

## SISTEMA DE MONITORAMENTO INTELIGENTE DE COLMEIAS BASEADO EM IOT PARA OTIMIZAÇÃO DA APICULTURA

Guilherme Pavanelo Reinaldo<sup>1</sup>, Josué Weschenfelder<sup>2</sup>, Matheus da Silva Vargas<sup>3</sup>, Edson Moacir Ahlert<sup>4</sup>

**Resumo:** Este artigo apresenta um sistema de monitoramento inteligente baseado em Internet das Coisas (IoT) projetado para otimizar a apicultura de pequena escala. O problema central abordado é a dependência de métodos manuais e subjetivos na inspeção de colmeias, que resultam na falta de dados objetivos e na detecção tardia de problemas, culminando em perdas significativas de produtividade e mortalidade das colônias. O objetivo geral é desenvolver uma solução tecnológica acessível que forneça informações em tempo real sobre a saúde e a atividade das colmeias, permitindo um manejo proativo e decisões baseadas em dados. A metodologia proposta envolve a integração de sensores de peso, temperatura, umidade e presença em um kit de hardware autônomo com energia solar, comunicando-se via 4G ou Starlink com um aplicativo web/mobile intuitivo. Os principais resultados esperados incluem o aumento da produtividade de mel em 50-70% e a redução dos custos operacionais em 30-40%. Conclui-se que a adoção de tecnologias IoT tem o potencial de revolucionar a apicultura de pequena escala, transformando um manejo reativo em um processo eficiente e data-driven, contribuindo para a sustentabilidade da atividade e a proteção das abelhas.

**Palavras-chave:** apicultura inteligente; IoT; monitoramento de colmeias; agricultura de precisão; sustentabilidade.

---

1 Estudante de Engenharia de Software - Universidade do Vale do Taquari - Univates. E-mail: [guilherme.reinaldo@universo.univates.br](mailto:guilherme.reinaldo@universo.univates.br)

2 Estudante de Engenharia de Software - Universidade do Vale do Taquari - Univates. E-mail: [josue.weschenfelder@universo.univates.br](mailto:josue.weschenfelder@universo.univates.br)

3 Estudante de Engenharia de Software - Universidade do Vale do Taquari - Univates. E-mail: [matheus.vargas@universo.univates.br](mailto:matheus.vargas@universo.univates.br)

4 Professor da Universidade do Vale do Taquari - Univates.

# SMART HIVE MONITORING SYSTEM BASED ON IOT FOR BEEKEEPING OPTIMIZATION

**Abstract:** This paper presents an Internet of Things (IoT)-based smart monitoring system designed to optimize small-scale beekeeping. The core problem addressed is the reliance on manual and subjective methods for hive inspection, leading to a lack of objective data and delayed problem detection, ultimately resulting in significant productivity losses and colony mortality. The general objective is to develop an accessible technological solution that provides real-time information on hive health and activity, enabling proactive management and data-driven decisions. The proposed methodology involves integrating weight, temperature, humidity, and presence sensors into an autonomous hardware kit with solar power, communicating via 4G or Starlink to an intuitive web/mobile application. Key expected outcomes include a 50-70% increase in honey productivity and a 30-40% reduction in operational costs. It is concluded that the adoption of IoT technologies has the potential to revolutionize small-scale beekeeping, transforming reactive management into an efficient and data-driven process, contributing to the sustainability of the activity and bee protection.

**Keywords:** smart beekeeping; IoT; hive monitoring; precision agriculture; sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO

A apicultura desempenha papel essencial na manutenção dos ecossistemas e na segurança alimentar mundial, visto que as abelhas são responsáveis pela polinização de grande parte das culturas agrícolas (Selamoğlu; Naeem, 2024). Nesse contexto, a espécie *Apis mellifera* destaca-se por sua significância ecológica e por sua relevância econômica. A avaliação das práticas de manejo apícola (PMAs) é crucial globalmente, pois afeta a saúde, sobrevivência das colônias e toca em questões éticas e econômicas, tornando o manejo eficiente um tema estratégico para a sustentabilidade dos sistemas produtivos (Bundschuh *et al.*, 2024).

Contudo, o manejo tradicional ainda utilizado pela maioria dos pequenos produtores e apicultores amadores depende de inspeções presenciais, periódicas e eminentemente visuais. Esse processo, além de demandar tempo e deslocamento, pode ser invasivo e causar estresse ao enxame devido à alteração do microclima interno da colmeia durante sua abertura (Kutby *et al.*, 2024).

Além disso, estudos apontam que perdas de colônias superiores a 30% foram registradas em apiculturas modernas, evidenciando o impacto de práticas reativas de manejo (Hristov *et al.*, 2020). Contudo, a dependência de métodos manuais e subjetivos na inspeção das colmeias, resulta na detecção tardia de problemas como a preparação para enxameação, algo crucial que o monitoramento acústico busca resolver (Uthoff; Homsi; Von Bergen, 2023). Em consequência, o manejo torna-se predominantemente reativo, resultando em perdas econômicas e risco aumentado de mortalidade de colônias.

