



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
CURSO ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Osmar da Costa e Silva Neto

**Desenvolvimento De Um Sistema De Monitoramento Para Abelhas Sem Ferrão
Utilizando IOT**

PAU DOS FERROS/RN

2024

Osmar da Costa e Silva Neto

**Desenvolvimento De Um Sistema De Monitoramento Para Abelhas Sem Ferrão
Utilizando IOT**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo.

PAU DOS FERROS/RN

2024

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

N469d Neto, Osmar da Costa e Silva.

Desenvolvimento de um sistema de monitoramento para abelhas sem ferrão utilizando IOT / Osmar da Costa e Silva Neto. - 2024.

52 f. : il.

Orientador: Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo.

Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de Computação, 2024.

1. Meliponicultura. 2. Jandaíra. 3. Sensores. 4. IoT. 5. ESP32. I. Segundo, Francisco Carlos Gurgel da Silva, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

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

Osmar da Costa e Silva Neto

**Desenvolvimento De Um Sistema De Monitoramento Para Abelhas Sem Ferrão
Utilizando IOT**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Computação.

Defendida em: 25 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Sâmara de Cavalcante Paiva, Profª. Drª. (UFERSA)
Membro Examinador

Pedro Balduino de Sousa Neto, Prof. Me. (FACEP)
Membro Examinador

Aos meus pais, Adriana Alves da Silva
e Lindomar Rodrigues da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, paciência e sabedoria concedidas ao longo de toda esta jornada, permitindo-me superar os desafios e alcançar este importante marco em minha vida.

À minha esposa, Marianne Silva Andrade, e a toda minha família, expresso minha mais profunda gratidão. Vocês foram minha base e fortaleza, oferecendo-me amor, apoio incondicional e compreensão durante este período de intenso trabalho e dedicação.

Agradeço imensamente ao meu orientador, Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo, por sua orientação, paciência e conselhos valiosos. Suas contribuições foram essenciais para o desenvolvimento deste projeto, e sua experiência me inspirou a buscar a excelência em cada etapa. Você se tornou mais do que um orientador, considero um amigo que levarei para o futuro, e agradeço a todo ensinamento conduzido dentro e fora da sala de aula.

Agradeço a Pedro Balduino de Sousa Neto dono do meliponário do Brejo pelo fornecimento da colmeia, seu apoio foi de extrema importância para o sucesso da pesquisa, e sou profundamente grato pela confiança e parceria ao longo desta jornada.

À Banca Examinadora, sou grato pela disposição em avaliar este trabalho e pelas considerações e sugestões que, sem dúvida, enriqueceram ainda mais o meu aprendizado e aprimoramento acadêmico.

Aos meus amigos que me acompanharam nesta caminhada, deixo aqui meu sincero agradecimento. Em especial, Lucas Abrantes, que não só esteve presente durante os diversos momentos desta trajetória, mas também foi peça chave ao fornecer apoio com alguns equipamentos eletrônicos fundamentais para esse desenvolvimento, permitindo a realização deste projeto.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade, meu muito obrigado.

O coração do homem considera o seu
caminho, mas o Senhor lhe dirige os passos.

Provérbios 16:9

RESUMO

Caracterizada pela criação organizada de abelhas, a meliponicultura, apresenta-se como uma atividade de manejo simples e com baixo custo inicial em comparação a outras práticas agropecuárias. As abelhas, além de impulsionarem um mercado relevante e criarem milhares de empregos, são fundamentais para a polinização, um processo vital para a manutenção dos ecossistemas. No entanto, a redução expressiva da população de abelhas vem sendo causada por fatores como longos períodos de secas, desmatamento, alterações climáticas e o uso excessivo de pesticidas, o que impacta negativamente tanto a polinização quanto a produção de mel e seus derivados. O monitoramento de colmeias surge como uma solução viável para compreender o comportamento das colônias e, a partir dos dados coletados, definir estratégias que previnam perdas, garantam a saúde das abelhas e otimizem sua produtividade. Este trabalho propõe um sistema automatizado para o monitoramento de colmeias, utilizando o microcontrolador ESP32, sensores de temperatura DS18B20 e de proximidade E18-D80NK, além de um display LCD 16x2 para exibição local de dados. Neste estudo, utilizou-se a espécie de abelha Jandaíra (*Melipona subnitida*), nativa do semiárido brasileiro, de grande importância na meliponicultura regional. O projeto foi desenvolvido com o intuito de auxiliar o meliponicultor no acompanhamento das condições internas e externas da colmeia, focando principalmente na variação de temperatura e fluxo de abelhas. A integração dos sensores com o ESP32 e o armazenamento em tempo real dos dados no *Firebase* permitiu a criação de uma interface *web* que possibilita o monitoramento remoto dos parâmetros da colmeia. Os testes realizados demonstraram a eficácia do sistema no acompanhamento do comportamento das abelhas em diferentes condições ambientais. O sistema oferece uma solução de baixo custo, eficiente e com fácil implementação, ideal para pequenos e médios apicultores e meliponicultores.

Palavras-chave: meliponicultura; Jandaíra; sensores; IoT; ESP32; *Firebase*.

ABSTRACT

Characterized by the organized raising of bees, beekeeping is presented as a simple management activity with low initial costs compared to other agricultural practices. Bees, besides driving a significant market and creating thousands of jobs, are essential for pollination, a vital process for maintaining ecosystems. However, the significant reduction in bee populations has been caused by factors such as prolonged droughts, deforestation, climate change, and the excessive use of pesticides, negatively impacting both pollination and the production of honey and its derivatives. Hive monitoring emerges as a viable solution to understand colony behavior and, based on the collected data, develop strategies to prevent losses, ensure bee health, and optimize their productivity. This work proposes an automated system for hive monitoring, using the ESP32 microcontroller, DS18B20 temperature sensors, and E18-D80NK proximity sensors, as well as a 16x2 LCD display for local data display. In this study, the Jandaíra bee species (*Melipona subnitida*), native to the Brazilian semi-arid region and of great importance in regional beekeeping, was used. The project was developed to assist beekeepers in monitoring the internal and external conditions of the hive, focusing mainly on temperature variation and bee flow. The integration of the sensors with the ESP32 and the real-time data storage in Firebase enabled the creation of a web interface that allows remote monitoring of hive parameters. The tests carried out demonstrated the system's effectiveness in tracking bee behavior under different environmental conditions. The system offers a low-cost, efficient, and easy-to-implement solution, ideal for small and medium-sized beekeepers.

Keywords: meliponiculture; Jandaíra; sensors; IoT; ESP32; Firebase.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (A) Favos de cria; (B) Potes de armazenamento de mel	21
Figura 2: Visão geral de um sistema embarcado com microcontrolador.	24
Figura 3: Arquitetura do sistema de monitoramento (Com internet)	26
Figura 4: Arquitetura do sistema de monitoramento (Sem internet)	27
Figura 5: Sensor de temperatura DS18B20	29
Figura 6: Sensor reflexivo E18-D80NK	30
Figura 7: Display LCD 16x2 com módulo I2C soldado	31
Figura 8: Placa ESP32 WROOM 32	33
Figura 9: Realtime Database	35
Figura 10: Interface web	36
Figura 11: Conexões com o ESP32	40
Figura 12: Código com bibliotecas utilizadas	41
Figura 13: Painel montado na caixa	43
Figura 14: Sensor de temperatura no interior da colmeia	44
Figura 15: Sensor reflexivo apontando para entrada da caixa	44
Figura 16: Início da coleta de dados	46
Figura 17: Previsão do tempo para o dia 23/10/2024	47
Figura 18: Histórico de coleta de temperatura e controle de fluxo	48
Figura 19: Histórico de coleta do primeiro intervalo	49
Figura 20: Histórico de coleta do segundo intervalo	49
Figura 21: Painel montado na caixa de abelha Jandaíra	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Objetivo Geral:	19
1.2. Objetivos Específicos:	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Ecologia e Comportamento de Abelhas Sem Ferrão	20
2.1.1 Termorregulação	22
2.2 Internet das Coisas (IoT) e suas aplicações	22
2.3 Microcontroladores	23
2.4 Sensores	24
3. MONITORAMENTO DA COLMEIA COM IoT	26
3.1 Arquitetura do sistema de monitoramento	26
3.1.1 Sensores	28
3.1.1.1 Sensor de Temperatura	28
3.1.1.2 Sensor infravermelho	29
3.1.2 Display LCD	31
3.1.3 ESP32	32
3.1.4 Webservice	34
3.1.4.1 Firebase	34
3.1.6 Interface web	35
4. VALIDAÇÃO DO SISTEMA	37
4.1 Planejamento	37
4.1.1 Sensoriamento	37
4.1.2 Ambiente de processamento e armazenamento de dados	38
4.1.3 Software e Hardware com ESP32	39
4.1.4 Desenvolvimento web	41
4.2 Instanciação	42
4.3 Resultados	45
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
5.1 Trabalhos Futuros	52
REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

A meliponicultura refere-se ao manejo de abelhas sem ferrão. No Brasil, essa atividade tem se tornado cada vez mais frequente entre os trabalhadores rurais, destacando-se pela facilidade de manejo, pois não exige o uso de macacão de apicultura devido ao comportamento não agressivo dessas abelhas e à ausência de ferrão. Esse fator torna a atividade mais fácil para pequenos produtores, além de reduzir os custos iniciais. A facilidade de manejo, aliada ao valor mais elevado do mel de abelhas sem ferrão, como o mel da Jandaíra (*Melipona subnitida*), contribui para que a meliponicultura seja uma alternativa econômica viável para complementar a renda de famílias em regiões rurais (Ecologiaeacao, 2019).

A criação de abelhas sem ferrão tem ganhado destaque no mercado econômico, sendo responsável pela geração de milhares de empregos formais e informais. Embora a meliponicultura tenha tido um crescimento significativo e se destaque por suas características sustentáveis, não há números precisos sobre a quantidade de empregos criados diretamente. No entanto, sabe-se que ela beneficia economicamente pequenos produtores e comunidades rurais em diversas regiões do Brasil, como destacado pela USP, que observa o aumento de renda e a relevância da prática para os produtores (Silva, 2024).

O mel, amplamente utilizado pela indústria farmacêutica devido às suas propriedades terapêuticas, também tem ganhado destaque por promover o bem-estar e servir como alimento para quem busca uma vida saudável. Além disso, possui um grande potencial de comercialização, sendo considerado o produto mais simples de ser explorado na apicultura (Freitas *et al.*, 2014).

Os produtos derivados da apicultura são amplamente reconhecidos por suas qualidades benéficas à saúde, em especial por suas potenciais capacidades curativas, sendo alvo de crescente atenção científica (Bobis *et al.*, 2020; Geana & Ciucure, 2020). O consumo de mel está associado a diversos efeitos benéficos ao corpo humano, incluindo propriedades antimicrobianas, anti-inflamatórias, anticancerígenas, além de ser eficaz contra processos oxidativos e trombóticos, entre outros (Siddiqui *et al.*, 2017). Pesquisas conduzidas tanto em modelos vivos quanto em experimentos laboratoriais indicam o mel como um agente promissor para tratar diversas doenças da pele, com especial destaque para o tratamento de feridas e de úlceras crônicas (Oryan, Alemzadeh & Moshiri, 2016; Mayer *et al.*, 2014).

Seu cultivo é bem atrativo pelo alto valor do produto comparado ao das abelhas italianas que são muito cultivadas e possuem ferrão. Devido aos benefícios do mel para a

saúde, esse mercado movimentava somas milionárias, beneficiando economicamente os produtores e atraindo consumidores pelas qualidades terapêuticas do mel. As "somas milionárias" podem ser ilustradas pelo crescimento desse mercado. Em 2022, o setor de meliponicultura registrou um faturamento de R\$958 milhões, representando um aumento de quase 93% desde 2019. Isso mostra a importância econômica da produção de mel e outros produtos das abelhas, como própolis e pólen (Sindicato Rural De Barbacena, 2024).

A atividade apícola envolve a produção e comercialização de diversos produtos, como mel, cera, própolis, geleia real e apitoxina (veneno de abelha). Nos últimos anos, além desses produtos tradicionais, o setor de apicultura também tem crescido na prestação de serviços de polinização, onde colmeias são alugadas para aumentar a produção em outras culturas agrícolas (Freitas, 1998).

Essa atividade é amplamente valorizada por diversos setores da sociedade, pois está ligada aos três pilares da sustentabilidade: social, econômico e ambiental. No âmbito social, ela gera emprego e ocupação no meio rural. Economicamente, oferece oportunidades de renda e altos lucros, enquanto ambientalmente, as abelhas desempenham um papel crucial na polinização de plantas nativas e cultivadas, promovendo a preservação das espécies e contribuindo para o equilíbrio ecológico e a biodiversidade (Paxton, 1995).

Além dos benefícios econômicos, a meliponicultura contribui significativamente para o meio ambiente. As abelhas sem ferrão desempenham um papel crucial no processo de polinização, essencial para a manutenção dos ecossistemas. Portanto, a prática da meliponicultura não apenas fortalece a economia, mas também promove a sustentabilidade ambiental. Estudos recentes destacam como essas abelhas auxiliam na regeneração de florestas e na manutenção da produção agrícola sustentável, favorecendo a diversidade de plantas e alimentos em diversas regiões do mundo (Meliponicultura, 2021).

Por não oferecer risco, muitos meliponicultores têm suas caixas de abelhas bem próximo de suas residências, onde facilita o manejo sem um deslocamento para apiários distantes (Ribeiro, 2023). No entanto, mesmo em períodos de boa vegetação, os meliponicultores frequentemente precisam alimentar suas abelhas. Isso se deve a fatores ambientais como desmatamento e mudanças climáticas, que comprometem a polinização e, consequentemente, reduzem a produção de mel e outros produtos apícolas (Abelha, 2015).

Pensando no aumento da rentabilidade e na praticidade dos processos, o uso da tecnologia tem grande importância para esse crescimento. O uso de equipamentos tecnológicos já se tornou comum na apicultura, sendo possível observar no mercado diversos produtos que utilizam essa tecnologia (Constante, 2022).

De acordo com Vilela (2000), quando se segue as tecnologias recomendadas na produção de mel e se utiliza uma abordagem adequada para sua comercialização, a atividade apícola pode alcançar uma alta rentabilidade, especialmente quando comparada a outros setores agropecuários.

O uso de tecnologia para monitoramento das colmeias ressalta uma ótima solução para observar o funcionamento da mesma, podendo obter dados, e aprimorar processos e técnicas que evita a perda de colônias mesmo em períodos escassos, assim aumentando a enxameação e resultando na potencialização da produção de cápsulas de mel, pólen e própolis, que são componentes atrativos para os cultivadores.

