

DESIGN PARAMÉTRICO APOIADO POR IOT APLICADO AO PROJETO DE COLMEIAS DE ABELHAS NATIVAS

PARAMETRIC DESIGN SUPPORTED BY IOT APPLIED TO NATIVE BEEHIVES

SANTOS, Aguinaldo, PhD, Universidade Federal do Paraná

ROCHA, Clarice Ferro, Graduanda, Universidade Federal do Paraná

OSTROVSKI, Katia Regina, Doutora, Universidade Federal do Paraná

Resumo

A disseminação da meliponicultura no Brasil vem demandando o desenvolvimento de soluções que permitam a customização das caixas de colônias considerando as variáveis relevantes para possibilitar os níveis de temperatura e umidade ideais. A variedade de condições ambientais encontradas nas 8 zonas bioclimáticas brasileiras é um desafio para sua customização, impossibilitando a adoção de padrões para todo o país. Neste contexto, a adoção de protocolos de Design Paramétrico se apresenta como uma estratégia relevante para abranger essas variáveis. Neste trabalho é apresentado a proposta de um protocolo para Design Paramétrico, orientado à utilização de dados coletados localmente por sensores IoT (Internet das Coisas) no projeto de colmeias de Abelhas Nativas Sem Ferrão (ANSF). O estudo de campo utiliza dados coletados em meliponário da Aldeia Indígena Kuaray Haxa, em Guaraqueçaba, Paraná. O artigo exemplifica a aplicação do protocolo através da revisão da caixa INPA para colmeias voltadas a esta comunidade.

Palavras Chave: *abelhas nativas; Design Paramétrico; zonas bioclimáticas.*

Abstract

The dissemination of meliponiculture in Brazil has been demanding the development of solutions that allow the customization of beehives considering the relevant variables for maintaining the ideal levels of temperature and humidity in the hive. The diverse environment conditions found in Brazil's 8 bioclimatic zones is a challenge for this customization, making it impossible to adopt standards for the whole country. In this context, the implementation of protocols of Parametric Design presents as a relevant strategy for tackling these variables. In this work it is presented a proposition of a Parametric Design protocol oriented towards the use of local data collected via IoT (Internet of Things) in the design of native stingless beehives. The field study utilizes data collected in the meliponary of Kuaray Haxa, in Guaraqueçaba, Paraná. The article exemplifies the use of the protocol through the revision of the INPA beehive project for the beehives in this community.

Keywords: *native bees; Parametric Design; bioclimatic zones.*

1 Introdução

Há um crescente reconhecimento da importância das abelhas nativas para a proteção da natureza, assim como de seu potencial na geração de trabalho e renda através da meliponicultura, que se trata da sua criação racional. Observa-se no meio urbano e periurbano aumento do volume de meliponicultores, como por exemplo, no estado de São Paulo, a atividade de meliponicultura foi regulamentada em 2021, e teve quase 2000 registros de produtores de abelhas sem ferrão no estado (Governo do estado de São Paulo, 2023). Também observa-se aumento substancial de iniciativas em redes sociais que compartilham conhecimento desde a fabricação de colmeias até técnicas de manejo. Este contexto, ao mesmo que configura-se como alvissareiro para a causa da proteção das abelhas nativas, também tem resultado em danos ambientais quando da disseminação de práticas que desconsideram as características geoclimáticas variadas de um país continental como o Brasil. Neste sentido, o presente artigo apresenta uma proposição de protocolo que busca uma maior customização do design de colmeias de abelhas nativas, viabilizando seu dimensionamento parametrizado em função das zonas bioclimáticas e das demandas de cada espécie, fazendo uso de dados coletados via *IoT* (Internet das coisas) nas próprias colmeias.

Há tanto uma motivação biocêntrica como antropocêntrica para o estudo. Do ponto de vista antropocêntrico, sabe-se que a humanidade está enfrentando vários desafios importantes, entre eles, aumentar a quantidade e a qualidade dos alimentos para uma população em crescimento. Para tanto, precisa fazê-lo de maneira sustentável e mantendo os serviços dos ecossistemas e da biodiversidade. As abelhas são muito conhecidas por sua produção de mel, mas hoje em dia seu papel como provedoras de Serviços Ecossistêmicos também é reconhecido, e a polinização costuma ser apontada como o mais importante benefício das abelhas para a Humanidade. Os polinizadores são responsáveis por pelo menos três quartos (75%) das culturas vegetais do mundo, onde as abelhas são responsáveis diretas por 1/3 de toda dieta humana. É reconhecido que os serviços prestados através da polinização por abelhas são relevantes no mundo, tanto baseados na importância ecológica das abelhas como no retorno econômico. Contudo, embora vantajosa, a criação racional de meliponíneos é dificultada pela escassez de informações biológicas e zootécnicas, pois muitas sequer foram identificadas ao nível de espécie (Mello, 2014).

Sob o ponto de vista biocêntrico as mudanças climáticas e os impactos da devastação dos meios naturais pelo ser humano, tem repercutido na inclusão de abelhas nativas na lista das espécies em extinção, um exemplo disso é a abelha guaraipe, ou guarupu, que se encontra principalmente no estado do Rio Grande do Sul. Esta abelha depende de determinadas espécies de árvores para construir sua colônia, porém com a fragmentação do habitat os seus números têm reduzido (Witter et al., 2010). Segundo estudo do IDR-Paraná (2023) na meliponicultura as principais causas de mortalidade e contaminação apontadas são os agrotóxicos, a utilização de princípios ativos nocivos às abelhas, como o fipronil, via aplicação foliar, a pulverização agrícola sem os devidos critérios técnicos e a falta de adoção de práticas mais sustentáveis como o manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas.

Existem mais de 20.000 espécies de abelhas no mundo (Prioni, 2000), tendo sua distribuição geográfica nas regiões tropicais e subtropicais do planeta. O Brasil é o país com a maior diversidade de espécies de abelhas sem ferrão (meliponas) do mundo, tendo mais de 300 espécies catalogadas reconhecidas (Silveira, 2002).

Nas condições continentais do Brasil - e isso implica em uma grande variação de temperatura média de acordo com cada região - essa distribuição geográfica se faz em seis diferentes Biomas e oito Zonas Bioclimáticas caracterizadas, estabelecidas pela norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Cada bioma e zona bioclimática demanda soluções específicas para viabilizar a qualidade de vida das abelhas, o que é normalmente realizado na/pela natureza de forma interativa e adaptativa. No antropoceno estes impactos têm se apresentado em tal velocidade que não tem oferecido tempo hábil para adaptação das espécies, cabendo nesta situação ações pró-ativas do ser humano para possibilitar a sobrevivência e a sobrevivência das espécies.

A observação do mundo ao seu redor e a conexão do homem, animais e natureza são fundamentos básicos em uma atividade meliponícola, que promove o desenvolvimento agrícola sustentável, a conservação da vida selvagem, e contribui com a biodiversidade local, o que justifica investimentos na atividade, já que muitas espécies animais e vegetais exigem uma gestão específica com técnicas e ambientes corretos. O alerta de que devemos considerar nossa dedicação científica para as questões técnicas envolvendo a meliponicultura é justamente a crise global de declínio mundial da população desses insetos (Potts et al., 2010; Ostrovski et al, 2016).