Com o avanço das tecnologias digitais, a Internet das Coisas (IoT) tem ganhado destaque na Agricultura de Precisão como ferramenta capaz de fornecer dados contínuos e confiáveis para a tomada de decisão. No contexto da apicultura, esse conceito é denominado *Precision Beekeeping*, o qual consiste no uso de sensores para monitorar remotamente parâmetros como peso da colmeia, temperatura, umidade, acústica e tráfego de abelhas, possibilitando intervenções preditivas e maior eficiência operacional (Bouazizi *et al.*, 2024). Pesquisas recentes apontam que sistemas IoT aplicados à apicultura podem reduzir custos logísticos, ampliar produtividade e preservar a saúde das abelhas (Salgado *et al.*, 2024).

O desenvolvimento de sistemas autônomos e a implementação de soluções de telecomunicações baseadas em redes LAN para a transmissão de dados por meio de Routers com conexão 3G/4G têm ampliado as possibilidades de monitoramento inteligente de apiários, mesmo em áreas rurais remotas com escassa cobertura de Internet (Salgado *et al.*, 2024). Dessa forma, a adoção de tecnologia na apicultura surge como alternativa acessível e eficaz para melhorar o acompanhamento das colônias, minimizar riscos e democratizar a inovação no setor.

Este trabalho apresenta um Sistema Inteligente de Monitoramento para Colmeias baseado em IoT, capaz de coletar dados ambientais e biológicos em tempo real, processá-los com suporte de inteligência artificial e disponibilizá-los em plataforma web/mobile com alertas e análises preditivas. A proposta visa transformar o manejo reativo em um processo orientado a dados, contribuindo para o aumento da produtividade, redução de custos operacionais e maior sustentabilidade da apicultura de pequena escala.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda os fundamentos científicos e tecnológicos que sustentam o sistema proposto, destacando a importância das abelhas e a evolução do manejo apícola com o emprego de ferramentas digitais.

### 2.1 A importância da apicultura e os desafios do manejo tradicional

As abelhas exercem função vital na manutenção da biodiversidade e no desempenho de sistemas agrícolas, sendo consideradas bioindicadores ambientais e responsáveis por grande parte da polinização global (Selamoğlu; Naeem, 2024). Entretanto, diversos fatores como mudanças climáticas, pesticidas, doenças e parasitas têm provocado declínio das populações de abelhas, reforçando a necessidade de estratégias de monitoramento mais eficazes (Bundschuh *et al.*, 2023).

O manejo manual das colônias, apesar de amplamente adotado, apresenta limitações: consome tempo, exige deslocamentos constantes, gera estresse na colônia e depende do julgamento do apicultor (Hristov *et al.*, 2020).

Além disso, por oferecer apenas dados momentâneos, torna-se difícil identificar a evolução de problemas ao longo do tempo, como preparo para enxameação, baixa postura da rainha ou infestação por Varroa destructor (Bouazizi *et al.*, 2024). Essas limitações impulsionam a busca por métodos de monitoramento mais objetivo, contínuo e automatizado.

## 2.2. Internet das Coisas (IoT) e a Agricultura de Precisão

A Internet das Coisas (IoT) representa a interconexão de objetos físicos (sensores, atuadores, dispositivos) através da internet, permitindo a coleta e troca de dados. Na agricultura, a IoT tem impulsionado o conceito de Agricultura de Precisão, que visa otimizar a produção através da análise de dados específicos de cada área ou cultura.

A aplicação da IoT na apicultura, muitas vezes referida como “Apicultura Inteligente” ou “Apicultura de Precisão”, busca monitorar variáveis ambientais e biológicas das colmeias de forma remota e contínua. Sensores podem coletar dados sobre temperatura, umidade, peso da colmeia e até mesmo o som, oferecendo uma visão sem precedentes sobre a dinâmica interna da colônia (Mallik *et al.*, 2024). Pesquisas recentes apontam que sistemas IoT aplicados à apicultura podem reduzir custos logísticos e auxiliar na preservação da saúde das abelhas através da detecção precoce de anomalias via sensores e algoritmos de aprendizado de máquina (Bouazizi *et al.*, 2024).

