correlacionadas negativamente, a umidade interna no sol deveria ter sido bem mais baixa do que na sombra. Sendo assim, o aumento da umidade interna nesses dois horários (8:00 e 15:00) podem ser justificados por um comportamento termorregulatório das abelhas, que sob altas temperaturas coletam água e fazem aspersão dentro da colmeia com o intuito de baixar a temperatura interna, o que acaba consequentemente aumentando a umidade. Para que a temperatura interna baixe, é preciso que haja evaporação das gotas de água que são jogadas dentro da colmeia, e esse processo de evaporação é acelerado quando as abelhas começam a ventilar. Há então a necessidade de que uma grande quantidade de abelhas sejam recrutadas para ventilar. É justamente esse comportamento que está demonstrado na figura 20, que mostra em que níveis acontece a atividade de ventilação com as colmeias ao sol e a sombra.



**Figura 20.** Níveis da atividade de ventilação de abelhas africanizadas expostas e protegidas da radiação solar, em função da hora do dia.

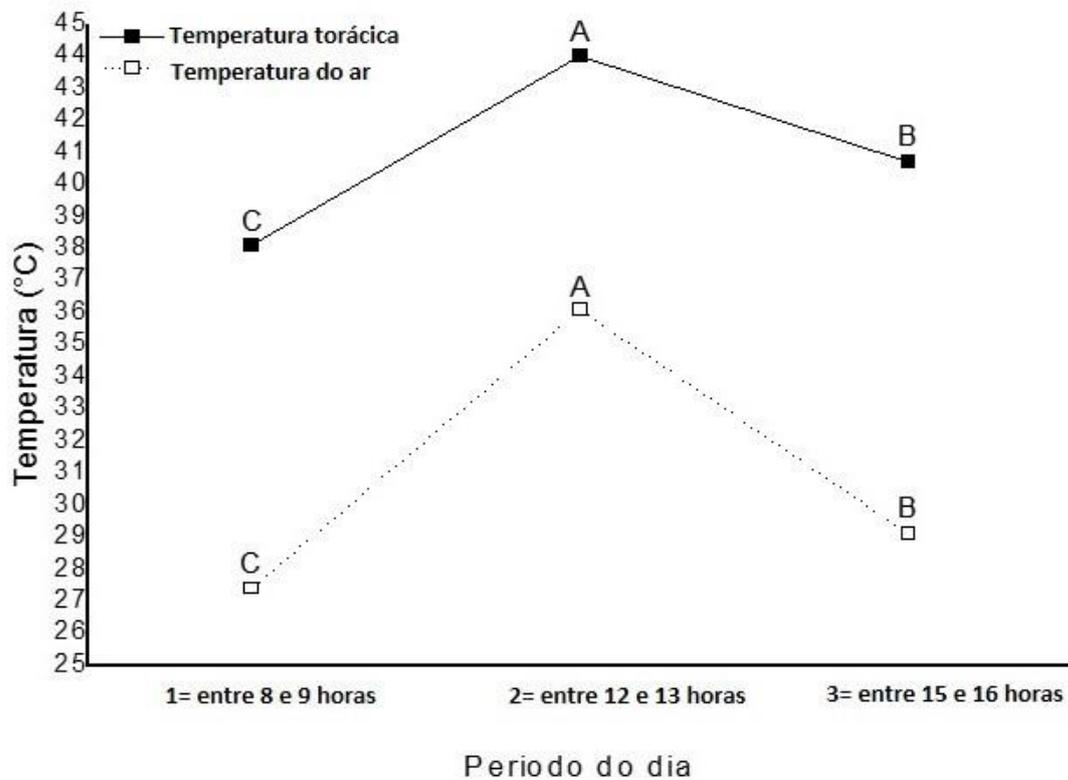
Na sombra, às 8:00 e às 9:00 horas a atividade de ventilação está representada no nível 1, ou seja, não há abelhas ventilando nesses horários. Às 12:00 e 13:00 horas o comportamento de ventilação foi observado, mas apenas no nível 2, ou seja, na sombra, mesmo sendo nesses horários onde ocorrem as maiores temperaturas e maiores níveis de radiação, apenas poucas abelhas eram recrutadas para ventilar a colmeia. O mesmo comportamento aconteceu às 15:00 e às 16:00 horas.

Com as colmeias expostas ao sol, às 8:00 e às 9:00 horas já haviam abelhas ventilando no nível 4, ou seja, mesmo nos horários em que as temperaturas são mais amenas, uma quantidade muito elevada de abelhas estava sendo recrutada para ventilar a colmeia. O mesmo comportamento aconteceu às 15:00 e às 16:00. Às 12:00 horas quando temperatura do ar e radiação solar atingem seus picos, há uma diminuição na atividade de ventilação, que passa para o nível 2, enquanto que às 13:00 horas a atividade de ventilação é nula.

Com esses resultados podemos perceber que quando as colmeias estão expostas ao sol, os horários em que a umidade se eleva, é também os horários em que a atividade de ventilação é máxima, mostrando que as abelhas não só levam água para a colmeia (que acaba aumentando a umidade interna) mas também realizam o trabalho de ventilação para que a temperatura baixe o mais rápido possível.

### **5.3 Temperatura torácica de abelhas forrageiras**

A Figura 21 mostra os valores médios da temperatura torácica de abelhas operárias forrageiras em três períodos diferentes ao longo do dia, bem como valores médios de temperatura do ar e indica que há diferença ( $P < 0,01$ ) para esta variável nos três períodos de observação. Para esta característica foram avaliadas a temperatura torácica de 1.440 abelhas em atividades de forrageamento. A temperatura média do ar entre 8 e 9 horas foi de 27,5°C, entre 12 e 13 horas foi de 36,1°C e entre 15 e 16 horas foi de 29°C sendo que os valores das temperaturas médias torácicas nesses períodos foram de 38,1°C, 44°C e 40,7°C, respectivamente.



**Figura 21.** Valores médios da temperatura do ar e da temperatura torácica de abelhas forrageiras em três períodos diferentes ao longo do dia. Diferentes letras indica diferença significativa entre períodos (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

Os valores mais elevados para a temperatura torácica de abelhas forrageiras foram encontrados no período 2 (entre 12 e 13 horas) quando a temperatura do ar era em média  $36,1^{\circ}\text{C}$  e a radiação solar  $973\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Nesse período a temperatura torácica era em média  $44,0^{\circ}\text{C}$  mas chegou a um valor extremo de  $44,3^{\circ}\text{C}$ , valor muito próximo a temperatura letal em abelhas que é em torno de  $47^{\circ}\text{C}$ . Quando a média da radiação solar caía para  $289\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$  a temperatura torácica das abelhas diminua para  $40,7^{\circ}\text{C}$ , uma diferença de mais de  $3^{\circ}\text{C}$ . A tabela 6 mostra as temperaturas torácicas com seus respectivos valores mínimos e máximos, para cada período de observação. Esses resultados mostram que não só a atividade dos músculos torácicos influencia na elevação da temperatura torácica, mas também a temperatura do ar e a carga de radiação recebida quando estão desenvolvendo suas atividades de forrageamento.

**Tabela 6.** Médias da temperatura torácica, valores mínimos e máximos, em três períodos ao longo do dia. Letras sobrescritas distintas indicam grupos de dados significativamente diferentes ((Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

Período do dia	Média±EPM	Mínimo	Máximo
1	38,1±0,01 <sup>C</sup>	37,9	38,4
2	44±0,01 <sup>A</sup>	43,7	44,3
3	40,7±0,01 <sup>B</sup>	40,5	40,9

#### 5.4 Temperatura de superfície: cabeça, tórax e abdômen

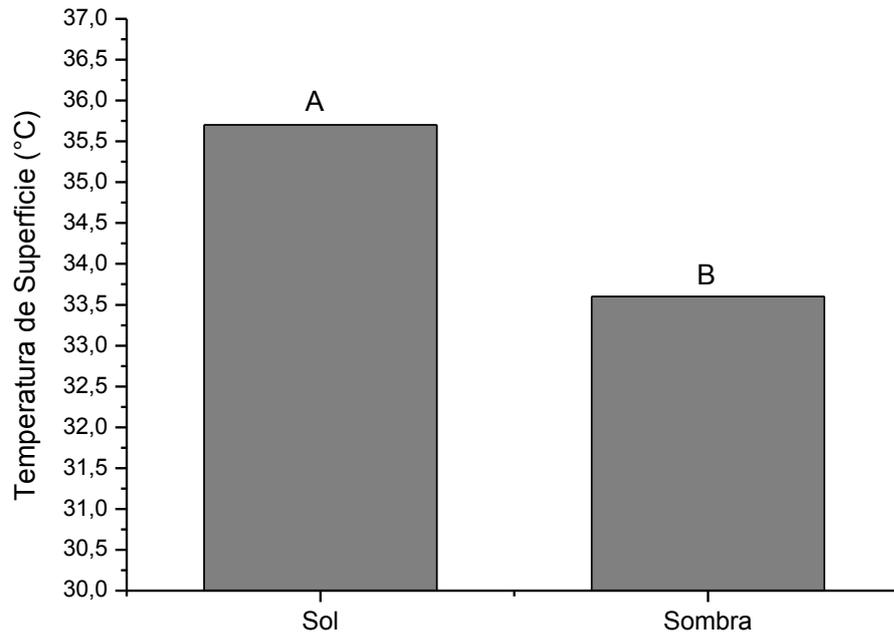
Como mostra o resumo das análises de variância (Tabela 7) da temperatura de superfície, todos as fontes de variação consideradas no modelo estatístico apresentaram efeito significativo sobre a temperatura de superfície ( $P < 0,01$ ).

**Tabela 7.** Resumo da análise de variância dos efeitos da região corporal, hora, ambiente, quadro e suas respectivas interações consideradas no modelo estatístico sobre a temperatura de superfície das abelhas estudadas.

Fonte de variação	GL	Qm
Região corporal	2	3.871,39*
Hora	5	2.132,62*
Região corporal (Hora)	10	197,06*
Ambiente	1	12.121,13*
Região corporal (Ambiente)	2	359,91*
Quadro	1	9,29*
Região corporal (Quadro)	2	26,16*
Região corporal * Hora * Ambiente	15	1.015,54*
Região corporal * Ambiente * Quadro * Período	33	52,83*
Resíduo	10.722	0,12*

GL: Grau de liberdade; Qm: Quadrados médios; \* $P < 0,01$

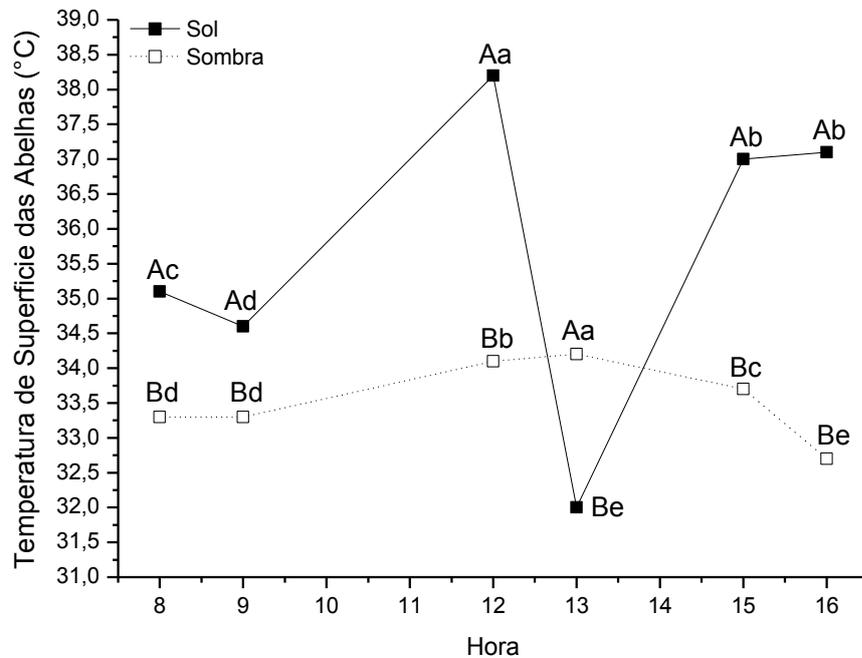
Como mostra a figura 22, houve diferença estatística ( $P < 0,01$ ) para a temperatura de superfície das abelhas nos dois ambientes avaliados, sendo que a média para sombra foi 33,6°C e para o sol 35,7°C. Foram observadas também diferenças ( $P < 0,01$ ) entre as médias nos diferentes horários de observação e entre os ambientes (figura 23).



