

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ALLAN DE MELLO RIBEIRO**

**ESTUDOS, APLICAÇÃO E ADAPTAÇÃO DE MÉTODOS DE  
MONITORAMENTO DE APIÁRIOS EM T. ANGUSTULA**

**PATO BRANCO**

**2025**

**ALLAN DE MELLO RIBEIRO**

**ESTUDOS, APLICAÇÃO E ADAPTAÇÃO DE MÉTODOS DE  
MONITORAMENTO DE APIÁRIOS EM T. ANGUSTULA**

**Studies, application and adaptation of beehive monitoring methods for T.  
angustula**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador(a): Prof. Dr. Gustavo Weber Dernardin

Coorientador(a): Prof. Dr. Dalcimar Casanova

**PATO BRANCO**  
**2025**



[4.0 Internacional](#)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

## **ALLAN DE MELLO RIBEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: dia / mês por extenso / ano

---

Cesar Claure Torrico)  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Kathya Silvia Collazos Linares)  
Doutorado  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**PATO BRANCO**  
**2025**

Dedico este trabalho à Deus, e à minha família,  
à minha namorada, e amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Obrigado à Deus pela oportunidade de realizar, ainda que incerto de quê.  
Ao Francisco, meu avô. Os muros que ele levantou não cabem nessas folhas.  
Aos meus orientadores, pela paciência monástica do meu retorno.  
À minha namorada, pela compreensão e apoio, piadas e broncas.  
E aos meus amigos, à Ernane Carreira, e à todos os que não mencionei, fielmente  
lembados em mente coração.

"Se é pra dois, ou três... Então é pra mim!" (??).

## RESUMO

Este trabalho pretende estudar, aplicar e adaptar métodos de monitoramento de colmeias de abelhas em *Tetragonisca angustula* (jataí), através do desenvolvimento de uma arquitetura de sensoriamento ambiental. A pesquisa envolveu a implementação de uma arquitetura baseada em microcontrolador ESP32 LoRa32, integrado a sensores de temperatura, umidade, pressão e som, utilizando comunicação I<sup>2</sup>C e armazenamento local. Foram realizados testes em bancada e em campo, analisando a interação entre componentes eletrônicos e o ambiente orgânico da colmeia. As principais dificuldades observadas incluíram interferências no barramento de comunicação, falhas intermitentes em sensores e limitações de memória e energia. Como solução, foi proposto uma amalgama entre adaptações de hardware e software, incluindo encapsulamento adaptado, e o desenvolvimento das bibliotecas **Hermes** e **Sparse-Buffer**, voltadas à integridade de dados e controle de concorrência em tempo real, e redução de carga no uso de memória. Como resultado, foi evidenciado que os problemas com esse tipo de integração não é trivial, ressaltando a necessidade de novas pesquisas sobre isolamento de sensores e durabilidade em condições orgânicas. O trabalho contribui para a consolidação da apicultura de precisão nacional, oferecendo uma base prática para futuras plataformas de monitoramento de abelhas nativas.

Palavras-chave: apicultura de precisão; tetragonisca angustula; sensoriamento; monitoramento; sistemas embarcados.

## ABSTRACT

This work aims to study, apply, and adapt hive monitoring methods for *Tetragonisca angustula* (jataí) bees through the development of an environmental sensing architecture. The research involved implementing an architecture based on an ESP32 LoRa32 microcontroller, integrated with temperature, humidity, pressure, and sound sensors, using I<sup>2</sup>C communication and local storage. Bench and field tests were conducted to analyze the interaction between electronic components and the organic environment of the hive. The main difficulties observed included interference on the communication bus, intermittent sensor failures, and memory and power limitations. As a solution, a combination of hardware and software adaptations was proposed, including encapsulated sensor designs and the development of the Hermes and Sparse-Buffer libraries, focused on data integrity, real-time concurrency control, and reduced memory usage. The results showed that problems of this kind of integration are non-trivial, highlighting the need for further research on sensor isolation and durability under organic conditions. This work contributes to the advancement of national precision beekeeping, providing a practical foundation for future monitoring platforms for native bees.

Keywords: precision apiculture; *tetragonisca angustula*; sensoring; monitoring; embedded systems.

## **LISTA DE ILUSTRAÇÕES**

<b>Figura 1 – Arquitetura Proposta.....</b>	<b>27</b>
8	
LORA32.288	
do sistema.29	

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 – Orçamento dos materiais n.º 1.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 2 – Orçamento dos materiais n.º 2.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 3 – Orçamento dos materiais n.º 3.....</b>	<b>43</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

long

long

**UTFPR** Uni-  
versidade  
Tecnológica  
Federal do  
Paraná  
long

## **LISTA DE SÍMBOLOS**

Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
T	Temperatura
V	Volume
P	Pressão

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
LinkbordercolorLinkcolor1.1	Considerações iniciais .....	13
LinkbordercolorLinkcolor1.2	Objetivos.....	14
1.2.1	Objetivos específicos .....	14
1.2.2	Justificativa .....	14
LinkbordercolorLinkcolor1.3	Estrutura do Trabalho .....	15
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
LinkbordercolorLinkcolor2.1	Abelhas, apicultura e apicultura de precisão ....	16
2.1.1	Tetragonisca angustula.....	17
2.1.2	Colmeias jataí .....	18
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
LinkbordercolorLinkcolor3.1	Materiais .....	26
LinkbordercolorLinkcolor3.2	Métodos.....	26
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
LinkbordercolorLinkcolor4.1	Arquitetura do Sistema .....	27
LinkbordercolorLinkcolor4.2	Implementação e Testes Iniciais .....	28
LinkbordercolorLinkcolor4.3	Integração em Campo .....	30
LinkbordercolorLinkcolor4.4	Problemas Observados .....	31
LinkbordercolorLinkcolor4.5	Soluções Propostas .....	33
LinkbordercolorLinkcolor4.6	Discussão .....	36
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>38</b>
	<b>APÊNDICE A QUESTIONÁRIO DE PESQUISA .....</b>	<b>41</b>
	<b>APÊNDICE B ROTEIRO DA ENTREVISTA.....</b>	<b>43</b>
	<b>ANEXO A LEI N.<sup>o</sup> 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998.....</b>	<b>45</b>
	<b>ANEXO B NORMAS PARA ELABORAÇÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve a importância da apicultura, conceitos místeros para a proposta, a proposta, e finalmente, seu objetivo.

### 1.1 Considerações iniciais

A apicultura é parte essencial da agroindústria brasileira. Responsáveis por 73% da flora nacional, as abelhas são imprescindíveis para um equilíbrio natural, produção de alimentos, e preservação do meio ambiente (Brown, 2001). Em 2022, a Associação Brasileira de Estudo das Abelhas (A.B.E.L.H.A) publicou o Atlas da Apicultura no Brasil (A.b.e.l.h.a, b). Esta ferramenta reúne dados de instituições como a Organização das Nações Unidas da Alimentação e Agricultura (FAO) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). FAO aponta o Brasil como 22º produtor mundial, tendo a produção aumentado em cerca de 12% entre 2021 e 2022 (Food; Nations, ). Um crescimento significativo, mesmo durante a pandemia.

Paralelo a isso, existe um processo corrente que consiste na informatização da produção de mel, utilizando tecnologias para otimizar a extração do mel, em quantidade e qualidade, simultaneamente reduzindo o impacto causado pela atividade, que atualmente é realizada manualmente. A chamada Apicultura de Precisão utiliza sensores, modelos de comportamento e microgerenciamento (Machado, 2024), uma ideia já aplicada na agricultura de precisão. Porém é um tema novo no Brasil, quando comparado a outros países pelo mundo(Machado, 2024).

Em pesquisas no corpo nacional de publicações(Machado, 2024), os maiores esforços ainda desconsidera em grande parte a utilização das técnicas de controle e monitoramento de sistemas para aplicação direta na produção de mel, seja pela falta de dados no que tange às espécies nacionais de abelhas, seja na falta de esforços especializados na área.

O estudo da eficácia da manipulação das colmeias, bem como otimização do processo produtivo de mel, dada a potencialidade produtiva do Brasil, também tem ganhado tração, que se evidencia no trabalho de organizações como a Associação Brasileira de Estudo das Abelhas (A.B.E.L.H.A).

A ideia não é nova. A apicultura é tópico de interesse para pesquisas desde meados dos anos 90, e mundialmente tem ganhado muita atenção graças à agricultura de precisão, originando o termo apicultura de precisão (AP)(Machado, 2024). Contudo, As pesquisas nacionais não demonstram a problemática oculta da metodologia de aplicação da AP. Os projetos descrevem modelos de sensoriamento e monitoramento, detalhar problemas de posicionamento dos equipamentos, problemas previstos no uso de circuitos em contato com estes animais, ou mesmo a razão de se utilizar determinada metodologia em detrimento de outra.