Independentemente da adoção de uma perspectiva antropocêntrica ou biocêntrica, com a devastação dos diversos biomas e com os eventos extremos cada vez mais presentes nestas zonas bioclimáticas o fato que se faz necessário que as colmeias de abelhas nativas sejam concebidas de forma a viabilizar maior resiliência das abelhas às variações de temperatura e umidade. Felizmente na atualidade o monitoramento e controle da temperatura e umidade dentro das colmeias de abelhas nativas pode ser feito com a ajuda de dispositivos remotos com o uso de *IoT*, permitindo ajustes no manejo em tempo real, como a melhoria da ventilação ou o aquecimento ativo de colmeias. Note-se que o monitoramento de variáveis como a temperatura e umidade e seu uso no manejo pode impactar os parâmetros genéticos, os valores genéticos e a saúde geral da colônia (Bakri, 2024). Na apicultura estes avanços das tecnologias digitais emergentes (*IA*, *Big Data*, *IoT*) vem permitindo o monitoramento em tempo real da temperatura, umidade, peso e outros parâmetros críticos para manter as condições ideais da colmeia (Meikle & Holst, 2014; Bumanis, 2020; Cecchi et al., 2020). Neste artigo os autores propõem uso destes dados coletados via *IoT* como parâmetros para utilização em modelo de Design parametrizado de colmeias de abelhas nativas, de maneira a contribuir para sua sobrevivência e qualidade de vida.

2 O projeto de colmeias considerando a diversidade de zonas bioclimáticas brasileiras

A Caixa Racional para Abelhas Nativas Sem Ferrão

O local de nidificação (construção de colônias) natural das Abelhas Nativas Sem Ferrão (ANSF) são os troncos das árvores, tendo o ambiente interno em disposição vertical, com uma base de geoprópolis e cerúmen (mistura de terra e própolis e cera produzida pelas próprias abelhas, respectivamente) seguida pela área de ninho, desenvolvimento de crias, e na região apical as reservas de alimentos (mel e pólen). Contudo, a criação de abelhas sem ferrão em troncos, cortiços e caixas rústicas representa uma atividade tradicional extrativista (Aquino et al., 2009) que já não é mais possível nos espaços urbanos brasileiros em função do nível de destruição da flora e fauna.

Uma das formas para atender as necessidades de preservação das abelhas é estimular a criação técnica das espécies em meliponários, com manejo racional e não extrativista. Em cada

região do país há espécies de ocorrência natural, bem adaptadas às condições locais, ou seja, mais adequadas à criação racional, que se inicia pela escolha das espécies (Villas-Bôas, 2012). Como o manejo das ANSF é acessível, pode ser uma oportunidade para ajudar a compor a renda da agricultura familiar através de produtos derivados ou até mesmo o serviço de polinização. Outra possibilidade é também o seu uso como ferramenta de educação ambiental, visto que as colônias podem estar em ambiente urbano ou periurbano, desde que haja na região uma vegetação com flores que produzem néctar suficiente para as demandas nutricionais das abelhas (pasto melífero). Paradoxalmente, justamente o meio urbano tem se mostrado livre de agrotóxicos, ameaça fortemente presente na zona rural, conforme alertado pelo estudo da ADR-Paraná (2023).

Em programas de implantação de meliponários devem ser considerados a introdução e manejo dinâmico de abelhas em diferentes áreas, sejam os objetivos conservacionistas, comerciais ou de pesquisa. Praticar a meliponicultura com uma abordagem técnica e profissional, considerando as variáveis de influência para preservação e produção, significa investir em conhecimentos, dentre eles, o melhor tipo de colmeia racional para formação de colônias de meliponíneos e sua regionalização, considerando espécie e ambiente. É fato que ainda existe falta de padronização de caixas racionais que amenizem os efeitos deletérios do clima em diferentes ambientes para cada espécie. Para Ostrovski et al. (2017), uma das características mais importantes a ser considerada para a preservação e produção são os modelos de caixas racionais adequados às diversas espécies de meliponíneos, que favoreçam menor perda de calor na área do ninho onde ocorre o desenvolvimento das crias, afetando conseqüentemente o bem-estar e a produtividade da colônia.

A utilização de caixas racionais visa contribuir com a padronização e organização de todo processo produtivo na meliponicultura (Venturieri, 2008), além de definir as competências térmicas necessárias às variações do local, sejam as circadianas ou as circanuais. Por isso, o Design da caixa racional pode incrementar a qualidade de vida das abelhas e, por conseguinte, ampliar os níveis de produção de mel, cera e própolis (Ribeiro et al., 2013).

Um dos desafios no Design de caixas racionais que possam contribuir ao bem estar das colônias de abelhas nativas é a variedade de zonas climáticas no Brasil. Note-se as zonas bioclimáticas, definidas na norma ABNT NBR 15220-3. Estas zonas bioclimáticas foram concebidas originalmente com vistas a sua aplicação no projeto de edificações, em associação com normas que tratam de conforto no ambiente construído. A Zona Bioclimática 1, domicílio dos autores do presente artigo, é caracterizada por ser fria, com invernos rigorosos com temperaturas baixas e verões amenos, umidade de moderada a alta, apresentando as maiores amplitudes térmicas diárias, tendo como clima predominante o subtropical de altitude. As implicações práticas deste zoneamento no caso do projeto de edificações é a aplicação de diretrizes como a implementação de isolamento térmico eficiente, aquecimento durante o inverno, uso de materiais que retêm calor, proteção contra ventos frios, janelas com vidros duplos. Tem-se como pressuposto no presente artigo da possibilidade de se estabelecer estratégias e diretrizes para colmeias de abelhas nativas e seu entorno imediato. Para tanto, entende-se quanto à carência de protocolos, modelos e ferramentas que apoiem aqueles que projetam e produzem colmeias no país, os quais muitas vezes são os próprios meliponicultores.

3 Termorregulação a partir do projeto da colmeia

No contexto de conforto térmico para caixas de abelha sem ferrão, entende-se da necessidade de elaboração de estratégias específicas que viabilizem a adequação da caixa às condições climáticas do seu entorno, favorecendo assim a termorregulação mais adequada para

cada colônia. A temperatura interna e a umidade das colmeias nativas são influenciadas por diversas variáveis-chave, as quais em última instância estão relacionadas com o equilíbrio de todo o ecossistema à sua volta.

A temperatura desempenha um papel crucial na produtividade das colmeias, com impacto direto nas alterações no peso da colmeia (Gounari et al., 2022). Independente da temperatura externa, as ANSF possuem a capacidade de controlar a temperatura do ninho dentro de uma faixa específica, entre 25°C e 32°C. Este processo é denominado termorregulação colonial (Wilson, 1971). A temperatura ambiente é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento das colônias de meliponíneos, visto que parte de sua energia produtiva é dedicada à termorregulação da colônia (Ostrovski, 2019).

Além disso, a umidade relativa (UR) é essencial para o sucesso da eclosão dos ovos e da sobrevivência das larvas, com faixas específicas como 55% a 95% de UR sendo críticas para diferentes estágios de desenvolvimento das abelhas (Ellis et al., 2008). No estudo de Jesus (2017), realizado no Brasil e com foco na abelha tubuna (*Scaptotrigona bipunctata*), a umidade média foi de 79,19% (máx. =99% e mín. = 28,5%). Conforme Doull (1976), os ovos da abelha *A. mellifera* não eclodem em umidades relativas inferiores a 50%, apresentando maior taxa de eclosão em umidades relativas entre 90 e 95%. Desta forma, assim como a temperatura, manter a umidade dentro da faixa ideal para as demandas específicas de cada espécie é crucial para a saúde das colmeias em questões como o controle de fungos e bactérias, desenvolvimento das larvas e pupas, assim como na conservação do mel.