**Figura 22.** Média geral da temperatura de superfície de abelhas africanizadas em dois ambientes, sol e sombra. Diferentes letras indica diferença significativa (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

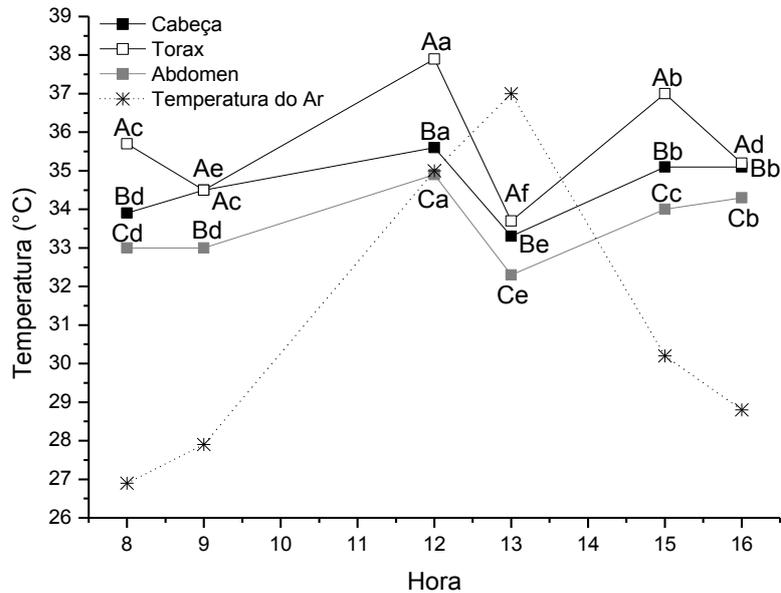
À sombra, as temperaturas de superfície variaram de 32,7 a 34,2°C, já ao sol essa variação foi de 32 a 38,2°C. Às 12:00 horas, quando a temperatura do ar era de 35,8°C e a radiação solar 1014 W.m<sup>-2</sup> houve um incremento na temperatura de superfície que era em média 33,3°C (09h00) e aumentou para 34,1°C. Com a queda da temperatura do ar e dos níveis de radiação a temperatura de superfície das abelhas volta a diminuir para 33,7 e 32,7 as 15h00 e 16h00, respectivamente. No sol, observou-se comportamento semelhante, porém com temperaturas mais elevadas (com exceção da temperatura de superfície as 13h00). As 12h00 quando a radiação solar é máxima, a temperatura de superfície era em média 38,2°C, (4° mais elevada que na sombra para este mesmo horário). Já as 16h00, quando a radiação, dentro do horário experimental, atingiu seus valores mínimos, a temperatura de superfície das abelhas ao sol manteve-se em torno de 37°C, uma diferença de mais de 4°C quando comparada com a temperatura de superfície das abelhas à sombra, neste mesmo horário. O maior valor para a temperatura de superfície na sombra (34,1°C), foi observado no sol, já nas primeiras horas da manhã, entre 8 e 9 horas enquanto que na sombra os valores mais altos ocorriam entre as 12 e

13 horas, evidenciando a influência da radiação solar direta sobre a temperatura de superfície das abelhas.

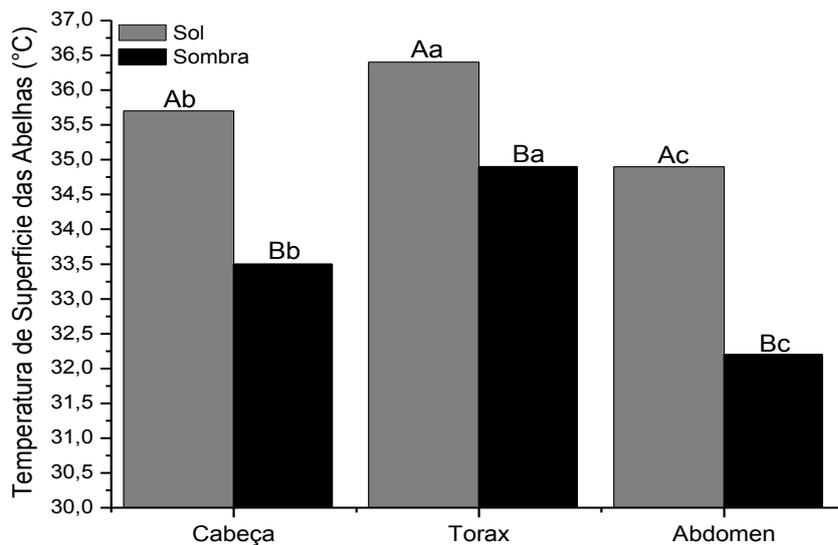


**Figura 23.** Valores médios da temperatura de superfície de abelhas africanizadas expostas (sol) e protegidas da radiação solar direta (sombra), de acordo com a hora do dia. Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre os ambientes no mesmo horário (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ). Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre os horários dentro do mesmo ambiente (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

Foram observadas diferenças de temperatura entre as regiões corporais (cabeça, tórax e abdômen), tanto para as abelhas à sombra, protegidas da radiação solar como para as expostas ao sol ( $P < 0,01$ ). As temperaturas das regiões corporais não eram constantes, oscilavam ao longo do dia de acordo com as variações da temperatura do ar e da radiação solar. As abelhas foram sempre endotérmicas. A temperatura do tórax (centro de produção de calor) foi claramente mais elevada ( $35,7^{\circ}\text{C}$ ) do que a cabeça ( $34,6^{\circ}\text{C}$ ) e o abdômen ( $33,6^{\circ}\text{C}$ ), que foi a região corporal com mais baixa temperatura, e todas regulamentadas acima da temperatura do ar, com exceção das 13 horas (Figura 24). O comportamento da temperatura de superfície das abelhas nas diferentes regiões corporais de acordo com os dois ambientes está demonstrado na figura 25.



**Figura 24.** Valores médios da temperatura de superfície de abelhas africanizadas em três regiões corporais, e da temperatura do ar, de acordo com a hora do dia. Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre as regiões corporais no mesmo horário (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ). Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre os horários dentro da mesma região corporal. (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).



**Figura 25.** Valores médios temperatura de superfície de abelhas africanizadas em três regiões corporais, nos dois ambientes, sol e sombra. Diferentes letras maiúsculas indicam diferença significativa entre os ambientes na mesma região corporal (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ). Diferentes letras minúsculas indicam diferença significativa entre as regiões corporais dentro de cada ambiente. (Tukey-Kramer,  $P < 0,01$ ).

### 5.5 Temperatura de superfície de abelhas e transferência de calor entre as regiões corporais

As abelhas se comportaram de forma diferente com relação a regulação da temperatura de superfície ao longo do dia nos dois ambientes. Houve também diferença de temperatura entre os quadros do centro e da lateral ( $P < 0,01$ ) como mostra a tabela 8.

**Tabela 8.** Temperatura de superfície de abelhas africanizadas (cabeça, tórax e abdômen) coletadas de quadros do centro e laterais das colmeias, de acordo com o ambiente (sol e sombra), em diferentes faixas de temperatura do ar ( $T_A$ ) e radiação solar (RS)

Período	$T_A$	RS	Sombra						Sol					
			Centro			Lateral			Centro			Lateral		
			Cabeça	Tórax	Abdômen	Cabeça	Tórax	Abdômen	Cabeça	Tórax	Abdômen	Cabeça	Tórax	Abdômen
1	26,9	610,1	33,2	35,1	32,2	33,2	34,1	32,2	34,7	36,9	33,8	34,7	36,9	33,8
	27,9	663,6	33,2	35,1	32,2	33,2	34,1	32,2	35,7	34,1	33,8	35,8	34,3	33,8
2	35,8	1014,0	33,2	36,8	32,2	34,0	35,0	33,4	37,7	39,9	36,8	37,7	39,9	37,5
	37,0	913,6	35,2	34,0	32,1	34,0	36,9	33,4	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0	32,0
3	30,2	299,9	34,1	35,7	32,9	33,4	35,0	31,4	36,6	38,7	35,9	36,6	38,7	35,9
	28,8	253,5	33,0	33,9	31,8	32,0	34,0	31,4	37,8	36,0	37,0	37,8	36,6	37,0

### Colmeias na sombra

No período 1 (entre 8 e 9 horas), quando a temperatura do ar estava entre 26,9 e 27,9°C e a radiação solar em torno de 600W.m<sup>-2</sup>, as três regiões corporais foram bem regulamentadas independente da temperatura do ar, tanto na região central da colmeia, como nas laterais, sendo que a temperatura do tórax no centro da colmeia era 1°C mais elevada que na lateral da colmeia.

No período 2, quando a temperatura do ar aumenta para 35,8°C e a radiação solar atinge seus níveis máximos de 900 a 1000 W m<sup>-2</sup>, a temperatura da cabeça e do abdômen permanecem inalteradas na região central, enquanto nas laterais elas aumentam em torno de 1°C. Já a temperatura do tórax aumenta 1,7°C no centro e na lateral 1°C aproximadamente. A partir de 37°C, na região central, foi identificado o mecanismo de dissipação de calor através das regiões corporais, quando a temperatura do tórax baixa quase 3°C (mesmo havendo aumento na temperatura) e concomitantemente há um aumento de 2°C na temperatura da cabeça, enquanto a temperatura do abdômen não sofre nenhuma alteração. Na lateral, a temperatura do tórax aumenta quase 2°C no entanto cabeça e abdômen permanecem com a mesma temperatura. Esse resultado mostra que há um controle mais eficiente da temperatura de superfície na região central. Na lateral a temperatura torácica chegou a 36,9°C mas não houve transferência de calor para as regiões, enquanto no centro, onde encontra-se a área de cria, houve necessidade da ativação de mecanismos de dissipação de calor para que a temperatura torácica não continuasse aumentando.

A partir do período 3 quando a temperatura do ar e a radiação solar começam a diminuir, as temperaturas nas regiões corporais também diminuem, tanto no centro, como na lateral.

### Colmeias no sol

Enquanto na sombra, o mecanismo de dissipação de calor através da transferência entre regiões foi ativado somente nos horários mais quentes do dia, para as abelhas que estavam expostas a radiação solar, esse mecanismo foi identificado já nas primeiras horas da manhã, quando a temperatura ainda estava em torno de 27°C e a radiação em torno de 600W.m<sup>-2</sup>. Neste período (1), quando a temperatura aumenta para 27,9°C e a radiação para 663W.m<sup>-2</sup>, a temperatura do tórax diminui quase 3°C enquanto a temperatura da cabeça aumenta pelo menos 1°C e o abdômen permanece sem alterações.

