

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

Germano Gehlen

**IOT APLICADA AO MONITORAMENTO DE BOVINOS DE LEITE NO SISTEMA DE  
CRIAÇÃO CONFINADA COMPOST BARN**

Porto Alegre  
2021



Germano Gehlen

**IOT APLICADA AO MONITORAMENTO DE BOVINOS DE LEITE NO SISTEMA DE  
CRIAÇÃO CONFINADA COMPOST BARN**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador(a): Prof. Dr. Ivan Müller

Porto Alegre  
2021

Germano Gehlen

**IOT APLICADA AO MONITORAMENTO DE BOVINOS DE LEITE NO SISTEMA DE  
CRIAÇÃO CONFINADA COMPOST BARN**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica, obtendo conceito B.

Porto Alegre, 29 de novembro de 2021.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Ivan Müller  
Orientador  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof. Dr. Tiago Roberto Balen  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Eng. Max Feldman.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Este trabalho é dedicado aos meus pais.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer às diversas pessoas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho. Dentre essas pessoas, gostaria de agradecer de maneira especial aos meus pais Léa Inês Portz Gehlen e Mauro Paulo Gehlen por todo o apoio e incentivo que dedicaram a mim.

À minha namorada, Carolina Schmidt Lenz, pela compreensão e apoio que me sustentaram ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Ivan Müller, pelo incentivo e por sempre ter me auxiliado nesse processo.

À família Horn por ter me recebido e apoiado durante a realização dos testes realizados.

## RESUMO

Sabe-se que o desconforto e a vivência em ambientes estressantes são causalidades da baixa produtividade de animais confinados. Para tal, buscou-se entender e acompanhar a dinâmica das variáveis relacionadas ao conforto dos animais, uma vez que este trabalho tem como foco o monitoramento dos dados relacionados ao conforto de bovinos produtores de leite.

Além disso, propõe-se fornecer uma alternativa para o acompanhamento de tais variáveis por meio da implementação de uma rede de sensores sem fio baseados na comunicação LoRa. O conceito de "Internet das Coisas" (IoT) foi abordado no desenvolvimento de hardware e de firmware para acompanhamento remoto de uma produção baseada no sistema de criação *Compost Barn*. Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade da aplicação de IoT baseada em rádios LoRa.

**Palavras-chave:** LoRa. IoT. *Compost Barn*.

## **ABSTRACT**

It is known that comfortless and stressful environments are causalities of the low productivity of confined animals. To such purposes, sought out understanding and verifying the dynamics data related to the comfort of the animals, once that the spot of this work is monitoring the comfort data from dairy cattle.

And so, proposes providing an alternative to follow up the data through the implementation of a wireless sensor network based in a LoRa communication. The concept of the Internet of Things was used during the development of the hardware and firmware to remote monitoring of a production based on the Compost Barn creation system. The results obtained had shown the viability of the IoT application based in LoRa.

**Keywords:** LoRa. IoT. Compost Barn.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Foto das instalações usadas no estudo de caso.....	19
Figura 2: Modelo de vista aérea das instalações. ....	20
Figura 3: Modelo de RSSF.....	20
Figura 4: Pinout ESP32 Heltec V2 .....	25
Figura 5: BME 280 .....	26
Figura 6: SCT-013.....	27
Figura 7: Sensor MQ Típico .....	28
Figura 8: Regiões Definidas pela ITU.....	29
Figura 9: Display no Teste de Distância.....	31
Figura 10: Vista Aérea Visada Obstruída .....	32
Figura 11: Vista Aérea Visada Direta .....	33
Figura 12: Gráfico de Elevação .....	34
Figura 13: Módulo Sensor Tipo 1 .....	35
Figura 14: Módulo Sensor Tipo 2 .....	35
Figura 15: Vista Aérea do Teste.....	40

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Parâmetros na Modulação LoRa.....	23
Quadro 2: Estados de Atividade ESP32.....	36

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações  
CSS – Chirp Spread Spectrum  
FSK – Frequency Shifting Keying  
GND – Ground  
I2C – Inter-Integrated Circuit  
IoT – Internet of Things  
ISM – Industrial, Scientific and Medical  
ITU – International Telecommunication Union  
LoRa – Long Range  
LPWAN - Low Power Wide Area Network  
M2M - Machine to Machine  
MQTT – Message Queuing Telemetry Transport  
NFC – Near Field Communication  
PCB – Printed Circuit Board  
RSSF – Rede de Sensor Sem Fio  
RSSI – Received Signal Strength Indicator  
SPI - Serial Peripheral Interface  
TC – Transformador de Corrente  
TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS .....	16
1.3	VISÃO GERAL .....	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>18</b>
2.1	SISTEMA COMPOST BARN.....	18
2.2	TOPOGRAFIA PROPOSTA .....	20
<b>2.2.1</b>	<b>Sobre IOT .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Modulação LoRa.....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODOS E MATERIAIS PROPOSTOS.....</b>	<b>24</b>
3.1	COLETA DE DADOS.....	24
3.2	RÁDIOS E SENSORES.....	24
<b>3.2.1</b>	<b>ESP32 .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Sensores Empregados.....</b>	<b>25</b>
3.3	NORMAS.....	28
3.4	FERRAMENTAS DE SOFTWARE .....	29
<b>3.4.1</b>	<b>Arduíno IDE.....</b>	<b>29</b>
<b>3.4.2</b>	<b>MQTT - <i>Message Queuing Telemetry Transport</i>.....</b>	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO PROJETO .....</b>	<b>31</b>
4.1	DISTÂNCIA DE COMUNICAÇÃO .....	31
<b>4.1.1</b>	<b>Setup de Teste .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Teste sem Visada Direta .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Teste com Visada Direta .....</b>	<b>33</b>
4.2	CONSUMO ENERGÉTICO .....	34
<b>4.2.1</b>	<b>Consumo do Dispositivo .....</b>	<b>36</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Estimativa de Duração de Bateria.....</b>	<b>37</b>

<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
5.1	ESTUDO DE CASO.....	39
5.1.1	<b>Broker MQTT</b> .....	<b>40</b>
5.1.2	<b>Medições Realizadas</b> .....	<b>41</b>
5.1.2.1	Temperatura e Umidade.....	44
5.1.2.2	Luminosidade .....	45
5.1.2.3	Ventilação e Aspersão.....	46
<b>6</b>	<b>POSSIBILIDADES DE TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>51</b>



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O sistema de criação de bovinos de leite confinado *Compost Barn* vem se popularizando nas últimas décadas, tendo aumentado o número de adeptos no Brasil. Esse tipo de criação confinada se dá dentro de um galpão forrado com maravalha, também chamada de cama, a qual precisa ser revirada de uma a três vezes ao dia para garantir que a atividade microbiana adequada ocorra, metabolizando os resíduos produzidos pelo rebanho. Ao proteger os animais do sol, propiciar um ambiente limpo e seco e permitir o fácil acesso a água e comida, esse método apresenta incremento na produção diária de leite e reduz a ocorrência de mastite e problemas de casco (Embrapa, 2018).