Portanto, o presente trabalho se propõe elaborar um sistema de monitoramento para colméias, expondo problemas.

O sistema, simples, minimamente invasivo e resiliente, precisa ter facilidade de instalação, manutenção, e telemetria, para fazer berço aos futuros projetos relacionados, expondo,

principalmente, os percalços da amalgama entre matéria eletrônica e orgânica. Também precisa ser testado para diferentes espécies, configurando assim uma base para projetos semelhantes num futuro próximo.

## 1.2 Objetivos

Estudos, aplicação e adaptação de métodos de monitoramento de apiários em abelhas *T. angustula*

### 1.2.1 Objetivos específicos

Implementação de uma arquitetura capaz de sensoriar variáveis pertinentes à abelhas;  
Teste da plataforma em contato com uma colméia;  
Proposição e implementação de soluções para os problemas encontrados durante o processo;

### 1.2.2 Justificativa

As recentes pesquisas, tanto nacionais, quanto mundiais, mostram-se interessadas em grande parte na otimização da produção de alimentos. As abelhas, como integrante essencial do processo produtivo, bem como produtoras diretas de alimento, tem recebido atenção com as pesquisas e o surgimento da área da AP. Nacionalmente, no entanto, estas ideias ainda estão germinando.

Esse trabalho pretende implementar e adaptar as metodologias já exploradas, e aplicá-las numa espécie nacional, em especial a *T. angustula*.

Especificamente nesta obra, a implementação de um sistema de monitoramento em uma colméia de abelhas nativas possui interesse da produção local de mel, visivelmente crescente em projetos como Amigos das Abelhas sem Ferrão (Amigos das ASF), e auxílio no estudo de prototipagem para a empresa Geponica Tecnologia.

O projeto Amigos das ASF tem como objetivo propagar conhecimentos sobre a importância e benefícios de preservação das espécies nativas de abelhas sem ferrão, preservação da natureza, e cuidados com o meio ambiente.

Por outro lado, a empresa Geponica possui esforços na mesma linha, desenvolvendo pesquisas para prototipar placas de monitoramento de colméias a fim de detectar eventos anormais. O reconhecimento desses eventos pode proporcionar ao apicultor a base para uma tomada rápida de ações, otimizando a produção, preservando a saúde das abelhas, e gerando mais alimento.

A documentação da aplicação final será disponibilizada ao projeto amigos das ASF, e à empresa Geponica, para que sejam feitas plataformas de monitoramento à partir dos conhecimentos obtidos.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho organiza-se em 5 capítulos

- Introdução, onde explica-se as motivações, objetivos e justificativas para o desenvolvimento deste trabalho;
- Referencial teórico, onde explora-se os conceitos básicos utilizados no projeto, detalhando a importância de cada conceito;
- Metodologia, onde descreve-se o sistema proposto, as tarefas realizadas, e os problemas observados.
- Materiais e métodos, que demonstra quais ideias e procedimentos serão implementados para correção de problemas, bem como os parâmetros para aferir a efetividade das soluções;
- Conclusão, que discute os resultados obtidos, e próximos passos para trabalhos futuros;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo trata de explicar os conceitos base relacionados ao trabalho, em especial sobre abelhas, apicultura, os sensores utilizados e os respectivos métodos de comunicação.

### 2.1 Abelhas, apicultura e apicultura de precisão

As abelhas são insetos alados (clado Anthophila) responsáveis pelo processo da polinização e produção de mel. As mais de 20 mil espécies, presentes em todos os continentes com exceção da Antártida, se alimentam de pólen e nectar, dando origem ao processo de polinização, importante não apenas para as plantas, mas para todo o ecossistema da produção de alimentos, e principalmente, para a apicultura, atividade existente desde o Egito Antigo (Danforth et al., 2006), e de crescente importância no Brasil.

No Brasil, as espécies mais comuns compreendem a *Apis mellifera* (Africanizada), *Tetragonisca angustula* (Jataí), e *Eulaema nigrita* (Abelha das Orquídeas)(A.b.e.l.h.a, a), sendo aquela a mais numerosa, dado o interesse do mercado brasileiro em sua alta produtividade para o mercado apícola .

A domesticação do processo de produção de mel recebe o nome de apicultura. É um processo milenar, praticado desde o Egito antigo, que consiste em alojar as abelhas em uma região arbitrária, proporcionar à colmeia condições de crescimento (disponibilidade de alimento, água, e condições climáticas adequadas), e extrair o mel periodicamente, administrando também a criação de outras colmérias, e competição entre espécies.

É importante destacar que a apicultura geralmente se refere à produção de mel num panorama geral, mas também pode significar a produção de mel exclusivamente por abelhas do gênero *Apis* (abelhas com ferrão), ou tribo Apini, sendo sua maior representante a *A. mellifera*. Surge então a meliponicultura, que trata da produção pela tribo Meliponini (popularmente chamadas de abelhas sem ferrão). Para facilidade de entendimento, tomar-se-á apicultura geral (APG) como sendo todo o processo apícola, indistinto de espécies, e apicultura específica (APE), ou simplesmente apicultura como a produção de mel por abelhas do gênero *Apis*.

A APG teve início no Brasil na década de 1830, através da importações de espécimes da Europa, a pedido do Pe. Antonio Pinto Carneiro. A prática não era rentável, além de perigosa, e por algum tempo foi considerada inviável, sendo retomada apenas em 1970, graças a esforços de pesquisa apresentados no Congresso Brasileiro de Apicultura, em Florianópolis (Sanford, 2005).

Cerca de 40 anos se passaram até que os métodos e tecnologias da agricultura de precisão (AGP) fizessem luz à ao processo produtivo do mel, dando origem então à apicultura de precisão (APP). A aplicação de técnicas análogas de sensoriamento e controle comprovadamente otimizou a produção de mel de diversas maneiras, entre impacto no ambiente, nas espécies, quantidade de produtos (mel e própolis) e subprodutos produzida (cera, medicamentos e cosméticos).

Pode-se definir a APP considerando-se alguns princípios da AGP: essa trata da aquisição, processamento e análise de dados para permitir otimizações no gerenciamento e na tomada de decisões do processo agrícola. De maneira análoga, os mesmos estudos podem ser inseridos na apicultura, se tornando então um processo de aquisição, processamento e análise de dados afim de otimizar o gerenciamento e a tomada de decisões no processo apícola.

### 2.1.1 *Tetragonisca angustula*

A *Tetragonisca angustula*, apresentada em ??, popularmente conhecida como jataí, é uma abelha social da tribo Meliponini, amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais da América Latina, incluindo o Brasil. Trata-se de uma das espécies de abelhas sem ferrão mais estudadas e manejadas na meliponicultura, destacando-se por sua docilidade, adaptabilidade e importância ecológica como polinizadora generalista(Batista; Ramalho; Soares, 2003).

Morfologicamente, a jataí é uma abelha de pequeno porte, medindo entre 4 a 5 mm de comprimento. Apresenta cabeça e tórax de coloração escura, com abdômen mais claro e pernas pardacentas. Uma característica distintiva é a ausência de ferrão funcional, comum a todas as abelhas da tribo Meliponini, o que a torna incapaz de ferroar. Suas asas possuem venação reduzida, e as operárias apresentam cerdas nas pernas posteriores, adaptadas para o transporte de pólen.

**Fotografia 1 – *Tetragonisca angustula*.**



**Fonte:** Demeter (2009).

Apesar de sua ampla distribuição e relevância ecológica, *T. angustula* ainda carece de uma base técnica consolidada na literatura científica, especialmente no que diz respeito a

parâmetros biométricos padronizados, dados sobre produtividade, comportamento reprodutivo, e manejo racional.

A organização social da colônia é altamente complexa, composta por várias castas, incluindo rainha, operárias e zangões. As colônias são perenes, podendo conter de 20 a 80 mil indivíduos, abrigadas geralmente em cavidades protegidas.

### 2.1.2 Colmeias jataí

A criação de ambas abelhas exigem a utilização de caixas pré-montadas que permitem a modularização da coleta de mel. Com modelos diferentes para cada uma das espécies, o modelo ideal para as abelhas-sem-ferrão é denominado modelo INPA.

As caixas modelo INPA (Inpa, ) foram desenvolvidas no Brasil para a criação de abelhas nativas. O nome “INPA” refere-se ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, onde esse modelo começou a ser utilizado e disseminado, especialmente nas décadas de 1980 e 1990, como parte dos esforços para promover a meliponicultura racional, ecológica e adaptada às espécies nativas. Apesar de não existir um documento oficial detalhando o modelo, o mercado melipona segue este padrão.

Diferentemente das caixas utilizadas na apicultura com *Apis mellifera*, que adotam quadros verticais móveis, o modelo INPA respeita a arquitetura natural dos ninhos das abelhas sem ferrão, que constroem discos horizontais de cria empilhados, cercados por potes de mel e pólen em estruturas orgânicas. As caixas INPA reproduzem essas condições em um ambiente controlado e modular, permitindo o manejo sustentável sem desorganizar o ninho.