Este trabalho propõe uma solução inovadora que utiliza tecnologia da internet das coisas (*Internet of Things* - IoT) para oferecer um sistema de monitoramento em tempo real altamente eficiente e de baixa intrusividade. O objetivo do sistema é desenvolver um esquema de monitoramento para a observação do fluxo e controle de temperatura nas colmeias, reduzindo a necessidade de inspeções manuais. Essas inspeções são altamente intrusivas e desestabilizam a homeostase dentro das colmeias, causando estresse nas abelhas e diminuindo sua produtividade.

O monitoramento da temperatura na colmeia sem a necessidade de abrir a caixa é crucial para garantir o ambiente ideal, evitando estresse para as abelhas e interrupções no trabalho da colônia. Temperaturas estáveis dentro da faixa ideal (normalmente entre 25 e 32°C para abelhas sem ferrão) são fundamentais para o desenvolvimento de larvas e a saúde das operárias, além de contribuir para a produtividade da colônia. Neste trabalho, o controle de fluxo registra o movimento de entrada e saída, mas não distingue entre abelhas e outros pequenos animais. Por isso, assume-se que a movimentação detectada representa exclusivamente as abelhas, dada a sua frequência e hábitos típicos de atividade.

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. Neste primeiro foi apresentada uma introdução sobre o tema. No segundo é apresentado a fundamentação teórica e todas as principais tecnologias envolvidas que embasam este trabalho. No terceiro apresenta-se a arquitetura dos componentes trabalhados para o monitoramento proposto no projeto, detalhando suas funcionalidades. O quarto capítulo mostra sobre o desenvolvimento do projeto para validação do sistema automatizado. Finalizando, no quinto capítulo comenta as conclusões obtidas e sugere-se trabalhos futuros.

1.1. Objetivo Geral:

Desenvolver um sistema de monitoramento automático de temperatura e movimentação de abelhas em uma colmeia para abelhas sem ferrão utilizando tecnologia IoT.

1.2. Objetivos Específicos:

- Levantamento bibliográfico sobre as abelhas sem ferrão;
- Estudo sobre tecnologias IoT com soluções para cultivo de abelhas sem ferrão;
- Identificar as variáveis ambientais críticas que impactam a sobrevivência e produtividade das abelhas;
- Desenvolver um protótipo de sistema de monitoramento em tempo real, de baixo custo, utilizando sensores, microcontrolador e uma rede sem fio;
- Implementar a esquematização automatizada para observação do fluxo e controle de temperatura dentro das colmeias;
- Verificar a influência do sistema automatizado na manutenção da homeostase das colmeias, minimizando o estresse e aumentando a produtividade das abelhas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica deste trabalho aborda a ecologia e comportamento das abelhas sem ferrão, que são importantes polinizadoras e possuem características específicas de organização social e ciclo de vida. Além disso, é discutido o conceito IoT e suas aplicações, destacando a capacidade de interconexão de dispositivos e coleta de dados em tempo real. Também é abordado o uso de sistemas de controle automático, enfatizando a automação de processos e a tomada de decisão com base em parâmetros predefinidos.

Primeiramente será discutido o dia a dia das abelhas, desde suas características comportamentais até as grandezas envolvidas e sua relevância para o funcionamento de uma colônia. Logo após, será tratado sobre as tecnologias e ferramentas que contribuirão para o monitoramento da colônia e das funcionalidades recomendadas no estudo.

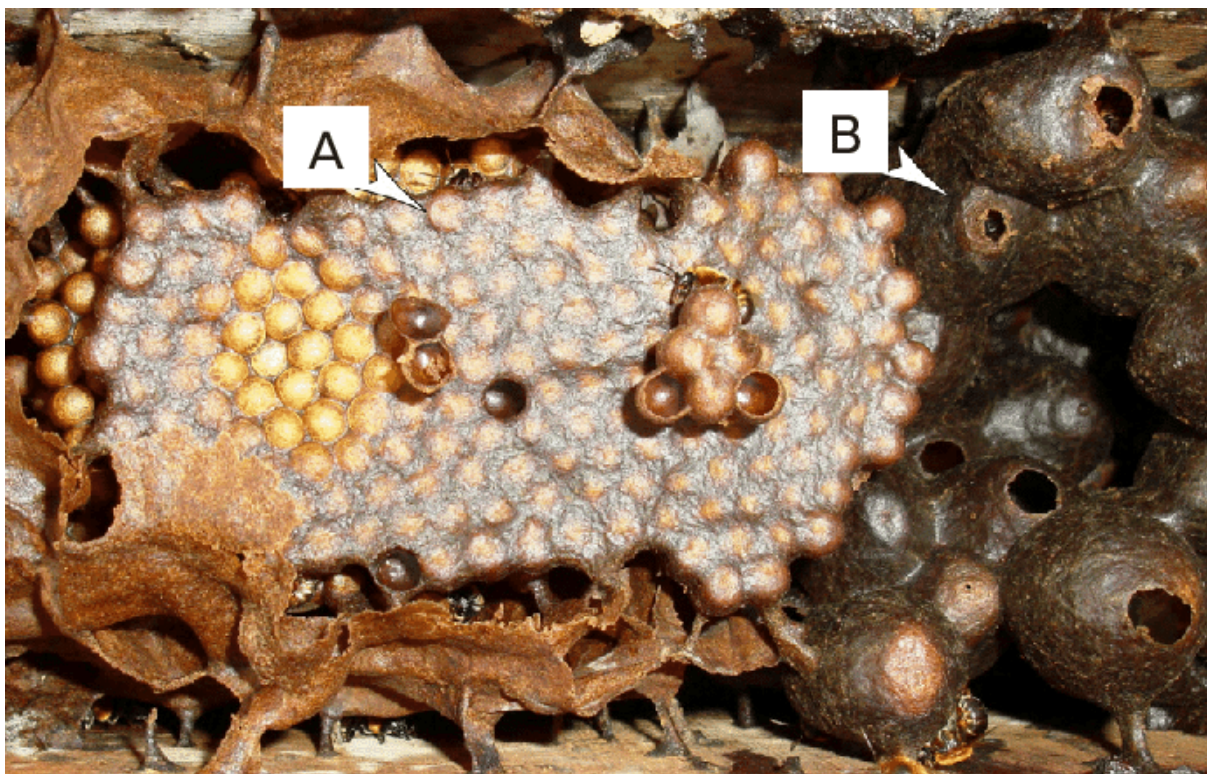
2.1 Ecologia e Comportamento de Abelhas Sem Ferrão

As abelhas sem ferrão, pertencentes aos meliponíneos da superfamília Apoidea, são encontradas em regiões tropicais e subtropicais ao redor do mundo, com a maior concentração de espécies nas Américas, onde há uma significativa diversidade (Villas-Bôas, 2012). No Brasil, elas são predominantes, com mais de 300 espécies organizadas em 27 gêneros (Silveira *et al.*, 2002). Dentre esses gêneros, o *Melipona* se destaca, com aproximadamente 65 espécies distribuídas pela região Neotropical (Camargo e Pedro, 2007).

As abelhas estão constantemente em busca de locais que lhes forneçam alimento e recursos necessários para manter uma colônia estabilizada. No entanto, as mudanças sazonais da vegetação forçam as abelhas a migrar entre o sertão e o litoral, conforme as condições de cada região. Durante a seca no litoral, as abelhas se movem para o sertão e vice-versa, um comportamento natural para a preservação e criação de novas colônias (Vasconcelos, 2020).

A abelha Jandaíra (*Melipona subnitida*) desempenha um papel fundamental na natureza, sendo responsável pela polinização de diversas plantas nativas, como a jurema preta, o marmeleiro e o pau-ferro. Sua atuação é notável, contribuindo com 30% a 60% da polinização dessas espécies vegetais. Esses insetos desempenham um papel crucial tanto para a natureza quanto para os seres humanos. Sua atividade diária promove benefícios para o ecossistema e, de forma indireta, contribui significativamente para a economia dos meliponicultores, possibilitando a extração de produtos como mel, própolis, pólen, cera, entre outros. O mel produzido pela abelha Jandaíra é conhecido por seu sabor distinto e sua coloração, que muda conforme a flora da região. A Figura 1 apresenta uma Colmeia de abelhas jandaíra, onde se pode observar a divisão do ninho e dos potes de mel.

Figura 1: (A) Favos de cria; (B) Potes de armazenamento de mel



Fonte: José Maria Vieira Neto (2014)

Os meliponicultores enfrentam um problema significativo com a migração de enxames, pois a perda de abelhas de suas caixas designadas pode impactar negativamente sua produção. Fatores ambientais como mudanças climáticas, falta de alimento natural, desmatamento, períodos prolongados de seca e o uso indiscriminado de agrotóxicos são as principais causas que afetam diretamente as abelhas (Sbordoni, 2015). Esses fatores influenciam a alimentação, a enxameação e os mecanismos de termorregulação das colônias, que será melhor explicado no tópico 2.1.1.

A abelha Jandaíra, endêmica da Caatinga, possui um impacto econômico significativo, especialmente na meliponicultura sustentável no Nordeste do Brasil. Essa espécie desempenha um papel crucial na polinização de plantas nativas, garantindo a biodiversidade local. Além disso, o mel da Jandaíra é valorizado no mercado por suas propriedades medicinais e nutricionais, podendo ser vendido por até 150 reais o litro. Essa atividade gera renda para pequenas comunidades rurais e contribui para a preservação ambiental, incentivando práticas sustentáveis e o uso responsável de recursos naturais.

2.1.1 Termorregulação

A atividade de controle de temperatura no ninho feito pelas próprias abelhas é conhecida como termorregulação. As abelhas são conhecidas por trabalharem de forma cooperativa para manter a homeostase dentro da colmeia, controlando fatores biofísicos como temperatura, umidade e gases respiratórios. Esse processo permite que elas criem um ambiente favorável, ajustando-se às condições adversas (Williams *et al.*, 2013).

No sertão brasileiro, onde as temperaturas podem chegar a níveis extremos, o desconforto térmico e a morte das abelhas são frequentes. Mesmo com a capacidade de termorregulação, as colmeias podem não conseguir manter uma temperatura adequada, prejudicando o desenvolvimento das larvas e comprometendo a saúde da colônia. A temperatura ideal para o ninho varia entre 25°C e 32°C, sendo que as larvas em estágio pupal não devem estar sujeitas a temperaturas acima de 34°C ou abaixo de 28°C. No sertão, onde as temperaturas podem atingir até 41°C, as condições adversas dificultam a criação e proliferação das abelhas, ameaçando a continuidade das colônias (Silva et al., 2021).

Na seção 2.2 será tratado sobre IoT de uma forma geral, destacando suas características e aplicações em diversas áreas. A Internet das Coisas possibilita a conexão e automação de dispositivos, promovendo um ambiente mais integrado e eficiente em diversos setores. Nesse sentido, foram explorados os mecanismos pelos quais os sensores e atuadores permitem a coleta e a análise de dados em tempo real, com impacto significativo na produtividade e na qualidade de vida.

2.2 Internet das Coisas (IoT) e suas aplicações

A *Internet das Coisas* (IoT) é a base que conecta os objetos do cotidiano à rede mundial de computadores, permitindo que eles se comuniquem, colem e compartilhem dados. Para que esse sistema funcione plenamente, é necessário que existam mecanismos que percebam e reajam sobre o ambiente, sendo esse o papel dos sensores e atuadores. Esses dispositivos formam a ponte entre o mundo digital e o físico, tornando possível a interação entre ambos (Finotti, 2024).

A IoT é apresentada como um conjunto de tecnologias que permite a conexão e comunicação entre dispositivos, coleta de dados em tempo real e análise dessas informações. As aplicações da IoT abrangem diversos setores, incluindo a agricultura, em que sistemas de monitoramento e controle automatizado podem otimizar processos e eficiência operacional.

A mesma abrange diversas áreas, desde sistemas de automação residencial até aplicações industriais, promovendo melhorias na qualidade de vida e aumento da produtividade em diferentes setores. Essa tecnologia consiste na conexão de dispositivos físicos à *internet*, permitindo a coleta e o intercâmbio de dados em tempo real. Com isso, a IoT facilita a automação de processos, possibilitando decisões mais rápidas e eficientes, além de fomentar a criação de novos modelos de negócios, otimizando recursos e oferecendo soluções inovadoras (Device Authority, 2024).

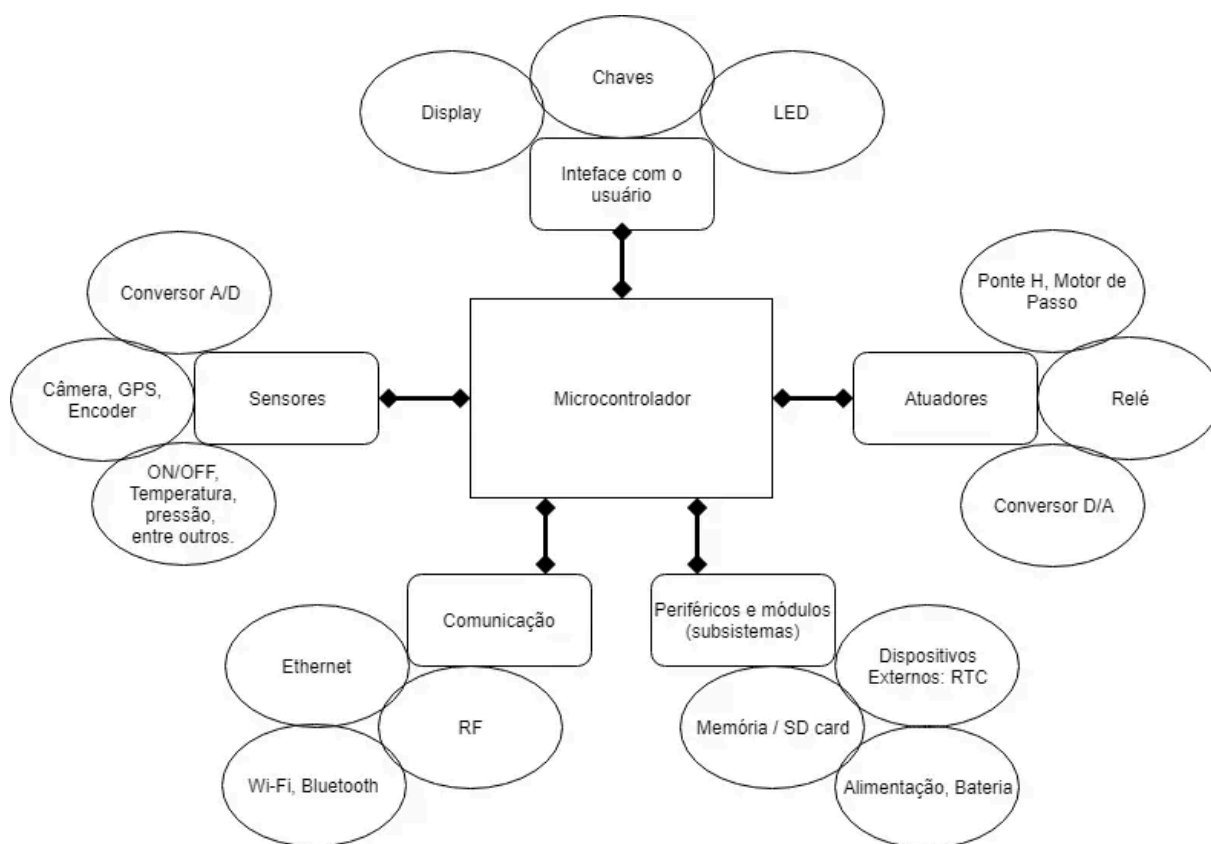
2.3 Microcontroladores

Microcontroladores são componentes eletrônicos que integram, em um único *chip*, não apenas a Unidade Central de Processamento (CPU, do inglês *Central Processing Unit*), mas também diversos periféricos essenciais para executar uma aplicação. Esses periféricos podem variar conforme o microcontrolador, mas normalmente incluem memórias, barramentos, temporizadores, portas de comunicação e conversores de sinais analógicos para digitais, entre outros (Andrade, 2010). A Figura 2 ilustra uma visão geral de um sistema embarcado com microcontrolador.