A tropicalização desse tipo de criação, que tem origem nos Estados Unidos, traz novos desafios para os criadores. Apesar de serem animais resistentes, o bem estar bovino depende diretamente de condições de umidade e temperatura específicas. Outro fator que tem influência na produtividade diária de leite é a luminosidade (Penev, 2014), sendo que na planta escolhida como base para o projeto, bem como em muitas outras, a única fonte de luz na parcela central do pavilhão é a luz natural que adentra o ambiente pelas aberturas laterais. Mesmo com a óbvia vantagem de estarem em um ambiente coberto, as altas temperaturas atingidas, fazem com que as condições deixem de ser ideais, exigindo o uso de atomizadores de água ou outros recursos. A ocorrência de temperaturas elevadas, típica do clima brasileiro, faz com que a atuação de mecanismos que propiciam o bem estar animal seja acionada mais frequentemente, elevando a quantidade de água artificialmente adicionada ao ambiente.

Dessa forma, o projeto procura verificar a eficácia de uma das mais populares implementações do sistema em assegurar as condições para conforto animal e produtividade. O projeto proposto deve sua relevância ao crescimento da técnica de criação confinada via *Compost Barn* e a necessidade de adequação dessa ao clima tropical. Segundo Youself (1985) e Roenfeld (1998) o conforto térmico dos bovinos se

dá tipicamente entre os 5°C e os 25°C, temperatura essa facilmente ultrapassada no verão brasileiro. Temperaturas maiores que as ideais apesar de suportadas pelos animais, começam a degradar o estado de conforto dos mesmos.

## 1.2 OBJETIVOS

Esse trabalho objetiva monitorar as condições do ambiente e de operação de mecanismos instalados em uma criação bovina com a função de interferirem nas condições do ambiente para que quando impróprias, interfiram a fim de aproximá-las das ideais, segundo Youself (1985) e Roenfeld (1998). Com a implementação de um sistema monitoramento de tais condições do ambiente, principalmente temperatura e umidade, espera-se possibilitar uma série histórica de medidas, a partir da qual seja possível confirmar a influência de tais mecanismos artificiais implementados nas condições associadas ao conforto animal e a manutenção de outros fatores de qualidade associados a esses recursos como a qualidade da cama.

Com isso se busca dar conforto aos produtores a medida em que se permite a esses um acompanhamento remoto da situação da propriedade, possibilitando uma redução controlada na rotina de verificações, propiciando mais horas livres para descanso ou dedicadas a outras funções da propriedade.

Entre os momentos anterior e posterior ao ciclo de operação de cinco minutos dos atomizadores de água, controlados por um relé temporizador na propriedade modelo adotada, acredita-se que ocorrerá uma variação sensível na relação de temperatura e umidade de modo a melhor se adequar a faixa de conforto térmico animal. Também se espera, por meio do monitoramento dos gases emitidos pela cama que forra as instalações, observar a qualidade da mesma caso esteja gravemente comprometida.

Espera-se que a verificação de variáveis do ambiente, aliada a um sistema adequado de manutenção das condições permita ajustar os acionamentos de modo a propiciar aos animais maiores níveis de conforto, sem apresentar alterações nocivas à cama sobre a qual os animais vivem.

## 1.3 VISÃO GERAL



O trabalho que segue é dividido em um total de seis capítulos. O primeiro se trata da introdução, que cumpre o papel de contextualizar o escopo do trabalho, bem como apresentar os objetivos para o mesmo. O segundo apresenta uma fundamentação teórica, apresentando conceitos necessários para a compreensão do trabalho e referências utilizadas no desenvolvimento do mesmo. O capítulo 3 se limita a descrever a metodologia aplicada, abrangendo as ferramentas e equipamentos empregados, enquanto que o capítulo 4 apresenta testes realizados ao longo do processo, em especial os testes de alcance e consumo. É no capítulo 5 que são apresentados os resultados obtidos, envolvendo a validação experimental do sistema proposto em campo. Já o sexto capítulo aborda as possibilidades de trabalhos futuros ou então de expansão. Por fim, no capítulo 7 são dispostas as conclusões obtidas com o desenvolvimento do presente trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo realiza uma revisão bibliográfica nos conceitos envolvidos no desenvolvimento do trabalho. Na primeira seção apresenta conceitos sobre a técnica de criação confinada *Compost Barn* especificamente nas instalações adotadas como modelo. A segunda seção se trata de conceitos por trás da eletrônica e conceitos de engenharia envolvendo a solução proposta.

### 2.1 SISTEMA COMPOST BARN

O sistema de criação confinado *Compost Barn* é um dos mais utilizados em criações de bovinos de leite, apresentando acréscimos significativos na produtividade dos animais frente aos criados no campo. Ao mesmo tempo, apresenta menos problemas de pele e mastite quando comparado ao principal sistema confinado alternativo, que é o *Free Stall*, neste, as vacas repousam em baias individuais com o chão coberto por areia (Barberg et al., 2007). As taxas de detecção de cio e de animais produzindo simultaneamente, segundo Barberg (2007), também são fatores que destacam o sistema *Compost Barn* e justificam sua popularidade.

Apesar de envolver uma dinâmica de manutenção própria, a concentração dos animais em um único ambiente no qual se tem controle da área de repouso ao mesmo tempo em que são mantidos próximo aos locais de alimentação e de fornecimento de água, permite uma otimização do trabalho do produtor. A consistência da cama com pouco mais de um ano e a distribuição dos animais, pode ser vista na Figura 1.

**Figura 1: Foto das instalações usadas no estudo de caso.**



Fonte: O autor.

Segundo Berman (1973) existe uma zona de temperaturas em que os bovinos não precisam de mecanismos de sudorese para regularem a sua temperatura corporal. Para Youself (1985) e Roenfeld (1998), quando a temperatura ambiente ultrapassa um valor crítico, a redução na eficiência dos mecanismos de regulação térmica passa a ser custosa para o animal, como resposta o volume de alimentos ingeridos pelo rebanho e a produção de leite é menor enquanto que uma maior frequência cardíaca é observada. Os três autores convergem ao definir a temperatura a partir da qual o conforto térmico passa a ser prejudicado entre os valores de 24 e 27°C.

Mesmo tendo sido idealizada em regiões de climas mais frios, originalmente desenvolvido nos Estados Unidos, o fato de o *Compost Barn* abrigar os animais do sol permitiu a sua tropicalização sem que os outros benefícios associados à técnica de criação fossem perdidos nesse processo. Entretanto, sistemas de ventilação forçada e de aspersão de água são comumente implementados com o objetivo de se manter a cama seca o bastante e também para auxiliar na sensação térmica por parte dos animais.