A gestão dos níveis de temperatura e umidade das colmeias na natureza faz uso da capacidade das abelhas em regular as condições microclimáticas dentro da colmeia de acordo com suas necessidades da colônia (Human et al., 2006). A ocorrência de temperaturas fora da faixa ideal (34 a 35°C) pode provocar aumento da mortalidade na colônia, além de defeitos físicos das operárias nas asas ou outras partes do corpo. Para baixar a temperatura da colmeia, as abelhas do interior da colônia se distanciam dos favos e/ou se aglomeram do lado de fora da caixa, o que inclui a movimentação de suas asas na entrada do ninho para direcionar a corrente de ar. Esta corrente, além de esfriar a colmeia, auxilia na evaporação do excesso de umidade do néctar, o que contribui para sua transformação em mel. Similarmente, quando a umidade interna está muito elevada com a evaporação do néctar, as operárias imediatamente provocam uma corrente de ar para o interior da colmeia, na tentativa de diminuir tal umidade. Outra estratégia das abelhas para esfriar o ar em temperaturas muito altas é coletar água e espalhar pequenas gotas pela colmeia e/ou regurgitar pequenas quantidades de água presentes abaixo da língua. No inverno, para aumentar a temperatura do interior da colmeia as abelhas se aglomeram em “cachos” e, caso a temperatura continue caindo, as operárias aumentam sua taxa de metabolismo, provocando vibrações dos músculos torácicos, gerando calor. Da mesma forma, ocorre uma troca de posição: abelhas que estão no centro do cacho vão para as extremidades e vice-versa (Campos, Gois e Carneiro, 2010; CPT, 2024).

Diversas variáveis do Design de uma caixa de abelhas influenciam nos níveis de temperatura e umidade internos: a) Material da caixa: influencia o isolamento térmico e a permeabilidade ao vapor de água (Silva, 2019; Viebrantz et al., 2024); b) Espessura das paredes: paredes mais espessas oferecem maior isolamento (Silva, 2019); c) Tamanho da caixa: o volume interno da colmeia afeta diretamente a capacidade de reter calor e umidade (Ostrovski et al., 2017); d) Ventilação: a quantidade e localização das aberturas de ventilação; e) Localização das entradas e saídas: afetam a circulação de ar dentro da caixa (Silva, 2019); f) Cobertura e isolamento: a forma e materiais utilizados podem contribuir para reter ou dissipar o calor; g) Cor

da caixa: cores mais escuras absorvem mais calor, enquanto cores mais claras refletem mais luz solar, influenciando a temperatura interna (Souza, 2014); h) Sombreamento externo: a presença de sombra sobre a caixa pode ajudar a reduzir a temperatura interna; i) Umidade ambiente externa: os níveis externos podem influenciar a umidade interna, a depender da capacidade de isolamento e da ventilação da colmeia; j) proximidade de fontes de água (Jesus, 2017); k) Selagem das juntas: pode prevenir a entrada de umidade excessiva; l) Presença de uma barreira de vapor: podem controlar a quantidade de umidade que entra e sai da colmeia. Saliente-se que o próprio microbioma da colmeia, influenciado por fatores ecológicos e práticas de gestão do meliponário, também pode afetar a regulação da temperatura e da umidade da colmeia, impactando subsequentemente a saúde das abelhas e a dinâmica do ecossistema (Santorelli et al., 2023).

4 Método de pesquisa

Esta pesquisa foi realizada a partir de uma revisão da bibliografia sobre criação de abelhas sem ferrão, caixas racionais de criação e zonas bioclimáticas brasileiras. A partir disso, foi possível compreender a importância da temperatura e do clima para o bem estar das colmeias, e identificada a falta de um protocolo para o Design Paramétrico que seja adaptável ao clima e às necessidades de cada espécie.

No presente estudo enfatizou-se o Design Paramétrico orientado às espessuras da colmeia. Adotou-se como parâmetro formal e funcional o modelo de caixa INPA. Este modelo foi idealizado pelo pesquisador Fernando Oliveira quando trabalhou no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). O modelo de caixa foi batizado com seu próprio nome, Fernando Oliveira, porém se popularizou com o nome do instituto. Foi desenvolvido com o objetivo de facilitar o trabalho dos meliponicultores, particularmente quanto à divisão de enxames e à coleta de mel. As caixas INPA são formadas por três módulos básicos: Ninho, Sobre ninho e melgueira, dispostos verticalmente.

O modo de pensamento projetual utilizado para a construção do protocolo de projeto de colmeias para abelhas sem ferrão deste estudo é o Design Paramétrico. A partir da manipulação de relações e geometrias flexíveis, ele não fornece uma solução única, mas proporciona um agente de controle para melhor lidar com multiplicidades projetuais (Velooso et al., 2017). A criação técnica de ANSF é um exemplo de um problema complexo que sofre influência de diversos fatores, como as necessidades específicas da espécie e o clima local. Por isso, o Design Paramétrico pode oferecer um caminho para projetar de um modo mais eficiente para esse contexto complexo. Seu processo de criação ocorre principalmente no meio digital, onde se permite a variação do modelo de acordo com diversos parâmetros considerados no projeto (Mineiro e Magalhães, 2019). No caso do presente estudo, o modelo da colmeia varia de acordo com as necessidades da espécie de abelha sem ferrão, da zona bioclimática ou, alternativamente, por dados mais precisos coletados via *IoT*.

5 Etapa 1: Determinação das medidas/volume interno da colmeia

O tamanho dos módulos da caixa INPA e a quantidade de melgueira vão depender da espécie de abelha sem ferrão que será criada na caixa. Dimensões maiores devem ser construídas para espécies de ninhos maiores enquanto caixas INPA menores devem ser confeccionadas para espécies de ninhos menores. Portanto o dimensionamento ideal da largura da caixa deve levar em conta o diâmetro máximo dos favos de cria que determinada espécie é capaz de construir. A Tabela 1 indica alguns exemplos de medidas de caixa INPA recomendados para diferentes espécies de abelhas sem ferrão (CriarAbelhas, 2024).

Tabela 1 - Dimensões Internas da Caixa INPA para Diferentes Espécies de ANSF

Espécie	Comprimento	Largura	Altura (ninho)	Altura (sobreninho)	Altura (melgueira)
Uruçu Nordestina, Uruçu Amarela, Uruçu Preta, Uruçu Cinzenta, Uruçu Boca de Renda	20	20	7	7	5
Scaptotrigonas (Canudo, Tubuna, Benjoí, Mandaguari, etc), Borá/Jataíção	20	20	7	7	5
Mandaçaia MQA e Manduri	16	16	7	7	5
Mandaçaia MQQ	18	18	7	7	5
Mandaçaia MQA*, Tiubá, Jupará, Jandaíra, Guaraipo	15	15	7,5		
Jataí/Iraí	12	12	7	7	5
Mirim Guaçu, Mirim Droryana, Mirim Preguiça, Lambe Olhos	10	10	5	5	