## 2.3. Tecnologias de Sensoriamento e Conectividade para Colmeias

Para a implementação de sistemas de monitoramento em apiários, diversas tecnologias de sensoriamento e conectividade são empregadas:

- **Sensores:**
  - › **Peso (Células de Carga):** Essenciais para monitorar a produção de mel, o consumo de alimento e até mesmo eventos como a enxameação ou o roubo de mel (Dsouza; Hegde, 2023).
  - › **Temperatura e Umidade (DHT22, BME280):** Variáveis críticas para a saúde da colônia. Flutuações anormais podem indicar problemas como a perda da rainha, doenças ou superaquecimento (Dasig Jr; Mendez, 2019).
  - › **Presença/Movimento:** Sensores PIR ou câmeras podem detectar atividade externa ou a presença de predadores, oferecendo um nível adicional de segurança.
- **Conectividade:**
  - › **Wi-Fi/GSM/4G:** São soluções amplamente utilizadas para transmitir dados em áreas com cobertura de rede celular. Permitem comunicação direta entre o dispositivo e a nuvem, sendo versáteis para diversas aplicações (Salgado *et al.*, 2024).

- › **LoRaWAN:** ideal para áreas rurais com baixa infraestrutura de GSM (internet móvel). Essa tecnologia de comunicação IoT permite a transmissão de dados de longa distância (até 15 km em áreas suburbanas) e é livre de uso por não exigir registro. A comunicação LoRaWAN tem a vantagem de fornecer transmissão de dados sem despesas e usar uma frequência livre de licença (Civelek, 2022).
- › **Internet Via Satélite (Starlink):** Representa uma solução de conectividade emergente para locais extremamente remotos, onde outras opções são inviáveis. Embora com custo inicial mais alto, pode fornecer a infraestrutura de rede para múltiplas colmeias.

A combinação dessas tecnologias permite a construção de sistemas que transformam o manejo apícola, passando de um modelo reativo para um proativo e baseado em dados.

### **3 TRABALHOS RELACIONADOS**

A literatura e o mercado apresentam diversas iniciativas e produtos que abordam o monitoramento de colmeias, refletindo a crescente demanda por soluções tecnológicas na apicultura. A análise desses trabalhos é crucial para posicionar a presente pesquisa, identificar lacunas e validar a abordagem proposta.

#### ***3.1 HiveLink: IoT based Smart Bee Hive Monitoring System***

O trabalho de Dsouza e Hegde (2023) descreve o desenvolvimento do “*HiveLink*”, um sistema completo de monitoramento de colmeias. Os autores implementaram sensores de peso, temperatura e umidade, utilizando microcontroladores para coletar os dados e transmiti-los para uma aplicação web.

Os resultados demonstraram a eficácia do sistema na detecção precoce de anomalias. Para o nosso projeto, este trabalho é fundamental, pois valida a arquitetura básica e os tipos de sensoriamento que pretendemos utilizar, servindo como uma base sólida para a nossa metodologia.

#### ***3.2 Sustainable Prototype with IoT for Remote Monitoring***

Salgado *et al.* (2024) exploraram a aplicação de tecnologias de baixo custo para o monitoramento remoto de apiários em regiões rurais, focando na autonomia energética. O sistema proposto monitora variáveis críticas e transmite os dados visando a sustentabilidade da atividade apícola.

A pesquisa comprovou a eficácia de componentes acessíveis em cenários rurais. Este trabalho é crucial para o nosso projeto, pois apresenta

uma alternativa robusta para áreas com recursos limitados, oferecendo insights valiosos para a escolha da tecnologia de hardware.

### **3.3 BroodMinder Beehive Monitoring System**

O *BroodMinder* é um produto comercial consolidado no mercado de monitoramento de colmeias. Seu objetivo é oferecer uma solução acessível e fácil de usar, com sensores de temperatura, umidade e peso. Os dados são coletados via Bluetooth para um aplicativo de celular e sincronizados na nuvem, proporcionando uma visão intuitiva da saúde da colônia.

O sucesso do *BroodMinder* valida a demanda de mercado por este tipo de tecnologia e estabelece um *benchmark* em termos de usabilidade e funcionalidade. Para nosso projeto, a análise do *BroodMinder* é essencial para entender as expectativas dos usuários e refinar a nossa proposta de valor, garantindo que nossa solução atenda às necessidades do apicultor com um diferencial de custo-benefício.

### **3.4 Beehive Monitoring Project**

O “*Beehive Monitoring Project*”, desenvolvido pela comunidade ArduPilot, representa um esforço *open-source* para a construção de sistemas de monitoramento de colmeias utilizando hardware de baixo custo, como Arduino e ESP32. O objetivo é democratizar o acesso à tecnologia e fomentar a colaboração no desenvolvimento de soluções DIY (Do It Yourself).

Os projetos da comunidade demonstram a viabilidade técnica de criar protótipos funcionais com componentes acessíveis. Esta iniciativa é de grande valia para o nosso projeto, pois valida a nossa abordagem de utilizar hardware de baixo custo, fornecendo exemplos práticos e inspiradores de como essa estratégia pode ser implementada.

### **3.5 A Low-Cost IoT-Based Smart Hive Monitoring System for Enhancing Beekeeping in Lebanon**

Dasig Jr e Mendez (2019) focaram no desenvolvimento de um sistema de monitoramento de colmeias baseado em IoT com um custo extremamente reduzido, visando apicultores em regiões com recursos limitados. A metodologia priorizou a seleção de componentes baratos e a otimização de software para consumo mínimo de energia. Os resultados em campo confirmaram que uma solução de baixo custo pode ser eficaz e precisa, comparável a sistemas mais caros.