**Figura 2: Modelo de vista aérea das instalações.**



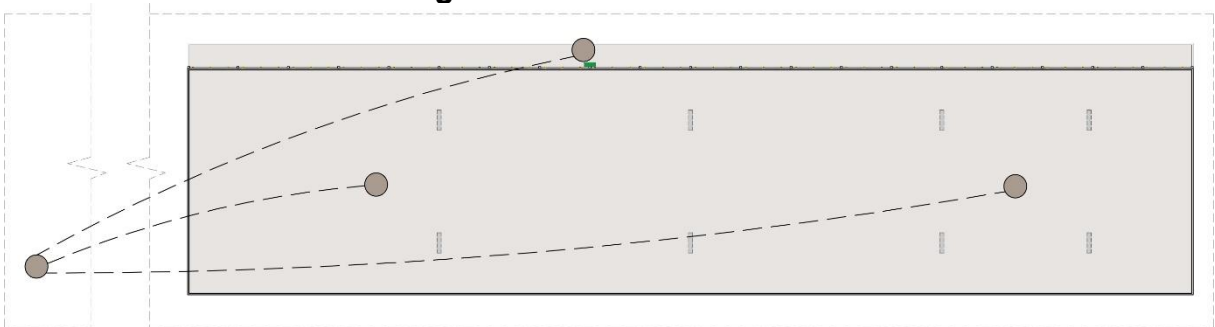
Fonte: O autor.

Os mecanismos presentes nas instalações adotadas como modelo para o desenvolvimento deste trabalho dispõem de ventiladores, conforme pode ser visto na Figura 1, que são manualmente acionados e também aspersores, localizados na linha do cocho, representada na parte superior da Figura 2, que costumam ser acionados em ciclos de cinco minutos nos momentos em que os animais são alimentados, também com acionamento manual.

## 2.2 TOPOGRAFIA PROPOSTA

Redes de sensores sem fio (RSSF) são compostas por diversos nodos, sendo um desses nodos concentrador, que distribui comandos, bem como envia os dados coletados para fora da rede, tipicamente por meio de um link com a Internet. A Figura 3 apresenta um exemplo de RSSF sobreposta sobre a vista das instalações modelo.

**Figura 3: Modelo de RSSF.**



Fonte: O autor.

Na imagem observa-se os três módulos sensores previstos à direita da figura e o módulo coletor na esquerda, sendo que este é o responsável pela comunicação externa a rede, com a internet. Este módulo coletor, ou gateway este representando como estando distante dos demais por meio da repartição dos contornos tracejados.

### 2.2.1 Sobre IOT

IoT, sigla para internet das coisas em inglês, é uma tecnologia revolucionária e ainda bastante promissora que apresenta impactos sensíveis em diversas áreas, desde equipamentos do dia a dia como eletrodomésticos, até mesmo conectar os mais diversos processos e objetos em sistemas produtivos. Baseado em computação de baixo custo e análise de dados, equipamentos físicos compartilham dados e alteram parâmetros, concentrando, ou mesmo automatizando tomadas de decisões.

Sensores e sistemas de comunicação sem fio tiveram seus custos de produção reduzidos, dessa forma, acabaram por possibilitar que sejam integrados nos mais diversos equipamentos. Além de um avanço no que tange a disponibilidade de recursos de hardware, diversos protocolos de comunicação com foco em baixo consumo de energia e fácil comunicação com a nuvem e tratamento de big data foram desenvolvidos pensando em atender as demandas para IoT. Serviços hospedados em nuvem permitem grande e simples expansão da infraestrutura uma vez instalada. Segundo Greengard (2015), a distribuição de um vasto número de sensores concentrando suas leituras em bancos de dados ainda permite o desenvolvimento de sistemas de análise de dados baseados em *machine learning*.

IoT se apresenta como uma opção para acompanhamento de diversos fatores no setor pecuário, a medida que sua abrangência atinge desde sensores que acompanham movimento animal a monitoramento de ciclos reprodutivos e padrões alimentares. Schwab (2017) trata das potenciais aplicações da internet das coisas e seu papel fundamental da quarta etapa de revolução industrial. A expansão de redes de sensores e tratamento de dados são os fundamentos que estruturam o advento da internet das coisas como uma tecnologia polivalente.

### 2.2.2 Modulação LoRa

Sobre propriedade da Semtech desde 2012, LoRa é um acrônimo das palavras *Long Range*, com origem na língua inglesa e que significa longo alcance, que evidencia uma das principais características dessa modulação, fazendo dela excelente candidata a compor redes de baixa potência e ampla área de cobertura ou LPWAN que não serão abordadas neste projeto.

Assim como o protocolo Bluetooth, a modulação LoRa usa uma técnica de chaveamento de frequência FSK (*Frequency Shifting Keying*) que é uma derivação da modulação de espectro pela propagação de *chirp*, CSS (*chirp spread spectrum*). Com o uso dessa técnica, o sinal da própria portadora é modulado em *chirps*, de modo que ao redor de uma frequência de referência a transmissão pode aumentar ou diminuir a frequência na qual ocorre por meio de saltos intervalados ao longo do tempo (LORA ALLIANCE, 2016).

A técnica CSS tem ampla aplicação militar, sendo aplicada desde os anos 40 em sistemas de radar. O salto de frequência tem destaque no ramo militar por ser bastante robusto tanto à interferência quanto a ataques de empastelamento (*jamming*). Essas características, associadas ao longo alcance atingido e a possibilidade de demodulação com potência de sinal até 20dB abaixo da potência de ruído (M. Bor et al, 2016) são as responsáveis pela popularidade da adoção dessas técnicas também em protocolos de uso civil mais recentes.

Dentro da Modulação LoRa existe a possibilidade de se alterar diversos fatores para adequar a rede às demandas do usuário e a limitações impostas pelo ambiente das instalações. Tais parâmetros e faixas de configuração podem ser observados no Quadro 1.

A frequência utilizada depende da antena escolhida, para os demais parâmetros, existe um padrão para a maioria das bibliotecas de software, que é:

- Largura de banda: 125 kHz;
- Fator de espalhamento: 7;
- Potência de transmissão: 17dB;

**Quadro 1: Parâmetros na Modulação LoRa**

PARÂMETRO	LIMITES	IMPACTO
Largura de Banda	125 – 500 kHz	A largura de banda tem uma relação de proporcionalidade direta com a taxa de transferência de dados e inversa com o alcance do enlace.
Fator de Espalhamento	6 – 12	Fatores de espalhamento altos aumentam a relação sinal/ruído, aumentam o alcance ao custo de um maior consumo energético.
Frequência da Portadora	433; 868; 915 MHz	Existem diferentes faixas de frequências licenciadas; ISM (Industrial, Scientific & Medical).
Potência de Transmissão	-4dB – 20 dBm	Um aumento de potência propicia um alcance maior ao custo de um maior consumo de energia.