Esta é composta por módulos empilháveis, cada um com função distinta e dimensões adaptadas ao porte da espécie criada. A estrutura básica possui a medida padrão, de cada módulo, de 15cm de largura, por 15cm de profundidade internamente, mais 3cm de espessura, com 10cm de altura.

**Módulo de ninho:** Parte inferior, onde são depositados os ovos e construídos os discos de cria. Costuma medir cerca de 15x15x10, considerando-se as paredes internas, com cerca de 3cm de espessura. O espaço interno é fixo, sem divisórias móveis, permitindo que as abelhas organizem o ninho de forma natural.

**Sobreninho (ou extensão do ninho):** Módulo adicional posicionado acima do ninho, para fomentar o crescimento. Permite o crescimento da área de postura e armazenamento, acomodando a expansão natural da colônia com o tempo.

**Melgueira:** Espaço dedicado ao armazenamento de mel. Quando presente, são os módulos superiores. Nela as abelhas constroem pequenos potes de cera onde depositam o mel. A extração é feita manualmente, com seringas ou espátulas, respeitando a integridade da colônia.

**Tampa e cobertura externa:** Fecham a caixa superiormente, ajudando a manter o microclima interno, protegendo contra luz, calor excessivo e umidade.

Sensores

**Fotografia 2 – Colméia de abelhas Jataí.**



**Fonte: Autoria Própria.**

Sensores são dispositivos capazes de detectar mudanças no ambiente, e gerar eventos sobre estas mudanças para um sistema. No meio apícola, sensores tem ampla aplicação afim de detectar a maioria dos eventos pertinentes para a colméia,

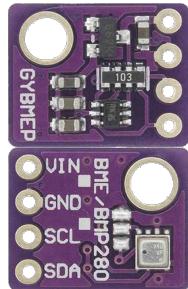
O processo aquisitório de dados pode incluir métodos invasivos (como a inserção de sensores diretamente dentro da colméia, captura de indivíduos, controle de entrada e saída, e afins), ou não invasivos (monitoramento de temperatura externa, umidade do ar, peso, entre outras). Métodos invasivos costumam ter resultados mais precisos, com o contraponto de que podem interferir diretamente na acurácia dos dados, em decorrência das alterações que o procedimento provoca no ambiente, interferindo assim no comportamento natural dos indivíduos. Métodos não invasivos costumam ser mais acurados, ao custo da precisão, tendo em mente o espectro de desvios que o sensoriamento sofre em decorrência de interferências do ambiente: vento, exposição ao sol, esparcidez dos insetos, etc.

Dentre a enorme gama de aplicações, quatro análises se destacam: sensoriamento de temperatura, umidade, peso e som.

Entre os muitos, cita-se especialmente BME280, DHT11, DS18B20, SHT30, INMP441. Esses sensores cobrem a maior parte do escopo deste projeto, a saber:

O sensor BME280, desenvolvido pela Bosch (Bosch, 2022), é um dispositivo ambiental de alta precisão projetado para medir pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa, integrando essas três funcionalidades em um encapsulamento compacto do tipo LGA com dimensões típicas de 2,5 x 2,5 x 0,93 mm. Baseado em tecnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), o BME280 utiliza um princípio piezoresistivo para detecção de pressão, um sensor capacitivo para umidade e um sensor de banda de energia para temperatura, proporcionando medições altamente estáveis e com baixo ruído. O dispositivo suporta interfaces de comunicação digitais I2C e SPI, permitindo fácil integração com microcontroladores e sistemas embarcados. Seu intervalo operacional abrange temperaturas de -40 °C a +85 °C, umidades de 0 a 100% UR e pressões de 300 a 1100 hPa, possibilitando o uso em aplicações meteorológicas, dispositivos IoT, altímetros, estações ambientais e wearables. O consumo de energia é otimizado por meio de modos de operação configuráveis (sleep, forced e normal), o que o torna adequado para sistemas alimentados por bateria. A compensação interna de temperatura e a calibração de fábrica garantem a precisão das medições, que tipicamente alcançam  $\pm 1\%$  UR para umidade absoluta,  $\pm 1$  Pa para pressão absoluta e  $\pm 0,5$  °C para temperatura.

**Fotografia 3 – Sensor BME280.**



**Fonte: Autoria Própria.**

O DHT11 é um sensor digital amplamente utilizado para medições básicas de temperatura e umidade relativa do ar, composto por um elemento resistivo de detecção de umidade e um termistor NTC encapsulados em uma estrutura plástica com circuito de conversão analógico-digital integrado (DATASHEET..., ). Seu princípio de funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica do material sensível à umidade e na variação de tensão do termistor em função da temperatura, sendo os sinais convertidos e transmitidos por meio de uma interface digital de fio único (single-wire) com protocolo proprietário, o que simplifica a integração com microcontroladores de baixo custo. O dispositivo opera em faixa de tensão típica de 3,3 V a 5,5 V, com corrente de repouso inferior a 2,5 mA e tempo de amostragem mínimo de 1 segundo, apresentando resolução de 1 °C para temperatura e 1% UR para umidade, embora com precisão limitada ( $\pm 2$  °C e  $\pm 5\%$  UR, respectivamente). Contudo, é importante ressaltar que o DHT11 sofre com ampla incidência de falsificações e variantes não oficiais, frequentemente vendidas sob o mesmo nome mas com comportamento elétrico e características de medição divergentes, o que dificulta a padronização e a confiabilidade de resultados. Além disso, não há um fabricante

claramente identificado, e múltiplos datasheets circulam com especificações ligeiramente diferentes, tornando essencial a verificação experimental e a calibração manual para aplicações que exijam consistência ou precisão. De maneira que este dispositivo, apesar de testado durante o projeto, não será utilizado para resultados finais.

**Fotografia 4 – Sensor DHT11.**



**Fonte:** Autoria Própria.

O DS18B20 é um sensor digital de temperatura fabricado originalmente pela Maxim Integrated, amplamente utilizado em aplicações de monitoramento térmico devido à sua alta precisão, simplicidade de interface e ampla faixa operacional (Integrated, 2019). Baseado em tecnologia de semicondutores, o DS18B20 mede temperatura através de um diodo sensível integrado cujo coeficiente de variação de tensão é convertido internamente em um valor digital, eliminando a necessidade de conversão analógico-digital externa. O sensor utiliza o protocolo de comunicação 1-Wire, permitindo a ligação de múltiplos dispositivos em paralelo em um único barramento de dados, com cada unidade possuindo um código serial único de 64 bits que facilita sua identificação e endereçamento individual. Opera com alimentação entre 3,0 V e 5,5 V e também suporta modo de alimentação parasita, no qual a energia é derivada da linha de dados. Sua faixa de medição é de -55 °C a +125 °C, com precisão típica de  $\pm 0,5$  °C no intervalo de -10 °C a +85 °C e resolução configurável entre 9 e 12 bits, correspondendo a incrementos mínimos de 0,0625 °C. O tempo de conversão depende da resolução escolhida, variando de 93,75 ms a 750 ms. O encapsulamento mais comum é o TO-92, embora existam versões em cápsulas estanques de aço inoxidável para aplicações em líquidos e ambientes agressivos. Graças à sua robustez, baixo custo e facilidade de uso, o DS18B20 é amplamente empregado em sistemas de controle ambiental, data loggers, automação residencial e dispositivos IoT, sendo considerado uma das soluções digitais mais confiáveis para medição de temperatura ponto a ponto.

**Fotografia 5 – Sensor DS18B20.**

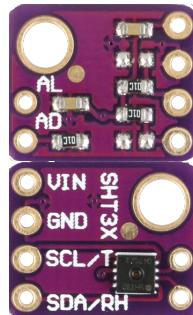


**Fonte:** Autoria Própria.

O SHT30 é um sensor digital de temperatura e umidade relativa do ar desenvolvido pela Sensirion, projetado para oferecer alta precisão, estabilidade a longo prazo e resposta rápida

em aplicações ambientais e industriais. Baseado na tecnologia CMOSens, o dispositivo integra em um único chip o elemento sensor, o conversor analógico-digital e a lógica de processamento e calibração, garantindo medições precisas e linearizadas diretamente na saída digital. A comunicação com sistemas embarcados ocorre por meio da interface I<sup>2</sup>C, suportando endereços configuráveis e taxas de comunicação de até 1 MHz, o que facilita a integração com microcontroladores modernos. O SHT30 opera em uma faixa de tensão de 2,4 V a 5,5 V e mede temperaturas de -40 °C a +125 °C com precisão típica de ±0,3 °C, e umidades relativas de 0 a 100% UR com precisão de ±2% UR, apresentando tempo de resposta inferior a 8 segundos. O encapsulamento padrão é o DFN de 2,5 × 2,5 × 0,9 mm, com membrana opcional de proteção contra condensação e contaminantes. O sensor conta com calibração de fábrica armazenada em memória OTP (One-Time Programmable), o que elimina a necessidade de ajustes externos e assegura repetibilidade entre lotes. Devido à estabilidade térmica, baixo consumo de energia e confiabilidade em ambientes com variação de umidade, o SHT30 é amplamente utilizado em dispositivos IoT, sistemas HVAC, automação industrial, estações meteorológicas e equipamentos médicos, sendo reconhecido como uma das soluções mais consistentes da sua categoria.