* medidas que verticalizam a colmeia

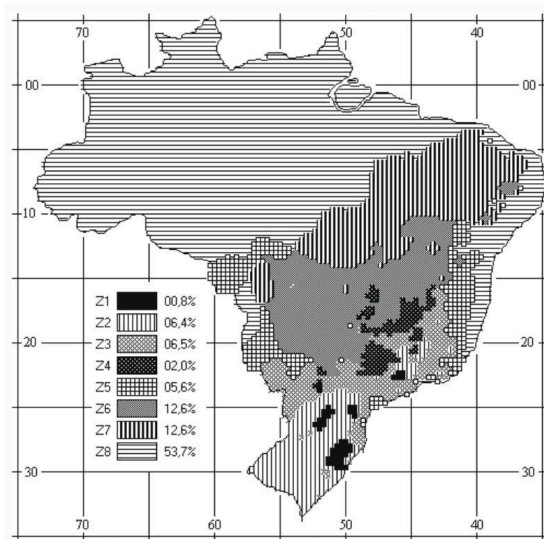
Fonte: CriarAbelhas, 2024

Note-se que a tabela é produzida a partir de dados de origem empírica. Não há um único padrão dimensional para cada espécie. Entretanto, cada espécie possui um volume de ninho e melgueira (onde é armazenado o mel e o pólen) particular, sendo passível a consideração de outros formatos para além do quadrado ou retangular, como o trapezoidal ou cilíndrico. Note-se que a forma cilíndrica permite uma distribuição mais uniforme do calor, reduzindo pontos de troca térmica concentrados. Além disso, a forma cilíndrica tem uma área de superfície menor comparada às formas quadrangular e trapezoidal, o que reduz as perdas de calor. Ademais, abelhas nativas muitas vezes ocupam troncos de árvores, que são naturalmente cilíndricos, oferecendo um ambiente mais familiar e termicamente eficiente. Apesar destas vantagens, há que se considerar as dificuldades técnicas e econômicas na fabricação de colmeias de madeira cilíndrica.

6 Etapa 2: Determinando a zona bioclimática em que se situa a colmeia

A norma ABNT NBR 15220-3, vigente desde o ano de 2005, estabelece 8 zonas relativamente homogêneas quanto ao clima no território brasileiro. Conforme a ABNT (2005), para caracterização das zonas bioclimáticas, foram coletados dados médios das temperaturas máximas, mínimas e da umidade relativa do ar em 330 cidades do território brasileiro. O resultado deste zoneamento é ilustrado na Figura a seguir:

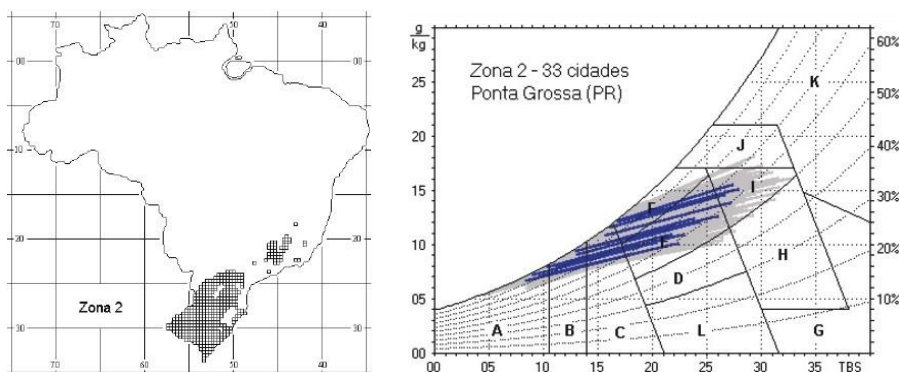
Figura 1 - Zonas bioclimáticas brasileiras



Fonte: ABNT, 2005

A partir desta coleta de dados, cada zona possui uma determinada amplitude de temperatura e umidade médias, como exemplificado na Figura 2 a seguir:

Figura 2 - Identificação de amplitudes de temperatura e umidade em Zona Bioclimática - exemplo



Fonte: ABNT, 2005

Não foi encontrado na literatura na ocasião da elaboração do presente artigo, investigações que estabelecem diretrizes para colmeias de abelhas nativas a partir das características de cada zona bioclimática. Desta forma, fez-se uso do ChatGPT, tendo sido utilizado o seguinte prompt “agrupe as estratégias de manutenção da temperatura e umidade de uma colmeia de abelha nativa de acordo com as zonas bioclimáticas brasileiras definidas na NBR 15.220-3, consideramos as características climáticas específicas de cada zona”. O resultado foi organizado na tabela apresentada a seguir:

Tabela 2 - Diretrizes para o Projeto e Implantação de Colmeias de Abelhas Nativas de Acordo com as Zonas Bioclimáticas

Zona Bioclimática	Características	Diretrizes para Colmeias de Abelhas Nativas				
		Isolamento térmico	Localização	Cobertura	Ventilação	Superfície externa
1 - Fria	<u>Temperatura:</u> Invernos rigorosos com temperaturas baixas e verões amenos; <u>Umidade:</u> Moderada a alta; <u>Clima:</u> Subtropical de altitude.	Caixas de madeira com paredes espessas, duplas e/ou material isolante.	Posicionar as colmeias em locais protegidos do vento e do frio	Cobertura extra sobre a colmeia para proteger contra geada, neve e a chuva.	Entradas menores no inverno para conservar calor.	Capas à prova de água para proteger a colmeia do frio e da chuva.
2 - Temperada	<u>Temperatura:</u> Estações bem definidas, com verões quentes e invernos frios; <u>Umidade:</u> Moderada; <u>Clima:</u> Temperado.	Isolamento térmico para manter uma temperatura estável.	Colocar as colmeias em áreas que recebem sol durante o inverno e sombra no verão.	Cobertura extra para proteger contra chuva e sol.	Entradas ajustáveis para controlar a ventilação.	Cores claras para refletir a luz solar no verão e cores escuras no inverno para absorver calor.
3 - Temperada Úmida	<u>Temperatura:</u> Verões quentes e úmidos e invernos frios; <u>Umidade:</u> Alta; <u>Clima:</u> Subtropical úmido.	Isolamento térmico para manter uma temperatura estável.		Cobertura extra para proteger contra a chuva.	Entradas ajustáveis para controlar a ventilação.	Capas à prova de água para proteger a colmeia do frio e da chuva.
4 - Quente e Úmida	<u>Temperatura:</u> Alta durante o ano todo; <u>Umidade:</u> Alta; <u>Clima:</u> Tropical úmido.	Pintar as colmeias com cores claras para refletir a luz solar.	Colocar as colmeias em áreas sombreadas.		Ventilação cruzada e respiros superiores para permitir a saída de ar quente.	Capas à prova de água para proteger a colmeia do frio e da chuva.
5 - Quente e Seco	<u>Temperatura:</u> Altas durante o dia e noites frescas; <u>Umidade:</u> Baixa; <u>Clima:</u> Semiárido.	Paredes espessas e materiais de alta inércia térmica; Cores claras para refletir a luz solar.	Colocar as colmeias em áreas que recebem sombra durante o dia.	Cobertura extra para proteger contra o sol direto.	Entradas ajustáveis para controlar a ventilação e resfriamento durante o dia.	

Tabela 2 - Diretrizes para o Projeto e Implantação de Colmeias de Abelhas Nativas de Acordo com as Zonas Bioclimáticas - continuação (fonte: ChatGPT, 2024).