Este artigo é um pilar fundamental para o nosso projeto, pois justifica e valida o nosso principal diferencial: a criação de uma solução de monitoramento inteligente acessível para pequenos produtores, demonstrando que o baixo

custo não compromete a funcionalidade essencial e o impacto positivo na apicultura.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem quantitativa e caráter exploratório-descritivo, uma vez que busca desenvolver e avaliar um sistema de monitoramento inteligente voltado à apicultura, com coleta sistemática de dados ambientais e biológicos.

Como o estudo ainda está em andamento, este capítulo apresenta o conjunto de procedimentos planejados para orientar o desenvolvimento do protótipo e sua futura validação em campo.

### 4.1 Arquitetura do Sistema

O sistema será construído com base em uma arquitetura composta por três camadas: sensoriamento, processamento e aplicação. Na primeira, serão utilizados sensores de temperatura, umidade, peso e acústica, conectados a um microcontrolador ESP32 ou equivalente.

Esse componentes foram selecionados em função do baixo consumo energético, precisão adequada e viabilidade econômica, características fundamentais para aplicações em áreas rurais. A alimentação do sistema será feita por módulo solar e bateria recarregável, buscando garantir autonomia mesmo em ambientes sem infraestrutura elétrica.

A camada de processamento incorporará o software embarcado responsável pela leitura dos dados, pré-processamento, gerenciamento do consumo de energia e envio das informações por redes Wi-Fi, LoRaWAN, 4G ou satelital, conforme os testes indicarem a solução mais adequada ao local de instalação. Já a camada de aplicação será desenvolvida por meio de um *backend* em nuvem e um *dashboard* web/mobile, destinado à visualização em tempo real, armazenamento histórico e emissão futura de alertas.

### 4.2 Etapas de Desenvolvimento

O desenvolvimento seguirá um fluxo metodológico composto por quatro etapas principais. A primeira corresponde ao levantamento de requisitos, no qual serão identificadas as necessidades dos apicultores, os parâmetros essenciais para monitoramento e as limitações práticas do ambiente de uso.

Em seguida, será construído o protótipo inicial, envolvendo a montagem do hardware, calibração dos sensores e avaliação preliminar da autonomia energética. A terceira etapa concentra-se no desenvolvimento do software embarcado e dos serviços de *backend*, compreendendo a programação do microcontrolador, a implementação dos protocolos de comunicação e a estruturação da plataforma de visualização.

Por fim, os testes de campo serão realizados em uma colmeia real para verificar a precisão das leituras, a estabilidade da transmissão de dados e a capacidade do sistema de operar continuamente em condições ambientais variáveis.

### **4.3 Análise dos Dados**

Os dados obtidos serão analisados por meio de técnicas quantitativas, com foco na identificação de tendências, padrões temporais e possíveis anomalias que indiquem mudanças no comportamento da colônia. A depender dos resultados iniciais, poderão ser exploradas abordagens de modelagem preditiva, considerando estudos recentes na área de apicultura de precisão.