**Fotografia 6 – Sensor SHT30.**

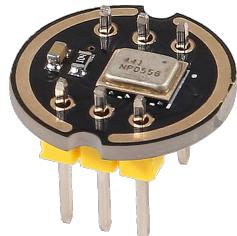


**Fonte:** Autoria Própria.

O INMP441 é um microfone digital MEMS desenvolvido pela InvenSense, projetado para captura de áudio de alta qualidade com baixo ruído e saída digital direta. O dispositivo integra um elemento sensor de pressão acústica baseado em tecnologia MEMS e um conversor analógico-digital sigma-delta de 24 bits, fornecendo dados no formato digital I<sup>2</sup>S (Inter-IC Sound), o que elimina a necessidade de circuitos analógicos externos e simplifica a interface com microcontroladores e processadores de sinal. Opera com tensão de alimentação entre 1,8 V e 3,3 V e consome tipicamente cerca de 1,4 mA em modo ativo, com possibilidade de operação em modo de baixo consumo. O encapsulamento é do tipo LGA, com dimensões de aproximadamente 4,72 × 3,76 × 1,0 mm, e possui a porta acústica localizada na parte superior, facilitando a montagem em aplicações portáteis e dispositivos com aberturas frontais. O sensor apresenta resposta em frequência de 60 Hz a 15 kHz, sensibilidade típica de -26 dBFS (referente a 94 dB SPL) e relação sinal-ruído de cerca de 61 dBA, proporcionando captação limpa e estável em aplicações de voz e detecção acústica. O INMP441 permite configuração de canal esquerdo ou direito através do pino L/R, possibilitando uso em sistemas estéreo ou arrays de microfones, e utiliza sincronização padrão I<sup>2</sup>S com pinos BCLK, WS e SD. Graças à sua precisão, baixo con-

sumo e facilidade de integração digital, é amplamente empregado em sistemas IoT, assistentes de voz, dispositivos inteligentes, gravação de áudio embarcada e aplicações de reconhecimento acústico.

**Fotografia 7 – Microfone INMP441.**



**Fonte: Autoria Própria.**

## I<sup>2</sup>C

O I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit), também conhecido como I2C, é um protocolo de comunicação serial síncrono utilizado em sistemas embarcados para a troca de dados entre microcontroladores e dispositivos periféricos. Desenvolvido originalmente pela Philips Semiconductor na década de 1980, foi projetado para permitir a comunicação de múltiplos dispositivos utilizando apenas duas linhas de sinal, além da alimentação: uma linha de dados (SDA – Serial Data) e outra de clock (SCL – Serial Clock).

Para encontrar outros trabalhos pertinentes, foram buscado os termos colméia, monitoramento, abelha, modelo, sensoriamento, precisão, apicultura, observando-se suas respectivas traduções para o inglês (honeycomb, monitoring, bee;honeybee, model, sensoring, precision, apiculture,). Adiante listam-se as considerações mais importantes encontradas.

(Machado, 2024) faz uma pesquisa extensiva nos mesmos tópicos, provendo uma revisão de literatura abrangente sobre o assunto. Suas pesquisas citam a importância da umidade para a saúde geral da colméia, e manutenção das crias, regulação térmica, prevenção da proliferação de fungos e bactérias, e preservação das propriedades do mel para consumo das crias. Além disso, a temperatura possui funções semelhantes, de maneira que a maioria das operárias realizam atividades para manutenção constante dessas variáveis.

Segundo a mesma autora, o som também possui uma enorme importância, pois é um dos canais de comunicação para ações do enxame como um todo, responsável pela transmissão de eventos (alertas sobre invasores, fontes de alimento, intempéries climáticas) e comportamento sazonal (como aumento de atividade de evaporação de umidade, ou enxameação). Outras variáveis como peso e composição atmosférica também interferem nas características de ruído da colméia.

Algumas metodologias de sensoriamento envolvem Machine Learning, Análise de dados e visão computacional, a exemplo, (Trindade, 2018) utiliza um sensor de temperatura e umidade, além de células para medir peso. Para transmissão dos dados, foi utilizado um dispositivo XBee, mas não descreve detalhes sobre qualidade de sinal, ou mesmo sobre o tipo de servidor utilizado, apontando apenas que os dados foram processados utilizando-se Microsoft Excel.

Estendendo a análise da obra de maneira hipotética, pode-se estipular que parte da decisão de utilizar um dispositivo XBee foi devido à sua facilidade de conexão com a rede, por ser facilmente interfaceável com outros sistemas operacionais. Torna-se então evidente a necessidade de um sinal de telefonia móvel, ou sinal de internet para a transmissão dos dados para nuvem.

Aém disso, trabalhos como (Ferrari *et al.*, 2008) possuem uma taxa de captura muito maior de dados, estendendo não apenas variáveis como temperatura e umidade, mas também microfone, e imagem, o que cria um enorme fluxo de dados para serem processados, inviabilizando o processamento local. Para endereçar esse problema, armazenamento externo será utilizado.

Portanto, percebe-se que um caminho para a criação de um perfil pode envolver temperatura, som, umidade, pressão, características que podem refletir eventos como a presença ou a falta de alimento, a presença de predadores, níveis de saúde, e eventos específicos como a enxameação. No entanto, a análise dessas obras demonstra a limitação em apresentar resultados conceituais ou de laboratório, sem descrever os desafios enfrentados na implementação prática. Essa ausência de informações técnicas dificulta a reproduzibilidade e o avanço incremental das soluções propostas.

Outro ponto recorrente é a falta de discussão sobre os problemas reais de campo — como interferências elétricas, falhas na comunicação e instabilidades na alimentação. Nenhuma das obras abordam estratégias para mitigar esses fatores, o que indica uma lacuna significativa entre a teoria e a aplicação em ambientes externos.

Dessa forma, o presente trabalho se distingue ao buscar não apenas propor uma nova arquitetura de sensoriamento, mas também documentar as dificuldades encontradas e as possíveis soluções para esses obstáculos.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais

O desenvolvimento da plataforma de sensoriamento foi realizado com base em uma arquitetura modular, composta por sensores ambientais, microcontroladores e módulos de comunicação sem fio. Os principais materiais utilizados foram:

- **Sensores ambientais:** utilizados para medir temperatura, umidade, pressão e som, permitindo o monitoramento das condições internas e externas das colmeias.
- **Microcontrolador:** o LORA32 (uma variante do ESP32) foi empregado devido à sua conectividade bluetooth e capacidade de armazenamento externo..
- **Componentes eletrônicos auxiliares:** reguladores de tensão, e cabos blindados foram utilizados para garantir robustez elétrica em condições adversas.
- **Softwares e ferramentas:** o firmware e bibliotecas foram desenvolvidos em C utilizando o *ESP-IDF*. O projeto de hardware foi elaborado no *KiCad*.

#### 3.2 Métodos

O método adotado para o desenvolvimento do sistema foi estruturado em etapas sucessivas, partindo da concepção do protótipo até os testes preliminares de funcionamento.

Inicialmente, foi definida a arquitetura geral do sistema, composta por sensores instalados na colmeia e interfaceados com I2C, além de um posterior cliente bluetooth para transmissão e recepção de dados e comandos remotamente. O módulo coleta informações ambientais e as escreve em armazenamento externo para posterior análise.

A segunda etapa consistiu na integração dos sensores com o microcontrolador, bem como os testes de bancada. Implementou-se o firmware recomendado pelos fabricantes, para a coleta e registro periódico de dados. Para mitigar falhas de comunicação, foram incluídas rotinas de reinicialização automática e verificação de conectividade.

Na terceira etapa, os sensores foram conectados em pares, sendo um interno e outro externo à colmeia, com o objetivo de capturar o contraste entre os ambientes. Poucos dados foram coletados, em arquivo texto com formatação para posterior análise, devido à diversos problemas.

Embora não tenha sido possível realizar testes prolongados em campo, os resultados preliminares permitiram identificar limitações e propor soluções que são discutidas no capítulo seguinte.