6 – Quente e Subúmido	<u>Temperatura:</u> Altas com estações chuvosas e secas bem definidas; <u>Umidade:</u> Moderada; <u>Clima:</u> Tropical com estação seca.	Cores claras para refletir a luz solar.	Colocar as colmeias em áreas que recebem sombra durante o dia.	Cobertura extra para proteger contra o sol direto e a chuva.	Ventilação natural e cruzada.	Capas à prova d' água para proteger contra a chuva.
7 – Muito Quente e Úmida	<u>Temperatura:</u> Altas durante todo o ano; <u>Umidade:</u> Alta; <u>Clima:</u> Tropical.	Cores claras para refletir a luz solar.	Colocar as colmeias em áreas sombreadas.	Cobertura extra para proteger contra o sol direto e a chuva.	Ventilação natural e cruzada.	Capas à prova de água para proteger contra a chuva.
8 – Muito Quente e Seco	<u>Temperatura:</u> Extremamente altas durante o dia e muito baixas à noite; <u>Umidade:</u> Muito baixa; <u>Clima:</u> Árido.	Paredes espessas e materiais de alta inércia térmica; Cores claras para refletir a luz solar.	Colocar as colmeias em áreas sombreadas.	Cobertura extra para proteger contra o sol direto.	Entradas ajustáveis para controlar a ventilação e resfriamento durante o dia.	

Fonte: ChatGPT, 2024

Note-se que no caso da coluna “ventilação”, embora o dimensionamento da abertura de ingresso na colmeias seja determinado pelas próprias abelhas e com tamanhos típicos de cada espécie, manteve-se o conteúdo da coluna, tendo em vista a possibilidade de concepção de colmeias com “halls” de entrada, soluções em serpentina e soluções afuniladas, dentre outras soluções. Algumas destas soluções vêm sendo desenvolvidas de forma vernacular por meliponicultores como forma de ampliar a proteção das colmeias ao ataque de outros insetos, como a abelha limão (*Lestrimelitta limao*).

7 Etapa 3: Avaliação da saúde das colmeias existentes a partir dos dados de IoT

O protocolo proposto para realização de Design Paramétrico orientado às colmeias de abelhas nativas propõe a utilização de dados coletados localmente via sensores IoT para avaliar o desempenho ambiental das colmeias disponíveis no local. Semelhante ao argumento da “agricultura de precisão”, apregoa-se aqui a utilização de uma meliponicultura de precisão, tendo em vista a sensibilidade das abelhas para variações de temperatura e umidade. São propostos no protocolo a utilização dos seguintes dados a serem coletados via IoT: a) temperatura interna; b) temperatura externa; c) umidade relativa interna; d) umidade relativa externa; e) taxa de variação do peso da colmeia; f) fluxo de abelhas na entrada da colmeia. Com base nos resultados da avaliação destes indicadores, vis-a-vis indicadores ideais de saúde da espécie, esta etapa aponta

para a adequação ou inadequação da caixa. Na Tabela 3, é explorado com mais detalhes o impacto de cada parâmetro na saúde da colmeia:

Tabela 3 - Diretrizes para Análise de Dados de IoT coletados em Colmeias de ANSF

Parâmetro	Variação normal	Desvios significativos	Faixa de saúde (mínimos e máximos) para a abelha <i>Tetragonisca angustula</i>
Temperatura interna	A temperatura interna deve estar dentro dos limites ideais para a espécie de abelha e da zona bioclimática.	Variações extremas podem indicar problemas como superaquecimento, falta de ventilação ou infestações.	Ninho: $30.3 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ Melgueira: $19.6 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (Torres, Hoffmann e Lamprecht, 2007)
Umidade Relativa Interna	A umidade interna deve estar dentro de limites que evitem excesso de umidade (promovendo fungos) ou desidratação das abelhas.	<ul style="list-style-type: none"> - Umidade excessiva pode ser resultado de falta de ventilação adequada, localização da colmeia em áreas muito úmidas, ou infiltração de água devido a vazamentos. - Umidade excessivamente baixa revela ambientes muito secos, falta de fontes de água próximas à colmeia, ou má gestão da ventilação. - Mudanças climáticas repentinas, abertura frequente da colmeia durante condições adversas, ou falhas nos sistemas de controle. 	50 a 80 (ChatGPT, 2024)
Taxa de Variação do Peso	Variações regulares indicam atividade normal da colmeia, como coleta de néctar e produção de mel.	Variações anormais podem também sugerir problemas, como escassez de alimentos, doenças ou predadores.	(grama/dia) Primavera: 50-150 Verão: 100-300 Outono: 50-150 Inverno: 0-50
Fluxo de abelhas na entrada	Fluxo constante de abelhas indica uma colmeia ativa e saudável.	Redução Drástica: Pode também indicar problemas como envenenamento por agrotóxicos, doenças ou morte da rainha.	abelhas/minuto Primavera: 48 Verão: 53 Outono: 52 Inverno: 36 Baseado em Vieira (2021)

Fonte: ChatGPT, 2024

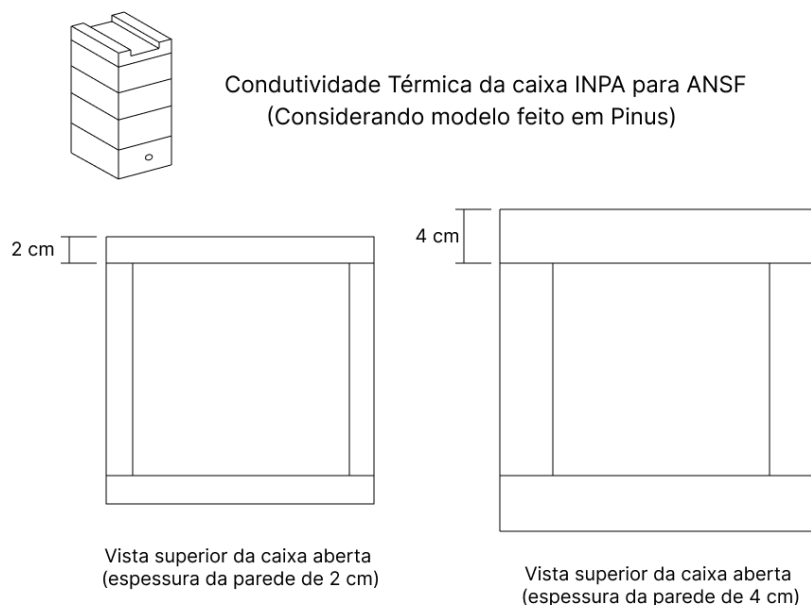
Havendo indicação de saúde deficiente a partir dos indicadores e descartando-se deficiências de outra natureza ao longo do manejo do meliponário, a decisão pode apontar para a necessidade de ampliação da espessura das paredes da colmeia, conforme descrito a seguir.

8 Etapa 3: Determinação da Espessura das Paredes da Colmeia

No estudo de Ostrovski et.al., (2017) avaliou-se a capacidade de retenção de calor na área do ninho em experimento laboratorial, comparando sete diferentes tipos de caixas convencionais para ANSF. O estudo demonstrou o efeito termostático da espessura do material utilizado na retenção do calor gerado pelas abelhas. Portanto, a determinação da espessura adequada da colmeia é fator chave para contribuir à retenção do calor gerado pelas abelhas, o que é particularmente em regiões com invernos rigorosos (Zona Bioclimática 1 (ZB 1) - Sul do Brasil; Zona Bioclimática 2 (ZB 2) - Sudeste de Minas Gerais, São Paulo e Sul de Mato Grosso do Sul).