No período 2 quando a temperatura do ar encontra-se bastante elevada (35,8°C) e a radiação atinge níveis críticos (mais de 1000W.m<sup>-2</sup>), há um aumento drástico da temperatura de superfície nas três regiões corporais, diferente do que ocorre na sombra, onde somente a

temperatura torácica aumenta. Tanto no centro, como nas laterais há um aumento de aproximadamente 2°C na temperatura da cabeça, 2 a 3°C na temperatura do abdômen e do tórax. Nesse horário, a temperatura torácica era quase 40°C, um valor equivalente a temperatura torácica de abelhas que acabavam de retornar de uma atividade de forrageamento, quando há uma geração de calor devido a ativação dos músculos de voo. Quando a temperatura do ar chega a 37°C, a estratégia de transferência de calor entre regiões não foi utilizada, uma vez que não houve aumento da temperatura de uma região em função da diminuição de outra. No entanto, foi nesse limite de temperatura do ar onde houve a maior diminuição da temperatura de superfície, e o único momento, em que as temperaturas superficiais das abelhas são homogêneas, apresentando valores médios de 32°C. Protegidas da radiação solar direta, valores próximos a esse só foram observados quando a temperatura do ar e radiação solar eram baixos. O único comportamento termorregulatório que justifica essa queda brusca na temperatura de superfície (5,7°C, 7,9°C e 4,8°C para cabeça, tórax e abdômen respectivamente), é a utilização da água para molhar a superfície corporal o que acabaria por torna-la homogênea e muito baixa.

No período 3, tanto no centro como na lateral, quando a temperatura do ar baixa para 30°C, as temperaturas de superfície já se encontram heterogêneas e bastante elevadas. Quando a temperatura do ar baixa para 28,8°C e a radiação é inferior a 300W.m<sup>-2</sup> é observado novamente o comportamento de transferência de calor entre regiões, com uma diferença, esse foi o único momento em que não só a cabeça, mas também o abdômen foi utilizado como um dissipador de calor.

## 6 DISCUSSÃO

Vários trabalhos já foram conduzidos no intuito de avaliar o perfil térmico de colônias de abelhas. Esses trabalhos mostram que a temperatura dentro do ninho em abelhas *Apis mellifera* acontece dentro de limites específicos, tentando manter a temperatura da colônia entre 33-36°C, com média de 34,5° C (TAUTZ et al, 2003; WINSTON, 2003; JONES; OLDROYD, 2007).

Quando as colmeias estavam na sombra a temperatura interna das colmeias permaneceu dentro dessa faixa considerada ótima, mesmo com oscilações nas variáveis ambientais e quando a temperatura do ar e a radiação solar alcançavam seus valores máximos. As abelhas se mostraram eficientes em manter a temperatura numa faixa média de 34,8°C, mesmo quando a radiação ultrapassava os 1000W.m<sup>-2</sup>, sustentando a ideia de vários trabalhos que mostram que a abelha consegue manter a temperatura dentro da faixa entre 33 e 36°C independente das variações ambientais que ocorrem ao longo do dia.

Jones et al., (2005) verificaram que a temperatura de 35°C era ideal para um melhor desenvolvimento de abelhas *Apis mellifera*, e que temperaturas acima ou abaixo de 35°C resultava em operárias com uma diminuição na capacidade de execução de tarefas e memorização. Núñez (1979) descobriu que, ao aquecer e arrefecer artificialmente a colmeia, as abelhas melíferas europeias e africanizadas conseguiram manter estável a temperatura na área de cria, mesmo na presença de grande variação de temperatura externa. Brandeburgo (1986), relatou uma variação anual entre 34,2 e 36,4°C na temperatura interna das colônias africanizadas na região de Ribeirão Preto.

No presente experimento quando as colmeias eram expostas o dia inteiro à radiação solar, essa condição de que a abelha mantém a temperatura interna dentro dessa faixa considerada ótima não foi alcançada, mostrando uma condição de estresse térmico já nas primeiras horas da manhã quando a temperatura do ar e radiação solar ainda estão baixos, sendo que essa condição piora ainda mais nas horas mais quentes do dia. Quando as colmeias desprotegidas da radiação solar receberam uma carga de radiação de 700W.m<sup>-2</sup>, houve um aumento drástico na temperatura interna. O fato é que nas condições do semiárido nordestino esses valores de radiação já podem ser encontrados nas primeiras horas da manhã e podem exceder os 1000W.m<sup>-2</sup> nas horas mais quentes do dia. Isso implica dizer que, quando as colmeias estão ao sol elas precisam realizar esforços termorregulatórios o dia inteiro, uma vez que os processos de resfriamento iniciam quando a temperatura do ninho alcança 36°C

(SEELEY 2006), mas, mesmo com todos os esforços, não conseguem manter a temperatura interna dentro da normalidade o que acaba por trazer muitos prejuízos. Assim, sob as altas temperaturas e altos níveis de radiação encontrados no semiárido nordestino as abelhas não conseguem manter a temperatura dentro da faixa considerada ótima se estiverem expostas ao sol, nem quando os níveis de radiação solar são baixos, como por exemplo a  $300\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Essa é uma condição preocupante uma vez que, conforme relatado por Almeida (2008), a partir de  $38^{\circ}\text{C}$ , à medida que a temperatura dentro do ninho vai aumentando, a atividade de saída das abelhas supera à atividade de entrada e quando a temperatura interna atinge  $41^{\circ}\text{C}$  os sensores indicavam enxameação por abandono. A enxameação por altas temperaturas conforme esta autora descreveu perfeitamente, não acontece do dia para a noite, ela é o resultado de um ambiente estressante (isso envolve vários fatores ambientais) que permaneceu assim durante alguns dias.

As abelhas são verdadeiramente eficientes termorreguladoras, mas essa característica tem limite. Se o ambiente continua com condições adversas, vai chegar um momento em que todos os mecanismos que envolvem o controle de temperatura não serão mais eficientes, e as abelhas vão abandonar a colmeia. No presente trabalho, as temperaturas internas das colmeias ao sol chegaram a  $39,5^{\circ}\text{C}$  o que nos leva a afirmar que a exposição das colmeias a radiação solar direta é um fator limitante para a apicultura, que tem como uma das consequências, a enxameação por abandono, um problema visto com muita frequência no nordeste brasileiro. Outros trabalhos também demonstram que a exposição de colmeias ao sol prejudica a termorregulação (TOLEDO, 1991; MANRIQUE & SOARES 2002, LIMA, 2006, SOUZA et al. 2006) e afeta o desempenho das atividades na colônia (SILVA, 2000; VOLLET NETO 2011).

Embora existam muito mais estudos sobre a temperatura interna de colmeias, a umidade interna também tem sido estudada por alguns autores (ELLIS MB, 2008; FLORES et al, 1996; HUMAN et al., 2006). A estabilidade da umidade dentro de uma colmeia, é de extrema importância em uma colônia de abelhas (KRAUS e VELTHUIS, 1997; LIANG et al, 2000). Níveis muito elevados ou muito baixos podem comprometer a saúde e o desenvolvimento de abelhas adultas e das crias, e ainda favorecer o desenvolvimento de patologias. Sendo assim, o monitoramento da umidade da colmeia pode fornecer informações importantes para os apicultores, como uma boa medida do estado da colônia.

A umidade relativa é a quantidade de água presente no ar, em comparação à quantidade máxima de água que pode ser mantida no ar a uma dada temperatura. De acordo com a “Arnia Remote Hive Monitoring” (2017), os níveis médios de umidade em uma colônia

situam-se entre 55% no período do verão (máximo de 61%), e 65% no inverno (máximo de 66%). Diariamente este valor é estável e não está correlacionado com as condições ambientais. De forma geral, se há presença de crias na colônia, os níveis de umidade devem ser estáveis e não correlacionados com as condições ambientais. Na ausência de crias, a umidade acompanha as flutuações da temperatura da colmeia. Human et al. (2006), sugeriu que o valor ótimo para a umidade relativa interna é em torno de 40%.

Esses valores estão de acordo com os resultados do presente trabalho somente para as colmeias que estavam na sombra, mostrando que a estabilidade e normalidade na umidade interna não foi alcançada quando as colmeias estavam expostas a radiação solar direta. O aumento do valor médio desta variável no sol às 8:00 e às 15:00 horas, não está relacionado com flutuações ambientais, pois não houveram alterações externas que justificassem esse aumento. Em períodos de inverno por exemplo, quando a umidade ambiental encontra-se bem mais elevada, pode haver um aumento na umidade interna, não foi o que aconteceu neste trabalho uma vez que as observações foram feitas em um mesmo período de tempo, ou seja, com as mesmas características ambientais. Neste caso esperava-se, em termos físicos, que a umidade das colmeias ao sol fosse inferior a umidade a sombra, uma vez que no sol, a temperatura interna era mais elevada o que contribui para a expansão dos gases, aumentando a capacidade daquele microclima (colmeia) receber vapor de água, e conseqüentemente diminuindo a umidade. Como as condições externas eram as mesmas, com a diferença de que nas colmeias ao sol a temperatura interna era mais elevada, o que deveria ter baixado a umidade, então entende-se que existe um fator inerente a própria colônia que exerceu influência na umidade interna da colmeia ao sol. Esse aumento é justificado pelo fato de que as abelhas quando estão em situação de desconforto térmico coletam água e fazem aspersão dentro da colmeia com o intuito de baixar a temperatura interna (KRYGER et al., 2000; KÜHNHOLZ et al., 1997; JOHNSON, 2002). Essa elevação na umidade aconteceu somente às 8:00 e às 15:00 horas. Às 12:00 horas, a umidade manteve-se dentro da normalidade, ou seja, para as colmeias no sol, quando a temperatura do ar e a radiação solar atingem seus valores máximos durante o dia, a estratégia comportamental adotada pelas abelhas para baixar a temperatura, não é a aspersão de água dentro da colmeia.

Os elevados valores da umidade relativa ao sol observados em nossos resultados corroboram as conclusões relatadas por Almeida et al., (2008) que estudaram o comportamento de colônias de abelhas africanizadas durante enxameação induzida a altas temperaturas. Esses pesquisadores descreveram em seus relatos que as abelhas mantêm a umidade interna a 80% e justificaram esse alto valor pelo fato de que, durante as induções do comportamento

enxameatório a altas temperaturas, as abelhas coletavam água nos reservatórios, e traziam para a colmeia com o intuito de resfriar a colônia, o que aumentava consideravelmente a umidade dentro da colônia.

A eficiência do arrefecimento por evaporação, ocorre quando as gotas de água evaporam, sendo esse processo acelerado pela convecção, que para as abelhas nada mais é que o trabalho de ventilação dentro da colmeia. Foi justamente nos horários em que a umidade interna estava mais elevada, que ocorreu o maior nível de atividade ventilatória, mostrando que as abelhas não só levam água para a colmeia, mas também realizam o trabalho de ventilação para que a temperatura baixe o mais rápido possível, como também foi demonstrado por Egley & Breed (2013). Qualquer desvio dessas tendências é motivo de alerta. Quando não houver fatores externos que justifiquem um aumento na umidade interna, então a colônia estará em estado de alerta pois provavelmente estará recrutando abelhas para coletarem água e ventilarem a colmeia afim de manter a termorregulação, que traz como uma das consequências o aumento dos custos energéticos.

Yang MX et al., (2010) estudando o comportamento termorregulatório de *Apis cerana* e *Apis mellifera*, descobriram que o número de abelhas envolvidas no trabalho de ventilação diferiu quando a temperatura interna subia para 38,8°C, quando a temperatura interna começava a diminuir, o número de abelhas recrutadas para ventilar diminuía. A ventilação é um comportamento fantástico de controle de temperatura interna da colmeia. No entanto, o custo energético para manter este trabalho é elevadíssimo. Yang MX et al., (2010) observaram também que para baixar a temperatura interna de 38,8°C para a faixa normal ao redor de 35°C, as abelhas utilizaram cerca de 55 minutos, nos fazendo entender que a necessidade de ventilar a colônia depende tempo e energia. Neste estudo, a proporção do trabalho total alocado para a ventilação foi bem maior nas colmeias que estavam submetidas ao sol.