### **4.4 Limitações**

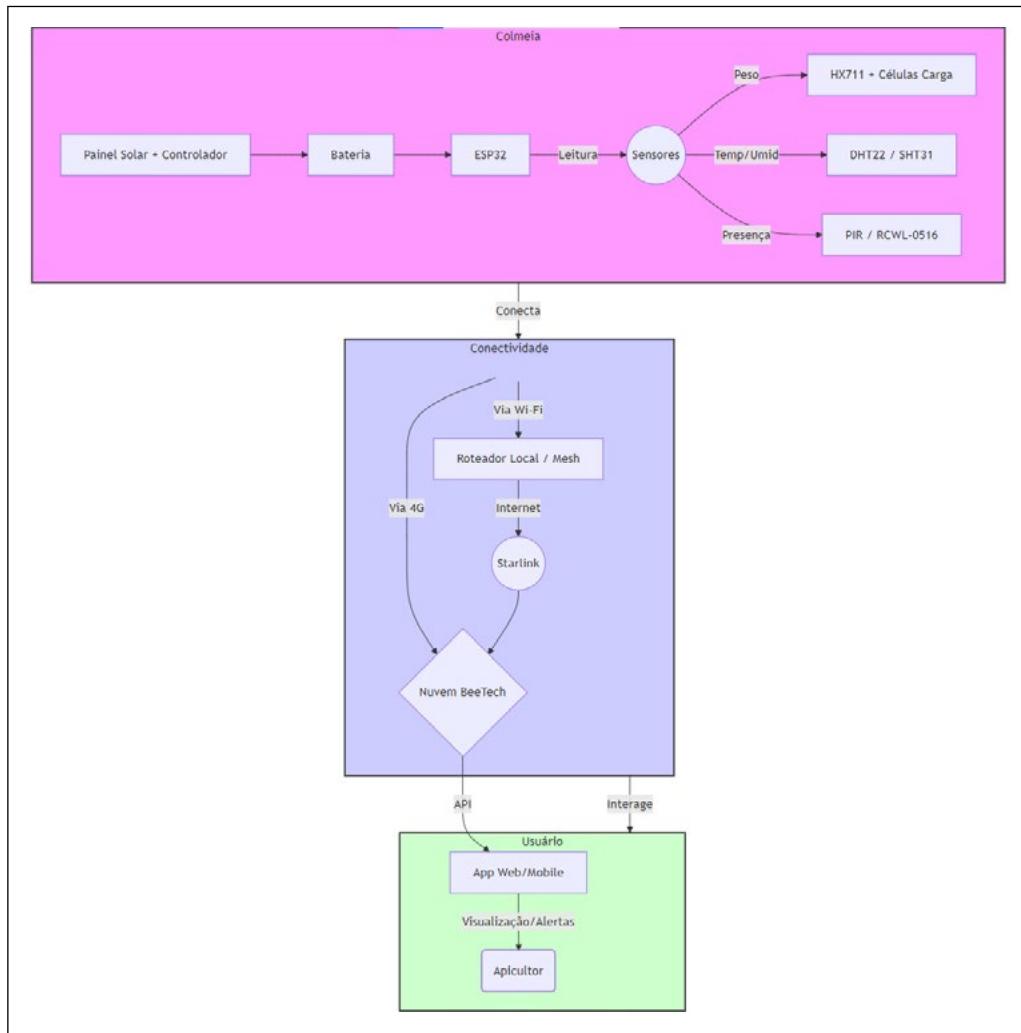
Por se tratar de um projeto em fase inicial, algumas limitações são previstas, como possíveis imprecisões de sensores de baixo custo, dependência das condições ambientais para o desempenho energético e eventuais restrições de conectividade em regiões remotas. Essas limitações serão documentadas e consideradas na interpretação dos resultados.

### **4.5 Consolidação dos Procedimentos**

Assim, os procedimentos metodológicos aqui descritos constituem o plano que orienta o desenvolvimento e a futura validação do sistema de monitoramento inteligente, garantindo alinhamento entre os objetivos da pesquisa, a escolha das tecnologias e as etapas de implementação.

- **Definição de Hardware e Sensores:** Foi estabelecida a arquitetura de hardware baseada no microcontrolador ESP32, selecionado por sua conectividade dupla e baixo custo, conforme ilustrado na Figura 1. O esquema de ligação foi projetado para integrar os sensores DHT22 (clima interno) e o módulo HX711 (peso), garantindo compatibilidade de tensão e pinagem. A viabilidade energética foi calculada teoricamente, indicando que o conjunto painel solar e bateria será capaz de sustentar o ciclo de operação projetado.