Na hipótese de necessidade de revisão do Design da caixa da colmeia, o protocolo prevê nesta etapa o cálculo da espessura necessária para garantir que a resistência térmica seja suficiente para manter a temperatura interna desejada (33 a 35°C), com o mínimo de dispêndio energético das abelhas. O protocolo assume a simplificação de que a resistência térmica deva ser tal que o fluxo de calor seja pequeno, seja de dentro para fora como de fora para dentro. A variável de saída nesta etapa é a espessura a ser adotada no projeto da colmeia. Para o cálculo da espessura tem-se $d = R \cdot k$, onde d é a espessura da parede, R a resistência térmica e k é a condutividade térmica. A Figura 3 demonstra um exemplo do aumento da espessura da parede da colmeia, sem alterar a sua área interna.

Figura 3 - Dimensões da colmeia após alteração de espessura da parede, sem alteração da área interna



Fonte: Os autores, 2024

Saliente-se que a condutividade térmica da madeira, ou seja, a habilidade de conduzir energia térmica, é de maneira geral baixa, o que explica sua adequação na fabricação e colmeias. Note-se que madeiras com massa específica maior (ex: Ipê, Angelim, Jatobá) apresentam maior condutividade térmica (Moreschi, 2012). Além da massa específica, a condutividade térmica da madeira depende de uma série de fatores, como sua densidade, umidade, sentido do grão e irregularidades em sua estrutura, como os nós. Isso deixa em evidência a importância da escolha certa da madeira, pois a sua diversidade de espécies implica em diferenças drásticas nas suas propriedades térmicas (Simpson e TenWolde, 1999). A Tabela 4 traz dados das propriedades térmicas das madeiras mais comumente usadas para construção de colmeias.

A umidade da madeira também é um fator importante a ser controlado para se evitar o desenvolvimento de defeitos no produto, como empenamentos, torções, ou arqueamentos. Para garantir a qualidade da madeira, é necessário que ela esteja em equilíbrio higroscópico em relação às variáveis do ambiente (temperatura e umidade relativa do ar) (Moreschi, 2012).

Tabela 4 - Propriedades térmicas da madeira

Tipo de madeira	Condutividade Térmica (W/m.K)	Resistência Térmica (m ² .K/W) a 2 cm	Resistência Térmica (m ² .K/W) a 3 cm	Resistência Térmica (m ² .K/W) a 4 cm	Resistência Térmica (m ² .K/W) a 5 cm
Pinus	0.27	0.07	0.11	0.15	0.19
Cedro	0.11	0.18	0.27	0.36	0.45
Eucalipto	0.13	0.15	0.23	0.31	0.38

Fonte: Silva, 2021

9 Resultados e análise

Contexto

O estudo de campo foi realizado junto à Aldeia Guarani Kuaray Haxa, localizada às margens da PR-405, junto à Reserva Biológica Bom Jesus (REBIO Bom Jesus), a aldeia encontra-se na divisa dos municípios de Antonina e Guaraqueçaba. Os indígenas da Kuaray Haxa são migrantes da Aldeia Palmeirinha (Terra Indígena Mangueirinha), no município de Mangueirinha, interior do Paraná. Na Aldeia foi implementado um meliponário com 20 colmeias de abelha Jataí (*Tetragonisca angustula*). A abelha *Tetragonisca angustula* é uma das mais conhecidas em todo o Brasil, sendo uma das espécies mais adaptáveis em relação ao hábito de nidificação.

As abelhas nativas fazem parte da vida e da cultura do povo Guarani Mbyá, onde o mel das abelhas é sagrado, e o conhecimento sobre elas é ancestral. O mel é usado como alimento, em rituais de cura, e também nos artesanatos, como por exemplo, o arco e flecha. A cera da abelha é usada no artesanato para engomar as peças e, também, para fabricar velas que são usadas na *opy* (casa de reza) (Rodrigues, 2005). Nesta aldeia implementou-se sensores em seis colmeias (vide Tabela 5 a seguir), todos adquiridos junto à empresa Broodminder (França), todos integrados a um *hub* central conectado à internet para a coleta contínua dos dados.

Tabela 5 - Tipos de sensores IoT implementados na Aldeia Kuaray-Haxa.

Variáveis	Imagem	Foto da Implementação
Temperatura Interna Umidade Interna		
Peso Temperatura externa		
Som Fluxo de abelhas		

Fonte: Os autores, 2024

Para realizar o upload dos dados na web, é necessário a sincronização do *hub* com aplicativo instalado nos celulares dos indígenas. Além de monitorar a saúde das colmeias, estes sensores tinham como propósito alimentar dados em *e-book* para ensino de matemática junto aos curumins (crianças indígenas) e, também, integrar a experiência no turismo de base comunitária.

Aplicando o Protocolo de Design Paramétrico de Colmeias ANSF

Etapa 1: Determinação das medidas/volume interno

Com base nos parâmetros da Tabela 1 definiu-se que as medidas internas das colmeias para abelhas Jataí (*Tetragonisca angustula*) deveriam ser de 12 cm (comprimento) x 12 cm (largura) x 7 cm (altura) tanto no ninho como sobreninho, além de 5 cm na melgueira.

Etapa 2: Determinando a zona bioclimática em que se situa a colmeia

A Aldeia Kuaray-Haxa está localizada no município de Guaraqueçaba, litoral do Paraná, dentro da coordenada latitude -25.29366 e longitude -48.60908. Desta forma, o meliponário da aldeia está na Zona Bioclimática 03 (Temperada Úmida), com verões quentes e úmidos e invernos frios; Umidade: Alta; Clima: Subtropical úmido. Nestas condições as “diretrizes para o projeto e implantação de colmeias de abelhas nativas de acordo com as zonas bioclimáticas” deve-se buscar

isolamento térmico para manter uma temperatura estável, com utilização de cobertura extra para proteger contra a chuva, com entradas ajustáveis para controlar a ventilação (no caso de utilização de componentes adicionais junto à entrada) e capas à prova de água para proteger a colmeia do frio e da chuva.

Etapa 3: Avaliação da saúde das colmeias existentes a partir dos dados de IoT

Neste artigo é utilizado dados de apenas uma colmeia (Kuaray-Haxa 01). A caixa foi produzida em Pinus e com espessuras de 2 cm. Internamente a colmeia apresentava medida de 10 cm (comprimento) x 10 cm (largura) x 7 cm de altura (tanto no ninho como sobreninho). A melgueira apresentava altura de 5 cm.