O estudo da ventilação atrai interesse na literatura científica desde muito tempo (KRONENBERG E HELLER, 1982; FAHRENHOLZ et al.,1989; EGLEY & BREED 2013; HEINRICH 1993; DUONG & DORNHAUS 2012), e apesar do consenso sobre o papel vital da ventilação, no que diz respeito a remoção de subprodutos metabólicos, como vapor de água, suprimento de oxigênio e sua importância para a produção de mel (CRANE, 1975), é importante entender seu contexto na literatura das abelhas. A palavra " ventilação " pode se referir simplesmente ao processo de trocas de ar entre a colmeia e o ambiente (SUDARSAN et al.,2012), no entanto, o interesse deste estudo centrou-se no entendimento das condições externas que desencadeiam a resposta de ventilação, que não seria necessária se a colmeia não

estivesse em condições de estresse térmico. A maior incidência da ventilação ao sol mostra claramente um desvio de comportamento, quando as abelhas deixam de realizar suas tarefas básicas dentro da colmeia para realizar trabalhos de termorregulação, ou seja, em condições de estresse térmico as abelhas precisam de muito mais abelhas realizando os trabalhos de termorregulação, o que ocasionará em déficit no cuidado geral com o ninho. Assim como relatado por Egley & Breed (2013) e Cook & Bred MD (2013) os nossos resultados também sugerem que estímulos ambientais desempenham o papel de influenciar no comportamento de ventilação.

Os fatores meteorológicos influenciam não só a regulação da temperatura a nível de colônia, mas também as temperaturas de superfície das abelhas. Este estudo permitiu medições em temperatura ambiente e níveis de radiação aos quais as abelhas são susceptíveis de serem expostas durante boa parte do dia em seu ambiente natural no Semiárido Nordeste. E como foi observado, o excesso de temperatura gerado durante o voo é, em parte, uma função das condições ambientais, temperatura do ar e radiação solar. As abelhas precisam realizar as atividades de forrageamento, e inevitavelmente as condições climáticas trarão consequências sobre esta atividade como por exemplo, na diminuição do seu ritmo de trabalho, interferindo na sua capacidade de produção.

O trabalho de Heinrich (1979a) é pioneiro neste campo. Ele mediu a temperatura torácica de abelhas *Apis mellifera* que forrageavam na sombra, em temperatura ambiente variando entre 11 a 22°C, e encontrou temperatura torácica variando de 30,5 a 33°C. Kovac & Stabentheiner (2011) encontraram temperaturas mais elevadas, entre 33 e 35°C, quando avaliaram a mesma característica em abelhas que também forrageavam na sombra, mas as abelhas que forrageavam na luz do sol apresentaram temperaturas corporais mais elevadas, com temperaturas torácicas chegando a 44,4°C, resultado muito semelhante ao encontrado no presente trabalho. Michener (2000) também relatou um aumento na temperatura torácica de abelhas em atividades de forrageamento devido ao aumento da temperatura do ar. Kovac et al (2010) observaram que em uma temperatura do ar de 5°C as forrageiras de água permaneciam nos tambores de água por 113 segundos em média, mas apenas por 27 segundos quando a temperatura subia para 38,8°C.

Nas condições climáticas do semiárido, as abelhas atingiram temperaturas de núcleo (tórax) superior a temperatura considerada ideal para a produção de força para a decolagem, que varia entre 38 a 39°C (COELHO, 1991A; KOVAC & STABENTHEINER, 2011) já nas primeiras horas da manhã, quando a temperatura do ar e a radiação solar ainda não tinham alcançado seus valores máximos. Não há como controlar os fatores ambientais que vão

aumentar as temperaturas torácicas das abelhas quando estão forrageando. No entanto, é possível controlar o microclima dentro da colmeia, para que o superaquecimento causado externamente, seja pelo menos amenizado quando as abelhas retornam de seus voos, fato que não acontece quando as colmeias estão expostas diretamente à radiação solar, onde as abelhas chegam com temperaturas muito elevadas, principalmente nos horários mais quentes do dia, e encontram um ambiente similar dentro da colônia, o que traz, como consequência, um aumento dos esforços para conseguir baixar a temperatura.

A maioria das pesquisas sobre controle de temperatura em abelhas concentram-se na colônia como um todo, avaliando aspectos do microclima da colmeia, que envolvem por exemplo a temperatura interna e a umidade interna, conforme também relatado neste trabalho. No entanto, o estudo da temperatura de superfície das abelhas tem sido utilizado como uma importante ferramenta para entender a homeostase térmica de uma colônia a nível individual. Para compreender a importância dos mecanismos de termorregulação, os dados de temperatura em uma colmeia devem ser analisados como um todo, e isso envolve não só o microclima interno, mas principalmente deve levar em consideração dados quantitativos da temperatura de superfície das abelhas em relação as variações ambientais (STABENTHEINER et al., 2010), principalmente em locais onde os fatores climáticos podem comprometer a criação racional de abelhas.

Conforme mostraram os resultados deste trabalho, a temperatura de superfície é altamente influenciada pelas condições ambientais, mostrando que essas temperaturas podem aumentar ou diminuir de acordo com as variações externas. As abelhas que estavam na sombra, conseguiram manter suas temperaturas corporais em níveis relativamente normais e isso significa que menos esforços serão necessários para o seu controle individual de temperatura, por outro lado, as abelhas que estava diretamente ao sol, tiveram um aumento considerado de suas temperaturas, sendo necessário a ativação de mecanismos de dissipação de calor em uma escala bem mais elevada.

Vários pesquisadores utilizam a temperatura de superfície nos estudos referentes ao controle de temperatura em abelhas *Apis mellifera* (ROBERTS & HARRISON, 1998; STABENTHEINER et al., 2003; KOVAC et al., 2009; STABENTHEINER et al., 2010). Em concordância com o presente trabalho, esses estudos também mostraram que a temperatura das três regiões do corpo da abelha não é homoganeamente distribuída, e que a temperatura da superfície do tórax é superior às temperaturas de outras partes do corpo (HEINRICH, 1979b, 1980a,b, 1993; KOVAC; SCHMARANZE, 1996; ROBERTS; HARRISON, 1998; KOVAC et

al, 2009) porque é justamente na superfície do tórax da abelha que está o centro da produção de calor responsável pelo aquecimento interno corporal.

Pacheco & Kerr (1989) não encontraram diferenças estatísticas na temperatura da cabeça e do abdômen que eram em média 31,8 e 31,4°C respectivamente, mas observaram que a temperatura do tórax era 1,6°C mais alta em comparação com a cabeça e o abdômen. Carvalho (2009) encontrou temperaturas corporais diferentes para as três regiões do corpo da abelha, sendo no tórax o maior valor observado (34,3°C), seguido da cabeça (33,5°C) e do abdômen (33,1°C). Em estudos sobre a temperatura corporal de abelhas *Apis mellifera* que forrageavam água, Kovac et al (2010) encontraram que em temperaturas entre 3 e 30°C a temperatura torácica foi regulamentada independente da temperatura do ar, no entanto, a partir de 30°C, a temperatura do tórax aumentou quase linearmente com a temperatura do ar.

Os custos para manter a temperatura corporal e interna da colônia dentro de limites ótimos, representam um verdadeiro desafio para as abelhas. No entanto, comparando-se um ambiente onde há um maior conforto térmico com um ambiente termicamente estressante, que são os dois ambientes experimentais do trabalho, sombra e sol respectivamente, é possível observar claramente que quando o microclima interno é mais confortável, mesmo que externamente as condições ambientais sejam desfavoráveis, as abelhas conseguem manter um controle mais preciso de suas temperaturas com o mínimo gasto energético possível. Ao contrário, quando o microclima interno é desconfortável termicamente, as abelhas precisam lançar mão de vários mecanismos de dissipação de calor, e isso envolve desvio de energia, que deveriam ser utilizadas para os aspectos produtivos e reprodutivos da colônia e passam a ser utilizados para o arrefecimento da colônia e isto além de envolver tempo, pode ter um custo alto para a colônia e conseqüentemente para o apicultor.

Com as colmeias na sombra há um controle mais preciso da temperatura tanto a nível colonial, como individualmente. Foi observado ainda um controle mais preciso nos quadros do centro da colmeia. Isto deve-se ao fato de que, é justamente nessa região da colmeia onde há uma maior concentração das crias, mostrando que a termorregulação em colônias de abelhas africanizadas ocorre de forma especial na região central, impedindo que as temperaturas continuem a subir a medida que as temperaturas externas aumentam, pois isto pode prejudicar as crias.

Outras pesquisas também demonstram um maior controle térmico na região onde estão localizadas as crias (DUNHAM, 1933; TOLEDO et al., 1991; ES'KOV, 2009). Na presente pesquisa esse controle mais preciso na região central da colmeia não foi observado nas colmeias expostas ao sol, mostrando que o aumento de temperatura oriundo da exposição à

radiação solar, causa um desarranjo térmico dentro da colmeia tornando o cuidado com as crias uma atividade secundária.

Na sombra, até 35,8°C, a temperatura corporal nas três regiões foi regulamentada independente da temperatura do ar e somente a partir dessa temperatura é que foi identificado o primeiro mecanismo de controle térmico individual. Quando a temperatura torácica da abelha na região central da colmeia chegou a 36,8°C, as abelhas utilizaram o mecanismo de transferência de calor entre regiões de seu corpo, transferindo o calor para a cabeça e evitando que a temperatura do tórax continuasse a aumentar. Como esse foi o único momento em que foi observado transferência de calor entre as regiões, isso nos leva a entender que em situações de conforto térmico proporcionado por um ambiente sombreado, a termorregulação individual ocorre com as abelhas utilizando somente a cabeça como um dissipador de calor para o excesso de calor do tórax, e somente nos horários mais quentes do dia, entre 12 e 13 horas. Essas transferências de temperatura corporal acontecem porque altas temperaturas corporais refletem em um aumento do transporte de calor para o abdome e/ou cabeça, aumentando a perda de calor a partir deles.

Como vistas neste trabalho, as abelhas que estão em colmeias ao sol, podem atingir temperaturas corporais bastante elevadas. Essas altas temperaturas estimularam a redução das cargas de calor já nas primeiras horas da manhã e isto implica dizer que os esforços para manter a temperatura controlada foram muito mais intensos nas colmeias que estavam ao sol. Como mostram os resultados, a transferência de calor entre as regiões para as abelhas que estavam expostas a radiação solar, foi identificado já nas primeiras horas da manhã, quando a temperatura do ar ainda estava em torno de 27°C e a radiação em torno de 600 W.m<sup>2</sup>, mostrando claramente que a exposição à radiação solar direta altera o comportamento termorregulatório das abelhas, havendo a necessidade de dissipação de calor para a cabeça. Quando as temperaturas estavam entre 28 e 30°C e a radiação solar em níveis relativamente baixos, não só a cabeça foi utilizada como um dissipador de calor, mas também houve a necessidade do dispêndio de calor para o abdômen.

De acordo com Heinrich (1980ab) quanto maior a diferença de temperatura entre o tórax e a cabeça (ou abdômen), maior é o fluxo de calor conduzido. Na presente pesquisa à sombra, a diferença média de temperatura entre cabeça e tórax no momento da transferência de calor foi de 1,2°C, enquanto no sol foi de 1,6 e 1,8°C para a região central e 1,5 e 1,2°C para a região lateral, mostrando que o fluxo de calor conduzido na sombra, além de só ter ocorrido em uma única faixa de temperatura, foi inferior aos fluxos ocorridos nas colmeias ao sol, evidenciando a maior necessidade de dissipação de calor.

Roberts e Harrison (1998), afirmam que quanto maior a temperatura ambiente, maior é o processo de transferência de calor do tórax para as outras regiões corporais das abelhas, no entanto diferentemente dos resultados deste trabalho, ele afirmou que o abdômen é a região mais utilizada como válvula de escape para o excesso de calor do tórax e um dos mecanismos para evitar o superaquecimento desta região. Já Heinrich (1980ab) também encontrou em seu trabalho que a cabeça foi utilizada como dissipador de calor para o excesso de calor do tórax.