O microcontrolador é um *chip* de circuito integrado que reúne memória, processador e periféricos de entrada e saída programáveis. Ele é amplamente utilizado em sistemas embarcados, onde executa uma sequência de tarefas predefinidas, controladas pelos dispositivos conectados. Com essa versatilidade, os microcontroladores são aplicados em dispositivos automatizados como controles remotos, eletrodomésticos, automóveis e brinquedos. Suas principais vantagens incluem o baixo custo de desenvolvimento, consumo reduzido de energia e facilidade de programação, o que o torna ideal para a criação de circuitos eletrônicos (Mello, 2022).

Pode ser descrito como um pequeno computador em um circuito integrado, composto por hardware e software. Ele contém memória, processador, além de entradas e saídas que podem ser programadas conforme a necessidade, utilizando linguagens como C e Python. Entre os microcontroladores populares, destacam-se o Arduino, o ESP32 e o PIC16F877A (Leite et al., 2020).

Figura 2: Visão geral de um sistema embarcado com microcontrolador.



Fonte: Fernando Deluno Garcia (2018)

Existem vários tipos de microcontroladores, sendo o Arduino um dos mais populares devido à sua simplicidade e extensa comunidade de suporte. Contudo, nos últimos anos, o ESP32 tem ganhado destaque por suas funcionalidades avançadas, como Wi-Fi e *Bluetooth* integrados, além de maior capacidade de processamento e mais pinos de entrada e saída em comparação com o Arduino. O ESP32 também se sobressai em projetos de IoT, onde a conectividade sem fio é essencial, oferecendo uma solução mais robusta e eficiente para sistemas embarcados e dispositivos automatizados.

2.4 Sensores

Um sensor pode ser explicado da seguinte forma “dispositivo que produz um sinal elétrico proporcional ao valor de uma grandeza física” (Alegria, 2021, p. 14). De acordo com Karvinen e Karvinen (2014), os sensores estão amplamente presentes no dia a dia, sendo utilizados em diversas aplicações que vão desde detectores de movimento e CO₂ em sistemas de ar-condicionado até acelerômetros, módulos GPS e câmeras em dispositivos como *smartphones* e *tablets*, demonstrando uma vasta gama de utilizações.

Um sensor é um dispositivo projetado para detectar e responder a estímulos específicos, como temperatura, pressão, movimento e luz. Ele converte esses estímulos em sinais elétricos que podem ser processados e interpretados por outros dispositivos, permitindo o monitoramento e controle de processos ou o acionamento de sistemas automatizados, como alarmes, lâmpadas e portões eletrônicos (Mattede, 2024).

A escolha do sensor depende das características do ambiente e do objetivo da aplicação, sendo necessário selecionar o tipo adequado para cada situação. Existem diversos tipos de sensores, como os indutivos, capacitivos, fotoelétricos, ultrassônicos e *lasers*. Neste trabalho, serão abordados os sensores de presença e de temperatura, essenciais para o monitoramento em sistemas automatizados.

No contexto deste trabalho, a implementação de um sistema de monitoramento de abelhas sem ferrão busca integrar tecnologias de IoT e monitoramento em tempo real para garantir condições ideais para o desenvolvimento das colônias.

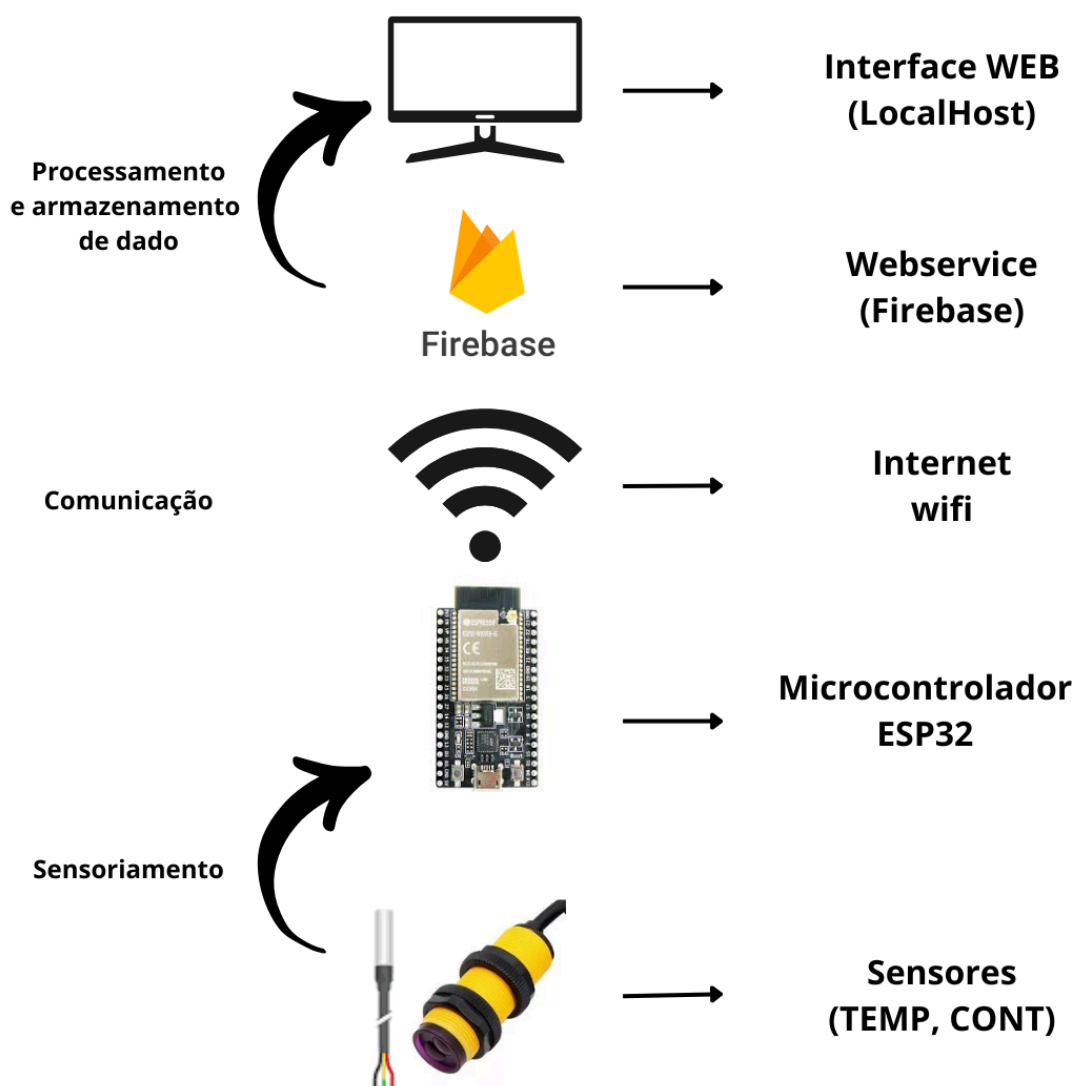
3. MONITORAMENTO DA COLMEIA COM IoT

Esta seção descreve a arquitetura e os detalhes do sistema automatizado baseado em IoT, o qual foi desenvolvido conforme o princípio exposto na introdução deste trabalho.

3.1 Arquitetura do sistema de monitoramento

Para melhor entendimento a demonstração da arquitetura do projeto nesse documento foi dividida em duas partes devido à apresentação dos dados ocorrer de duas maneiras distintas. A Figura 3 ilustra a arquitetura do sistema automático com uso da *internet*, no qual a mesma é composta por cinco elementos principais: ESP32, wifi, sensores, *webservice* e uma interface de apresentação *web*.

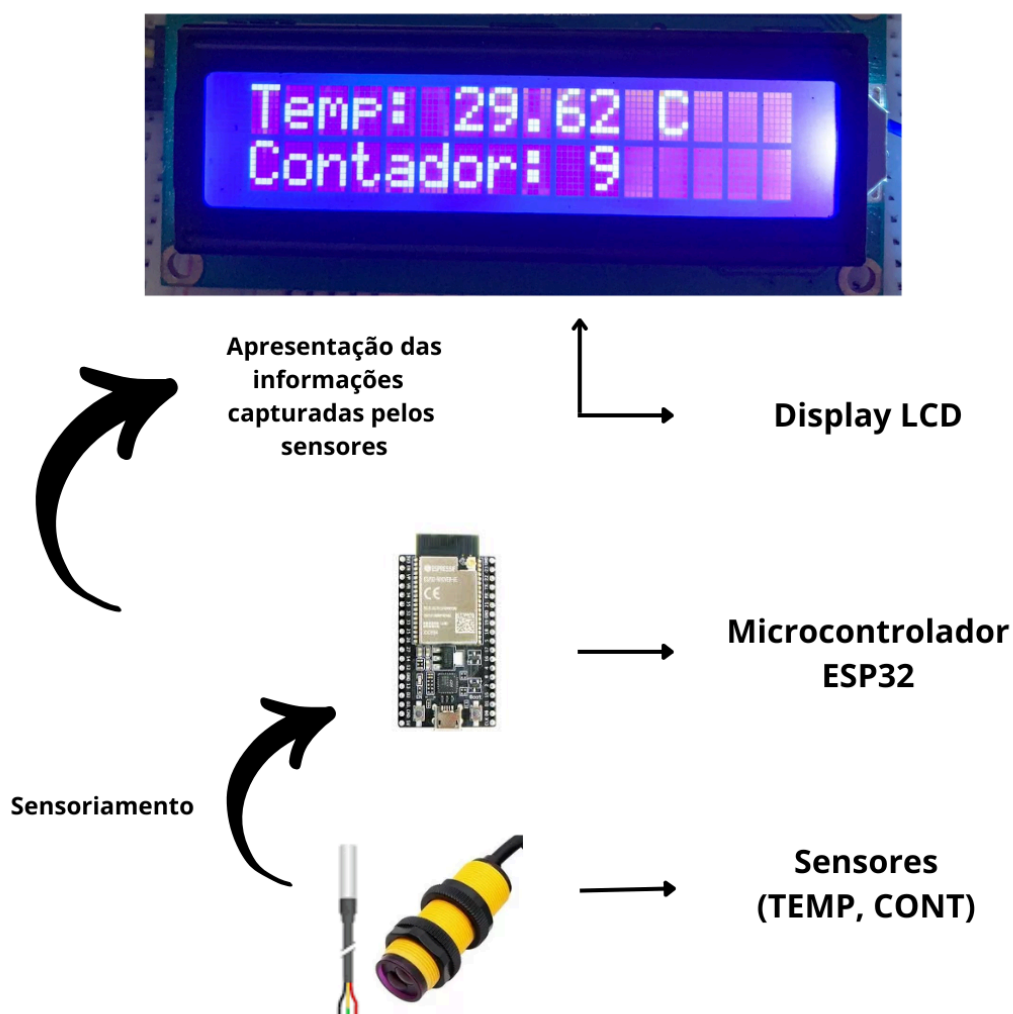
Figura 3: Arquitetura do sistema de monitoramento (Com *internet*)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A Figura 3 ilustra a exibição dos dados na interface *web*, capturando as informações a partir do banco de dados *Firebase*, por meio do uso da *internet*. Em contrapartida, a Figura 4 apresenta os dados processados diretamente pelo microcontrolador ESP32, dispensando a necessidade de conexão à *internet* para que o *display* LCD exiba as informações desejadas.

Figura 4: Arquitetura do sistema de monitoramento (Sem *internet*)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A Figura 4 é composta por três elementos principais: o microcontrolador ESP32, os sensores e o *display* LCD. As subseções a seguir apresentam uma descrição detalhada de cada um desses componentes, que, quando integrados, formam a arquitetura completa apresentada nesta seção.

3.1.1 Sensores

Conforme demonstrado nas Figuras 3 e 4, o projeto incorpora dois sensores: o sensor infravermelho, cuja uma das aplicações é a detecção de obstáculos, e o sensor de temperatura, utilizado para medir a temperatura no ambiente inserido. Os sensores desempenham o papel de captar as informações, que são posteriormente enviadas diretamente ao ESP32 para processamento.

3.1.1.1 Sensor de Temperatura

Para esse projeto será utilizado o sensor de temperatura DS18B20 à prova d'Água, compatível para arduino, esp e raspberry. O mesmo é um componente versátil e preciso, amplamente utilizado em projetos que exigem monitoramento de temperatura em ambientes externos ou líquidos. Seu intervalo operacional varia de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$, com uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dentro da faixa de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$, o que o torna ideal para aplicações onde uma alta precisão é essencial. Além disso, o sensor pode ler temperaturas negativas sem comprometer a precisão dos dados.