Para fins de avaliação do protocolo proposto foram utilizados neste artigo os dados durante 10 dias do mês de junho de 2024, coletados entre 12 e 22 de outubro. O período selecionado para a coleta insere-se nos meses de inverno, quando o clima oferece as condições mais desafiadoras para a sobrevivência das abelhas nativas no Sul do Brasil. Os sensores IoT revelaram os seguintes dados:

Tabela 6 - Dados coletados na colmeia Kuaray-Haxa 01 (12 a 22/out de 2024)

Variável	Medição (média)	Valor ideal	Análise
Temperatura Interna	22°C (no sobreninho)	Ninho: 30.3±0.4°C Melgueira: 19.6±0.3°C (Torres, Hoffmann e Lamprecht, 2007)	Temperatura baixa
Umidade relativa interna	88	50 a 80	Elevada
Taxa de variação do peso	Desvio padrão = 14	(grama/dia) Primavera: 50-150 Verão: 100-300 Outono: 50-150 Inverno: 0-50	Adequada
Fluxo de abelhas	8-10 rms = sem movimento relevante (contagem visual mostrou 22 abelhas)	abelhas/minuto Primavera: 48 Verão: 53 Outono: 52 Inverno: 36 (baseado em Vieira (2021))	Fluxo baixo

*rms = root mean square

Fonte: Os autores, 2024

A comparação entre os dados coletados e os valores de referência aponta para a necessidade de ampliação marginal do desempenho térmico e higrotérmico da colmeia. Note-se que no caso dos dados coletados com o radar, o fabricante Broodminder aponta que valores de 8 a 10 rms significam para a abelha *Apis* nenhum movimento. Como não há referência anterior para abelha Jataí, dado o seu tamanho significativamente menor, efetuou-se a contagem visual das abelhas, utilizando imagens de filmagem realizada junto ao tubo de entrada.

Etapa 4: Determinação da Espessura das Paredes da Colmeia

Assumindo-se a manutenção do Pinus como matéria prima (condutividade térmica 0.27 W/m.K) para futuras colmeias e com base na diretriz de ampliação marginal da resistência térmica a proposição é de ampliação para 3 cm a espessura das novas colmeias (0.11 m².K/W). Além disto, tendo em vista as orientações da Etapa 2 recomenda-se a construção de cobertura para grupos de colmeias no meliponário, para além da cobertura com telha já utilizada em cada colmeia individualmente. A produção de “capas” de madeira podem, também, ser consideradas nos meses mais frios e chuvosos.

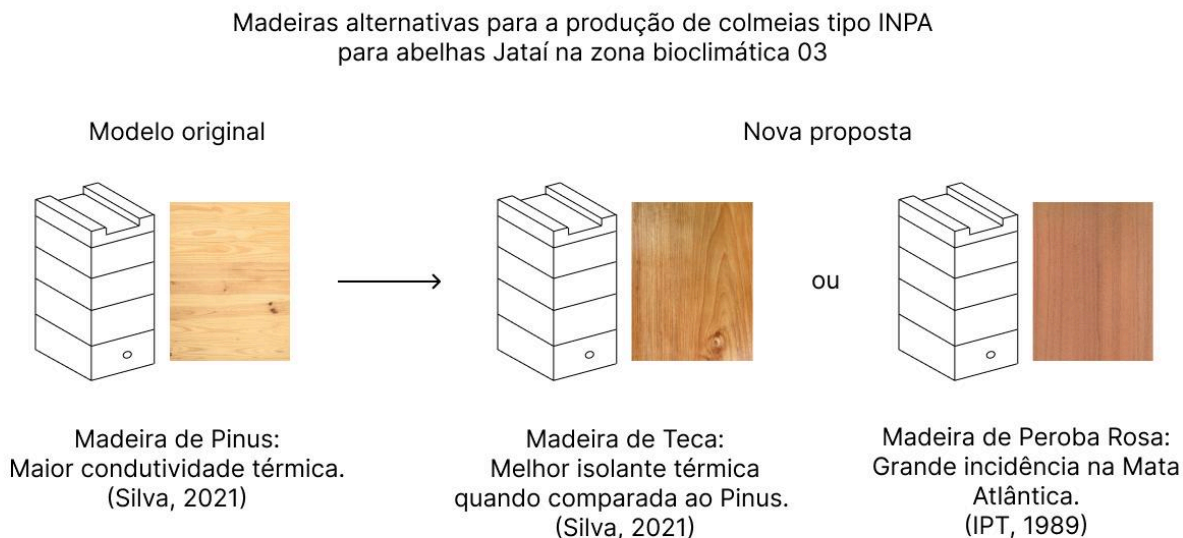
10 Discussão

Um dos parâmetros de entrada no protocolo proposto trata das características térmicas da madeira a ser utilizada, bem como a zona bioclimática onde se encontra e os parâmetros de saúde da respectiva abelha. No protocolo proposto é utilizado dados da saúde de colmeias locais via *IoT*, de maneira a refinar as definições do desenho das colmeias com base em características do microclima presente no meliponário. A carência de indicadores que permitam reconhecer a saúde de abelhas nativas pode ser suprimido a médio prazo com a disseminação do uso destes sensores e seu compartilhamento aberto com a comunidade. No presente artigo a carência destes parâmetros foi suprida fazendo-se uso de referências da literatura e de proposições advindas de I.A. (Inteligência Artificial).

Neste artigo a ênfase de intervenção no design das novas colmeias, seguindo a lógica do Design Paramétrico, foi no tipo de madeira e na espessura das paredes. Como o seu espaço de nidificação natural são os troncos de árvores, as caixas racionais de ANSF geralmente são feitas em madeira, as mais comumente encontradas no mercado são de Pinus e Eucalipto. De todo modo, a utilização de madeiras nativas decorrentes do manejo de florestas urbanas, pode ser um interessante caminho para se explorar o uso deste “resíduo” na produção de colmeias.

Segundo o experimento realizado por Silva (2021), com base no material de Moreschi (2012) e França (2011), ao se comparar amostras semelhantes da madeira Pinus e Teca, foi observado que a amostra do Pinus demonstrou maior condutividade térmica, devido a quantidade de extrativos (óleos, resinas, etc) em sua composição, enquanto a Teca foi mais eficiente como isolante térmica. A partir disso, pode-se inferir que a Teca seria uma escolha mais eficiente para proteger as colmeias das abelhas Jataí do clima mais frio da zona bioclimática 03. Uma alternativa à madeira da Teca, que é uma espécie exótica, é a Peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*), com grande incidência no bioma da mata Atlântica, é uma madeira que não possui cheiro que possa afastar as abelhas, é de densidade média, moderadamente fácil de ser trabalhada e permite bom acabamento (IPT, 1989). A Figura 4 esquematiza a nova proposta de madeiras alternativas para a construção de colmeias para abelhas Jataí na zona bioclimática 03:

Figura 4 - Proposta de tipos de madeiras para colmeias na zona bioclimática 03



Fonte: Os autores, 2024

11 Conclusão

Em um país com tamanha diversidade bioclimática, conforme demonstra mapeamento constante na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), não é possível a adoção de padrões únicos de colmeias. Infelizmente, a observação de portais de comercialização de produtos na internet, revela a comercialização de colmeias sem a devida consideração de sua adequação à região onde serão implantadas e às demandas específicas de cada espécie de abelha. Neste sentido, o protocolo proposto configura-se como contribuição na obtenção de melhor desempenho na elaboração de modelos de caixas para ANSF com vistas à conservação das espécies nativas.

As colmeias racionais de disposição vertical necessitam ser elaboradas em material disponível na região como, madeira seca, leve (porosa), resistente, sem cheiro, não tratada com produtos sintéticos. A colmeia com desempenho ideal é aquela que se adequa às características climáticas da região. Para tanto deve abrigar as abelhas do frio, facilitar a inspeção, o controle de inimigos naturais, transporte, colheita do mel, alimentação artificial, acesso ao ninho para dividir a colônia e adaptação ao tamanho dos discos de cria, além de ser de fácil construção e viável economicamente. Ostrovski et al, 2017 concluíram que modelos que favoreceram a termorregulação, foco do presente artigo, do ninho por mais tempo apresentam um desempenho superior quando perdem calor mais lentamente.