Entre 12 e 13 horas, quando a temperatura do ar e a radiação solar estavam em seus níveis máximos, houve uma queda brusca na temperatura de superfície das abelhas, único momento em que as três regiões apresentaram temperaturas mínimas e uniformes. O único comportamento termorregulatório que justifica essa queda brusca na temperatura de superfície (5,7°C, 7,9°C e 4,8°C para cabeça, tórax e abdômen respectivamente), é a utilização da água para molhar a superfície corporal o que acabaria por torna-la homogênea e muito baixa. Esse resultado justifica a hipótese de que molhar o corpo pode ser uma forma individual da abelha perder calor por evaporação na superfície corporal e evitar que sua temperatura chegue a níveis letais.

Para Seeley (2006), o controle da temperatura dentro do ninho e a socialidade das abelhas estão intimamente relacionadas, uma vez que viver em grupo, permite a termorregulação do ninho que é essencial para a vida social e para a sobrevivência da colônia. Agir em função da manutenção do bem-estar da colônia, é uma característica marcante das abelhas e foi muito bem demonstrada neste trabalhado baseado nos esforços termorregulatórios. No entanto, quando a abelhas estavam expostas ao sol e chegaram ao nível máximo de estresse dentro da colônia (entre 12 e 13 horas), a manutenção individual da vida tornou-se mais importante do que a do grupo. Os esforços em baixar a temperatura interna da colmeia nessa gama de temperatura e radiação já não eram mais eficientes devido as altas cargas de calor recebida, então as abelhas optam por baixar suas próprias temperaturas, comprovando a importância de manter a integridade do organismo. Como mostra a figura 20, nas colmeias ao sol, às 12 horas a atividade de ventilação era mínima, e as 13 horas era nula, nos fazendo entender que nesses horários os esforços termorregulatórios estavam concentrados muito mais em baixar a temperatura individualmente do que a nível de colônia.

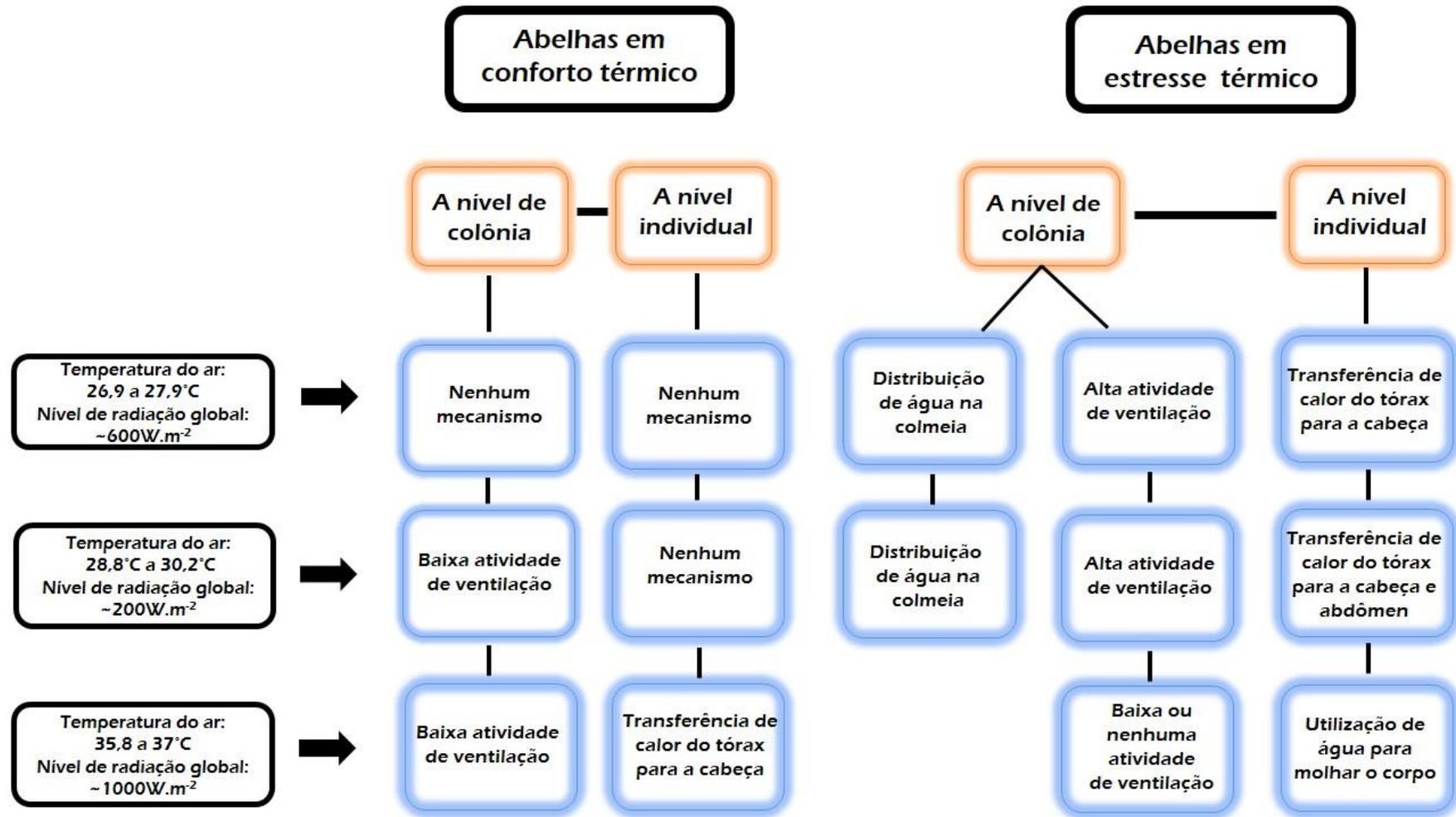
Outros pesquisadores também observaram este comportamento em abelhas *Apis mellifera*. Kovac et al (2007) observaram que em temperatura ambiente acima de 34°C, várias abelhas mostraram esforços para esfriar seu corpo através de gotículas regurgitadas em suas peças bucais para evitar o superaquecimento do corpo. Resultados semelhantes também foram

encontrados por Heinrich (1980ab), quando observou que abelhas que voavam em temperaturas do ar elevadas, esfregavam frequentemente suas patas no corpo. Carvalho (2009) em Mossoró-RN, estudando a temperatura de superfície de abelhas africanizadas em região semiárida observou em abelhas no bebedouro que, ou as abelhas já se apresentavam molhadas, ou regurgitavam o líquido ingerido sobre o seu próprio corpo o que ocasionava em temperatura corporal uniforme entre as regiões do corpo, fato que também aconteceu no presente trabalho.

Baseado nos dados observados neste trabalho, é possível afirmar que as colmeias que estavam na sombra, encontravam-se em situação de conforto térmico, enquanto as abelhas que estavam ao sol, encontravam-se claramente em situação de estresse térmico. A partir dessa informação é possível prever quais mecanismos as abelhas africanizadas utilizam para manter o controle de temperatura em uma região semiárida nordestina, tanto a nível colonial, como em nível individual, quando estão em um ambiente termicamente confortável proporcionado por uma estratégia de sombreamento, ou quando estão em situação de intenso estresse térmico (expostas a radiação solar direta).

Há na literatura alguns diagramas comparativos que demonstram como ocorre o controle de temperatura em ambientes frios e quentes (GRAHAM et al 1992 *apud* Dadant; Sons, 1992). No entanto não existe na literatura nenhum diagrama comparativo que demonstre como ocorre o controle de temperatura quando as colmeias estão situação de conforto (porque graças ao controle preciso de temperatura realizado pelas abelhas isso é possível mesmo estando em ambientes caracterizados por altas temperaturas e intensa radiação solar, como visto neste trabalho) e quando estão em situação de estresse térmico.

Sendo assim, os resultados deste trabalho permitem representar esquematicamente a termorregulação das abelhas e seus mecanismos de perda de calor utilizados por colônias de abelhas africanizadas manejadas no semiárido nordestino, tanto a nível de colônia, como a nível individual, destacando suas peculiaridades, quando estão em um ambiente termicamente confortável (sombreado) e quando estão em situação de estresse térmico (expostas à radiação solar direta), representadas na figura 26.



**Figura 26.** Mecanismos de perda de calor utilizados por abelhas africanizadas no semiárido nordestino, tanto a nível de colônia, como a nível individual, em situação de conforto à sombra e estresse térmico ao sol.

Esses resultados indicam que estímulos ambientais exercem um papel motivador na tomada de decisões pelas abelhas quanto ao controle de temperatura de superfície de abelhas africanizadas. As abelhas juntam esforços para manter o controle homeostático na colmeia independente das condições externas. No entanto, quando as condições ambientais são extremas e as abelhas estão expostas a radiação solar direta, há uma redução da probabilidade desses esforços de termoregulação serem bem sucedidos. Quando as abelhas estão em ambiente sombreado ou de conforto, a carga de radiação solar direta é nula, o que evita o superaquecimento das colmeias e conseqüentemente de toda colônia de abelhas, ou seja, os esforços termorregulatórios no sentido de ativar mecanismos para perder calor, são bem menores quando as colmeias estão em conforto térmico, o que torna o controle de temperatura bem mais eficiente evitando desvio de energia, e conseqüentemente diminuindo os prejuízos produtivos, fisiológicos, reprodutivos e comportamentais aos quais as abelhas estão vulneráveis, o que se observa quando as colmeias são manejadas nas condições climáticas extremas de temperatura, umidade, falta de alimento, falta de chuva, características essas vistas frequentemente durante as secas no semiárido nordestino.

## 7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudar o controle de temperatura em abelhas em dois ambientes distintos, permitiu entender como o ambiente pode limitar a produção no semiárido nordestino e como o sombreamento pode trazer efeitos benéficos para a apicultura.

Quando as colmeias estão ao sol elas precisam realizar esforços termorregulatórios o dia inteiro. Na sombra, independente das condições ambientais, as abelhas conseguem controlar a temperatura interna e manter a umidade relativamente estável durante todo o dia. Já no sol, há um aumento da umidade interna bastante expressivo devido a um comportamento termorregulatório das abelhas, que sob altas temperaturas coletam água e fazem aspersão dentro da colmeia com o intuito de baixar a temperatura interna. O aumento da umidade ao sol, foi acompanhado por um maior nível de atividade de ventilação, mostrando que as abelhas não só levam água para a colmeia, mas também realizam o trabalho de ventilação para que a temperatura baixe o mais rápido possível. O comportamento de ventilação foi bem mais expressivo nas colmeias que estavam ao sol, já na sombra apenas poucas abelhas ou nenhuma eram recrutadas para o trabalho de ventilação, e apenas nos horários mais quentes do dia.

As abelhas que estavam na sombra, conseguiram manter suas temperaturas corporais em níveis relativamente normais. As temperaturas das regiões corporais das abelhas não são homogêneas e oscilam ao longo do dia de acordo com as variações ambientais. A temperatura do tórax é geralmente a mais elevada, seguida da cabeça e do abdômen. Com as colmeias na sombra houve um controle mais preciso da temperatura tanto a nível colonial, como individualmente, sendo observado um controle mais preciso nos quadros do centro da colmeia, onde há uma maior concentração das crias. A nível individual, as abelhas utilizaram o mecanismo de transferência de calor entre as regiões do corpo para evitar o superaquecimento do tórax. Na sombra, esse mecanismo foi observado somente nos horários mais quentes do dia, induzindo as abelhas a transferirem o excesso de calor torácico para a cabeça. Já ao sol esse mecanismo foi observado com temperaturas do ar mais baixas, com as abelhas utilizando somente a cabeça como um dissipador de calor para o excesso de calor do tórax, e com temperaturas do ar entre 28 e 30°C não só a cabeça foi utilizada como um dissipador de calor, mas também houve a necessidade do dispêndio de calor para o abdômen.