Fonte: Adaptado de Semtech Corporation, 2015.

### **3 MÉTODOS E MATERIAIS PROPOSTOS**

A escolha dos materiais foi feita com o objetivo de utilizar dispositivos amplamente disponíveis e relativamente baratos no desenvolvimento do projeto. Os componentes de hardware e as ferramentas de software utilizadas estão descritos ao longo deste capítulo.

Para bem observar e compreender as instalações, apresentadas na Figura 2, a seção que se encontra sobre a linha cinza mais escuro representa a linha de cocho que se estende por toda a lateral do pavilhão e mede 2,5 metros por 100 metros. A região mais clara, preenchida por calungas das vacas, é a área compreendida pela cama e mede 25 x 100 metros.

#### **3.1 COLETA DE DADOS**

O monitoramento das variáveis de interesse se dará por uma rede de sensores que irão se conectar por meio de rádios em uma topologia do tipo estrela. Após reunidos, esses dados devem ser enviados para a nuvem por meio de um *gateway* usando a conectividade WiFi do microcontrolador escolhido para o projeto.

A taxa em que serão registrados os dados é a cada 30 segundos, mantendo uma amostragem com frequência suficiente para acompanhar as variações no ambiente visto que a atuação dos aspersores é em períodos de 2 minutos e que essa é a dinâmica mais rápida nas instalações.

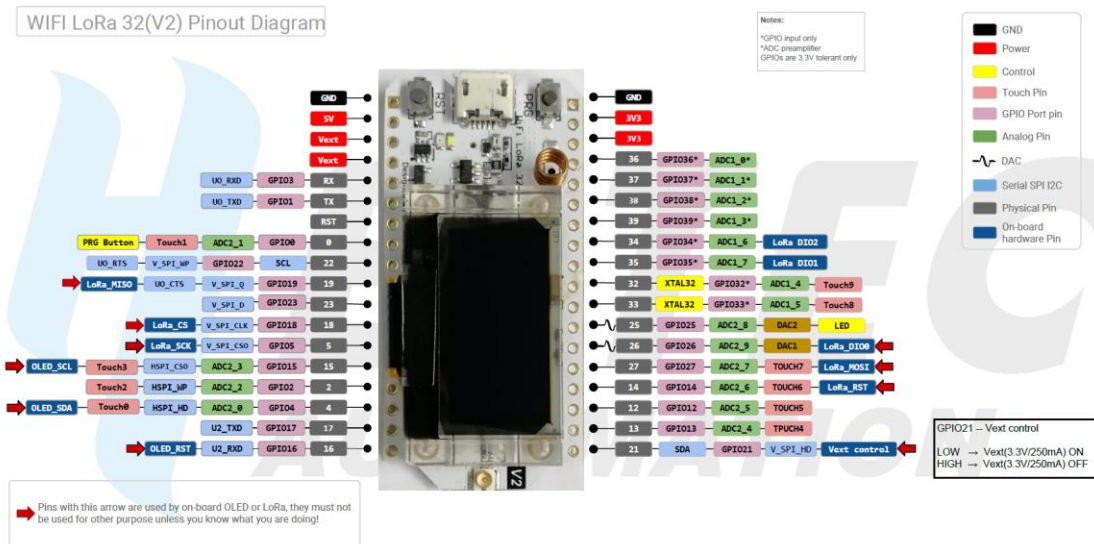
#### **3.2 RÁDIOS E SENSORES**

##### **3.2.1 ESP32**

Os microcontroladores da família ESP32 são baseados em processadores de dois núcleos. Na placa escolhida como base, o microprocessador é acompanhado de conectividade viabilizada por três sistemas distintos de comunicação sem fio integrados ao mesmo. São eles: Bluetooth, Wi-Fi e um rádio LoRa sx1276. Sendo um projeto original da empresa Espressif Systems; o ESP32 é considerado um dos controladores mais robustos e moldáveis amplamente disponíveis (Kolban, 2018).



Figura 4: Pinout ESP32 Heltec V2



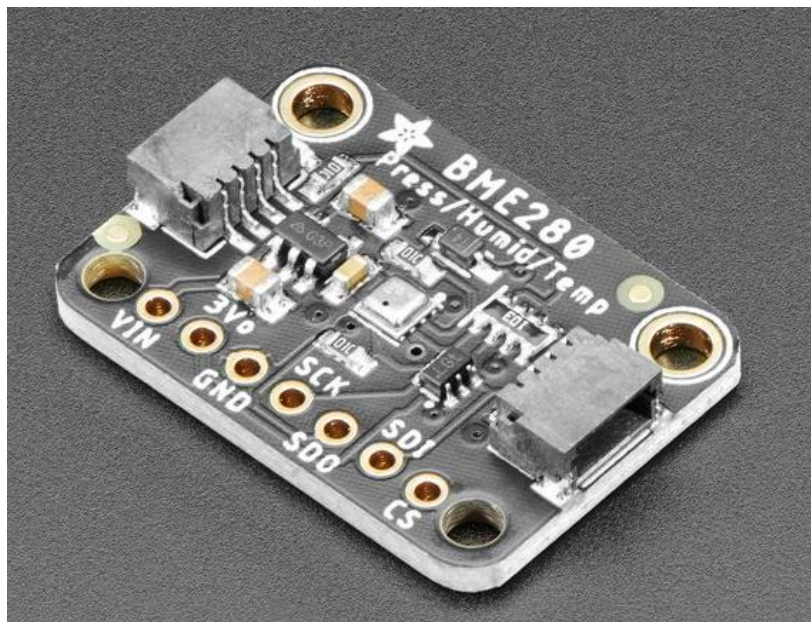
Fonte: Heltec Automation.

### 3.2.2 Sensores Empregados

- **Placa de Circuito Impresso Baseada em BME 280**

Sensor capaz de funcionar como I2C ou então SPI que mede dados de temperatura, umidade e pressão. O sensor em si é desenvolvido pela BOSCH e o módulo utilizado é de projeto similar aos oferecidos pela Adafruit (Figura 5), sendo que até mesmo o código implementado utiliza uma biblioteca desenvolvida por esta. Por se tratar de uma opção barata, o real fabricante do PCB utilizado não é possível de ser identificado por não estar destacado no corpo da placa.

Dentre as especificações desse sensor, estão inclusas medições de temperatura dentro da faixa de -40 a 85°C, sendo que a faixa entre os 0 e 65°C apresenta uma imprecisão de até 1°C. Para a medição de umidade, que é a outra medida relevante para este trabalho, na faixa compreendida entre 0 e 60°C, o sensor realiza leituras para até 100% de umidade relativa com uma imprecisão de até 3%; dada a realidade do clima Brasileiro, é razoável assumir que este será o comportamento típico do sensor.