Uma das vantagens deste sensor é sua capacidade de operar com uma tensão de 3,0 V a 5,5 V, permitindo flexibilidade em diferentes sistemas e podendo ser alimentado pela própria linha de dados, economizando recursos no projeto. O sensor é encapsulado em uma forma cilíndrica metálica de 6 mm de diâmetro, sendo conectado a um cabo resistente com comprimento aproximado de 1 metro, garantindo proteção em condições adversas. Este *design* robusto e sua característica à prova d'água garantem que ele funcione de forma confiável em ambientes exigentes, como colmeias ou locais expostos à umidade e mudanças bruscas de temperatura.

O sensor de temperatura, posicionado no interior da colmeia, próximo ao ninho, é responsável por monitorar e enviar os dados de temperatura ao ESP32. Conforme discutido na subseção 2.1.1, a variação de temperatura abaixo de 25°C e acima de 32°C pode causar danos significativos à colônia. Assim, esse sensor desempenha um papel crucial, especialmente em situações de variação térmica inesperada, permitindo ao meliponicultor acompanhar, em tempo real, os valores de temperatura do ambiente através da interface *web* ou do monitor LCD.

Figura 5: Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Conforme ilustrado na Figura 5, o sensor possui três conexões principais: a VCC, responsável pela recepção de tensão; o GND, que realiza o aterramento do sistema; e o DATA ou DQ, que possibilita a transação de dados. As conexões relacionadas a essas ligações serão detalhadas de maneira mais clara na subseção 4.1.1.

3.1.1.2 Sensor infravermelho

O sensor usado nessa abordagem foi o sensor de proximidade E18-D80NK é uma escolha ideal para o projeto, pois é um módulo infravermelho NPN que pode detectar objetos a distâncias ajustáveis entre 3 e 80 cm. Este sensor é amplamente utilizado em projetos de automação e robótica, onde a precisão na detecção de obstáculos ou a contagem de itens é crucial.

Como apresentado na Figura 6 ele opera com três fios de conexão: GND (terra), VCC 5 V (alimentação) e o fio de sinal. Dependendo do modelo, as cores desses fios podem variar. Geralmente, para a alimentação, temos o fio azul para GND, marrom para VCC, e preto para o sinal.

Figura 6: Sensor reflexivo E18-D80NK

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O sensor é compatível com diversas plataformas de desenvolvimento, como Arduino, PIC, ARM e AVR, sendo flexível para ser utilizado em portas analógicas ou digitais, dependendo da aplicação. Ele é comumente configurado no modo NPN NO (normalmente aberto), onde o sinal é enviado quando o sensor detecta a presença de um objeto.

Entre as características técnicas, o E18-D80NK se destaca por sua resposta rápida de menos de 2 ms e um ângulo de detecção de 15°, ideal para detecções precisas. Com uma corrente de consumo menor que 25 mA e dimensões compactas (50 mm de comprimento e 18 mm de diâmetro), ele é leve, pesando apenas 36 gramas, tornando-o prático para integração em uma variedade de projetos.

O sensor de presença, também conhecido como sensor infravermelho reflexivo, ao contrário do sensor de temperatura, está posicionado na parte externa da colmeia, direcionado para a entrada. Ele é responsável por monitorar a movimentação diária das abelhas, permitindo a observação do fluxo ao longo dos diferentes horários do dia, assim como em dias mais quentes ou mais frios. Este sensor possui grande relevância, pois fornece ao meliponicultor informações valiosas sobre o comportamento das abelhas, permitindo identificar se elas estão bem adaptadas ao ambiente ou se apresentam sinais de desconforto.

que possam indicar potenciais problemas para a colônia. Da mesma forma que o sensor de temperatura, as informações são apresentadas na interface *web* e no monitor LCD, em tempo real.

3.1.2 *Display* LCD

Para exibir as informações de forma local, sem a necessidade de uma conexão com a *internet*, foi utilizado um *display* LCD 16x2 *backlight* verde com módulo I2C soldado. Este dispositivo está posicionado na parte externa da colmeia, próximo aos outros componentes do projeto, fixados em uma base de suporte. No *display*, são apresentadas as informações referentes à temperatura e ao contador de fluxo de abelhas.

O *display* LCD 16x2 I2C é amplamente utilizado em projetos de eletrônica, especialmente quando há a necessidade de exibir informações de forma clara e objetiva, sendo compatível com plataformas como o Arduino. Como mostra a Figura 7, sua tela tem capacidade para exibir até 16 caracteres por linha, distribuídos em duas linhas, o que o torna ideal para projetos que demandam visualização de dados.

Figura 7: *Display* LCD 16x2 com módulo I2C soldado



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Esse *display* já vem com um módulo adaptador I2C integrado, o que simplifica a comunicação com microcontroladores, uma vez que reduz a quantidade de fios necessários. Além disso, o módulo conta com um *trimpot* que facilita o ajuste do contraste da tela, permitindo que o usuário ajuste a visibilidade conforme a necessidade. O acionamento e desativação da luz de fundo também são simplificados, melhorando a experiência de uso e o controle sobre a exibição das informações.

Outro ponto importante é sua interface I2C, que opera com uma tensão de trabalho de 5 V, tornando-o ideal para uso em projetos que exigem baixo consumo de energia. O *display* tem dimensões aproximadas de 65 mm de comprimento por 15 mm de largura, o que, aliado ao seu peso leve de 77 g, facilita sua integração em diversos tipos de aplicações eletrônicas, desde robótica até sistemas embarcados, onde a exibição de dados em tempo real é crucial.

Especificações principais:

- Interface: I2C;
- Tensão de operação: 5 V;
- Dimensões da tela: 65 mm x 15 mm;
- Dimensões do módulo: 80 mm x 36 mm x 10 mm;
- Peso: 77 g (85 g com embalagem).

O display LCD com interface I2C geralmente tem quatro pinos:

- GND → GND (ESP32)
- VCC → 5 V (ESP32)
- SDA → GPIO 21 (ESP32 SDA)
- SCL → GPIO 22 (ESP32 SCL)

Alguns módulos LCD I2C funcionam melhor com 5 V. Se o seu módulo requer 5 V, pode alimentá-lo com 5 V, mas deixando claro que os pinos GPIO do ESP32 operam em 3.3 V. Na maioria dos casos, a comunicação I2C funcionará mesmo com níveis lógicos de 3.3 V. Essas características tornam o *display* LCD 16x2 I2C uma excelente escolha para projetos que visam fornecer informações ao usuário de forma rápida e eficiente.

3.1.3 ESP32

A função do ESP32 é receber as informações dos sensores, apresentar essas informações no *display* LCD, o mesmo deve se conectar a rede wifi local, após isso fazer a conexão com o banco de dados *firebase* e armazenar as informações para que sejam usadas para apresentar na interface em tempo real. Isso tudo foi possível pois por trás de tudo existe uma programação do ESP32 usando código escrito em C++, utilizando a API do Arduino para lidar com entradas/saídas digitais, comunicação com sensores e *display*, e integração com o *Firebase*.

Na Figura 8, é apresentada a placa ESP32 WROOM 32, que destaca suas especificações e portas de comunicação. Este módulo inclui um processador dual-core, com *clock* de até 240 MHz, memória RAM de 520 KB e suporte para interfaces de comunicação como UART, SPI e I2C. Além disso, integra conectividade Wi-Fi e *Bluetooth*, permitindo sua utilização em projetos IoT sem a necessidade de módulos adicionais. Com mais de 30 pinos GPIO, o ESP32 é versátil para controle de sensores e atuadores em uma variedade de aplicações embarcadas.

Figura 8: Placa ESP32 WROOM 32

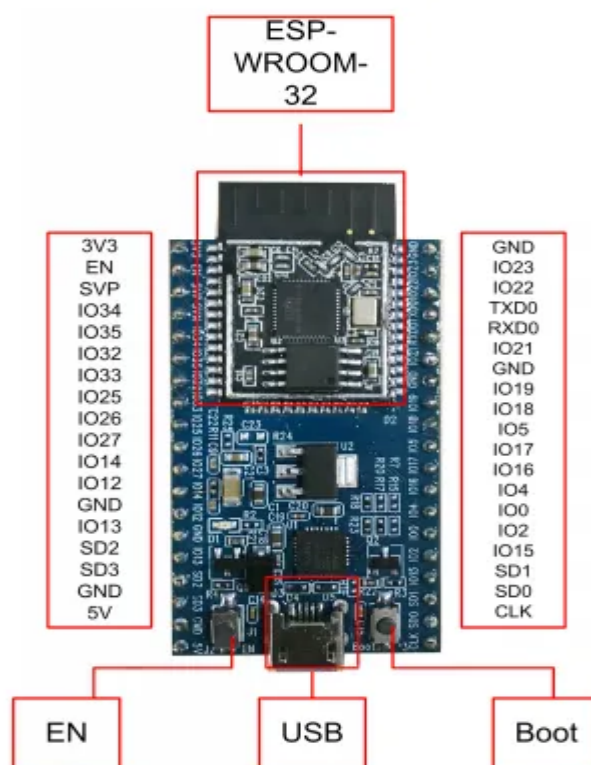


Figure 1-1. ESP32-DevKitC Layout

Fonte: Rita ZH (2016)

O ESP32-WROOM-32 é um microcontrolador com conectividade sem fio que suporta Wi-Fi, oferecendo uma taxa de dados de até 150 Mbps com HT40, e *Bluetooth*, nas versões BLE (*Bluetooth Low Energy*) e *Bluetooth* Clássico. Seu processador é um Tensilica Xtensa Dual-Core LX6 de 32 bits, operando em frequências de 160 ou 240 MHz.

Quanto à interface de entrada/saída, ele oferece uma variedade de periféricos com DMA, incluindo toque capacitivo, ADCs (conversores analógico-digital), DACs (conversores digital-analógico), e uma gama de interfaces de comunicação como I²C, UART, SPI, I²S, RMI, e PWM.

No que diz respeito à memória, ele conta com:

- ROM: 448 KB (para inicialização e funções principais)
- SRAM: 520 KB (dedicada a dados e instruções)
- RTC Fast SRAM: 8 KB (armazenamento de dados durante a inicialização do modo de hibernação)
- RTC Slow SRAM: 8 KB (para uso do coprocessador no modo de hibernação)
- eFuse: 1 Kbit, sendo 256 bits para endereçamento MAC e configuração de chip, e 768 bits para aplicações do cliente (como Flash-Encryption e Chip-ID)

O ESP32 também oferece suporte para memória *Flash* interna, variando de 0 MiB nos modelos ESP32-D0WDQ6, ESP32-D0WD e ESP32-S0WD, 2 MiB no ESP32-D2WD, e até 4 MiB no módulo SiP ESP32-PICO-D4. O consumo de energia é otimizado, permitindo, por exemplo, o uso do ADC mesmo em modo de sono profundo.

Em termos de segurança, o ESP32 possui aceleradores de *hardware* que suportam algoritmos de criptografia AES e protocolos de segurança SSL/TLS, garantindo a proteção de dados em aplicações sensíveis.

3.1.4 *Webservice*

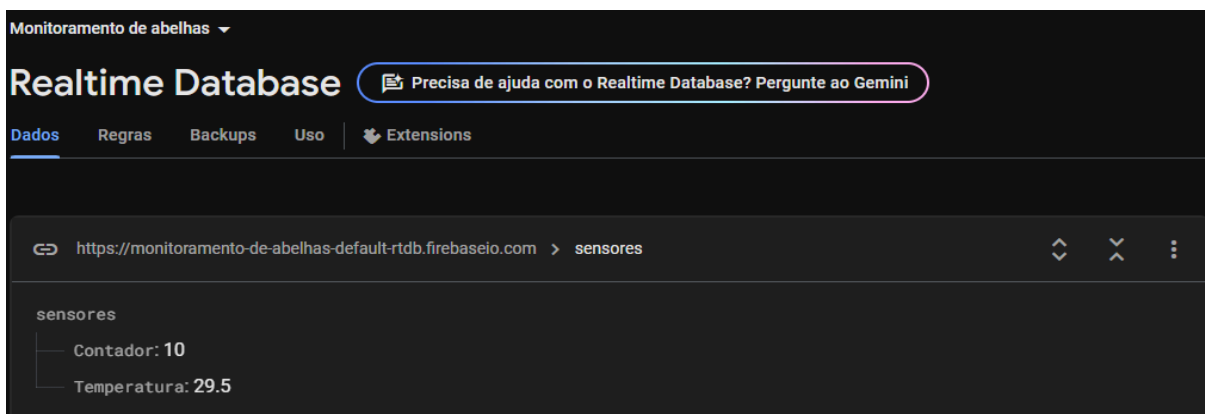
No desenvolvimento deste projeto de monitoramento da colmeia com IoT, o *webservice* atua de forma crucial na integração e consulta das informações enviadas pelos sensores para o ESP32. As informações, como temperatura e contagem de abelhas, são processadas e armazenadas em tempo real no banco de dados do *Firebase*, que oferece uma estrutura eficiente para armazenar, sincronizar e consultar esses dados de forma rápida e confiável.

3.1.4.1 *Firebase*

O *Firebase* não só facilita o armazenamento dos dados, mas também oferece recursos que permitem a atualização em tempo real na interface *web*. Isso é essencial para garantir que o meliponicultor receba informações atualizadas sobre as condições da colmeia, como variações de temperatura ou alterações no fluxo de entrada e saída das abelhas. O *webservice*, por sua vez, executa as consultas necessárias para extrair essas informações do banco de dados e disponibilizá-las na interface *web* ou em um aplicativo conectado.

A Figura 9 demonstra *Realtime Database* que organiza os dados em formato de árvore JSON (*JavaScript Object Notation*), o que facilita a estruturação e hierarquização das informações, permitindo consultas rápidas e eficientes.

Figura 9: Realtime Database



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Além disso, o *Firebase* garante alta escalabilidade e segurança, possibilitando que o sistema cresça conforme necessário, seja pelo aumento do número de sensores ou pela expansão da infraestrutura do projeto. O uso dessa plataforma também elimina a necessidade de um servidor local, uma vez que todos os dados podem ser acessados diretamente na nuvem. Isso simplifica a manutenção do sistema, tornando-o mais flexível e acessível de qualquer local com acesso à *internet*.