O protocolo proposto prevê um processo iterativo, demandando o monitoramento da saúde da nova colmeia com a nova configuração da caixa, possibilitando a confirmação da adequação ou, alternativamente, demanda de nova adequação. Note-se que a intervenção no design de novas colmeias para o mesmo meliponário é processo iterativo com os sensores *IoT* que demanda a coleta de dados ao longo de longos períodos, atravessando as estações do ano. A carência de dados laboratoriais e tabelas de referência pode ser suprida com estes dados coletados diretamente nos contextos específicos dos meliponários. Isto reforça a capacitação e instrumentalização de meliponicultores para que estes dados possam ser coletados, armazenados

e analisados de forma contínua e colaborativa, sempre com uma perspectiva de longo prazo e multidisciplinar.

Uma meliponicultura de precisão, conceito proposto neste artigo, faz intenso uso de *IoT* para refinar as escolhas projetuais das colmeias, implicando na definição de parâmetros não somente para zonas bioclimáticas mas, muito importante, para o contexto do microclima no local do meliponário e para as demandas específicas da espécie. Para que este cenário se efetive faz-se necessário organizar e estruturar a cadeia de valor da meliponicultura de maneira a viabilizar a customização do projeto e fabricação de colmeias de abelhas nativas.

12 Referências

AQUINO, Horácio M; SILVA, Rosilene A.; GOMES, Jondas P. Caixa racional para abelhas urucu (*Melipona scutellaris*). 2009. Revista Verde, v. 4, n. 4, p. 5.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Desempenho térmico de edificações. 2005. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro.

CAIXAS INPA. CriarAbelhas. Link: <https://www.criarabelhas.com.br/caixas-inpa/> Última visita: 08 de julho de 2024.

DOULL, Keith M. The effects of different humidities on the hatch of the eggs of honeybees. 1976. Apidologie. v. 7, v.1, p. 61-66.

FRANÇA, Frederico J. N.; Modelagem da transferência de calor em madeira de *Pinus* sp. 2011. Universidade Federal do Espírito Santo. Jerônimo Monteiro-ES. Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Florestal. p 1-36.

INFORMAÇÕES SOBRE MADEIRAS, PEROBA-ROSA. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Disponível em: <https://madeiras.ipt.br/peroba-rosa/> . Acesso em: 9 de julho de 2024.

MINEIRO, Erico F.; MAGALHÃES, Cláudio F. 2019. Design paramétrico e generativo: modos de explorar a complexidade. Gestão e tecnologia de projetos, São Carlos, V.14, nº 2, p 6-16, 2019.

MORESCHI, João Carlos. 2012. Propriedades da madeira. Ministério da educação e do desporto setor de ciências agrárias da UFPR, Centro de ciências florestais e da madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 4ª edição – setembro, Curitiba-PR.

OSTROVSKI, Katia Regina; DITTRICH, João Ricardo; SCHÜHLI, Guilherme S. Capacidade de retenção de calor em diferentes modelos de caixas racionais para abelhas nativas sem ferrão (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). 2017. 54º reunião anual da SBZ- Foz do Iguaçu.

PLANO DE TRABALHO SOBRE APICULTURA E MELIPONICULTURA. IDR-Paraná. 2023. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/Abelhas/PlanoTrabalhoIntegrado.pdf> . Acesso em: 08 de julho de 2024.

POTTS, Simon G; BIESMEIJER, Jacobus C; KREMEN, Claire; NEUMANN, Peter; SCHWEIGER, Oliver; KUNIN, William E. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. 2010. Trends in Ecology & Evolution, v. 25, n. 6, p. 345-353.

RIBEIRO, Márcia F; LIMA, Cândida B. S; BRAGA, Juliara R. 2013. Avaliação do peso de ninhos de mandacaia (*Melipona mandacaia*) usando dois modelos de colmeias em área de caatinga, em Petrolina (PE). Congresso Nordeste de Produção Animal, Fortaleza.

- RODRIGUES, Arnaldo dos Santos. 2005. Etnoconhecimento sobre as abelhas sem ferrão: saberes e práticas dos índios Guarani Mbyá na Mata Atlântica. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, março de 2005.
- SÃO PAULO TEM QUASE 2 MIL CRIADORES AUTORIZADOS DE ABELHAS NATIVAS SEM FERRÃO. Governo do estado de São Paulo. 2023. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/ultimas-noticias/sao-paulo-tem-quase-2-mil-criadores-autorizados-de-abelhas-nativas-sem-ferrao/> . Acesso em: 9 de julho de 2024
- SILVA, Helen C. Comportamento térmico da madeira maciça *Tectona grandis* e *Pinus elliottii* Engelm. 2021. TCC - Bacharelado em Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Dois Vizinhos, PR.
- SILVA, Maurizete da Cruz. 2019. Termorregulação e produção da *Melipona scutellaris* em colmeias construídas com diferentes tipos de madeira. Programa de pós-graduação em engenharia agrícola, Universidade Federal de Campina Grande.
- SILVEIRA, Fernando A.; MELO, Gabriel A. R.; ALMEIDA, Eduardo A. B.; *Abelhas brasileiras Sistemática e Identificação*. 2002. 1ª Belo Horizonte: Fundação Araucária. 253p.
- SIMPSON, W; TENWOLDE, A.; *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. 1999. United States Department of Agriculture, Forest Services, Forest Product Laboratory, Madison, Wisconsin, USA. chapter 3.
- SOUZA, Darcet. C.; CRUZ, Cosme. D.; CAMPOS, Lúcio A. de O.; REGAZZI, Adair J. 2002. Correlation between honey production and some morphological traits in Africanized honey bees (*Apis mellifera*). *Ciência Rural*, v. 32, n. 5, p. 869-872.
- SOUZA, Maria F. P. Influência da cor e material de cobertura de caixas sobre a temperatura interna e desenvolvimento de colônias *Apis mellifera* no Vale do Submédio São Francisco. 2014. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola: Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BH.
- VENTURIERI, Giorgio C. Caixa para a criação de uruçu-amarela *Melipona flavolineata* Friese. 2008. Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado Técnico, 212, p. 8. Belém, PA.
- VIEBRANTZ, Ana Júlia; KUCHLER, Yeda; CAMBRUZZI, Cláudia; MARCONATTO, Lauri J. Monitoramento da temperatura interna de caixas de abelhas revestidas com isopor e manta térmica. 2024. Instituto Federal Catarinense Campus Rio do Sul. Anais da Feira do Conhecimento Tecnológico e Científico.
- VILLAS-BÔAS, Jerônimo. Manual tecnológico: abelhas sem ferrão. 2012. Instituto Sociedade, População e Natureza. Série manual tecnológico, p. 96. Brasília, DF.
- VELOSO, Pedro L. A; SCHEEREN, Rodrigo; VASCONCELOS, Tássia. *O Ensino de Projeto e o Processo de Design Paramétrico: Desafios e Perspectivas*. 2017. Editora Feevale, 1ª edição.
- WITTER, Sidia; BLOCHTEIN, Betina; LISBOA, Bruno B; MONDIN, Cláudio A; AZAMBUJA, Letícia L; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lúcia. Ninhos da abelha guaraiipo, espécie ameaçada, em remanescente de Mata com Araucária no Rio Grande do Sul. 2010. Fepagro: fundação estadual de pesquisa agropecuária. Série técnica, nº5. Porto Alegre, RS.