**Figura 5: BME 280**

Fonte: Adafruit, 2020.

- **Placa Baseada em Sensor BH1750**

Assim como o BME280, o sensor de luminosidade BH1750 opera conforme o barramento serial I2C, dessa forma, o ESP32 pode estabelecer comunicação com ambos os sensores (BME280 e BH1750) utilizando-se de apenas dois de seus pinos de GPIO, sendo que nenhum extra seria necessário para a adição de um terceiro sensor I2C.

Este sensor apresenta um conversor ADC de 16 bits, o que permite leituras desde 1 lx até 65535 lx. O fato de já integrar um conversor no módulo sensor, juntamente dos demais elementos para filtragem de sinal, assegura uma uniformidade de medidas bastante superior a maioria dos demais sensores amplamente disponíveis, ao mesmo tempo que não exige calibração para leituras consideravelmente precisas.

- **Transformador de Corrente SCT-013**

Transformadores de corrente são sensores que se valem do Efeito Hall para realizarem medições de corrente alternada passando por um condutor. O TC escolhido é o modelo SCT-013-050 da YHDC, que realiza leituras de até 50A, como

o próprio nome sugere, e apresenta como saída um sinal em tensão como valor de até 1V. A Figura 6 apresenta o sensor e demonstra a sua característica de abertura do núcleo para uma instalação não invasiva à medida que o condutor a ser avaliado deve ser envolvido por este.

**Figura 6: SCT-013**



Fonte: YHDC.

Este tipo de sensor se mostra muito versátil ao operar em amplas gamas de tensão e também de frequência da corrente medida. Segundo a fabricante, o SCT-013 opera com tensões de até 720V e frequências variando desde 50Hz até 1kHz, cobrindo assim com folgas os parâmetros utilizados para consumidores finais que não disponham de subestação própria, isso é, todas as instalações alimentadas por baixa tensão no Brasil.

- **Sensores “MQ” para Detecção de Gases.**

O trabalho valeu-se de dois sensores, o MQ-4 e o MQ-135, montados sobre PCBs bastante semelhantes. Ambos apresentam pinos de alimentação, GND, além de um pino de leitura analógico, e outro digital, que funciona como alarme, alterando

seu estado ao atingir um determinado valor que pode ser alterado por meio de um potenciômetro na traseira do módulo.

**Figura 7: Sensor MQ Típico**



Fonte: O autor.

O sensor MQ-4 é indicado para as leituras dos gases Butano, Propano e Metano, sendo que a detecção de concentração de todos estes podem acionar o se pino digital. O Sensor MQ-135 por outro lado funciona como detector de fumaça, de gás carbônico, entre outros gases.

### 3.3 NORMAS

A responsabilidade por administrar e regular a utilização das faixas de radiofrequência dentro do território Brasileiro está a cargo da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) que está sujeita à padronização estipulada ainda em 1998 pela União internacional das Telecomunicações (ITU - *International Telecommunications Unit*). Ao se observar a Figura 8, percebe-se que o Brasil se encontra na região 2. Dispositivos LoRa, assim como diversos outros, costumam

operar em faixas não reservadas a nenhuma atividade em específico, utilizando-se de bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). No Brasil a banda ISM, adequada ao uso do microcontrolador na configuração adotada, é delimitada pela Anatel pelas faixas 902-907,5 MHz e 915-928 MHz.

**Figura 8: Regiões Definidas pela ITU**



Fonte: Hill Notes, 2021.

No Brasil a norma que rege o uso da faixa ISM é a resolução nº608 da Anatel, publicada em 27 de junho de 2017. Esta resolução que substituiu a nº506 de 2008 é responsável pela delimitação das faixas de frequência, além de regulamentar a comunicação multimídia e regulamentos dos serviços de telecomunicação.

## 3.4 FERRAMENTAS DE SOFTWARE

### 3.4.1 Arduino IDE

*Arduino Integrated Development Environment* é um compilador de código que utiliza as linguagens C e C++. Apesar de ser inicialmente pensado para as placas de desenvolvimento da família Arduino, por ter premissas de ser também uma plataforma educativa e por ser aberta, diversas empresas e desenvolvedores independentes criaram bibliotecas próprias. Todas essas possibilidades fizeram da Arduino IDE extremamente popular. As próprias Heltec e Adafruit possuem bibliotecas oficiais para uso de seus equipamentos, assim como bibliotecas específicas para o uso de rádios LoRa.

### **3.4.2 MQTT - *Message Queuing Telemetry Transport***

MQTT é um protocolo de comunicação desenvolvido originalmente pela empresa IBM para lidar com mensagens leves, tipicamente sensores simples e outros dispositivos móveis em redes TCP/IP ainda nos anos 90. Ao não apresentar buffers de pacotes, a utilização deste protocolo se limitava a aplicações não sensíveis à latência, que exigissem uma pequena largura de banda, e cuja confiabilidade de entrega não fosse imprescindível. As características simples desse protocolo, fazem dele uma das melhores alternativas para comunicação M2M e IoT, tendo atingido uma significativa aplicação mesmo no meio industrial.

Apesar de não manter fila de pacotes, comandos e valores de sensores podem ser armazenados no broker MQTT, por meio deste mecanismo, a entrega de pacotes pode ser assegurada, acrescentando à confiabilidade do protocolo. Outra característica de destaque do MQTT é a escalabilidade, uma vez que dispositivos quase que ilimitados podem estabelecer uma conexão com o broker, ao mesmo tempo em que a estrutura de *Publisher* e *Subscriber* permite uma conexão bidirecional entre dispositivos e aplicações.



## 4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

### 4.1 DISTÂNCIA DE COMUNICAÇÃO

A fim de se realizar uma estimativa de alcance da comunicação LoRa com as antenas simples que acompanham o ESP32 Heltec, foram realizados dois testes de alcance a fim de testar a distância na qual a transmissão de pacotes de dados ainda ocorreria de forma confiável.

#### 4.1.1 Setup de Teste

Para realização do teste, utilizou-se um ESP32 como transmissor e outro como receptor. A transmissão envolvia apenas os dizeres “Pacote” e um número era atribuído a cada envio que ocorria a cada 500ms. A Figura 9 apresenta o receptor, que exibia no *display* as informações de intensidade de sinal, tamanho do pacote recebido e ainda a mensagem em si, utilizada para a identificação do pacote. Nesse teste, bem como na implementação da solução em campo, utilizou-se a frequência de 915MHz e demais fatores conforme o padrão, expostos na seção 2.2.2.

**Figura 9: Display no Teste de Distância**



Fonte: O autor.

#### 4.1.2 Teste sem Visada Direta

O primeiro teste envolveu uma visada obstruída parcialmente por construções em madeira e por pequenas porções de mata. Apesar de teoricamente uma visada direta ser possível, esses obstáculos foram o bastante para causarem uma grande alteração na intensidade de sinal do pacote recebido. A Figura 10 oferece uma vista aérea do local de teste, nessa, o ponto vermelho identifica o rádio transmissor enquanto que o receptor pode ser visualizado em azul.