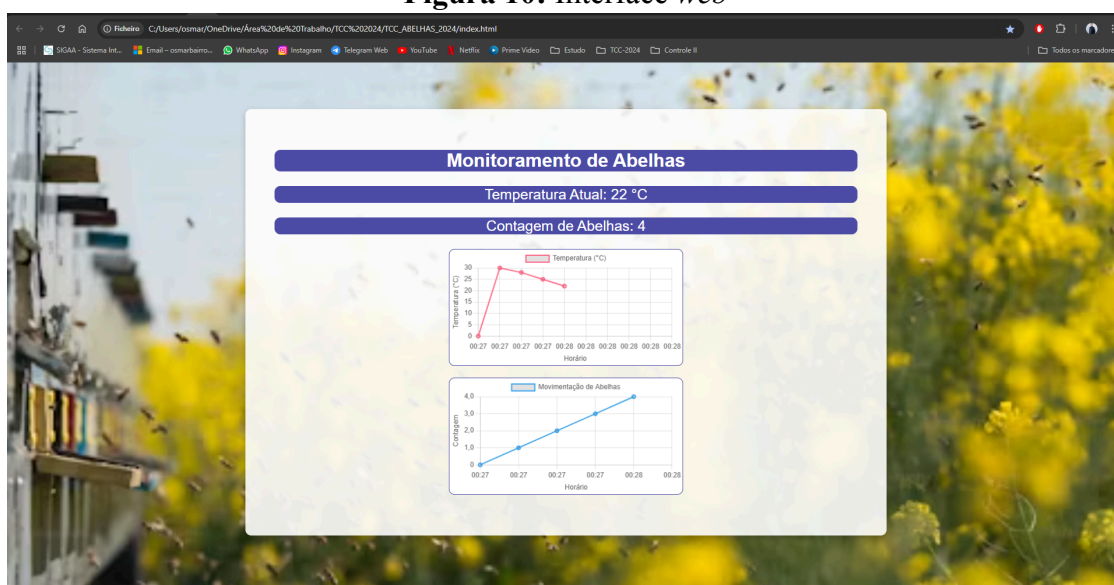
Assim, o *webservice* desempenha um papel central ao garantir a comunicação fluida entre o *hardware* (sensores e ESP32), o banco de dados (*Firebase*) e a interface de visualização, que será descrita na próxima subseção 3.1.6. Isso permite um monitoramento constante e preciso da colmeia, facilitando a gestão e o cuidado da colônia de abelhas.

3.1.6 Interface web

Para melhorar a apresentação dos dados coletados no projeto de monitoramento de abelhas, foi desenvolvida uma interface *web* que permite visualizar em tempo real as informações enviadas pelos sensores conectados ao ESP32 e armazenadas no *Firebase Realtime Database*. O *site* foi projetado para rodar localmente, utilizando o servidor *localhost* como ambiente de desenvolvimento e testes. Isso possibilita uma execução ágil durante as etapas de criação e ajustes do projeto.

A interface *web* monitora em tempo real os valores capturados pelos sensores, como a temperatura dentro da colmeia e o fluxo de abelhas entrando e saindo, que são enviados ao *Firebase*. Esses dados são armazenados em formato JSON, permitindo a leitura e atualização contínua das informações. A partir dessas informações, o *site* apresenta ao meliponicultor gráficos detalhados, que mostram as variações de temperatura e movimentação das abelhas ao longo do dia.

Figura 10: Interface *web*



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A Figura 10 ilustra a tela principal da página *web*, que contém as informações capturadas, como o valor da temperatura e o número de abelhas que passaram pelo sensor de proximidade. Essa interface foi desenvolvida para ser intuitiva e funcional, proporcionando ao meliponicultor um ambiente para acompanhar o bem-estar da colônia e identificar qualquer comportamento anormal, como temperaturas fora do ideal ou baixa movimentação das abelhas. Este *site*, além de exibir os dados em tempo real, também permite que o meliponicultor tome decisões rápidas, com base nas informações apresentadas.

4. VALIDAÇÃO DO SISTEMA

A validação da presente proposta foi realizada com o intuito de verificar o correto funcionamento das funcionalidades essenciais do sistema automatizado, como o monitoramento do fluxo de abelhas e a variação de temperatura no interior da colmeia ao longo do dia. Essa etapa foi organizada em três partes principais: planejamento, instanciação e resultados. Na seção de planejamento, são descritos detalhadamente todos os materiais utilizados, bem como as configurações aplicadas para a construção do sistema. A seção de instanciação aborda, de maneira clara, todos os procedimentos adotados para implementar o sistema no ambiente estudado. Finalmente, na seção de resultados, são apresentados e analisados os dados coletados pelo sistema, evidenciando sua eficiência e funcionamento.

4.1 Planejamento

As subseções seguintes descrevem em detalhes todas as configurações adotadas para a construção do protótipo e a implementação da arquitetura definida na seção 3.1. Cada etapa do processo é abordada, desde a escolha dos componentes até a integração dos sensores e do *webservice*, proporcionando uma visão clara do desenvolvimento e funcionamento da solução proposta.

4.1.1 Sensoriamento

O sensoriamento no sistema proposto utiliza dois tipos principais de sensores: o sensor de temperatura DS18B20 e o sensor de proximidade infravermelho E18-D80NK, como foi tratado anteriormente na seção 3.1.1.

O sensor de temperatura foi instalado na parte interna da colmeia, próximo ao ninho, para monitorar a variação térmica, já que flutuações de temperatura fora da faixa ideal (25°C a 32°C) podem comprometer a saúde da colônia. O DS18B20 é conhecido por sua precisão e ampla faixa de operação, permitindo leituras confiáveis entre -55°C e +125°C, com uma precisão de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ na faixa de -10°C a +85°C.

Já o sensor de proximidade E18-D80NK, colocado na entrada da colmeia, é responsável pelo monitoramento do fluxo de abelhas, registrando a movimentação ao longo do dia. Ele é capaz de detectar objetos a uma distância ajustável entre 3 cm e 80 cm, proporcionando dados importantes sobre o comportamento da colônia e possíveis fatores externos que possam afetar seu bem-estar. Ambos os sensores estão conectados ao

microcontrolador ESP32, que processa as informações em tempo real e as envia para o ambiente de armazenamento.

O sensor reflexivo utilizado no projeto incrementa o contador em +1 a cada vez que uma abelha entra ou sai da colmeia, já que o sensor não possui a capacidade de verificar a direção do movimento detectado. Dessa forma, ele não é adequado para contabilizar especificamente as abelhas que estão saindo da colmeia, e decrementar do valor existente quando elas retornam para o interior da caixa. Contudo, o sensor permite monitorar o fluxo total de abelhas, o que possibilita, por meio de testes, observar seu comportamento ao longo do dia, correlacionando esses dados com as variações de temperatura e condições climáticas.

A escolha dos sensores DS18B20 e E18-D80NK para o desenvolvimento deste projeto foi motivada principalmente por fatores como precisão, baixo custo e dimensões reduzidas, o que facilita a instalação e integração com o sistema IoT. O sensor DS18B20 destaca-se pela sua alta precisão em medições de temperatura e pela flexibilidade de alimentação, podendo operar com tensão entre 3,0 V e 5,5 V. Isso o torna ideal para aplicações de monitoramento que exigem confiabilidade e economia de energia. Já o sensor E18-D80NK, além de ser acessível, oferece grande versatilidade devido à sua capacidade de detectar objetos em diferentes distâncias. Sua instalação é facilitada pelo tamanho compacto e pela possibilidade de ajuste, sendo uma escolha eficiente tanto em termos de funcionalidade quanto de custo-benefício.

Essas características foram fundamentais para garantir a eficiência do sistema proposto, mantendo a precisão e confiabilidade na coleta de dados essenciais para o monitoramento da colmeia.

4.1.2 Ambiente de processamento e armazenamento de dados

O processamento e armazenamento de dados foram implementados usando o microcontrolador ESP32 e o *Realtime Database do Firebase*. O ESP32 coleta e processa os dados dos sensores em tempo real, enviando-os para o *Firebase*, que armazena as informações de temperatura e fluxo de abelhas.

O *Firebase* foi escolhido por sua capacidade de lidar com grandes volumes de dados em tempo real e por ser uma solução integrada com fácil conectividade para IoT, além de poder usar gratuitamente. A comunicação entre o ESP32 e o *Firebase* é feita em formato JSON, o que facilita a manipulação e visualização dos dados. Além disso, o *Realtime Database* permite a consulta de informações instantâneas para monitoramento contínuo, sem

a necessidade de um servidor local, possibilitando que o meliponicultor visualize os dados de qualquer dispositivo conectado à *internet*.

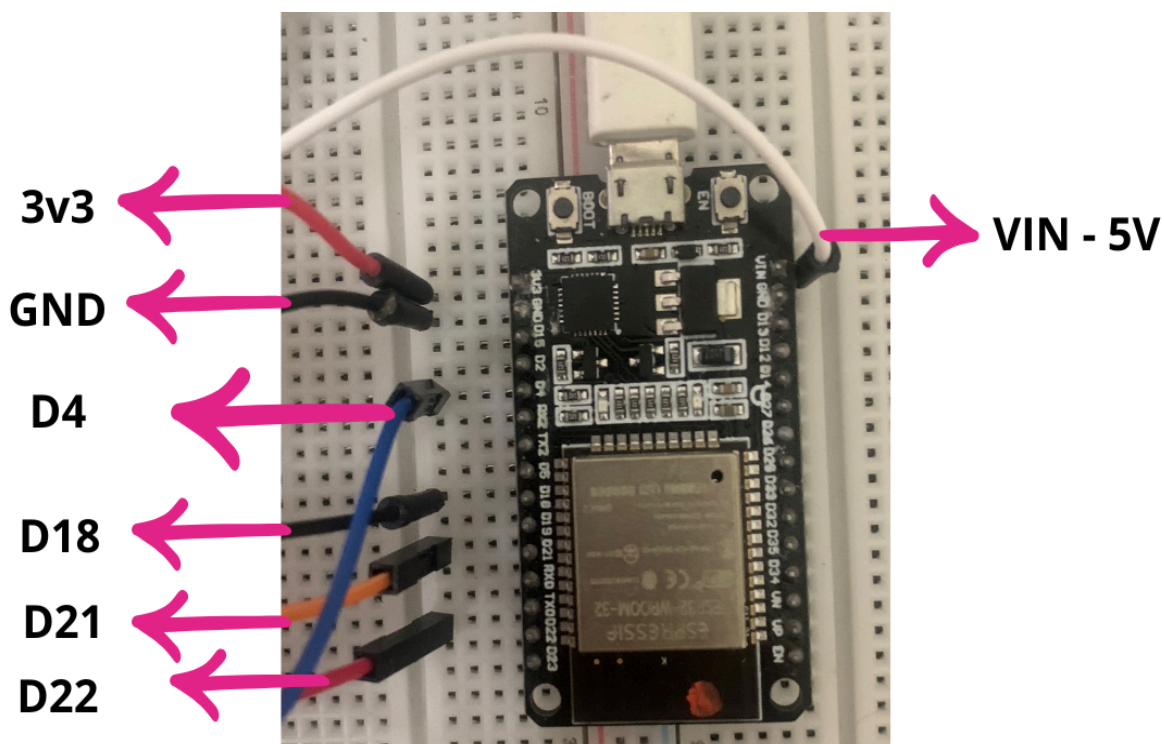
Esse ambiente foi crucial para garantir a confiabilidade e disponibilidade dos dados, além de permitir a escalabilidade futura do sistema para adicionar novos sensores ou funcionalidades.

4.1.3 *Software e Hardware* com ESP32

A configuração do ESP32 foi uma etapa fundamental para garantir a funcionalidade do sistema de monitoramento da colmeia. A primeira tarefa consistiu na seleção e ajuste dos pinos de entrada e saída no ESP32, correspondendo aos sensores e ao *display* LCD 16x2 I2C. Para isso, foi necessário definir cuidadosamente as conexões para o sensor de temperatura DS18B20, sensor de proximidade E18-D80NK e o *display*, conectando-os aos pinos digitais e de alimentação adequados. O sensor de temperatura, por exemplo, foi conectado a um pino de dados GPIO D4 do ESP32, enquanto o sensor de proximidade foi posicionado para monitorar o fluxo de abelhas na entrada da colmeia, utilizando o pino D18, onde o mesmo é específico para leitura dos sinais enviados. O *display* LCD foi conectado usando 2 pinos do ESP32, pino D21 e D22, respectivamente usados para as conexões SDA e SCL. Vale destacar, que na *protoboard* usada para interconexão dos fios aparecerá também um resistor de 4,7 k Ω , onde o mesmo está ligado entre a entre DQ e VCC do sensor de temperatura, o mesmo serve para limitar a passagem de corrente elétrica em um circuito, fazendo com que o sensor funcione adequadamente.

As conexões realizadas com os pinos são fundamentais para a integração adequada dos sensores e componentes, na Figura 11 são apresentados os pinos usados no ESP32 para construção do projeto. O pino VIN foi utilizado para alimentar o sensor reflexivo E18-D80NK, que opera de forma mais eficiente com uma tensão de 5 V. O pino 3V3 foi empregado para fornecer 3,3 V a outros componentes de baixa tensão, enquanto o pino GND foi utilizado para estabelecer o aterramento comum de todo o sistema. Além disso, os pinos D4, D18, D21 e D22 foram destinados à comunicação de dados com os diversos sensores e o *display* LCD, garantindo a coleta e a exibição das informações essenciais para o monitoramento em tempo real das abelhas.