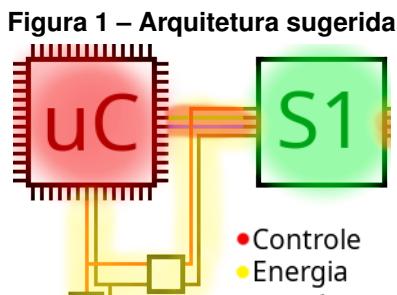
## 4 DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

O desenvolvimento da plataforma de sensoriamento para colmeias foi realizado de forma iterativa, em um primeiro momento numa bancada de trabalho, buscando integrar os sensores, as estratégias de armazenamento e registro dos dados, levando-se em conta condições próximas ao uso real, utilizando-se puro mel como material orgânico. Este capítulo apresenta as etapas de desenvolvimento, os testes realizados, os principais problemas observados e as soluções propostas durante o processo.

### 4.1 Arquitetura do Sistema

A arquitetura proposta para a plataforma de sensoriamento foi concebida de forma modular, priorizando a facilidade de integração entre sensores ambientais, unidades de processamento e mecanismos de armazenamento e comunicação. O objetivo principal é permitir a coleta contínua de dados.

O sistema é dividido em três camadas: **Periféricos**, **Controle**, e **Energia**, conforme ilustrado na Figura 2.



**Fonte:** Autoria Própria.

- **Periféricos:** Composta por sensores de temperatura, umidade, pressão e som. Essa configuração permite comparar condições internas e externas, formando uma base para a análise do comportamento da colônia. .
- **Controle:** responsável pela leitura dos sensores e registro dos dados em mídia de massa. Essa função é desempenhada por um microcontrolador ESP32 LORA32 da LilyGO, escolhido por integrar conectividade Bluetooth, suporte a cartão SD, e de operar múltiplos sensores simultaneamente. Os dados são armazenados em formato texto, contendo identificador, carimbo de tempo e unidade de medida, garantindo ras-treabilidade e simplicidade na análise posterior.
- **Energia:** A energia é fornecida por baterias LiPo de 11.1V e 5000mAh, reguladas para 5V através de regulador de tensão externo.

## 4.2 Implementação e Testes Iniciais

Dentre os sensores escolhidos, o DHT11 é o mais simples, e é comumente utilizado em projetos hobistas, que apesar de não confiável para aplicações que exigem precisão e constância, são suficientes para medidas pontuais de temperatura e umidade. Mais tarde, esse sensor foi descartado, por sua baixa confiabilidade mesmo nos primeiros testes.

O SHT30, o DS18B20 e o BME280 foram utilizados após problemas de amostragem com o DHT11, devido à frequência e interferências provocadas pela interação com matéria orgânica. Além disso, o suporte (como datasheet, source-code do fabricante e notas de aplicação), dá suporte a verificação de integridade CRC. O DS18B20 é especialmente interessante, pela possibilidade de contato direto com o mel por não posuir quaisquer ponto para entradas de material orgânico.

O controlador possui recomendações de alimentação de 5V pela porta USB (Xinyuan-lilygo, ). As [baterias utilizadas](fonte) são do tipo LiPo, de 11.1V e 5000mAh, comuns em projetos de robótica competitiva. Possui 3.7V por célula, de maneira que duas das células foram utilizadas, totalizando 7.4V. A sobretensão não apresentou quaisquer problemas no controlador, seja em testes de processamento ou de consulta de periféricos, com o único sintoma observado sendo o aquecimento do regulador de tensão presente na placa.

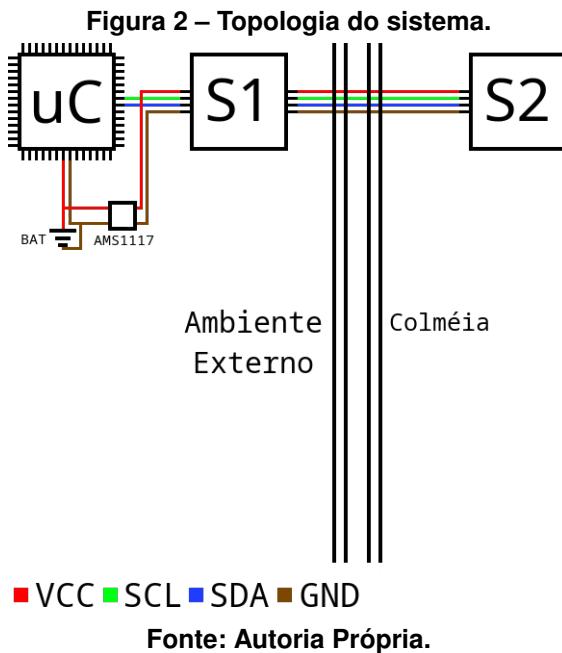
**Fotografia 8 – Microcontrolador LORA32.**



**Fonte: Autoria Própria.**

Para integração dos sensores, cabeamento de rede do tipo cat6 foi utilizado, por sua disponibilidade, excelente condutividade, e capacidade de redução de efeitos de interferencia, um problema comum na utilizacao de conectores para a interface I2C (Org, ). Foi necessário uma pequena topologia para interligar os sensores à placa, conforme Figura 2.

Outro ponto a ser citado é a incapacidade da placa em alimentar os sensores. Foi necessário a utilização de um regulador de tensão AMS1117.



Num primeiro experimento, um total de 9 sensores foram conectados, inicialmente sem qualquer contato com material orgânico, sendo um microfone, e, dois de cada um dos sensores a seguir: DHT11, SHT30, BME280 e DS18B20.

Os sensores foram conectados em paralelo, permitindo que sejam consultados sob demanda. Graças à arquitetura I2C, mais de um sensor do mesmo tipo pode ser utilizado na mesma linha: Os dispositivos são endereçados de fábrica, e um ou mais bits podem ser alterados manualmente. O endereçamento é determinado por 7 bits (0b111011x), sendo os 6 MSB (most-significant-bits) constantes, e o menos significativo controlado pelo nível lógico da porta SDO. A conexão entre SDO e GND força o endereço 0b1110110 (0x76), e a conexão com VDDIO resulta em 0b1110111 (0x77). O pino não pode flutuar.

Se necessário, mais de dois dispositivos do mesmo tipo podem ser conectados, aproveitando um detalhe da arquitetura SPI, que utiliza um terceiro sinal (denominado CS, ou chip-select) para controlar a seleção de um dispositivo. Neste caso, o sinal SDO tem a mesma função do CS, mantendo todos os dispositivos com o mesmo endereço (0x76). Quando for necessário consultar, a linha SDO deve sofrer pull-up, alterando o endereço para 0x77, destacando-o como tendo um endereço exclusivo, e portanto responderá individualmente. Ao final da operação, a linha deve novamente sofrer pull-down, liberando o canal.

Os primeiros problemas se apresentaram no sensor DHT11, que apresentava leituras constantes e alternadas entre dois valores, aparentemente aleatórios, após cada inicialização.

A captura dos dados foram feitas através de consulta sob demanda de cada sensor, utilizando-se em sua grande maioria o código fornecido pelo fabricante, e gravação dos dados ocorreu em armazenamento utilizando uma função atômica de escrita, em um arquivo de texto, conforme o padrão a seguir

[n] [Timestamp] [Nome] ( [medida] [unidade]

Esse padrão foi utilizado por fornecer contexto de origem do dado, instante no qual foi capturado, sequencia entre várias amostras, e respectiva medida de cada sensor, consideradas suficientes para a natureza desta aplicação.

Finalmente, o microcontrolador, bem como uma bateria de alimentação, foram isolados entre si, e inseridos em frascos de conserva, selando pontos de passagem de cabos com resina do tipo epoxi, evitando exposição à umidade. Um conector foi deixado do lado de fora, para facilitar a troca de bateria, caso necessário.

Após isso, os sensores foram testados mergulhando os mesmos por inteiro dentro do mel. Os resultados podem ser observados na [figura ](figura comparativa dentro e fora do mel). Nos testes executados, o sistema rodou sem problema por três dias ininterruptos.

#### 4.3 Integração em Campo

Após os testes de bancada, o sistema foi instalado em colmeias de *T. angustula*, com sensores posicionados tanto no interior quanto no exterior das caixas, de forma a permitir comparações entre as condições ambientais internas e externas.

**Fotografia 9 – Posicionamento dos sensores.**



**Fonte: Autoria Própria.**

Para integração com a colméia, o controlador e bateria foram presos ao pilar de suporte da colméia, conforme Fotografia 10, e os sensores dispostos no sobreninho mais superior, dis-

tante do contato com os favos, prevendo possíveis problemas de funcionamento dos sensores devido exposição ao mel e a cera.

**Fotografia 10 – Sistema integrado à colmeia.**



**Fonte: Autoria Própria.**

Foi necessário selar quaisquer pontos de conexão e passagem de fios dentro e no limiar da colméia. Isso foi necessário devido à atividade das abelhas de selar quaisquer buracos, e esterilizar materiais internos, cobrindo-os com uma liga de cera e própolis. Esse processo acontece devido ao ataque de outros insetos, em especial formigas e fungos, que se aproveitam dos pontos de abertura que os cabos provocam. Além disso, corpos estranhos também podem estar infectados, ou possuir material nocivo às abelhas. Essa prática não danifica os sensores, mas impediram a comunicação perfeita do sensor, graças à alterações na radiação térmica, leitura absoluta dos dados, e alterando o meio de propagação de ondas sonoras. Poucos dados foram capturados, tendo em vista as interferências observadas.