A distância atingida com uma confiabilidade aceitável, de aproximadamente 580m, distância na qual a grande maioria dos pacotes eram entregues foi marcada por um RSSI próximo de -110dB, com as oscilações entre os diferentes recebimentos de pacotes apresentando valores entre -104dB e -113dB. Com essas limitações, permitiram a validação do enlace com a perda de 8 pacotes em um conjunto de 100 envios realizados, dentro da meta de 90% de recebimentos bem sucedidos que foi estabelecida.

A tentativa de entender essa distância permitiu que se atingisse uma distância de enlace máxima próxima dos 650 metros, porém, a não recepção de pacotes de tornou mais frequente conforme a indicador do RSSI se aproximava de -120dB e o recebimento passava a ser esporádico e não mais constante. O recebimento bem sucedido de pacote, com a pior intensidade de sinal foi observado com o RSSI indicando -124dB. Mesmo ao se aguardar por um minuto o recebimento de um novo pacote, na distância limite, isso não aconteceu, evidenciando a inviabilidade de comunicação confiável nessas condições específicas.

**Figura 10: Vista Aérea Visada Obstruída**



Fonte: O autor.



### 4.1.3 Teste com Visada Direta

O segundo teste foi o considerando visada direta entre os rádios. Nessa configuração, a fabricante declara 2,8km de alcance máximo fazendo uso da frequência de 915MHz. A Figura 11 apresenta uma vista aérea do local do teste, assim como no teste anteriormente descrito, o transmissor é identificado em vermelho enquanto que o ponto azul destaca o receptor. O teste foi realizado em um dia ensolarado, representando condições ótimas para a realização do mesmo.

Nesse teste se atingiu uma distância de 1640 metros com a grande maioria dos pacotes sendo recebida. Em função de características do relevo, assim como uma leve curva na estrada na qual se realizou o teste, a degradação do sinal ocorria em poucos metros. A distância máxima atingida se deu em dois topos locais do percurso. Não foi possível voltar a receber os pacotes em pontos mais à frente na estrada. A Figura 12 apresenta o gráfico de elevação apresentado no local do teste extraído por meio do programa Google Earth Pro. A perda de pacotes obtida foi de 6% em um teste com 100 pacotes, acompanhando por meio de monitor serial o que era recebido no segundo rádio, novamente com a meta de 90% de recepção bem sucedida.

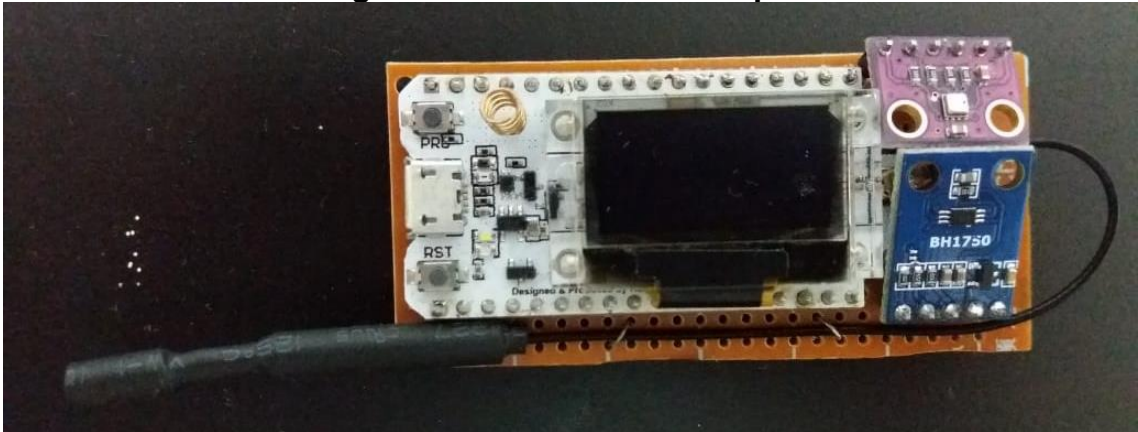
**Figura 11: Vista Aérea Visada Direta**



Fonte: O autor.

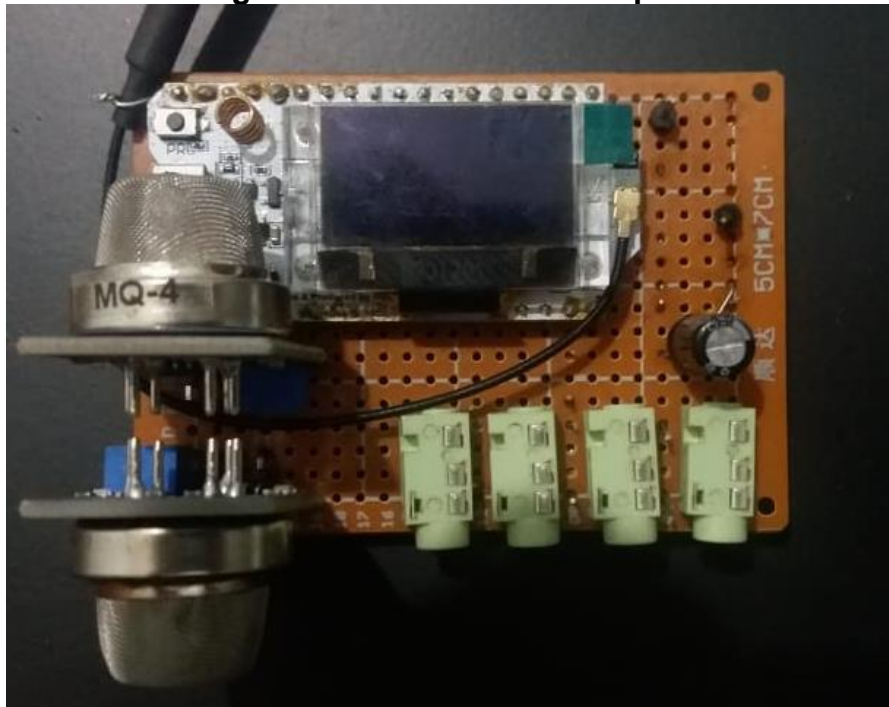
A limitação do alcance com visada direta não foi atingida, porém, a distância obtida foi grande o bastante para validar a viabilidade desse enlace para a proposta do projeto visto que essa distância excede a distância de comunicação necessária no teste em campo, conforme será revisitado no capítulo de resultados.



**Figura 13: Módulo Sensor Tipo 1**

Fonte: O autor.