Figura 11: Conexões com o ESP32

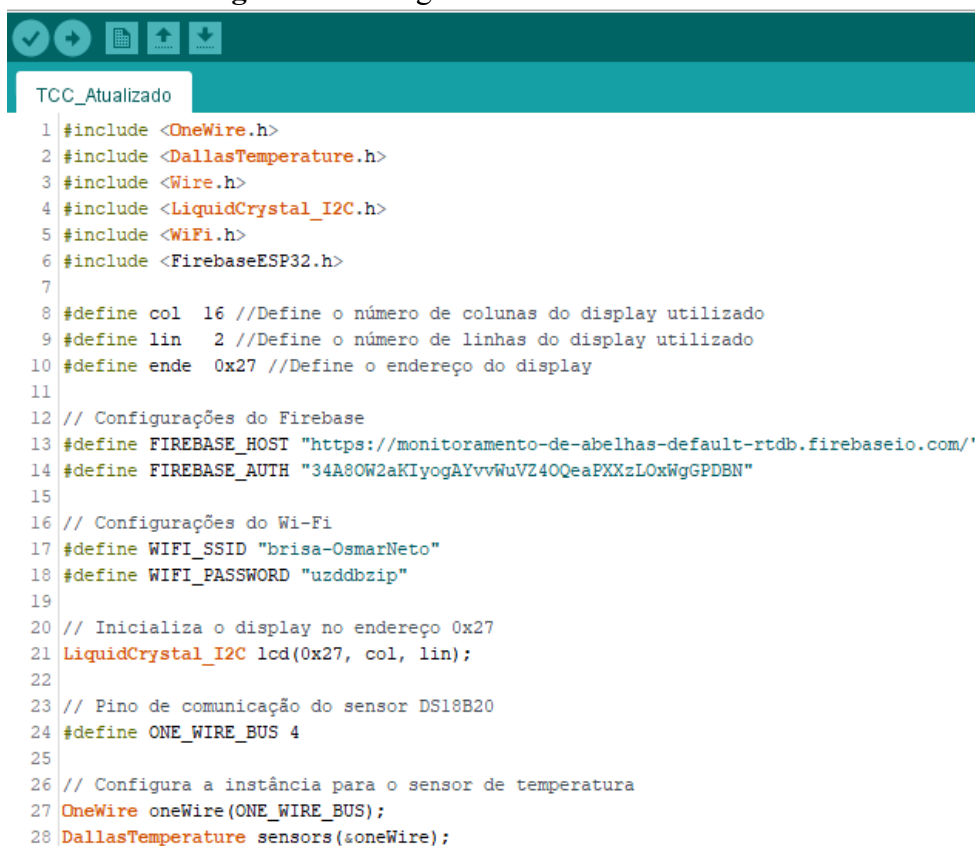


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Em termos de programação, foi utilizado a IDE Arduino com a linguagem C++, onde bibliotecas essenciais foram importadas para funcionamento correto do código, como as bibliotecas `OneWire.h` e `DallasTemperature.h` para leitura do sensor de temperatura DS18B20. Já o sensor infravermelho foi integrado ao código de forma a detectar a presença de abelhas e contabilizar o fluxo.

Para a comunicação com o *Firebase*, foi empregada a biblioteca específica do *Firebase* para ESP32 (`FirebaseESP32.h`), que permite enviar e buscar dados do *Realtime Database*, onde são armazenados os valores de temperatura e o contador de abelhas. E também as demais bibliotecas para permitir o uso do *display* LCD e a conexão wifi no ESP32, `LiquidCrystal_I2C.h` e `Wire.h` para gerenciar a comunicação entre dispositivos através do protocolo I2C, `WiFi.h`, para conexão a *internet*. As bibliotecas citadas no decorrer desse parágrafo foram apresentadas na Figura 12. Durante o processo de configuração, a comunicação serial foi crucial para depurar e verificar a correta transmissão dos dados.

Figura 12: Código com bibliotecas utilizadas



```

1 #include <OneWire.h>
2 #include <DallasTemperature.h>
3 #include <Wire.h>
4 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
5 #include <WiFi.h>
6 #include <FirebaseESP32.h>
7
8 #define col 16 //Define o número de colunas do display utilizado
9 #define lin 2 //Define o número de linhas do display utilizado
10 #define ende 0x27 //Define o endereço do display
11
12 // Configurações do Firebase
13 #define FIREBASE_HOST "https://monitoramento-de-abelhas-default-rtadb.firebaseio.com/"
14 #define FIREBASE_AUTH "34A80W2aKIyogAYvvWuVZ4OQeaPXXzLOxWgGPDBN"
15
16 // Configurações do Wi-Fi
17 #define WIFI_SSID "brisa-OsmarNeto"
18 #define WIFI_PASSWORD "uzddbzip"
19
20 // Inicializa o display no endereço 0x27
21 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, col, lin);
22
23 // Pino de comunicação do sensor DS18B20
24 #define ONE_WIRE_BUS 4
25
26 // Configura a instância para o sensor de temperatura
27 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
28 DallasTemperature sensors(&oneWire);
  
```

Fonte: Elaborado pelo autor

Além disso, o código foi estruturado para garantir que as leituras dos sensores fossem sincronizadas e enviadas em intervalos regulares, otimizando o desempenho do sistema. Configuramos também uma condição destacando o papel do *display* LCD na apresentação desses dados localmente.

Por fim, a configuração do ESP32 incluiu a integração à rede Wi-Fi para possibilitar o envio de dados ao *Firebase* em tempo real, assegurando que as leituras fossem acessíveis pela interface *web* desenvolvida, permitindo uma solução completa de monitoramento remoto da colmeia.

4.1.4 Desenvolvimento *web*

Após configurar os sensores e o *display* nos pinos correspondentes do ESP32, e realizar a programação do dispositivo utilizando a linguagem C++ na plataforma Arduino IDE, com a integração do *Firebase*, iniciou-se o processo de desenvolvimento da interface *web*. Este passo foi fundamental para possibilitar a visualização dos dados coletados pelos sensores em tempo real, oferecendo uma solução mais completa e interativa para o monitoramento dos parâmetros da colmeia.

Para o desenvolvimento da interface *web*, foram utilizados JavaScript, HTML e CSS, proporcionando uma base sólida para a estruturação visual e funcionalidade do sistema. JavaScript foi utilizado principalmente para a lógica de interação e para obter as informações do *Firebase* em tempo real, no formato JSON, enquanto HTML e CSS foram empregados para estruturar e estilizar a página.

Com o auxílio de bibliotecas específicas, como Chart.js, foi possível criar gráficos dinâmicos e interativos, que facilitam a visualização do comportamento dos parâmetros monitorados, como a temperatura e o fluxo de abelhas ao longo do dia. A interface foi projetada de forma intuitiva, para que o meliponicultor possa acessar facilmente os dados, em dispositivos *desktop*.

A interface *web* que foi desenvolvida neste projeto foi inicialmente projetada para ser testada em um ambiente local, utilizando o *localhost* como servidor. Isso significa que a interface é acessada e executada diretamente no computador onde o código está sendo desenvolvido, sem a necessidade de um servidor *online*. Este tipo de configuração é ideal para testes, ajustes e validações antes de uma possível implementação em um ambiente de produção *online*, onde poderia ser acessada de qualquer dispositivo com conexão à *internet*. Ao utilizar o *localhost*, a comunicação entre o *site* e o *Firebase* permanece funcional, permitindo o monitoramento em tempo real dos dados capturados pelos sensores.

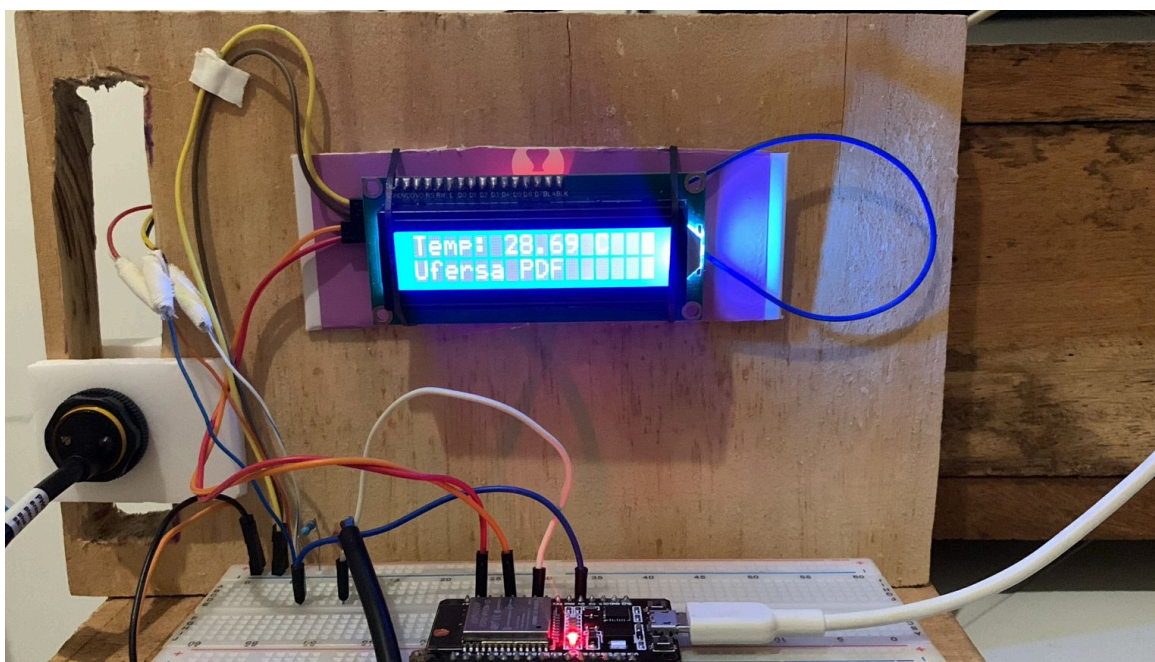
4.2 Instanciação

Os testes foram executados com uma colmeia da abelha Jandaíra (*Melipona subnitida*) disponibilizada pelo meliponicultor Pedro Balduino de Sousa Neto proprietário do meliponário do Brejo. A colmeia foi transportada para o campus da Universidade Federal do Semi-Árido (UFERSA), em Pau dos Ferros, situada nas coordenadas geográficas (6°06'15.5"S, 38°11'00.3"W). A escolha desse local estratégico visou facilitar o acompanhamento do comportamento das abelhas ao longo dos dias, especialmente no que diz respeito às variações de temperatura, que podem afetar significativamente a dinâmica da colmeia. Isso permitiu que os testes de monitoramento fossem realizados de forma próxima e contínua, garantindo a precisão dos dados coletados.

Com o código-fonte devidamente finalizado e carregado no microcontrolador ESP32, os testes finais de comunicação entre os sensores e o controlador foram realizados com sucesso. Após essa etapa, o sistema foi implantado na colmeia, e os componentes foram organizados conforme planejado. O painel de controle, montado em uma estrutura próxima à colmeia, foi posicionado de forma a facilitar o acesso aos dados do sensor de temperatura e do

sensor de proximidade. O sensor de presença foi instalado na entrada da caixa, permitindo o monitoramento do fluxo de abelhas, enquanto o sensor de temperatura foi colocado próximo ao ninho para obter leituras precisas das condições internas da colmeia. A Figura 13 ilustra a disposição do painel e dos sensores instalados na colmeia.

Figura 13: Painel montado na caixa



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para um melhor entendimento de como foram realizadas as instalações, o sensor de temperatura, representado na Figura 14, foi estrategicamente posicionado no interior da colmeia de abelhas jandaíra para monitorar as variações térmicas, garantindo um ambiente adequado para a saúde das abelhas e o desenvolvimento da colônia. Já o sensor reflexivo, ilustrado na Figura 15, foi apontado para a entrada da caixa, com o intuito de registrar o fluxo de abelhas, permitindo a análise da atividade de entrada e saída, essencial para o estudo do comportamento e da dinâmica populacional da colmeia.

Figura 14: Sensor de temperatura no interior da colmeia



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 15: Sensor reflexivo apontando para entrada da caixa



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Além da instalação física, foi feita uma calibração inicial dos sensores para garantir que as leituras estivessem corretas e em conformidade com as expectativas do projeto. Dessa forma, a instanciação do sistema automatizado permitiu o início do monitoramento em tempo real, oferecendo uma solução prática e eficiente para acompanhar os parâmetros vitais da colmeia.

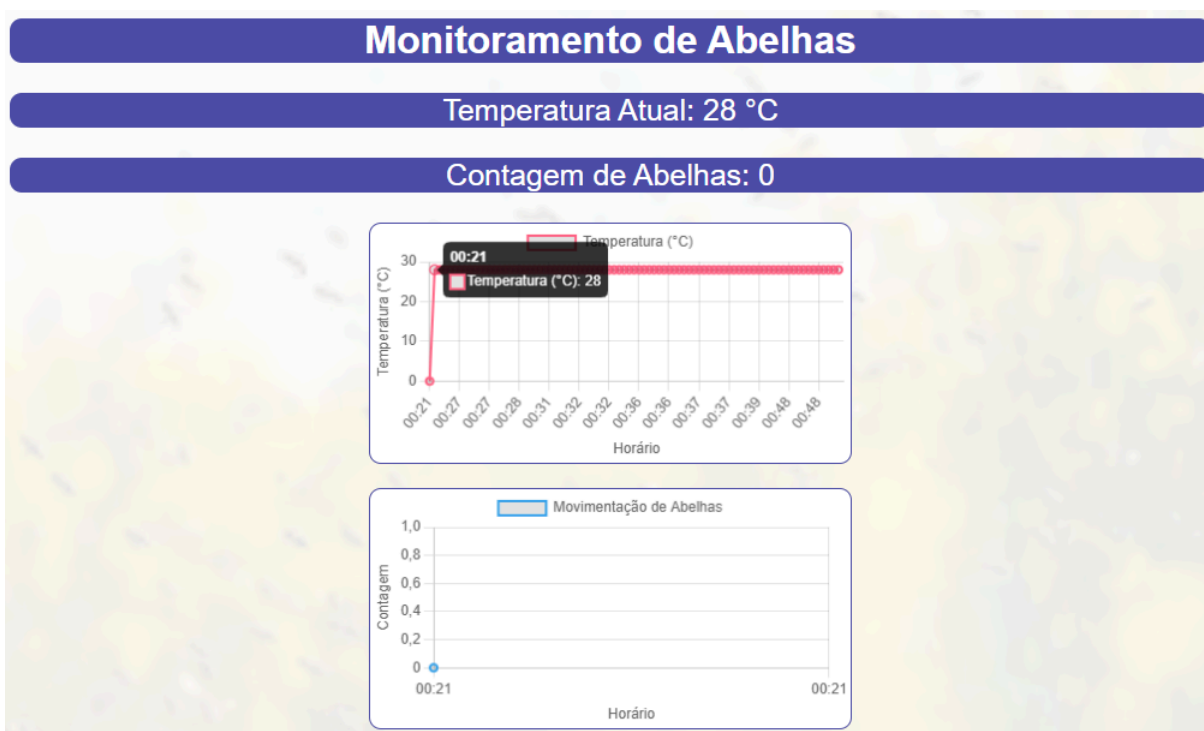
4.3 Resultados

Os testes iniciais, realizados em 22 de outubro de 2024, tiveram como objetivo ajustar e aperfeiçoar o sistema automático, sem a intenção imediata de comparação ou análise detalhada dos dados. Essa fase preliminar permitiu que os ajustes necessários fossem feitos, garantindo que nos dias subsequentes os resultados pudessem ser obtidos de maneira mais precisa e confiável.

No dia 23/10/2024, com o sistema devidamente configurado e em operação, o banco de dados foi reinicializado às 00:20 horas para iniciar o registro de informações a partir desse horário. A coleta de dados foi realizada continuamente desde meia noite e vinte até 10:00 horas da manhã. Essa metodologia visou analisar como as abelhas reagem às variações de temperatura ao longo do dia e como essas flutuações impactam o fluxo de saída e retorno à colmeia.

