

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](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

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

Nome completo e por extenso do Membro 1 (de acordo com o Currículo Lattes)

Titulação (Especialização, Mestrado, Doutorado)

Nome completo e por extenso da instituição a qual possui vínculo

Nome completo e por extenso do Membro 2 (de acordo com o Currículo Lattes)

Titulação (Especialização, Mestrado, Doutorado)

Nome completo e por extenso da instituição a qual possui vínculo

Nome completo e por extenso do Membro 3 (de acordo com o Currículo Lattes)

Título (Titulação (Especialização, Mestrado, Doutorado)

Nome completo e por extenso da instituição a qual possui vínculo

PATO BRANCO

2025

Dedico este trabalho à Deus, e à minha família.

AGRADECIMENTOS

RESUMO

Palavras-chave: apiário; angustula; sensoriamento; monitoramento.

ABSTRACT

Keywords: apiary; angustula; sensing; monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Orçamento dos materiais n.º 1.....	37
Tabela 2 – Orçamento dos materiais n.º 2.....	37
Tabela 3 – Orçamento dos materiais n.º 3.....	37

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

1	INTRODUÇÃO	13
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
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
LinkbordercolorLinkcolor2.1	Abelhas, apicultura e apicultura de precisão	16
2.1.1	Tetragonisca angustula.....	17
2.1.2	Colmeias jataí	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
LinkbordercolorLinkcolor3.1	Materiais	24
LinkbordercolorLinkcolor3.2	Métodos.....	24
4	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....	25
LinkbordercolorLinkcolor4.1	Arquitetura do Sistema	25
LinkbordercolorLinkcolor4.2	Implementação e Testes Iniciais	25
LinkbordercolorLinkcolor4.3	Integração em Campo	27
LinkbordercolorLinkcolor4.4	Problemas Observados	27
LinkbordercolorLinkcolor4.5	Soluções Propostas	28
LinkbordercolorLinkcolor4.6	Discussão	29
4.6.1	Estudos	31
4.6.1.1	Temperatura	31
4.6.2	Aplicação e registro	31
4.6.3	Análise Comparativa	31
5	CONCLUSÃO	33
A	QUESTIONÁRIO DE PESQUISA	35
APÊNDICE B	ROTEIRO DA ENTREVISTA	37
ANEXO A	LEI N.º 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998	39
ANEXO B	NORMAS PARA ELABORAÇÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS .	42

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo descreve a importância da apicultura, conceitos míseres 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[1]. Em 2022, a Associação Brasileira de Estudo das Abelhas (A.B.E.L.H.A) publicou o Atlas da Apicultura no Brasil[2]. 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.[3] 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[4], uma ideia já aplicada na agricultura de precisão. Porém é um tema novo no Brasil, quando comparado a outros países pelo mundo[4].

Em pesquisas no corpo nacional de publicações[4], 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).[13]. 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 onitoramento 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 amálgama 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 Geoponica 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 Geoponica 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 Geoponica, 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, 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)[8], sendo aquela a mais numerosa, dado o interesse do mercado brasileiro em sua alta produtividade para o mercado apícola[10].

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 alocar 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 colméias, 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.[5]

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*, 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 .

Morfológicamente, 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 ferocar. Suas asas possuem venação reduzida, e as operárias apresentam cerdas nas pernas posteriores, adaptadas para o transporte de pólen .

[imagem jataí]

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 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.

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 inclui:

Módulo de ninho: Onde são depositados os ovos e construídos os discos de cria. Costuma medir cerca de 15x15x9, 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. 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. 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.

Fundo (com ou sem lixeira): Parte inferior da caixa. Pode ter um espaço adicional para acumular resíduos (a chamada "lixeira"), que facilita a limpeza periódica e o controle de pragas.

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

[Fotografia colmeia INPA]

Sensores

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, esparcidade 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, 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, ± 1 Pa para pressão absoluta e $\pm 0,5$ °C para temperatura.

[Imagem BME280]

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. 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 (± 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.

[Imagem DHT11]

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. 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.

[Imagem DS18B20]

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 I2C, 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 $\pm 0,3$ °C, e umidades relativas de 0 a 100% UR com precisão de $\pm 2\%$ UR, apresentando tempo de resposta inferior a 8 segundos. O encapsulamento padrão é o DFN de $2,5 \times 2,5 \times 0,9$ 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.

[Imagem SHT30]

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 I²S (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 $4,72 \times 3,76 \times 1,0$ 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 I²S com pinos BCLK, WS e SD. Graças à sua precisão, baixo consumo 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.

[Imagem INMP441]

I²C

O I²C (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).

[Diagrama de tempo do I2C]

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, sensing, precision, apiculture,). Adiante listam-se as considerações mais importantes encontradas.

[4] 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.

Além disso, trabalhos como [ferrari,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 reprodutibilidade 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 CONCLUSÃO

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 \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 Nº 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 - contrafação - 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 primígena;

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 2.

Figura 1 – Sítio: Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos.

USUÁRIOS ▼

- Alunos
- Comunidade
- Egressos
- Futuros alunos
- Servidores

INSTITUCIONAL ▼

CAMPUS ▼

CURSOS ▼

SERVIÇOS ▼

PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO ▼

EXTENSÃO E CULTURA ▼

Orientação para a entrega de trabalhos acadêmicos

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

Share Tweetar Curtir 0

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 - SUMÁRIO - 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 ACADÊMICOS - 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: (??).