Quando as abelhas estavam expostas ao sol e chegaram ao nível máximo de estresse dentro da colônia, a manutenção individual da vida tornou-se mais importante do que a do

grupo. Os esforços em baixar a temperatura interna da colmeia já não eram mais eficientes devido as altas cargas de calor recebida, então as abelhas optam por baixar suas próprias temperaturas corporais, utilizando a água para molhar o corpo, com a finalidade de perder calor por evaporação na superfície corporal e evitar que sua temperatura chegue a níveis letais.

Esse conjunto de alterações comportamentais ocasionadas mediante a exposição de colmeias diretamente à radiação solar, demonstra claramente um desarranjo funcional da colônia, que deixa de produzir e até realizar suas tarefas básicas na colmeia, para termorregular e quando não atingem o objetivo maior, que é manter as condições ótimas de temperatura interna da colmeia e umidade, acabam abandonando a colmeia (enxameação por abandono) em busca de melhores condições de sobrevivência. Ou seja, as abelhas gastam tempo e energia para controlar a temperatura e umidade da colônia, e ainda suas temperaturas corpóreas. Esse desvio de função explica por exemplo, o porquê da produção de mel e própolis serem superiores quando as colmeias estão à sombra. Explica o fato de rainhas manejadas na sombra terem um melhor desenvolvimento ontogenético e viverem mais que rainhas manejadas em colmeias ao sol. Explica o fato de haver um incremento na área de cria e um melhor índice de produtividade quando estão protegidas do sol, e pode explicar ainda, um problema visto com muita frequência no nordeste brasileiro, a enxameação por abandono. Manter as colmeias expostas a radiação solar afeta todo o sistema produtivo da colônia, e é portanto, uma grande vantagem para o apicultor desenvolver estratégias que minimizem os esforços das abelhas para tentarem controlar a temperatura seja a nível colonial, ou individual. As contribuições dos apicultores são relativamente muito simples, mas os benefícios proporcionados por um ambiente que reduz as temperaturas extremas na colmeia, são enormes.

Assim, as contribuições dos apicultores são basicamente, disponibilizar água de boa qualidade e próxima aos apiários e instalar os apiários em locais sombreados de preferência utilizando árvores que possuem copa verde perene o ano todo, e quando o sombreamento natural não for possível construir estruturas para proporcionar sombra artificial, que embora tenha custos, gera uma economia energética reduzindo os trabalhos termorregulatórios das abelhas e conseqüentemente, sobra mais tempo para outras tarefas, como o forrageamento que reflete positivamente na quantidade e qualidade dos produtos apícolas.

Portanto, os resultados obtidos neste trabalho sobre termorregulação das abelhas operárias africanizadas do semiárido nordestino em colmeias submetidas diretamente às radiações solares e colmeias protegidas (à sombra) representa uma significativa coletânea de dados individuais de temperatura de superfície das abelhas e dados de temperatura e umidade

no interior das colmeias, que se constituem em importantes subsídios para a compreensão de três aspectos fundamentais para a apicultura , a saber:

**1 - Abandono ou Enxameação das abelhas na seca:** o que se passa com as colônias de abelhas africanizadas no semiárido nordestino em especial durante os períodos de seca, cujas características de altas temperaturas, baixa umidade, falta de chuvas e carência alimentar resultam em altas taxas de enxameação por abandono em busca de novos nichos ecológicos com melhores condições para sua sobrevivência?

**2 - Baixa produtividade no semiárido:** uma das causas da baixa produtividade das abelhas africanizadas no semiárido deve-se à instalação das colmeias em locais não apropriados quanto a vegetação e proteção solar, em especial quando as colmeias são submetidas diretamente sob a radiação solar , sugerindo-se a colocação das colmeias sob a proteção de árvores ou arbustos e não diretamente sob o sol, o que induz as abelhas a desviarem suas atividades de forrageamento em busca de néctar, pólen , própolis, água etc. para atividades intensas de termorregulação no sentido de controlar a temperatura e umidade interna das colmeias, em prejuízo das atividades forrageadoras relacionadas a produção.

**3 - Construção de latadas com material da própria região semiárida:** é muito importante que os apicultores do semiárido proporcionem melhores condições de sobrevivência das abelhas oferecendo ambiente de conforto térmico (locais com sombra) e fornecimento artificial de água potável (tanques ou tambores cobertos, com bebedouros para abelhas). Isto torna-se possível através da construção de coberturas (latadas) construídas com troncos de árvores da própria região semiárida (ex. arvores da caatinga) com coberturas de folhas secas de carnaúbas, palmeiras ou coqueiros. Com essa proteção à sombra (latadas que podem inclusive ser de material artificial como canos de metal ou de pvc, telas de plástico etc) as abelhas terão condições de se dedicar intensivamente às atividades forrageiras, permitindo aos apicultores um maior rendimento na produção apícola e maior conforto térmico no manejo de suas colmeias.

O atendimento dos três aspectos acima mencionados e que se relacionam aos itens abordados no presente trabalho sobre termorregulação das abelhas africanizadas e suas implicações certamente virão a contribuir para o desenvolvimento e expansão das atividades apícolas do nordeste brasileiro.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, P.G. de; ABREU, V.M.N. **Ventilação na avicultura de corte**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. 50p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 63). 2000.
- ALENCAR, L. C.; SOUZA, D. C. Efeito do sombreamento na produção do mel, no desenvolvimento e no abandono de colmeias de abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) em região semiárida. In: ENCONTRO SOBRE ABELHAS, 7, 2006, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: USP, 2006. v.1 CD-ROM
- ALMEIDA, G.F. et al. **Absconding behaviour in Africanized Honey Bees in Northeast Brazil**. Apimondia Programme & Abstracts. 40<sup>th</sup>. Apimondia International Apicultural Congress, September 9<sup>th</sup> to 14<sup>th</sup> 2007. Melbourne, Australia. p. 172. 2007.
- ALMEIDA, G.F. **Fatores que interferem no comportamento enxameatório de abelhas africanizadas**. Tese de Doutorado apresentada à FFCLRP-USP. 120p. 2008.
- ALMEIDA, C. T.; LORENZON, M. C. A.; TASSINARI, W. S. Identificação de fatores associados à ocorrência de doenças de abelhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) em apiários do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, v.35, n.1, p.33-40, 2013.
- ALVES, R.M. de O.; CARVALHO, C.A.L.; FAQUINELLO, P.; LEDO, C.A.S.; FIGUEIREDO, L. Parâmetros biométricos e produtivos de colônias de *Melipona scutellaris* Latreille, 1811 (Hymenoptera: Apidae) em diferentes gerações. **Magistra**, v. 24, p.105- 111, dez. 2012.
- ANGILLETTA JR, M. J. **Thermal adaptation: a theoretical and empirical synthesis**. Oxford University Press. USA. 306p. 2009.
- ARAÚJO, S.M.S. A região Semiárida do Nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica** – 5 n. dezembro de 2011.
- ARNIA REMOTE HIVE MONITORING. Disponível em: <<http://www.arnia.co.uk/products-research/>> Acesso em 12 de fevereiro de 2017.
- BAÊTA, F.C.; SOUZA, C.F. **Ambiência em edificações rurais - conforto animal**. Viçosa: UFV, 246p. 1997.
- BARBOSA FILHO, J. A. D. **Caracterização quantitativa das condições bioclimáticas e produtivas nas operações pré-abate de frangos de corte**. 2008. 174p. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.

BENSON, K. Africanized honey bees: their tactics of conquest. **American Bee Journal**, v. 125, n. 6, p. 435-437, 1985

BERMAN, A. Predicted limits for evaporative cooling in heat stress relief of cattle in warm conditions. **J.Anim.Sci.**87, 3413–3417. 2009.

BRANDEBURGO, M. A. M.; GONÇALVES, L. S. **A influência de fatores ambientais no desenvolvimento de colônias de abelhas africanizadas (*Apis mellifera*)**. Revista Brasileira de Biologia, Rio de Janeiro, v. 49, n. 4, p. 1035-1038, 1989.

BRANDEBURGO, M. A. M. **Comportamento de defesa (agressividade) e aprendizagem de abelhas africanizadas: análise e correlação entre variáveis biológicas e climáticas, herdabilidade e observações em colônias irmãs**. Tese de Doutorado, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto - USP, Ribeirão Preto (SP). 1986.

BRASIL, D. F. **Verificação e análise da ambiência interna de colmeias de abelhas (*Apis mellifera*) relacionando ao manejo de troca de quadros com crias**. Fortaleza-CE, 2010. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, 2010.

BRIGHENTI, D. M.; MIRANDA, Y. S. S.; BRIGHENTI, C. R. G. Influência do ritmo circadiano na mortalidade de *Apis mellifera*. In: ENCONTRO SOBRE ABELHAS, 9., 2010, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto - SP. p. 420. 2010.

BRITO, R. L.; CASTAGNINO, G. L. B.; BAVIA, M. E.; GRAMACHO, K. P.; PERES, L. P.; BRITO, P. L. Sombreamento de colônias e concentração do ácaro *Varroa destructor* em região tropical. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE APICULTURA (FILAPI), 11., 2014, Puerto Iguazú. **Anais...** Ribeirão Preto, 2014. p. 137.

CARVALHO, M. D. F. **Temperatura da Superfície Corpórea e Perda de Calor por Convecção em Abelhas (*Apis Mellifera*) em uma Região Semiárida**. 2009. 47 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró. 2009.

CHAIYABUTR, N., CHANPONGSANG, S., SUADSONG, S. Effects of evaporative cooling on the regulation of body water and milk production in cross bred Holsten in cattle in a tropical environment. **Int.J.Biometeorol.**52,575–585. 2008.

COELHO, J.R. The effect of thorax temperature on force production during tethered flight in the honeybee (*Apis mellifera*) drones, workers and queens. **Physiological Zoology**, 64, 823–835. 1991a.

COELHO, G.F. et al. Avaliação da granulometria dos solos de sete municípios da região Oeste do Paraná. **Synergismus scyentifica**, Pato Branco, 04. 2009.

COOK CN, BRED MD. Social context influences the initiation and threshold of thermoregulatory behaviour in honeybees. **Anim Behav** 86: 323–329. 2013.

COSTA C.C.M., MAIA A.S.C., NETO J.D.F., OLIVEIRA S.E.O., QUEIROZ J.P.A.F. Latent heat loss and sweat gland histology of male goats in an equatorial semi-arid environment. **Int J Biometeorol**. 2014.

CRANE, E., Bee Research Association. **Honey: A Comprehensive Survey**, Crane, Russak.1975.

DADANT & SONS. **The Hive and the Honeybee**. In: Dadant CP (ed). Dadant and Sons, Hamilton 1992.

DEGRANI-HOFFMAN, G.; SPIVAK, M.; MARTIN, I. H. Role of termoregulation by nestmates on the development time of honeybee (Hymenoptera: Apidae) queens. **Annals of the Entomological Society of America**. v.86, p.165-172, 1993.

DESHAZER, J.A., HAHN, G.L., XIN, H. Principles of the thermal environment and livestock energetics. In:DeShazer,J.A. (Ed.), **Livestock Energetics and Thermal Environmental Management**, American Society of Agricultural Engineers,pp.1–22. Chapter1.2009.

DINIZ, N. M. **Estudo dos processos de enxameagem e de abandono de colônias de abelhas africanizadas em zonas rurais e urbanas**. Dissertação de mestrado, Departamento de Genética, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto- USP,130p. 1990.