Os primeiros dados de movimentação, obtidos através do sensor Infravermelho Reflexivo E18-D80NK, começaram a ser capturados entre 4h30 e 5h00 da manhã, horário em que a temperatura registrada pelo sensor de temperatura DS18B20 estava em torno de 28°C. Esse comportamento de saída inicial das abelhas está fortemente relacionado ao nascer do sol, já que a abelha Jandaíra é uma espécie de hábito diurno. Observou-se que a movimentação das abelhas diminui gradativamente ao longo que o dia vai ficando com temperaturas mais elevadas, encerrando suas atividades entre 17h30 e 18h30, horário em que se recolhem à colmeia com o início do anoitecer.

Como o sensor de temperatura estava em operação desde o início dos testes, realizados às 00h20, foi possível obter as primeiras leituras disponibilizadas. Embora a previsão meteorológica para o horário indicasse uma média de 24°C, o sensor, localizado no interior da colmeia, registrou um valor ligeiramente superior de 28°C. Esse aumento de 4°C em relação à temperatura externa demonstra que a colmeia está devidamente protegida, mantendo uma temperatura ideal para o conforto das abelhas. Os dados coletados citados nas informações acima foram disponibilizados e visualizados na interface, conforme ilustrado na Figura 16.

Figura 16: Início da coleta de dados

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Verificou-se que, em períodos de temperaturas mais amenas, a movimentação das abelhas aumenta significativamente. Ao amanhecer, há uma maior agitação, o que pode ser ainda mais intensificado nos meses seguintes, com o início do período chuvoso no Nordeste, quando haverá uma maior oferta de flores. No entanto, os dados atuais refletem um período de seca, em que a oferta de recursos naturais é escassa. Nesse contexto, as abelhas estão sendo suplementadas com alimentação fornecida pelo meliponicultor para garantir sua sobrevivência e a manutenção do ninho, impedindo que a colmeia seja abandonada por falta de recursos essenciais.

Pode-se observar na Figura 17 que a previsão meteorológica para o dia 23/10/2024 indica temperaturas mínimas de 24°C entre 2:00 e 4:00 horas da manhã e máximas de 36°C entre 13h e 14h. Esses intervalos são ideais para a coleta de dados e acompanhamento das variações térmicas ao longo do dia, oferecendo uma oportunidade valiosa para análise comparativa. Considerando a importância desses períodos, foi dedicado um enfoque maior a horários específicos, conforme mencionado anteriormente. A coleta e análise dos dados ocorreram principalmente durante o amanhecer e por volta das 10:00 horas da manhã, momentos estratégicos para observar as variações no comportamento das abelhas e a influência das condições do tempo sobre a colônia, permitindo uma observação precisa dos momentos mais críticos para a colmeia durante esta época do ano. Isso possibilita identificar

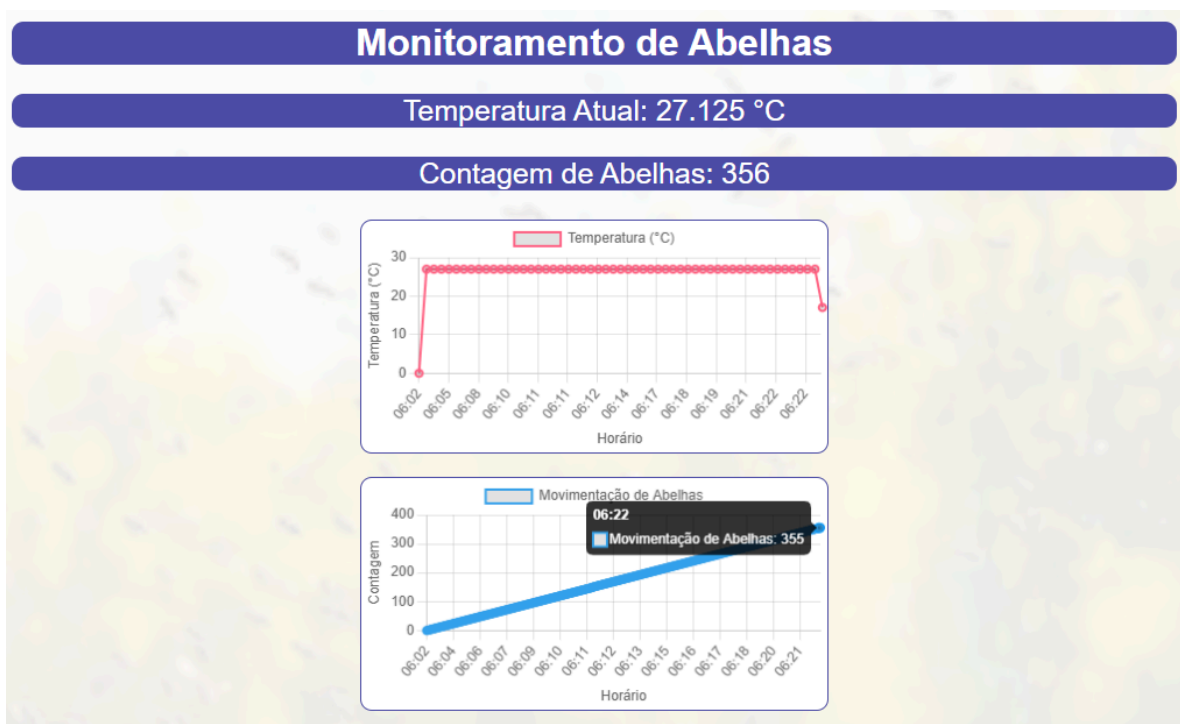
com mais clareza os desafios que a colmeia enfrenta, especialmente nos extremos de temperatura, que podem impactar o bem-estar das abelhas.

Figura 17: Previsão do tempo para o dia 23/10/2024



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

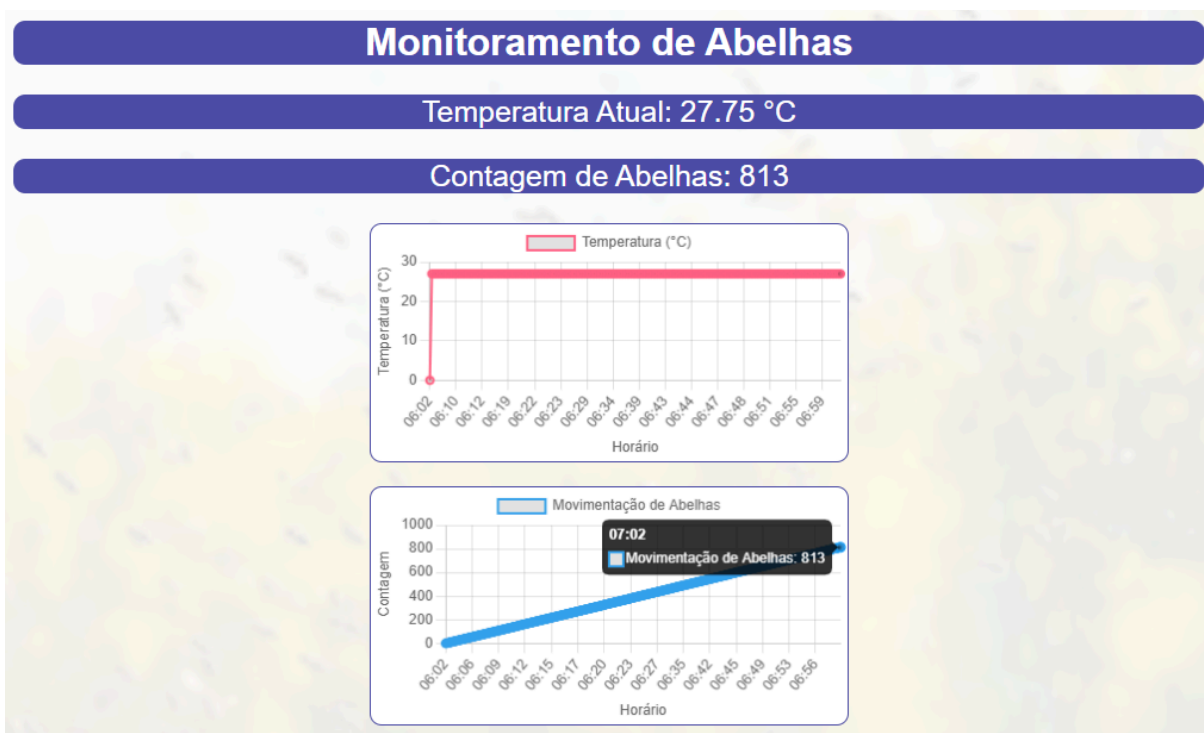
Essas informações não se aplicam ao interior da colmeia, as abelhas protegem o ninho e tem seus componentes isolantes para manter a colmeia com a temperatura ideal em momentos mais frios e em momentos mais quentes. Para que seja esclarecido, foi acompanhado esse intervalo de horário do dia 23, com isso, enquanto a previsão mostra em média uma temperatura de 24°C e 33°C respectivamente para 4:00 horas da madrugada e 10:00 horas da manhã, o sensor de temperatura DS18B20 mostra que a temperatura em ambos horários está dentro do limite permitido para o conforto das abelhas, variando entre 25°C e 32°C como foi estudado nos capítulos anteriores. Basta analisar as informações da Figura 18.

Figura 18: Histórico de coleta de temperatura e controle de fluxo

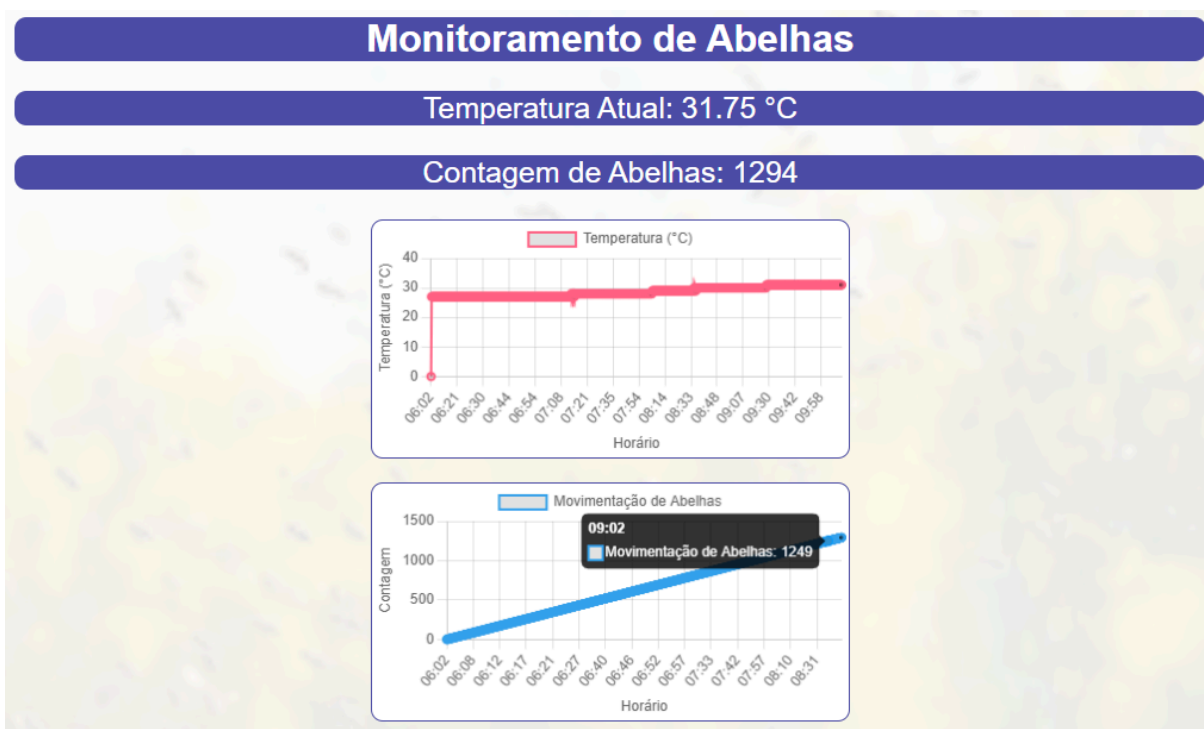
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Conforme ilustrado na Figura 18, observa-se uma temperatura ideal no interior da colmeia, próxima a 27°C, acompanhada de um fluxo significativo de abelhas, totalizando 356 entradas e saídas em um intervalo de 10 minutos, entre 6h02 e 6h22 da manhã. Esse intenso movimento é natural e esperado, uma vez que, nas primeiras horas do dia, quando as temperaturas são mais amenas, as abelhas aproveitam as condições favoráveis para realizar suas atividades de forrageamento, buscando recursos no ambiente externo.

Capturamos mais alguns dados às 10:00 horas, onde a temperatura estava um pouco mais elevada, com isso foi comparado a quantidade de fluxo em um período de tempo. Onde pode ser observado que a movimentação diminuiu e não acontece com a mesma intensidade que os horários de início da manhã. A Figura 19 e a Figura 20 mostram as diferenças entre o fluxo de abelhas em um tempo de 1 hora, o primeiro intervalo para comparação foi coletado de 6:02 até 7:02 horas, onde o fluxo foi 813 abelhas, e o segundo intervalo foi capturado de 9:00 até 10:00 horas, tendo que fazer um cálculo básico para não precisar zerar o banco de dados, a quantidade de abelhas até 10:00 horas menos a quantidade do início do segundo intervalo até 9:00 horas, tem-se o valor de 45 abelhas, que é um valor muito menor que o valor obtido no primeiro intervalo. Também pode observar a variação da temperatura e como ela compromete o fluxo, no primeiro e segundo intervalos, respectivamente 27°C e 30°C, onde a diferença não é muito grande, mas mostra relevância no fluxo das abelhas.

Figura 19: Histórico de coleta do primeiro intervalo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Figura 20: Histórico de coleta do segundo intervalo

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Durante o processo de coleta de dados, enfrentamos diversos desafios que exigiram soluções imediatas e ajustes frequentes. Um dos principais obstáculos foi o posicionamento do sensor reflexivo. Apesar de funcionar adequadamente, no início o sensor perdia sua precisão com o passar do tempo devido à ação do vento sobre o painel da colmeia, que não estava rigidamente fixado à caixa. Esse fator externo afetava a estabilidade do sensor, forçando repetidos ajustes manuais para recuperar sua precisão ideal. Essa situação evidenciou a sensibilidade do equipamento às condições ambientais adversas, uma vez que o sistema estava exposto ao ar livre.