O módulo do tipo 2, por contar com sensores de gás, não teve seu consumo aferido quando em suspensão de atividade, pois os sensores “MQ” utilizados precisam ser preaquecidos para que apresentem uma leitura confiável, dessa forma, era obrigatório que se mantivesse uma alimentação constante para os mesmos.

**Figura 14: Módulo Sensor Tipo 2**

Fonte: O autor.

Ao se carregar o microcontrolador com um código que não realizava nenhuma leitura ou conexão externa, o módulo tipo 2 apresentava um consumo de corrente de 435mA, enquanto que ao se realizar a leitura dos sensores e ativar as comunicações LoRa e Wi-Fi esse consumo alcançou a marca de 720mA.

Os tópicos a seguir levam em consideração apenas testes realizados no módulo tipo 1 por esse permitir o uso de funções de suspensão de atividades devido a natureza dos sensores utilizados, que podem ser acessados conforme demanda.

#### 4.2.1 Consumo do Dispositivo

Foi verificado o consumo do dispositivo quando ativo, e também quando o modo *Deep Sleep* está atuando, este modo reduz as atividades do microcontrolador, limitando as mesmas a alimentarem apenas um timer interno e a memória do dispositivo. O Quadro 2 apresenta uma estimativa de consumo a depender do estado de atividade do microcontrolador.

**Quadro 2: Estados de Atividade ESP32**

Modo de Atividade	Descrição	Consumo
Modem – Sleep	A CPU está ativa, o clock é configurável.	2 – 50 mA
Light - Sleep	Apenas a CPU está pausada.	0,8 mA
Deep – Sleep	Coprocessador UTP e a memória RTC ativos.	10 uA
Hibernation	Apenas o timer RTC está ativo	5 uA

Fonte: Adaptado de Espressif Systems, 2021.

Quando totalmente ativo, o módulo tipo 1 apresentou picos de consumo na casa dos 870mA consumidos da bateria de 3,7V. Fora desse breve pico, o consumo típico ficou em 390mA. Esse valor corrobora com o consumo declarado para o sensor BME280 quando este realiza leitura, ao se alterar o código para ignorar a leitura desse componente, o consumo medido foi de 380mA.

A ativação da hibernação, acionada com base na passagem de tempo, levava o consumo para apenas 38uA, estando acima do indicativo encontrado no datasheet da Espressif, porém, os 10uA alegados consideram uma placa de desenvolvimento distinta e tratam de um consumo teórico apenas para o microcontrolador.

Importante ressaltar que flutuações de pouco mais de 10mA foram registradas ao longo de todos os testes de sensores ativos conforme diferentes partes do código eram executadas.

#### 4.2.2 Estimativa de Duração de Bateria

Levando-se em conta que uma leitura das variáveis contempladas pelo módulo tipo 1 (temperatura, umidade e intensidade luminosa) não costuma sofrer com mudanças muito bruscas, o tempo de inatividade pode considerar diferentes cenários dependendo da necessidade da aplicação. A seguir são apresentadas três estimativas de capacidade de bateria necessárias considerando-se um tempo de atividade de 2 segundos, mais que suficiente para executar a rotina proposta, que foi estimado em 1,1 segundo. Esse acréscimo permite estimar um cenário ainda menos favorável para a duração da bateria e abre margem para que outros processos possam ser implementados no período de atividade. As três estimativas levam em conta o consumo de pico do módulo, o consumo típico medido, e ainda um caso híbrido que considera o tempo de leitura para cada medida do BME280 como sendo 10ms, uma vez que o datasheet do componente estima o tempo de leitura típico em 8ms.

A Equação 1 apresenta o consumo médio de corrente em função da corrente medida em cada estado e tempo nesse.

$$I_m = \frac{(I_1 * T_1 + I_2 * T_2)}{T_1 + T_2} \quad (1)$$

Onde  $I_m$  significa corrente média,  $I_1$  e  $I_2$  são as correntes nos dois estados e,  $T_1$  e  $T_2$  são o tempo em que o módulo fica em cada um desses estados.

Dessa forma temos que para um intervalo de leitura de 5 minutos incluindo o período de inatividade temos uma estimativa de 140,1 mAh por dia de operação como sendo o tamanho de bateria mínimo para a corrente de pico e 63,3 mAh, para o consumo típico. Ao se considerar que o sensor BME280 realiza duas leituras por ciclo,

a equação 2 é adequada para estimar o consumo por incluir um terceiro estado de consumo e tempo. Dessa forma:

$$I_m = \frac{(I'_1 * T'_1 + I''_1 * T''_1 + I_2 * T_2)}{T'_1 + T''_1 + T_2} \quad (2)$$

Onde  $I'_1$  e  $I''_1$  são respectivamente as correntes quando em atividade, com o BME280 realizando leitura e não realizando, enquanto que  $T'_1$  e  $T''_1$  são o tempo nas mesmas condições.  $I_m$ ,  $I_2$  e  $T_2$  seguem sendo a corrente média, a corrente em *Deep Sleep* e o tempo neste estado.

Mantendo um ciclo com duração de 5 minutos e considerando as duas leituras de 10ms cada realizadas pelo BME280, tem-se que o valor mínimo de capacidade de bateria por dia de atividade é de 64,1 mAh.

## 5 RESULTADOS

Nesse capítulo serão discutidos os resultados obtidos ao longo das diferentes etapas do projeto e também será apresentado o teste em campo realizado na Leiteria Horn, a propriedade utilizada como modelo no desenvolvimento do presente trabalho.

Os testes de consumo e de alcance comprovaram as capacidades de projetos baseados em placas de desenvolvimento que integrem rádios LoRa em seus projetos. Assim, foi possível prosseguir para um teste em campo, a Leiteria Horn permitiu que a rede de rádios fosse instalada lá para a realização de um teste do sistema.

### 5.1 ESTUDO DE CASO

Em um primeiro momento foi realizado um breve teste de distância de transmissão entre o pavilhão que compõe a leiteria e uma das casas da propriedade a fim de averiguar a necessidade de se implementar um módulo repetidor de sinal para garantir a comunicação. A comunicação foi possível sem a utilização de repetidores devido ao alinhamento visível na Figura 15 e a uma diferença de altimetria no terreno, uma vez que a leiteria se encontra em um lugar mais alto, de modo que as construções entre os nodos e o gateway já são galpões com as laterais vazadas. A distância entre o sensor mais distante e o gateway é de 225 metros.

Seguindo o modelo proposto na fundamentação teórica do presente trabalho, foram instalados três módulos de sensores (conforme Figura 15), dois módulos tipo 1 (letras B e D) e um módulo tipo 2 junto ao painel elétrico (C). Além disso, o gateway (letra A) foi instalado fora da leiteria.



**Figura 15: Vista Aérea do Teste.**



Fonte: O autor.