Para o ponto de passagem dos cabos, no entanto, as abelhas selaram a entrada dos fios, criando um canal justo, e facilmente renovável por elas, além de ser familiar para os indivíduos da colônia, e portanto benéfica.

#### 4.4 Problemas Observados

Surgiram falhas recorrentes no barramento I<sup>2</sup>C, causando travamentos e reinicializações automáticas do sistema. Tais eventos geravam acionamentos constantes do *watchdog*, o que, embora evitasse travamentos permanentes, resultava em alto consumo energético e drenagem prematura da bateria.

Os sensores sofriam de constantes falhas nos sinais e conexões. A suposição é de que o ambiente interno da colméia possui uma interação distinta quando comparada ao sensor em contato com o mel. Além disso, a utilização de resinas ou outros produtos para impermeabilizar estes sensores interferem na sua precisão, e na saúde dos insetos, pois em sua grande parte, eles possuem solventes e outros materiais tóxicos.

**Fotografia 11 – Sensor com material organico.**



**Fonte: Autoria Própria.**

Para observação dos eventos de falha, o uso da API padrão dos dispositivos ESP32 se torna exaustiva do ponto de vista de desenvolvimento. As APIs possuem chamadas para geração de logs, capaz de apresentar mensagens conforme a demanda do usuário. Conforme explica [18], existem diversos níveis de log, onde, ao configurar alguns parâmetros, podemos determinar quais mensagens aparecerão. Mas a quantidade de eventos gerados era tamanha que a manutenção (seja em remover, adicionar, ou alterar) torna o processo impraticável.

Os eventos gerados também geravam concorrência no processo de escrita no cartão. Além do sistema prosseguir tentando capturar os dados em sensores com erros, mesmo a falha em escrever os dados provocavam mais eventos, e por consequência, as rotinas paravam por completo.

Por vezes ainda, watchdogs entravam em ação, e o processo de reset drenava a bateria completamente. Isso ocorre em decorrência do alto processamento inicial para inicializar o dispositivo e entrar em regime de funcionamento. Os sensores, mesmo com suas funcionalidades de economia de energia, quando precisavam ser inicializados a cada nova

Finalmente, o diagnóstico do sistema em campo é difícil, pela impossibilidade de debug, uso de osciloscópio, ou observação dos eventos em tempo real. As interferências nos sensores provocaram erros do tipo hard-fault (por padrão esta rotina possui um loop infinito). A intervenção do usuário, então, sempre seria necessária.

## 4.5 Soluções Propostas

Os problemas apresentados podem ser separados em 3 categorias: - falhas de hardware, em que um sensor possui falhas intermitentes; - Concorrência, onde a quantidade de eventos geradas preenche a memória; - Resets, onde a perca de informações ocorre quando o sistema reinicia;

Para as falhas de hardware, mais testes em campo são necessários, uma vez que a interação entre eletrônicos, mel e materiais orgânicos não possui registros em literatura. Assim sendo, a exclusão do contato entre a colmeia e o sistema é essencial.

Duas soluções são apresentadas:

- Adaptar o circuito, de forma que os sensores sejam integrados à uma estruturas de encapsulamento e vedação, promovendo a exclusão do contato entre mel e circuito, sem o uso de substâncias nocivas. Essa opção tem a vantagem de que alguns sensores possuem mais de um encapsulamento, o que pode facilitar na confecção de containeres para os mesmos. Nesta obra, uma nova placa integrada de sensores foi elaborada, **Aristeu**, com a intenção de utilizar silicone alimentar para isolar os circuitos, mas não foi posta em produção, devido ao custo e tempo do projeto. O projeto encontra-se disponível repositório próprio e público;

- Adaptar a caixa, permitindo um posicionamento planejado dos sensores de maneira independente, entalhando canais e sulcos para posicionamento. Essa solução é mais barata, com a desvantagem de lenta produção, uma vez que depende do crescimento da colméia. Além disso, por ser uma adaptação do padrão INPA, o novo modelo pode ser impraticável quando escalado, considerando as adaptações necessárias.

Para contornar as limitações de geração de eventos, foi desenvolvida a biblioteca **Hermes**, concebida como um sistema de registro de eventos em tempo real, com foco em confiabilidade e isolamento de escrita. Cada interação entre o microcontrolador e os sensores gera um ou mais eventos categorizados em "chains": inicialização, configuração, consulta ou desinicialização; Isso permite rastrear as ações de forma estruturada. A biblioteca implementa atomicidade de leitura e escrita e bloqueio mútuo de acesso aos arquivos de log, evitando corrupção de dados durante operações paralelas.

Em efeitos práticos, a biblioteca é um wrapper, que automatiza a geração das mensagens ao criar os conceitos de **object**, que executa **chains**. Um objeto pode ser representado por periférico, que possui diversas rotinas a serem executadas: inicializar, configurar, amostrar e desinicializar. Essas rotinas possuem uma cadeia interna de funções que executam, separadamente, passos para realizar uma determinada tarefa. Hermes abstrai a complexidade utilizando ponteiros de funções para abstrair as cadeias originais da função, e insere eventos informativos entre cada uma das chamadas. Os eventos então são gerados apenas por um ator, e escritos no cartão sem concorrência.

Além disso, a biblioteca foi implementada com uma análise de requisitos, a saber

- Somente ele pode escrever. Outros atores devem depender dele para realizar escritas.

- Deve escrever, não importa o que aconteça (ou seja, a escrita deve sempre ter sucesso);

- Isso significa que, se por qualquer motivo o meio de escrita falhar, ator deve ser capaz de manter as informações por tempo suficiente, ou recorrer os meios necessários para aliviar a carga da escrita atual, até que o modo de escrita volte ao normal;

- Deve, enquanto escreve, bloquear qualquer ator de realizar leitura;

- Isso serve para evitar a recuperação de informações incompletas ou imprecisas (ou seja, garantir operações de leitura/escrita atômicas);

- Deve, enquanto lê, bloquear qualquer ator de realizar escrita;

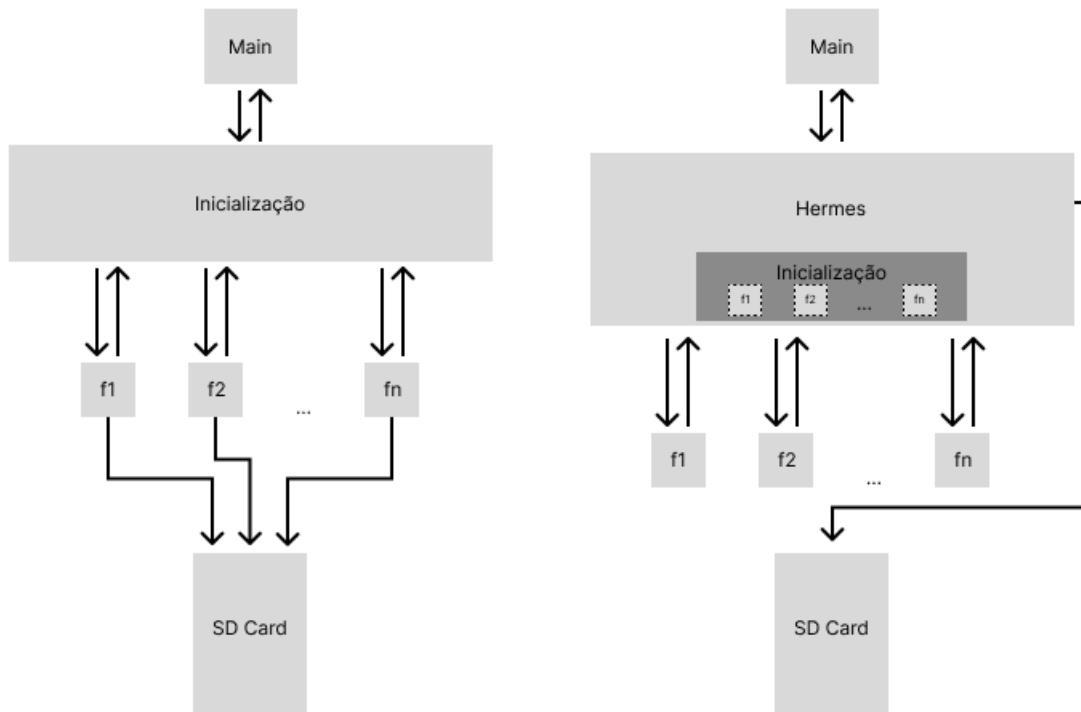
- Deve lidar com escritas/leitura paralelas;

- Deve gerar seus próprios eventos (ser capaz de registrar a si mesmo em um modelo orientado a eventos).