Além disso, foi observado que o sensor apresenta imprecisões ao detectar abelhas que permaneciam na entrada da colmeia sem sair. Em algumas ocasiões, o sensor registrava esses movimentos como se fossem uma saída ou entrada efetiva, o que comprometia a precisão dos dados. Para mitigar esse problema, foi necessário reposicionar o sensor, ajustando sua direção para captar apenas os movimentos efetivos das abelhas ao entrarem e saírem da colmeia.

Mesmo após esses ajustes, ainda foi possível notar que o sensor era extremamente sensível. Em alguns momentos, ele captava movimentos indesejados de abelhas que permaneciam próximas à entrada da caixa, realizando atividades que não caracterizavam o fluxo esperado. Essas dificuldades ressaltaram a necessidade de refinamento contínuo do posicionamento e calibragem do sensor para alcançar a maior precisão possível na coleta de dados.

Com a coleta dessas informações, concluímos o processo de captura de dados e apresentamos os resultados obtidos. Os testes realizados proporcionaram uma demonstração eficiente do funcionamento dos sensores, mostrando como eles são capazes de monitorar as condições ambientais da colmeia em tempo real. Além disso, foi possível observar o comportamento das abelhas em resposta às variações do tempo diário, evidenciando a importância do controle de temperatura para o bem-estar da colônia. Esses dados fornecem uma base sólida para futuras análises e aprimoramentos no sistema, contribuindo para um monitoramento mais preciso e sustentável.

A Figura 21 apresenta o sistema montado na caixa, fazendo a coleta dos dados que foram apresentados anteriormente, todos os equipamentos devidamente posicionados e configurados para funcionar como esperado.

Figura 21: Painel montado na caixa de abelha Jandaíra



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Todos os componentes físicos empregados neste projeto, com exceção dos sensores, foram reaproveitados de outros projetos ou gentilmente doados. Para elucidar, o sensor de temperatura DS18B20 custou R\$39,99, o sensor infravermelho reflexivo industrial E18-D80NK foi adquirido por R\$54,06, enquanto o módulo ESP32-WROOM-32 teve um valor de R\$47,90. O display LCD 16x2 com backlight verde e módulo I2C embutido tem o valor de R\$62,79, e o kit de protoboard com 400 pontos, junto com cabos jumper, valem R\$36,95. Com isso, o custo total dos sensores utilizados foi de R\$94,05, enquanto os demais itens foram obtidos de forma sustentável por meio de doações e reciclagem, como o painel construído em madeira reutilizada.

Todo o código fonte necessário para o funcionamento do sistema automatizado, incluindo o desenvolvimento da interface *web* e o projeto programado na IDE Arduino para ser embarcado no ESP32, está disponível no GitHub, no repositório <<https://github.com/osmarnetooo/TCC-2024.git>>. As pastas nomeadas como ESP32 e TCC_ABELHAS_2024 contêm, respectivamente, o código em C++ utilizado na IDE Arduino e o código da interface *web*. Nesse repositório, também está disponível a pasta Arduino_Mega_2560, onde se encontram os códigos compatíveis com os mesmos sensores, porém sem a necessidade de *internet* ou página *web*, funcionando apenas para demonstração no display LCD, usando o Arduino Mega 2560 ao invés do ESP32.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de monitoramento automatizado para colmeias de abelhas sem ferrão, com foco na espécie Jandaíra, utilizando a tecnologia da Internet das Coisas (IoT). A implementação baseada no microcontrolador ESP32 e em sensores de temperatura e reflexivo permitiu a coleta em tempo real de dados ambientais críticos para a sobrevivência e produtividade da colônia. Com o uso de armazenamento no Firebase e visualização dos dados por uma interface web, o sistema se mostrou uma solução de fácil aplicação, acessível a pequenos e médios produtores de meliponicultura.

Os testes realizados evidenciaram a eficácia do sistema para o acompanhamento das variações de temperatura e do fluxo de abelhas, oferecendo informações importantes para o manejo sustentável da colônia. Além disso, o uso de IoT neste contexto reforçou o potencial das tecnologias emergentes para atender às demandas da apicultura e meliponicultura moderna, promovendo um acompanhamento remoto e em tempo real que possibilita ajustes rápidos e precisos no manejo da colmeia. O monitoramento contínuo se mostrou especialmente relevante, considerando os desafios ambientais como altas temperaturas e períodos de escassez alimentar, que podem afetar a estabilidade da colônia.

Com o avanço da tecnologia, a aplicação da *Internet* das Coisas (IoT) tem se mostrado uma solução viável e eficaz em diversas áreas, incluindo a meliponicultura. Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema automatizado para monitoramento de colmeias, destacando-se pela simplicidade de implementação e pelo custo acessível informado na seção anterior. O sistema foi projetado com base no ESP32 e sensores de temperatura e proximidade, permitindo o acompanhamento em tempo real das condições internas e externas da colmeia.

A implementação do *Firebase* para armazenamento de dados em tempo real e a criação de uma interface *web* demonstraram a importância de ferramentas tecnológicas na modernização da meliponicultura. O monitoramento contínuo das variações de temperatura e do fluxo de abelhas fornece informações valiosas para o meliponicultor, possibilitando a tomada de decisões rápidas e eficazes para a manutenção da saúde da colônia.

5.1 Trabalhos Futuros

A validação do sistema, realizada em ambiente controlado, comprovou sua eficiência e confiabilidade. Em suma, este trabalho contribui para o avanço da meliponicultura, proporcionando uma ferramenta tecnológica que alia praticidade e inovação, visando a sustentabilidade e o bem-estar das abelhas. No entanto, ainda há espaço para melhorias e expansões futuras, como:

- Desenvolver uma versão mais robusta do sistema, com sensores mais bem posicionados e fixos.
- Melhorar a interface e disponibilizar uma página web pública, hospedada em servidor remoto, acessível para acompanhamento em qualquer dispositivo conectado à internet.
- Implementar fontes de energia sustentável, como painéis solares, para alimentar os componentes eletrônicos e reduzir a necessidade de recarga manual.
- Expandir as funcionalidades de segurança, incluindo detecção de furtos e movimentações anômalas que possam afetar a produção.
- Adicionar novos sensores, como de umidade e luz, que contribuam para uma análise mais abrangente das condições da colmeia.

REFERÊNCIAS

- BOBIS, O. et al. *Eucalyptus honey: Quality parameters, chemical composition and health-promoting properties*. Food Chemistry, v. 325, p. 126870, 2020.
- GEANA, E. I., CIUCURE, C. T. *Establishing authenticity of honey via comprehensive Romanian honey analysis*. Food Chemistry, v. 306, p. 125595, 15 fev. 2020. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125595. Publicado online em 4 out. 2019. PMID: 31610324.
- CAMARGO, J.M.F.; PEDRO, S.R.M. *Meliponini Lepeletier*, 1836. In: MOURE, J.S.; URBAN, D.; MELO, G.A.R. (eds). Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region. Curitiba, Sociedade Brasileira de Entomologia. p.272-578, 2007.
- VILLAS-BÔAS, J. *Manual Tecnológico: Mel de abelhas sem ferrão*. Brasília: Instituto Sociedade, população e Natureza (ISPN), Brasil, 2012.
- SILVEIRA, F.A.; MELO, G.A.R.; ALMEIDA, E.A.B. *Abelhas brasileiras: sistemática e identificação*. Belo Horizonte, Ministério do Meio Ambiente, 2002. 263 p
- FREITAS, D. G. F. et al. *Nível tecnológico e rentabilidade de produção de mel de abelha (Apis mellifera) no Ceará*. 2014. Citado na página 17.
- SIDDIQUI, A. J. et al. *Application of analytical methods in authentication and adulteration of honey*. Food Chemistry, v. 217, p. 687–698, 2017
- ORYAN, A.; ALEMZADEH, E.; MOSHIRI, A. *Biological properties and therapeutic activities of honey in wound healing: A narrative review and meta-analysis*. Journal of Tissue Viability, v. 25, n. 2, p. 98–118, 2016.
- MAYER, A. et al. *Treatment of non-healing leg ulcers with honeydew honey*. Journal of Tissue Viability, v. 23, n. 3, p. 94–97, 2014.
- SINDICATO RURAL DE BARBACENA. *Meliponicultura e apicultura: lucre com abelhas sem ferrão*. Disponível em: <<https://sindicatouralbarbacena.org.br/meliponicultura-e-apicultura-lucre-com-abelhas-sem-ferrao/>>. Acesso em: 31 out. 2024.
- FREITAS, B.M. *O uso de programas racionais de polinização em áreas agrícolas*. Mensagem doce. N.46, p.16-20, São Paulo: APACAME, 1998.
- PAXTON, R. Conserving wild bees. Bee World. N.76, v.2, p.53-55. Inglaterra, 1995.
- VILELA, S. L. de O. *A importância das novas atividades agrícolas ante a globalização: a apicultura no Estado do Piauí*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. 228p.
- SBORDONI, Yara Sbrolin Roldão. *Termorregulação em abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae, Meliponini): produção ativa de calor e metabolismo energético*. 2015. 176 f. Tese (Doutorado em Ciências) — Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2015.
- MELIPONICULTURA na Caatinga: conheça a importância da criação de abelhas sem ferrão. No Clima da Caatinga, 2021. Disponível em: <<https://www.noclimadacaatinga.org.br/meliponicultura-na-caatinga-conheca-a-importancia-da-criacao-de-abelhas-sem-ferrao/>>. Acesso em: 09 out. 2024.

VASCONCELOS, Júlia. *Especialistas explicam fenômeno de migração de abelhas para zona urbana em Petrolina*. Brasil de Fato, 23 set. 2020. Disponível em: <<https://www.brasildefatope.com.br/2020/09/23/especialistas-explicam-fenomeno-de-migracao-o-de-abelhas-para-zona-urbana-em-petrolina/>>. Acesso em: 05 out. 2024.

ECOLOGIAEACAO. *Jandaíra: polinizadora da Caatinga, do Pantanal e da Mata Atlântica*. 7 out. 2019. Disponível em: <<https://ecoa.org.br/abelha-jandaira/>>. Acesso em: 05 out. 2024.

CONSTANTE, G.; JOSÉ, S. *Monitoramento remoto das colmeias de abelhas: desenvolvimento de PCB para o módulo colmeia*. Instituto Federal de Santa Catarina, ago. 2022. Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/9/9d/TCC_57_GUSTAVO_CONSTANTE.pdf>. Acesso em: 8 set. 2024.

DEVICE AUTHORITY. *IoT Automation: Top Applications and Key Benefits*. 2024. Disponível em: <<https://deviceauthority.com/iot-automation-top-applications-and-key-benefits/>>. Acesso em: 20 jul. 2024.

ANDRADE, A. S. de Oliveira e Fernando Souza de. *Sistemas Embarcados. Hardware e Firmware na Prática*. [S.l.]: Érica, 2010. ISBN 8536501057.

SILVA, Erick Gonçalves da; SOARES, Vitor; DALMOLIN, Bruno Goedert; et al. *MelgueiraApp: Caixa de Meliponicultura Automatizada e Aplicativo para Gestão de Produção de Mel*. In: *Latinoware - Congresso Latino-Americano de Software Livre e Tecnologias Abertas*, 2021, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/latinoware/article/view/19928/19756>. Acesso em: 20 jul. 2024.

RIBEIRO, Daniela. *Meliponicultura: uma alternativa de produção sustentável*. Meli, 2023. Disponível em: <<https://www.meli-bees.org/meliponicultura-uma-alternativa-de-producaosustentavel/>>. Acesso em: 26 jul. 2024.

ABELHA. *Pesquisa indica práticas de manejo que melhoram a criação de abelhas sem ferrão*. 28 maio 2015. Disponível em: <<https://abelha.org.br/pesquisa-indica-praticas-de-manejo-que-melhoram-a-criacao-de-abelhas-sem-ferrao/>>. Acesso em: 26 out. 2024.

SILVA, J. *Criação de abelhas sem ferrão contribui para aumento da renda de pequenos produtores*. 17 jul. 2024. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/radio-usp/criacao-de-abelhas-sem-ferrao-contribui-para-aumento-da-renda-de-pequenos-produtores/>>. Acesso em: 26 jul. 2024.

WILLIAMS, G. R.; ALAUX, C.; COSTA, C.; CSAKI, T.; DOUBLET, V.; EISENHARDT, D.; FRIES, I.; KUHN, R.; MCMAHON, D. P.; MEDRZYCKI, P. et al. *Standard methods for maintaining adult apis mellifera in cages under in vitro laboratory conditions*. *Journal of Apicultural Research*, Taylor & Francis, v. 52, n. 1, p. 1–36, 2013.

RITA ZH. *Get Started with ESP32*. 30 set. 2016. Disponível em: <<https://ritazh.com/get-started-with-esp32-785a111476f2>>. Acesso em: 5 out. 2024.

MELLO, M. *O que é um Microcontrolador, para que serve e principais usos*. 25 abr. 2022. Disponível em: <<https://victorvision.com.br/blog/o-que-e-um-microcontrolador/>>. Acesso em: 9 out. 2024.

LEITE, Marco Antonio Franzin; SILVA, Guilherme Henrique Alves da; SANTOS, Paulo Roberto Carvalho dos; SILVA, Juliana Saragiotto. *Proposta de automação de baixo custo para aviários utilizando o microcontrolador ESP32*. 2020. Disponível em: <https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/115670/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 6 out. 2024.

GARCIA, Fernando Deluno. *Introdução aos sistemas embarcados e microcontroladores*. Embarcados, 19 jul. 2018. Disponível em: <https://embarcados.com.br/sistemas-embarcados-e-microcontroladores/#Definicao-%E2%80%93-Microcontroladores>. Acesso em: 6 out. 2024.

KARVINEN, Kimmo; KARVINEN, Tero. *Primeiros passos com sensores: perceba o mundo usando eletrônica, Arduino e Raspberry Pi*. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2014.

ALEGRIA, Francisco A. C. *Sensores e Atuadores*. Lisboa: IST - Instituto Superior Técnico, 2021. 392 p.

FINOTTI, Mauricio. *Introdução à IoT: conectando o mundo digital e físico*. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2024. 120 p.

MATTEDE, Henrique. *O que são sensores e quais as suas aplicações?*. Mundo da Elétrica, 2024. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-sensores-e-quais-as-suas-aplicacoes/>>. Acesso em: 9 out. 2024.