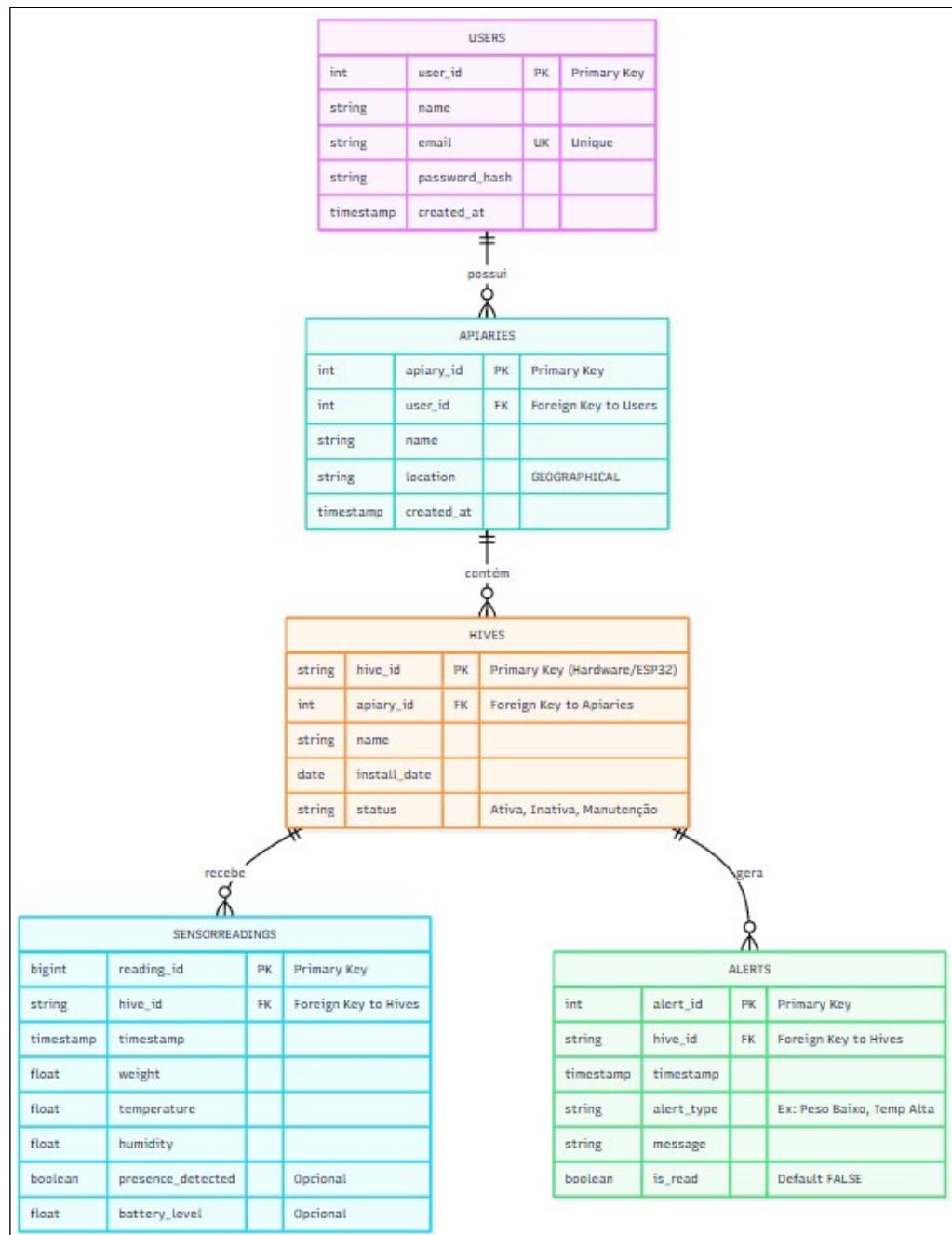
Figura 1 – Arquitetura de Hardware e Fluxo de Comunicação do Sistema BeeTech.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

- Estruturação da Conectividade e Dados:** A lógica de comunicação foi desenvolvida e validada através de algoritmos (scripts) de envio de dados simulados. Foi definido o protocolo MQTT como padrão de transporte devido à sua eficiência em redes instáveis (4G rural). Além disso, o esquema de banco de dados foi modelado para suportar o armazenamento histórico das séries temporais (temperatura e peso) e o diagrama de entidade-relacionamento (DER) resultante pode ser visualizado na Figura 2.

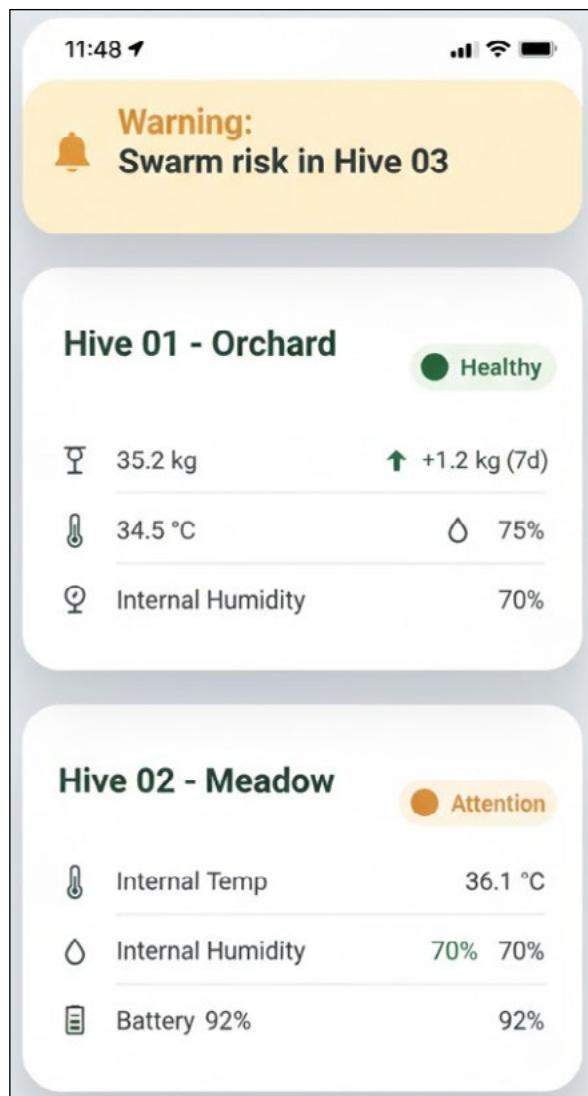
Figura 2 – Diagrama Entidade-Relacionamento (DER) do Banco de Dados.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

- **Interface e Lógica de Alertas:** O fluxo de navegação e a interface do usuário (UI) foram prototipados, focando em uma visualização simplificada (sistema de “semáforo”), apresentada na Figura 3. As regras de negócio para o disparo de alertas (ex: perda súbita de peso indicando enxameação) foram codificadas na lógica do *backend*, estando prontas para implementação.