Dentre os requisitos, destacam-se dois importantes: "Must write, no matter what happens", essencial para a garantia de telemetria dos sensores, e "must handle parallel writes/reads", conveniente à implementação de diversos sensores para escrita e leitura simultânea.

A arquitetura da biblioteca é apresentada na [figura X]

**Figura 3 – Arquitetura da biblioteca HERMES.**



**Fonte: Autoria Própria.**

Complementarmente, e de encontro ao último problema, foi criada a biblioteca **Sparse-Buffer**. Esta foi projetada para lidar com restrições de memória, e possíveis concorrências de escrita para grandes amostras de dados. Essa ferramenta emprega filas do tipo *First-In, First-Out*

(FIFO) e técnicas de média móvel e compactação de dados, reduzindo a quantidade de escritas durante períodos de instabilidade. Quando a mídia de gravação está indisponível, os dados são retidos temporariamente em memória, e compactados até que a operação possa ser concluída de forma segura.

Enquanto isso, dois processos simples são aplicados:

- Novas amostras são agrupadas em séries para evitar a repetição: Dado um dado que varie num intervalo determinado (como a temperatura), os dados podem ser agrupados em amostras que se repetem em diferentes medidas de tempo, e no melhor caso, reduzindo o espaço de  $2N$ , sendo  $N$  o número de amostras, para  $N+1$ , de forma que a medida identifica a série, e os valores são os instantes de tempo no qual a medida ocorreu.

- A resolução de captura dos dados é reduzida: Ao preencher a fila de dados, um a cada  $N$  dados podem ser descartados, de forma que a resolução final da observação é reduzida, mas a média dos valores se mantém para grandes períodos de captura;

As rotinas podem ser observadas em Algoritmo 1 e Algoritmo 2.

---

#### **Fonte: Autoria própria.**

---

**requer** Fluxo de (valor, tempo); intervalo\_determinado  
**inserir** Conjunto de séries com valor representativo e lista de tempos  
 0: **para todos** nova\_amostra **em** fluxo\_de\_dados **faça**  
 0:   **se** nova\_amostra.valor **em** intervalo\_determinado **então**  
 0:     procurar série\_existente com série.valor  $\approx$  nova\_amostra.valor  
 0:     **se** série\_existente encontrada **então**  
 0:       adicionar nova\_amostra.tempo em série\_existente.lista\_tempos  
 0:     **senão**,  
 0:       criar série com valor  $\leftarrow$  nova\_amostra.valor  
 0:       série.lista\_tempos  $\leftarrow$  [ nova\_amostra.tempo ]  
 0:       adicionar série ao conjunto\_de\_séries  
 0:     **finaliza se**  
 0:   **finaliza se**  
 0: **finaliza para=0**

---



---

#### **Fonte: Autoria própria.**

---

**requer** fila\_original, fator  $N \geq 2$   
**inserir** fila\_reduzida  
 0: contador  $\leftarrow 0$   
 0: fila\_reduzida  $\leftarrow$  lista\_vazia  
 0: **para todos** dado **em** fila\_original **faça**  
 0:   contador  $\leftarrow$  contador +1  
 0:   **se** contador % N == 0 **então**  
 0:     adicionar dado à fila\_reduzida  
 0:   **finaliza se**  
 0: **finaliza para=0**

---

#### 4.6 Discussão

A aplicação prática do sistema em colmeias reais revelou desafios raramente documentados na literatura sobre apicultura de precisão. A maioria dos trabalhos correlatos foca em modelos teóricos de sensoriamento, mas não descreve as dificuldades inerentes à exposição dos sensores em ambientes biológicos ativos, sujeitos a variações térmicas, alta umidade e ação direta dos insetos.

Os resultados indicam que sensores eletrônicos convencionais exigem adaptações específicas de encapsulamento e isolamento elétrico para operar de forma confiável dentro de colmeias. As falhas observadas reforçam a necessidade de pesquisas voltadas à durabilidade de componentes em ambientes orgânicos, bem como ao desenvolvimento de metodologias de calibração e filtragem que considerem interferências biológicas e físicas.

Ainda que os testes tenham se limitado a períodos curtos, o estudo forneceu insights relevantes sobre a integração de sistemas embarcados em contextos naturais complexos. As bibliotecas e soluções propostas representam avanços significativos na robustez e autonomia de plataformas de monitoramento ambiental, servindo de base para futuras iterações com novos sensores, protocolos e estratégias de energia.

## 5 CONCLUSÃO

O sistema num geral apresentou diversos problemas, e cada um deles foi abordado individualmente. O projeto portanto contribuiu de maneira significativa para registro, e sugestão de abordagens para a respectiva solução.

A plataforma estabelecida permite a integração de uma grande gama de sensores, desde que utilizadores do protocolo I<sup>2</sup>C, e com uma arquitetura compatível à biblioteca HER-MES.

Além disso, os testes realizados, apesar de prematuros, evidenciou falhas intrinsecas na forma de conexão dos sensores, bem como do contato entre material orgânico e o hardware. Mais testes de impermeabilização são necessários, bem como de diferentes aparatos para o correto posicionamento, seja alterando a caixa, ou alterando o encapsulamento.

Todas as soluções foram documentadas e estão disponíveis publicamente em repositório pessoal de (Ribeiro, ).

## REFERÊNCIAS

- A.B.E.L.H.A, A. B. de Estudos das A. **Abelhas e Produção de Alimentos no Brasil.** [S.I.]: , . Disponível em: <https://abelha.org.br/abelhas-e-producao-de-alimentos-no-brasil>. Acesso em: 11 nov. 2025.
- A.B.E.L.H.A, A. B. de Estudos das A. **Atlas da Apicultura no Brasil.** [S.I.]: , . Disponível em: <https://abelha.org.br/atlas-da-apicultura-no-brasil>. Acesso em: 11 nov. 2025.
- BATISTA, M.; RAMALHO, M.; SOARES, A. Nesting sites and abundance of meliponini (hymenoptera: Apidae) in heterogeneous habitats of the atlantic rain forest, bahia, brazil. **Lundiana: International Journal of Biodiversity**, v. 4,, p. 19–23, 06 2003.
- BOSCH. **BME280 - Data sheet.** [S.I.], 2022. Disponível em: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2025.
- BROWN, J. C. Responding to deforestation: Productive conservation, the world bank, and beekeeping in rondonia, brazil. **The Professional Geographer**, Routledge v. 53, n. 1, p. 106–118, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00330124.2001.9628442>.
- DANFORTH, B. N. *et al.* The history of early bee diversification based on five genes plus morphology. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 41, p. 15118–15123, 2006. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/abs/10.1073/pnas.0604033103>.
- DATASHEET DHT11. [S.I.], . Disponível em: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>.
- DEMETER. **Abelha Jataí.** [S.I.]: , 2009. Wikipedia, Abelha Jataí. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Abelha-jatai.jpg>. Acesso em: 11 nov. 2025.
- FERRARI, S. *et al.* Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 64, n. 1, p. 72–77, 2008. ISSN 0168-1699. Smart Sensors in precision livestock farming. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169908001385>.
- FOOD; NATIONS, A. O. of the U. **FAOSTAT.** [S.I.]: , . Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 11 nov. 2025.
- INPA, I. N. de Pesquisas da A.
- INTEGRATED, M. **DS18B20.** [S.I.], 2019. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2025.
- MACHADO, P. A. Utilização de tecnologia de precisão na apicultura: uma revisão sistemática, „, 2024.
- ORG, I. **Common Problems In Systems.** [S.I.]: , . Disponível em: <https://www.i2c-bus.org/i2c-primer/common-problems>. Acesso em: 11 nov. 2025.
- RIBEIRO, A. **Repositórios de Hermes, Sparse-Buffer e Aristeu.** [S.I.]: , . Disponível em: <https://github.com/all-rib>. Acesso em: 11 nov. 2025.
- SANFORD, M. Beekeeping in brazil: A slumbering giant awakens, part iv. **American Bee Journal**, v. 145,, p. 214–216, 03 2005.

TRINDADE, N. C. Análise temporal de dados de monitoramento de colmeias de abelhas.  
**Universidade Federal de Santa Maria**, „, 08 2018.

UTFPR. **Orientação para a entrega de trabalhos acadêmicos**. 1a. ed. Curitiba: , 2021.  
Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/biblioteca/trabalhos-academicos/discentes>. Acesso em:  
08 nov. 2021.

XINYUAN-LILYGO. **LilyGo-LoRa-Series**. [S./], . Disponível em: <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/LilyGo-LoRa-Series>. Acesso em: 11 nov. 2025.

## **APÊNDICE A – Questionário de pesquisa**

Quando houver necessidade pode-se apresentar como apêndice documento(s) auxiliar(es) e/ou complementar(es) como: legislação, estatutos, gráficos, tabelas, etc. Os apêndices são enumerados com letras maiúsculas: Apêndice A, Apêndice B, etc.