DOMINGOS, H. G. T., MAIA, A.S.C., SOUZA, J.B.F., Silva, R. B., VIEIRA, F.M.C. 2013. Effect of shade and water sprinkling on physiological responses and milk yields of Holsteincows in a semiarid region. **Livestock Science**. vol. 154, p. 169–174. 2013

DUNHAM, W. E. The influence of external temperature on the hive temperature during the summer. **J. Econ. Entomol**. 22:798-801. 1929

DUNHAM, W. E. Hive temperatures during the summer. **Gleanings in Bee Culture**, 61, 527-529. 1993.

DUONG, N. & DORNHAUS, A. Ventilation response thresholds do not change with age or self-reinforcement in workers of the bumble bee *Bombus impatiens*. **Insectes Sociaux**, 59, 25e32. 2012.

EGLEY, R. L. & BREED, M. D. The fanner honeybee: behavioral variability and environmental cues in workers performing a specialized task. **Journal of Insect Behavior**, 26, 238e245. 2013.

ELLIS MB. **Homeostasis: Humidity and Water Relation in Honeybee Colony**, Master Thesis (University of Pretoria). 2008.

EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte). Disponível em: < <http://www.emparn.rn.gov.br/> /> Acesso em 23 de Março de 2017.

ES'KOV, E.K., **Etologiya medonosnoi pchely (Ethology of the European Honeybee)**, Moscow: Kolos, 1992.

ES'KOV, E.K., *Ekologiya medonosnoi pchely (Ecology of the European Honeybee)*, **Ryazan'**: Russkoe slovo, 1995.

ES'KOV, E. K.; V.A. TOBOEV. Exogenous and endogenous fluctuations of thermoregulatory activity in the honeybee. **Biology Bulletin** 36(2): 205-211. 2009.

FAHRENHOLZ, L., LAMPRECHT, I., SCHRICKER, B. Thermal investigations of a honeybee colony: thermoregulation of the hive during summer and winter and heat production of members of different bee castes. **J. Comp. Physiol. A: Neuroethol. Sens. Neural Behav. Physiol.** 159 (5), 551–560.1989.

FARIA, L. A. N. **Produto à base de própolis (LLOS) na dieta de bovinos inteiros confinados: comportamento animal, respostas fisiológicas e sanguíneas**. Maringá, 2010. 41f

FINCH, V.A. Comparison of non-evaporative heat transfer in different cattle breeds. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.36, p.497-508, 1985.

FLORES JM, et al. Effect of temperature and humidity of sealed brood on chalkbrood development under controlled conditions. **Apidologie** 27:185-192. 1996.

FREE, J.B. **Insect pollination of crops**. 2 ed. London: Academic Press. 684 p.1993.

GARCIA, R. C.; NOGUEIRA-COUTO, R. H. Produção de geleia real por abelhas *Apis mellifera* italianas, africanizadas e descendentes de seus cruzamentos. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 27, n. 1, p. 17-22, 2005.

GONÇALVES, L. S. The Introduction of the African bees *Apis mellifera adansonii* in to Brasil and some comments on their spread in South America. **American Bee Journal** 11411: 414-419. 1974.

GONÇALVES, L. S. The big challenge: development of beekeeping with africanized honey bees in Northeast Brazil. *Proceedings*: 8th IBRA International Conference on Tropical Bees and Encontro sobre abelhas. Ribeirão Preto – SP. p. 241-246, 2004.

GONÇALVES, L. S; DOMINGOS, H. G. T.; SOMBRA, D. S.; BELCHIOR FILHO, V.; GRAMACHO, K. P. The influence of drought of 2012 in beekeeping of Rio Grande do Norte, Brazil. In: XXXXIII International Apicultural Congress, 2013, Kyiv. **Anais...** Kyiv: Sodrzhestvo. v. 43, p. 154-155. 2013.

GRAMACHO, K. P.; GONÇALVES, L. S. 2002. Melhoramento genético de abelhas com base no comportamento higiênico. In: CONGRESSO NACIONAL DE APICULTURA, 14, 2002, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2002.

GRAMACHO, K. Considerações sobre o melhoramento de abelhas com base no comportamento higiênico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 15., 2004, Natal. **Anais...** Natal: Confederação Brasileira de Apicultura, 2004.

HEINRICH, B. Thermoregulation of African and European Honeybees during foraging, attack and hive exits and returns. **J. Exp. Biol.** n. 80, p 217-229. 1979b.

HEINRICH B. Mechanisms of body-temperature regulation in honeybees, *Apis mellifera*. I. Regulation of head temperature. **J. Exp. Biol.** 85: 61–72. 1980a.

HEINRICH B. Mechanisms of body-temperature regulation in honeybees, *Apis mellifera*. II. Regulation of thoracic temperature at high air temperatures. **J. Exp. Biol.** 85: 73–87. 1980b.

HEINRICH, B. The social physiology of temperature regulation in honeybees. **Forsch. Zool.** 31, 393-406. 1985.

HEIRINCH, B. The social physiology of temperature regulation in honey bees. P 393-406. **Experimental Behavioral Ecology**, Fischer Berlin. 1987.

HEINRICH, B. **The Hot-blooded Insects: Strategies and Mechanisms of Thermoregulation.** Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press. 1993.

HOLANDA-NETO, J.P. de; PAIVA, C. da S.; MELO, S.B. de; PAIVA, A.C.C. de; MARACAJÁ, P.B.; SILVA, A.F. da; PEREIRA, D.S. **Comportamento de abandono de abelhas africanizadas em apiários durante a entressafra, na região do Alto Oeste Potiguar**, Brasil. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.11, p.77-85, 2015.

HUMAN H, NICOLSON SW, DIETEMANN. Do honeybees, *Apis mellifera scutellata*, regulate humidity in their nest? **Naturwissenschaften** 93(8):397-401. 2006.

INCROPERA, F.P., DEWITT, D.P., BERGMAN, T.L., LAVINE, A.S. In: **Fundamentos de transferência de calor e de massa** 6th ed. LTC, Rio de Janeiro. 2008.

INTERNATIONAL BEE RESEARCH ASSOCIATION - The World's Longest Established Apicultural Research Publishers. **What's Happening to Our Bees**, 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiario.shtm?c=4>> Acesso em 26 de Outubro de 2016.

IUPS Thermal Commission. Glossary of terms for thermal physiology, 3<sup>rd</sup> edition. **J. Thermal Biology**, v.28, p.75-106, 2003.

JOHNSON BR. Reallocation of labor in honeybee colonies during heat stress: the relative roles of task switching and the activation of reserve labor. **Behavioural Ecology and Sociobiology** 51:188-196. 2002.

JONES, J.C et al. The effects of rearing temperature on developmental stability and learning and memory in the honey bee, *Apis mellifera*. **J. Comp. Physiol. A** 191: 1121-1129.2005.

JONES, J.C.; OLDROYD, B.P. Nest thermoregulation in social insects. *Advances in Insect Physiology*, v.33, p.153-191, 2007.

KERR, W. E. The history of the introduction of Africanized bees to Brazil. *South African Bee Journal*. 39: 3-5. 1967.

KERR, W. E.; GONÇALVES, L. S.; BLOTTA, L. F.; MACIEL, H. B. Biologia comparada entre as abelhas italianas (*Apis mellifera ligustica*), Africana (*Apis mellifera adansonii*) e suas híbridadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 1., 1970, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Confederação Brasileira de Apicultura. p. 151-185. 1970.

KIPYATKOV, V.E. and LOPATINA, E.B., Temperature and Photoperiodic Control of Seasonal Development Cycles in Ants (Hymenoptera Formicidae): Exogenously Heterodynamic Species, **Entomol. Obozr.**, vol. 82, no. 4, pp. 801–819. 2003.

KLEINHENZ, M., BUJOK, B., FUCHS, S., TAUTZ, J. Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. **J. Exp. Biol.** 206, 4217–4231. 2003.

KOVAC, H.; SCHMARANZE, S. Thermoregulation of honeybees (*Apis mellifera*) foraging in spring and summer at different plants. **J. Insect Physiol.** Vol. 42, n. 11-12, p 1071-1076. 1996.

KOVAC H, STABENTHEINER A, SCHMARANZER S. Thermoregulation of water foraging honeybees – balancing of endothermic activity with radiative heat gain and functional requirements. **J Insect Physiol** 56: 1834–1845. 2010.

KOVAC, H., & STABENTHEINER, A. Thermoregulation of foraging honeybees on flowering plants: seasonal variability and influence of radiative heat gain. **Ecological Entomology** 36(6), 686-699, 2011.

KOVAC, H.; STABENTHEINER, A. & BRODSCHNEIDER, R. Contribution of honeybee drones of different age to colonial thermoregulation. **Apidologie**. 40: 82-95. 2009.

KOVAC H., STABENTHEINER A., HETZ S.K., PETZ M. & K. CRAILSHEIM: Respiration of resting honeybees. — **Journal of Insect Physiology** 53: 1250-1261. 2007.

KRAUS B, VELTHUIS HHW. Higher humidity in the honeybee (*Apis mellifera* L.) brood nest limits reproduction of the parasitic mite *Varroa jacobsoni* Oud. **Naturwissenschaften** 84:217-218. 1997.

KRIDI, DOUGLAS SANTAGO. **Monitoramento de padrões térmicos em colmeias de abelhas via rede de sensores se fio**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará. 64f. Fortaleza, 2014.

KRYGER P, KRYGER U, MORITZ RFA. Genotypical variability for tasks of water collecting and scenting in a honeybee colony. **Ethology** 106:769-779. 2000.

KRONENBERG F, HELLER C. Colonial Thermoregulation in Honey Bees (*Apis mellifera*). **J Comp Physiol** 148: 65–76. 1982.

KÜHNHOLZ S, SEELEY TD. The control of water collection in honeybee colonies. **Behavioural Ecology and Sociobiology** 41:407-422. 1997.

LIANG Q, CHEN D, WANG J. Effects of temperature, relative humidity and pH on germination of chalkbrood fungus, *Ascosphaera apis* spore. **Chinese Journal of Applied Ecology** 11:869-872. 2000.

LIMA, M. G. **A produção de própolis no Brasil**. São João da Boa Vista: São Sebastião, 2006.

LINDAUER, M. The water economy and temperature regulation of the honeybee colony. **Bee World** 36, 62-72.1955.

LIPINSKI, Z. **Essence and mechanism of nest abandonment by honeybee swarms: swarming, absconding, migration and related phenomena**. ISBN -83-913517-0-X. 2293 p. 2001.

LOLI, D. **Termorregulação colonial e energética individual em abelhas sem ferrão *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera, Apidae, Meliponini)**. Tese de Doutorado. Instituto de Biociencias. Universidade de São Paulo. São Paulo-SP. 229p. 2008.

LORENZON, M. C.; OLIVEIRA, C. de; JORDÃO, A. R.; CORDEIRO, G. D. **Carga térmica de radiação de dois apiários de abelhas africanizadas dispostos ao sol e à sombra**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 15.; CONGRESSO BRASILEIRO DE MELIPONICULTURA, 1., 2004, Natal. **Anais...** Natal: Confederação Brasileira de Apicultura: SEBRAE-RN, 2004. 1 CD-ROM.

MCMULLAN J.B., BROWN M.J.F. Brood pupation temperature affects the susceptibility of honeybees (*Apis mellifera* L.) to infestation by tracheal mites (*Acarapis woodi*), **Apidologie** 36, 97–105. 2005.

MANRIQUE, A. J.; SOARES, A. E. E. Início de um programa de seleção de abelhas africanizadas para melhoria na produção de própolis e seu efeito na produção de mel. **Interciência**, Caracas, v. 27, n. 6, p. 312-316, 2002.