Figura 3 – *Mockup* da Interface Mobile com Visualização de Status e Alertas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A integração dos elementos apresentados, a arquitetura de hardware (Figura 1), a modelagem de dados (Figura 2) e a interface de monitoramento (Figura 3), consolida a infraestrutura técnica necessária para a viabilização do sistema *BeeTech*. Essa convergência assegura que o fluxo da informação, desde a captura pelo sensor até a visualização pelo apicultor, ocorra de forma íntegra e eficiente. Com o delineamento destes procedimentos, estabelece-se a base necessária para a transição do plano teórico para a fase de implementação e análise dos resultados esperados.

## 5 RESULTADOS ESPERADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta o estágio atual de desenvolvimento do “Sistema de Monitoramento Inteligente de Colmeias *BeeTech*”, detalhando a arquitetura projetada, a modelagem da solução e as hipóteses de resultados esperados com a futura implementação física.

### 5.1 Resultados Parciais (Definição Arquitetural e Prototipação Lógica)

A fase inicial focou na estruturação técnica da solução e na validação lógica dos componentes via modelagem de software e hardware. Os artefatos técnicos gerados demonstram a viabilidade teórica do sistema proposto.

### 5.2 Resultados Esperados (Hipóteses)

Com base na arquitetura definida e na fundamentação teórica, estabelecem-se as seguintes hipóteses de resultados para quando o sistema for implantado em cenário real:

- Ganho de Tempo e Eficiência Operacional: Espera-se uma redução de 30% a 40% na necessidade de visitas presenciais ao apiário. A hipótese é que o monitoramento remoto permitirá a substituição do calendário fixo de inspeções por um manejo baseado em dados (*data-driven*), onde o apicultor se desloca apenas quando o sistema indicar necessidade real.
- Qualidade e Saúde da Colônia: Projeta-se uma melhoria na saúde geral das colônias devido à redução do estresse causado pelo manejo invasivo (abertura frequente das caixas). Além disso, a detecção precoce de variações térmicas deve permitir intervenções rápidas, prevenindo perdas por doenças ou colapso da colônia, com potencial aumento de produtividade estimado entre 50% e 70%, alinhando-se às projeções observadas em estudos similares (Cappa *et al.*, 2024).
- Aceitação e Usabilidade: Espera-se uma alta taxa de aceitação por parte dos pequenos produtores. A hipótese é que a interface projetada, ao remover a barreira da interpretação de dados complexos, permitirá

que apicultores com diferentes níveis de letramento digital utilizem a ferramenta efetivamente.

### 5.3 Plano de Avaliação e Métricas

Para validar as hipóteses acima e consolidar o desenvolvimento do produto, foi definido um plano de avaliação a ser executado nas próximas etapas:

1. Montagem e Testes de Bancada: Integração física dos sensores ao ESP32 e verificação da calibração em ambiente controlado.
2. Testes de Campo (Piloto): Instalação de unidades do protótipo em colmeias reais durante um ciclo produtivo.
3. Métricas de Avaliação:
  - Precisão dos Dados: Comparação entre os dados enviados pelo sistema e medições manuais realizadas no local (aferição de peso e temperatura).
  - Estabilidade da Conexão: Monitoramento da taxa de sucesso no envio de pacotes em ambiente rural.
  - Avaliação de Usabilidade: Aplicação de questionários com os apicultores participantes para validar a facilidade de uso do aplicativo projetado.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo projetar e estruturar um sistema de monitoramento inteligente baseado em IoT para solucionar os gargalos operacionais e a falta de dados precisos na apicultura de pequena escala. O problema central abordado foi a dependência de inspeções físicas invasivas, que geram estresse às abelhas e custos elevados de deslocamento, resultando em detecção tardia de anomalias.

A metodologia adotada permitiu o desenvolvimento da arquitetura técnica completa da solução. A definição dos componentes de hardware (ESP32, sensores de baixo custo), a modelagem do banco de dados e a prototipação das interfaces do aplicativo demonstram a viabilidade teórica de construir uma ferramenta acessível e robusta. A estruturação lógica do sistema indica que é possível integrar tecnologias de conectividade (4G/Wi-Fi) e energia autônoma para viabilizar o monitoramento remoto, preenchendo uma lacuna importante no mercado para pequenos produtores.

O sistema *BeeTech*, conforme projetado, posiciona-se como um instrumento de gestão proativa. As especificações técnicas definidas visam transformar dados brutos em insights acionáveis, com potencial projetado para evitar a mortalidade de colônias e otimizar a colheita. A análise teórica sugere

que a implementação deste sistema poderá resultar em ganhos significativos de produtividade e redução de custos operacionais.