No  $\text{\LaTeX}$  apêndices são editados como capítulos. O comando `\appendix` faz com que todos os capítulos seguintes sejam considerados apêndices.

Apêndices complementam o texto principal da tese com informações para leitores com especial interesse no tema, devendo ser considerados leitura opcional, ou seja, o entendimento do texto principal da tese não deve exigir a leitura atenta dos apêndices.

Apêndices usualmente contemplam provas de teoremas, deduções de fórmulas matemáticas, diagramas esquemáticos, gráficos e trechos de código. Quanto a este último, código extenso não deve fazer parte da tese, mesmo como apêndice. O ideal é disponibilizar o código na Internet para os interessados em examiná-lo ou utilizá-lo.

## **APÊNDICE B – Roteiro da entrevista**

**Tabela 1 – Orçamento dos materiais n.º 1.**

Material	Valor (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Bomba centrífuga	2500,00	01	2500,00
Compressor rotativo	3000,00	01	3000,00
Manômetro diferencial	450,00	02	900,00
Termopar	370,00	02	740,00
Válvula de esfera	43,00	02	86,00
Tubulação de PVC	10,00	05	50,00
Conexão de PVC	5,00	10	50,00
		Total (R\$)	7326,00

**Fonte:** Autoria própria (2025).**Tabela 2 – Orçamento dos materiais n.º 2.**

Material	Valor (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Bomba centrífuga	2700,00	01	2700,00
Compressor rotativo	2950,00	01	2950,00
Manômetro diferencial	515,00	02	1030,00
Termopar	350,00	02	700,00
Válvula de esfera	40,00	02	80,00
Tubulação de PVC	8,00	05	40,00
Conexão de PVC	6,00	10	60,00
		Total (R\$)	7560,00

**Fonte:** Autoria própria (2025).**Tabela 3 – Orçamento dos materiais n.º 3.**

Material	Valor (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Bomba centrífuga	2600,00	01	2600,00
Compressor rotativo	3100,00	01	3100,00
Manômetro diferencial	500,00	02	1000,00
Termopar	400,00	02	800,00
Válvula de esfera	45,00	02	90,00
Tubulação de PVC	12,00	05	60,00
Conexão de PVC	5,00	10	50,00
		Total (R\$)	7700,00

**Fonte:** Autoria própria (2025).

**ANEXO A – Lei N.º 9.610, de 19 de Fevereiro de 1998**



**Presidência da República  
Casa Civil  
Subchefia para Assuntos Jurídicos**

**LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998.**

[Mensagem de veto](#)

Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

[Vide Lei nº 12.853, de 2013 \(Vigência\)](#)

**O PRESIDENTE DA REPÚBLICA** Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Título I

Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Lei regula os direitos autorais, entendendo-se sob esta denominação os direitos de autor e os que lhes são conexos.

Art. 2º Os estrangeiros domiciliados no exterior gozarão da proteção assegurada nos acordos, convenções e tratados em vigor no Brasil.

Parágrafo único. Aplica-se o disposto nesta Lei aos nacionais ou pessoas domiciliadas em país que assegure aos brasileiros ou pessoas domiciliadas no Brasil a reciprocidade na proteção aos direitos autorais ou equivalentes.

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais.

Art. 5º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - publicação - o oferecimento de obra literária, artística ou científica ao conhecimento do público, com o consentimento do autor, ou de qualquer outro titular de direito de autor, por qualquer forma ou processo;

II - transmissão ou emissão - a difusão de sons ou de sons e imagens, por meio de ondas radioelétricas; sinais de satélite; fio, cabo ou outro condutor; meios óticos ou qualquer outro processo eletromagnético;

III - retransmissão - a emissão simultânea da transmissão de uma empresa por outra;

IV - distribuição - a colocação à disposição do público do original ou cópia de obras literárias, artísticas ou científicas, interpretações ou execuções fixadas e fonogramas, mediante a venda, locação ou qualquer outra forma de transferência de propriedade ou posse;

V - comunicação ao público - ato mediante o qual a obra é colocada ao alcance do público, por qualquer meio ou procedimento e que não consista na distribuição de exemplares;

VI - reprodução - a cópia de um ou vários exemplares de uma obra literária, artística ou científica ou de um fonograma, de qualquer forma tangível, incluindo qualquer armazenamento permanente ou temporário por meios eletrônicos ou qualquer outro meio de fixação que venha a ser desenvolvido;

VII - contrafáçao - a reprodução não autorizada;

VIII - obra:

a) em co-autoria - quando é criada em comum, por dois ou mais autores;

b) anônima - quando não se indica o nome do autor, por sua vontade ou por ser desconhecido;

c) pseudônima - quando o autor se oculta sob nome suposto;

d) inédita - a que não haja sido objeto de publicação;

e) póstuma - a que se publique após a morte do autor;

f) originária - a criação primigena;

g) derivada - a que, constituindo criação intelectual nova, resulta da transformação de obra originária;

h) coletiva - a criada por iniciativa, organização e responsabilidade de uma pessoa física ou jurídica, que a publica sob seu nome ou marca e que é constituída pela participação de diferentes autores, cujas contribuições se fundem numa criação autônoma;

i) audiovisual - a que resulta da fixação de imagens com ou sem som, que tenha a finalidade de criar, por meio de sua reprodução, a impressão de movimento, independentemente dos processos de sua captação, do suporte usado inicial ou posteriormente para fixá-lo, bem como dos meios utilizados para sua veiculação;

IX - fonograma - toda fixação de sons de uma execução ou interpretação ou de outros sons, ou de uma representação de sons que não seja uma fixação incluída em uma obra audiovisual;

X - editor - a pessoa física ou jurídica à qual se atribui o direito exclusivo de reprodução da obra e o dever de divulgá-la, nos limites previstos no contrato de edição;

XI - produtor - a pessoa física ou jurídica que toma a iniciativa e tem a responsabilidade econômica da primeira fixação do fonograma ou da obra audiovisual, qualquer que seja a natureza do suporte utilizado;

XII - radiodifusão - a transmissão sem fio, inclusive por satélites, de sons ou imagens e sons ou das representações desses, para recepção ao público e a transmissão de sinais codificados, quando os meios de decodificação sejam oferecidos ao público pelo organismo de radiodifusão ou com seu consentimento;

XIII - artistas intérpretes ou executantes - todos os atores, cantores, músicos, bailarinos ou outras pessoas que representem um papel, cantem, recitem, declamem, interpretem ou executem em qualquer forma obras literárias ou artísticas ou expressões do folclore.

XIV - titular originário - o autor de obra intelectual, o intérprete, o executante, o produtor fonográfico e as empresas de radiodifusão. ([Incluído pela Lei nº 12.853, de 2013](#))

Art. 6º Não serão de domínio da União, dos Estados, do Distrito Federal ou dos Municípios as obras por eles simplesmente subvencionadas.

**ANEXO B – Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**

As normas da UTFPR podem ser acessadas em: <http://portal.utfpr.edu.br/biblioteca/trabalhos-academicos/discentes/orientacao-para-trabalhos-academicos>. Ver Figura 4.

**Figura 4 – Sítio: Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos.**

**Orientação para a entrega de trabalhos acadêmicos**

publicado 18/09/2017 11h42, última modificação 30/08/2021 19h22

**INSTITUCIONAL**

**CAMPUS**

**CURSOS**

**SERVIÇOS**

**PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**

**EXTENSÃO E CULTURA**

Instrução voltada a discentes de Graduação, Especialização, Mestrado, Doutorado e Formação Pedagógica

**Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)**

Os trabalhos devem estar de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), disponíveis na base de dados GedWeb.

NBR 6023/2018 INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO - REFERÊNCIAS  
 NBR 6024/2012 INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO - NUMERAÇÃO PROGRESSIVA DAS SEÇÕES DE UM DOCUMENTO - APRESENTAÇÃO  
 NBR 6027/2012 INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO - SUMARIO - APRESENTAÇÃO  
 NBR 6028/2003 INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO - RESUMO - APRESENTAÇÃO  
 NBR 6034/2004 INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO - ÍNDICE - APRESENTAÇÃO  
 NBR 10520/2002 INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO - CITAÇÕES EM DOCUMENTOS - APRESENTAÇÃO  
 NBR 14724/2011 INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO - TRABALHOS ACADÉMICOS - APRESENTAÇÃO  
 NBR 15287/2011 INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO — PROJETO DE PESQUISA — APRESENTAÇÃO

**Elementos obrigatórios no Trabalho Acadêmico**

Antes de entregar o trabalho ao seu orientador, certifique-se que todos os **elementos obrigatórios** foram adequadamente incluídos:

- Capa
- Folha de rosto
- Folha de aprovação (A folha de aprovação não deve conter nenhuma assinatura)
- Resumo
- Abstract
- Sumário
- Corpo do trabalho - introdução, desenvolvimento, conclusão
- Referências

**Fonte: (UTFPR, 2021).**