- MARCILLAC-EMBERTSON et al. Effects of shade and sprinklers on performance, behavior, physiology, and the environment of heifers. **J Dairy Sci.**92,506–517. 2009.
- MARTIN, P. & BATESON, P. **Measuring behaviour: an introductory guide.** 2<sup>nd</sup> edition. Cambridge University Press, Cambridge, 222p.1993.
- MAY, M.I. Insect thermoregulation. *Ann. Review Entomology.* 24:313-349. 1979.
- MICHENER, C. D. **The bees of the world.** Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 913 p. 2000.
- MOYES, C. D & SCHULE, P. M. **Princípios da fisiologia animal.** Porto Alegre-RS: Artmed, 2<sup>a</sup> edição. 757p. 2010.
- NASCIMENTO JÚNIOR, A. F. **Estudo da influência de fatores ambientais no comportamento enxameatório, migratório e no desenvolvimento de colméias de abelhas africanizadas.** Dissertação de mestrado, Departamento de Genética, FMRP, USP, 180p. 1981.
- NOGUEIRA-COUTO, R.H.; COUTO, L. A. **Apicultura: Manejo e Produtos.** Jaboticabal: FUNEP, 191p. 2002.
- NÚÑEZ, J. A. Comparative study of thermoregulation between European and Africanized *Apis mellifera* in Brazil. **Journal of Apicultural Research**, 18, 116-121. 1979.
- OLIVEIRA, J. E., SAKOMURA, N. K., A., FIGUEIREDO, N., JÚNIOR, J. L., SANTOS, T. M.B. Efeito do Isolamento Térmico de Telhado Sobre o Desempenho de Frangos de Corte Alojados em Diferentes Densidades. **Rev. bras. zootec.**, 29(5):1427-1434. 2000.
- PACHECO, R. L. F.; KERR, W. E. Temperatura em abelhas da espécie *Melipona compressipes fasciculata*. **SBPC: Ciência e Cultura.** n. 41(5). p 490-495. 1989
- PAIVA, C. S. **Produção de abelhas rainha africanizadas (*Apis mellifera* L.) sob o efeito do sol e de área sombreada.** 2011, 40f. Mossoró-RN. Monografia (Bacharelado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2011.
- PARK, O. W. In *The hive and the honeybee.* Dadant and sons, Hamilton, Illinois. Lindauer M. 1955. The water economy and temperature regulation of the honeybee colony. **Bee World**, 364(5): 62-72. 1949.
- PETZ, M.; STABENTHEINER, A.; CRAILSHEIM, K. Respiration of individual honeybee larvae in relation to age and ambient temperature. **J. Compar. Physiol. B.** v.174, p.511–518, 2004.

QUEIROZ, M. L.; BARBOSA, S. B. P.; AZEVEDO, M. Produção de geleia real e desenvolvimento de abelhas *Apis mellifera*, na região semiárida de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 2, p. 449-453, 2001.

RITTER W. Experimenteller Beitrag zur Thermoregulation des Bienenvolkes (*Apis mellifera* L.). **Apidologie**. 13:169–195. 1982.

RODRIGUES, W. C. Fatores que Influenciam o Desenvolvimento nos Insetos. **Info. Insetos**, v.1, n.4, p.01-04, 2004.

ROBERTS, S.; HARRISON, J. F. **Mechanisms of thermoregulation on flying bees**. American Zoologist. 38: 459-502. 1998

ROOT, E. R.; ROOT, H. H.; ROOT, J. A. Edt. ABC and XYZ of bee culture. **Root Publishing**, 40 th Edition, 516p. 1990.

ROUBIK, D. W. Ecology and natural history of tropical bees. Cambridge: **Tropical Biology**. 514 p, 1989.

SALLES, A. da S.; CURVELLO, F. A.; CORRÊA, G. da S. S.; CORRÊA, A. B. Avaliação da cor da caixa, tipo e altura de cobertura e da temperatura sobre a produção de mel em abelhas *Apis mellifera*. **Revista Universidade Rural**, Série Ciências da Vida. Vol. 22, n.2, p.83-87, 2003.

SANTOS, Ricardo Gonçalves. **Longevidade e produção de abelhas rainhas africanizadas (*Apis mellifera* L.) em colmeias sob condições de sol e sombra no Semiárido do Nordeste brasileiro**. 2015. 104f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal: Sanidade e Produção animal) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN, Brasil.2015.

SCHMICKL, T.; CRAILSHEIM, K. How honeybees (*Apis mellifera* L.) change their broodcare behaviour in response to non-foraging conditions and poor pollen conditions. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 51, n. 1, p. 415-425, 2002.

SCHMARANTZER, S. E STABENTHEINER, S. **Thermology**, 2: 563 - 572. 1978.

SCHMARANZER S, STABENTHEINER A. Variability of the thermal behavior of honeybees on a feeding place. **J. Comp. Physiol. B**.158:135–141. 1988.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Fisiologia Animal: Adaptação e Ambiente**, 5th ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 611p. 2002.

SEELEY, T.D. **Ecologia da Abelha: Um Estudo de Adaptação na Vida Social**, Porto Alegre, RS: Paixão, 2006.

SEELEY, T.D., CAMAZINE, S., SNEYD, J. Collective decision-making in honey bees—how 357 colonies choose among nectar sources. **Behavioral Ecology and Sociobiology** 28, 277–290. 1991.

SEVERSON, D. W.; ERICKSON J. R., E. H. Seasonal constraints on mating and insemination of queen honey bees in a continental climate. **Apidologie**, v. 20, n. 1, 1989.

SILVA, R.G. **Manual de procedimentos em análises por quadrados mínimos**. FUNEP. São Paulo. 169 pp. 1993.

SILVA, R.G. **Introdução à bioclimatologia animal**. Nobel, São Paulo. 2000.

SILVA, R.G., **Biofísica Ambiental, os animais e seu ambiente**. Jaboticabal: FUNEP. 393p. 2008.

SILVA R.G; GUILHERMINO M.M; DE MORAIS DA E.F. Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. **Int J Biometeorol** 54: 5–11. 2010.

SILVA, E. C. A. **Influência de fatores ambientais e da técnica de manejo na fecundação natural de Apis mellifera (Hymenoptera, Apidae)**. 1993. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Zoologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 1993.

SILVA, E. C. L.; MODESTO, E. C.; AZEVEDO, M. et al. Efeitos da disponibilidade de sombra sobre o desempenho, atividades comportamentais e parâmetros fisiológicos de vacas da raça Pitangueiras. Revista Acta Scientiarum. **Animal Sciences**, v. 31, n. 3, p. 295-302, 2009.

SOMBRA, D. S. **Monitoramento do desenvolvimento de colônias de abelhas africanizadas sobre a influência do ambiente sol e sombra na região semiárida do nordeste brasileiro (Mossoró-RN)**. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.

SOUTHWICK, E.E. The honey bee cluster as a homeothermic superorganism. **Comparative Biochemistry and physiology** 75A:641-645. 1983.

SOUTHWICK, E.E. Allometric relations, metabolism and heat conductance in clusters of honey bees at cool temperatures. **Jornal of Comparative Physiology** 156B:143-149. 1985a.

SOUTHWICK, E.E. Bee hair structure and effect of hair on metabolism at cool temperature. **Jornal of Apiculture Research** 24:144-149.1985b.

SOUZA, D. C. **Apicultura: manual do agente de desenvolvimento rural**. 2. ed. Brasília: Sebrae, 186p. 2007.

SOUZA, H. R. de et al. Produção de própolis em colmeias de *Apis mellifera* africanizadas submetidas a diferentes condições de sombreamento. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 63, n. 4, p. 189-192, 2006.

SOUZA, J. L. F. de; SIMOKOMAKI, K. Resultados preliminares sobre a longevidade comparada de operárias de abelhas africanizadas (*Apis mellifera scutella*), submetidas a duas condições experimentais diferentes: aumento da temperatura e confinamento. **Revista Mensagem Doce**, n.42, 1997.

STABENTHEINER, A. et al. Endothermic heat production in honeybee winter clusters. **J. Exp. Biol.** v.206, p.353–358, 2003.

STABENTHEINER A, KOVAC H, R. Honey bee colony thermoregulation-regulatory mechanisms and contribution of individuals in dependence on age, location and thermal stress. **PloS ONE**. 2010.

STABENTHEINER A, SCHMARANZER S. Thermographic Determination of Body Temperatures in Honey Bees and Hornets: Calibration and Applications. **Thermology** 2: 563–572.1987.

Statistical Analysis System - SAS, 1999. User's guide:statistics. Version 9.1. SASInstitute, Cary.

STOWELL, R.R., MADER, T.L., GAUGHAN, J.B. Environmental Management. In: DeShazer, J.A. (Ed.), **Livestock Energetics and Thermal Environmental Management**, American Society of Agricultural Engineers, pp.181–209. Chapter 8. 2009.

SUDARSAN, R., et al. Flow currents and ventilation in Langstroth bee hives due to brood thermoregulation efforts of honey bees. **J. Theor. Biol.** 295, 168-193, 2012.

TAUTZ, J., MAIER, S., GROH, C., RÖSSLER, W. & BROCKMANN, A. **Behavioral performance in adult honey bees is influenced by the temperature experienced during their pupal development**. PNAS. 100 (12): 7343-7347. 2003.

TAVARES, R. F.; QUEIROZ, M. L.; COSTA-MAIA, FABIANA M.; AZEVEDO, M.; OLIVEIRA, J. R.; NASCIMENTO, G. J. R.; COSTA, C. F. S.; LIMA, T. B. A. A. Estudo da Influência das Variáveis Climáticas em Colônias de *Apis mellifera*, em Ambientes de Sol e Sombra no Semiárido Pernambucano. In: 19º Congresso Brasileiro de Apicultura 5º Congresso Brasileiro de Meliponicultura, 2012, Gramado. **Mensagem Doce**. São Paulo, 2012.

TOLEDO, V. A. A. T.; NEVES, C. A.; ALVES, E. M.; OLIVEIRA, J. R.; RUVOLOTAKASUSUKI, M. C. C.; FAQUINELLO, P. Produção de geleia real em colônias de abelhas africanizadas considerando diferentes suplementos proteicos e a influência de fatores ambientais. *Acta Scientiarum*. **Animal Sciences**, v. 32, n. 1, p. 93-100, 2010.

TOLEDO, V.A.A., NOGUEIRA-COUTO, R. H. Thermoregulation in colonies of Africanized and hybrids with Caucasian, Italian and Carniolan *Apis mellifera* honeybees. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.42, n.4, p.425-431, 1991.

TOLEDO, V. A. A.; NOGUEIRA-COUTO, R. H.; MALHEIROS, E. B.; FAQUINELLO, P.; SEREIA, M. J. Produção de realeiras em colônias híbridas de *Apis mellifera* L. e longevidade de rainhas. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 2, p.176-185, 2012.

VIDAL, M. de F. **Efeitos da seca de 2012 sobre a apicultura nordestina**. Informe Rural ETENE, Banco do Nordeste, v.7, n.2, 2013.

VOLLET-NETO, A. **Biologia térmica de *Scaptotrigona depilis* (Apidae, Meliponini): adaptações para lidar com altas temperaturas**. 99p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2011.

WEAVER, R. S. The importance of requeening honey bee colonies in hot climate. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE APICULTURA EM CLIMA QUENTE, **Anais...** Florianópolis, p.174-177, 1979.

WINSTON, M. L. The biology and management of Africanized honey bees. **Annual Review of Entomology**, v. 37, p. 173-193, 1992.

WINSTON, M. L. **A biologia da abelha**. Porto Alegre: Magister, 281 p. 2003.

WOYCIECHOWSKI, M. Risk of water collecting in honeybee (*Apis mellifera*) workers (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology** 50, 1059–1068. 2007.

YANG MX et al. Thermoregulation in mixed-species colonies of honeybees (*Apis cerana* and *Apis mellifera*) **J Insect Physiol** 56:706-709. 2010.

ZACEPINS, A.; KARASHA, T. Application of temperature measurements for bee colony. **Engineering For Rural Development**, Jelgava, p. 126-131, 2013.