Como próximos passos, a pesquisa aponta para a necessidade da construção física do protótipo e a realização de testes de campo para validar a robustez do hardware em condições reais e calibrar os algoritmos de alerta.

Conclui-se que a proposta de monitoramento inteligente apresentada neste estudo oferece uma base sólida para a modernização da apicultura familiar. O projeto demonstra que a tecnologia IoT é o caminho viável para promover a sustentabilidade econômica e ambiental da atividade, garantindo a saúde das abelhas e fornecendo dados essenciais para a tomada de decisão do apicultor.

## REFERÊNCIAS

- BOUAZIZI, M.; MORA, A. L.; FEGHOUL, K.; OHTSUKI, T. Activity detection in indoor environments using multiple 2D lidars. *Sensors*, v. 24, n. 2, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/2/626>. Acesso em: 18 nov. 2025.
- BUNDSCHUH, J.; RAPPEL, H.; BOCK, A.; BALLEISEN, U.; DAISER, M.; FRIEDMANN, G.; BROCK, C. Effects of queen excluders on the colony dynamics of honeybees (*Apis mellifera* L.) under biodynamic management. *Apidologie*, v. 55, n. 1, p. 16, 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13592-023-01041-9>. Acesso em: 10 out. 2025.
- CIVELEK, Çağdaş. Development of an IoT based (LoRaWAN) Tractor Tracking System. *Journal of Agricultural Sciences*, p. 21-21, 2022. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1201243>. Acesso em: 18 nov. 2025.
- DASIG JR, D. D.; MENDEZ, J. M.. An IoT and wireless sensor network-based technology for a low-cost precision apiculture. In: *Internet of Things and Analytics for Agriculture*, Volume 2. Singapore: Springer Singapore, 2019. p. 67-92. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-0663-5\\_4](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-0663-5_4). Acesso em: 18 nov. 2025.
- DSOUZA, A.; HEGDE, S. **HiveLink, an IoT based Smart Bee Hive Monitoring System**. arXiv preprint arXiv:2309.12054, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2309.12054>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- HRISTOV, P.; SHUMKOVA, R.; PALOVA, N.; NEOV, B. Factors associated with honey bee colony losses: A mini-review. *Veterinary Sciences*, v. 7, n. 4, p. 166, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-7381/7/4/166>. Acesso em: 18 nov. 2025.

KUTBY, R.; BAER-IMHOOF, B.; ROBINSON, S.; PORTER, L.; BAER, B. The Effect of Hive Type on Colony Homeostasis and Performance in the Honey Bee (*Apis mellifera*). *Insects*, v. 15, n. 10, p. 800, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-4450/15/10/800>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MALLIK, M.; ALLAERT, B.; EGEA-LOPEZ, E.; GAILLOT, D. P.; WIART, J.; CLAVIER, L. Infinite limits of convolutional neural network for urban electromagnetic field exposure reconstruction. *IEEE Access*, v. 12, p. 49476-49488, 2024. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10478001>. Acesso em: 12 nov. 2025.

SALGADO, F. Á. Á.; CHAN, C. A. D.; ACUÑA, E. G. A.; CRUZ, L. M. H.; ÁLVAREZ, D. C. M.; CHIQUINI, C. M. D. J. L.; ARJONA, P. S. H. Sustainable prototype with IoT implementation for remote monitoring of *Apis mellifera* apiaries in maya regions of Campeche, Mexico. *Brazilian Journal of Technology*, v. 7, n. 2, p. e69054-e69054, 2024. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJT/article/view/69054>. Acesso em: 08 nov. 2025.

SALGADO, F. A. A.; LARA, C. O. C.; LÓPEZ, C. J.; CAUICH, D. A. D.; HERRERA, L. A. C.; MORENO, M. M.; KANTUN, D. A. A. Implementación de Redes LAN en áreas remotas, para comunicar apiarios de *Apis Melliferas* en zonas mayas de Campeche usando prototipos IoT. *Brazilian Journal of Technology*, v. 7, n. 1, p. 82-95, 2024. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJT/article/view/67648>. Acesso em: 14 nov. 2025.

SELAMOĞLU, Zeliha; NAEEM, Muhammad Yasir. FROM FLOWER TO FOOD: HONEY BEES AND THEIR ROLE IN CROP PRODUCTION. *Ari ve Arıcılık Teknolojileri Dergisi*, v. 3, n. 2, p. 56-63, 2024. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/aritek/issue/89674/1601586>. Acesso em: 11 out. 2025.

UTHOFF, Cassandra; HOMSI, Masun Nabhan; VON BERGEN, Martin. Acoustic and vibration monitoring of honeybee colonies for beekeeping-relevant aspects of presence of queen bee and swarming. *Computers and electronics in agriculture*, v. 205, p. 107589, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169922008973>. Acesso em: 18 nov. 2025.