Acrescentando ao que foi utilizado no teste de consumo energético dos módulos, apesar de o módulo tipo 1 ter preservado as mesmas variáveis monitoradas, o outro módulo, assim como já apresentado no subcapítulo 4.2 realiza a leitura dos dois sensores de gás, porém, os conectores de 3,5mm visíveis na Figura 14 também são utilizados, são a conexão para os sensores SCT-013. Devido às limitações impostas pelo consumo dos sensores “MQ” e a necessidade de os sensores por Efeito Hall de estar próximo dos cabos de alimentação dos equipamentos. Três dos quatro canais permitidos pelo módulo desenvolvido foram ocupados; para monitorar o acionamento de dois grupos de ventiladores e o último para verificar o acionamento dos aspersores na linha de cocho.

### **5.1.1 Broker MQTT**

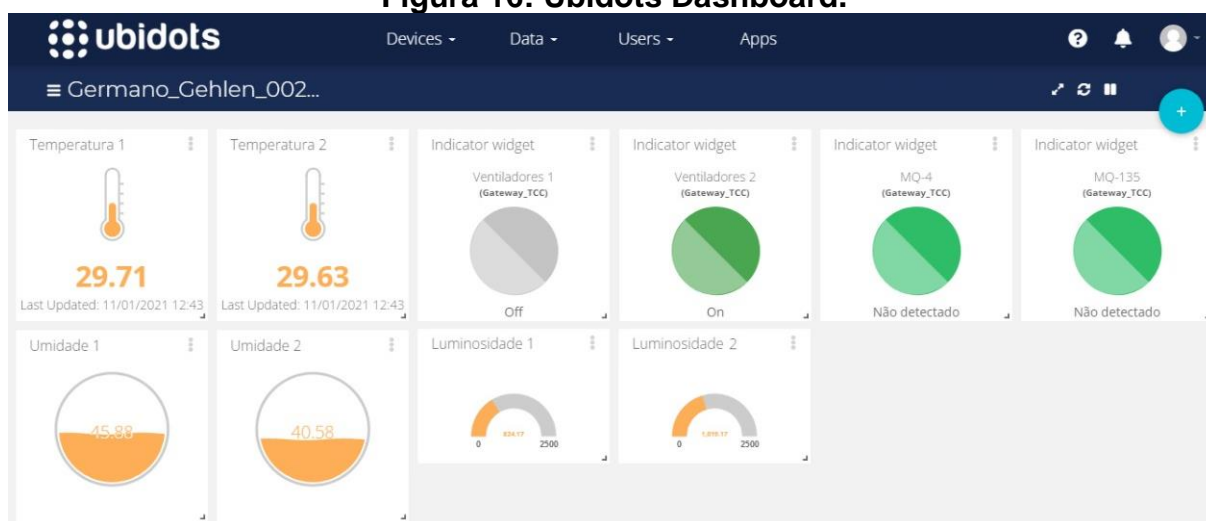
Devido a dashboard bastante intuitiva e a facilidade de alteração da mesma, foi escolhido a Ubidots como broker MQTT. Ubidots é uma empresa que se auto



intitula como uma plataforma para IoT, dentre suas diversas aplicações, ela concentra um broker MQTT e também uma dashboard bastante simples de operar. A escolha por essa implementação se deu muito em função da possibilidade de alteração no dashboard de maneira rápida, intuitiva e, principalmente, gráfica, uma vez que parte substancial da proposta do projeto é de conseguir explicar para a equipe da leiteria o funcionamento e possibilidades da IoT.

As vantagens de se optar por uma plataforma mais amigável são a fácil compreensão por pessoas não acostumadas a interagirem com esse tipo de sistema, a confiabilidade que acompanha projetos mais bem estabelecidos e de maior porte, além de a facilidade de acessar as leituras ao permitir acessar o dashboard em mais de um dispositivo ao mesmo tempo. A Figura 16 serve como exemplificação da interface do dashboard da Ubidots.

**Figura 16: Ubidots Dashboard.**



Fonte: O autor.

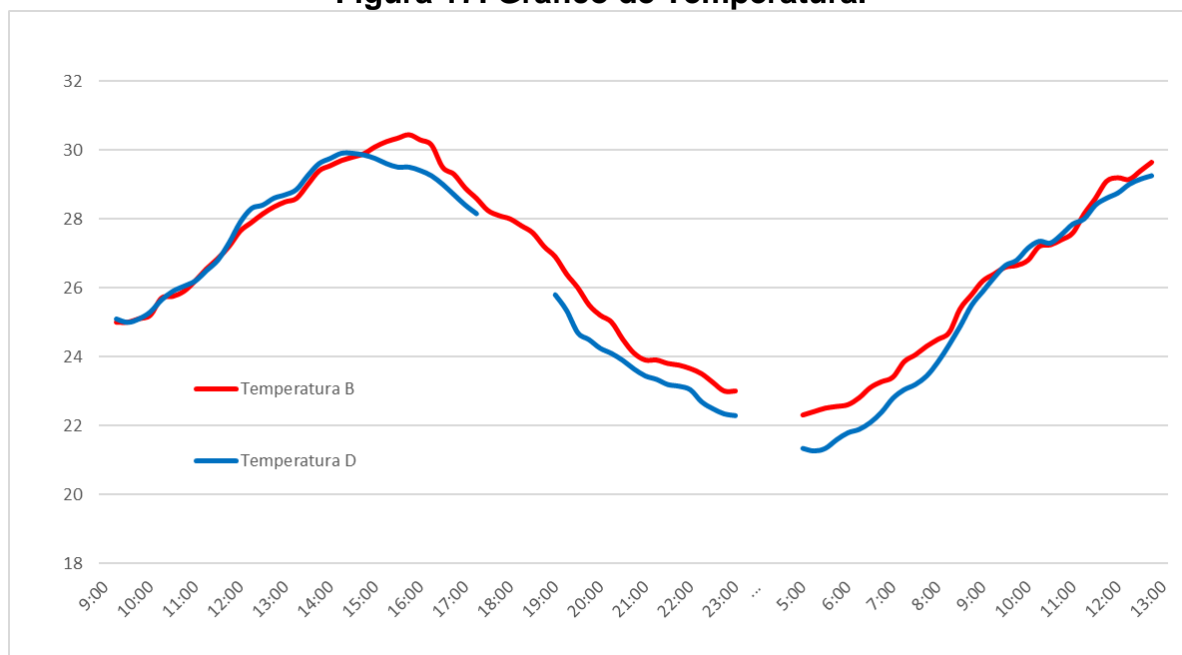
### 5.1.2 Medições Realizadas

Conforme as medidas das variáveis eram enviadas elas eram imediatamente visualizáveis na página da Ubidots e por meio da exportação posterior dos dados, os dados que eram enviados ao dashboard foram reunidos em um arquivo CSV. Por meio

do teste realizado entre os dias 31/10 e 01/11 de 2021 foi possível coletar dados para avaliar o funcionamento dos sensores e comportamento das variáveis de interesse.

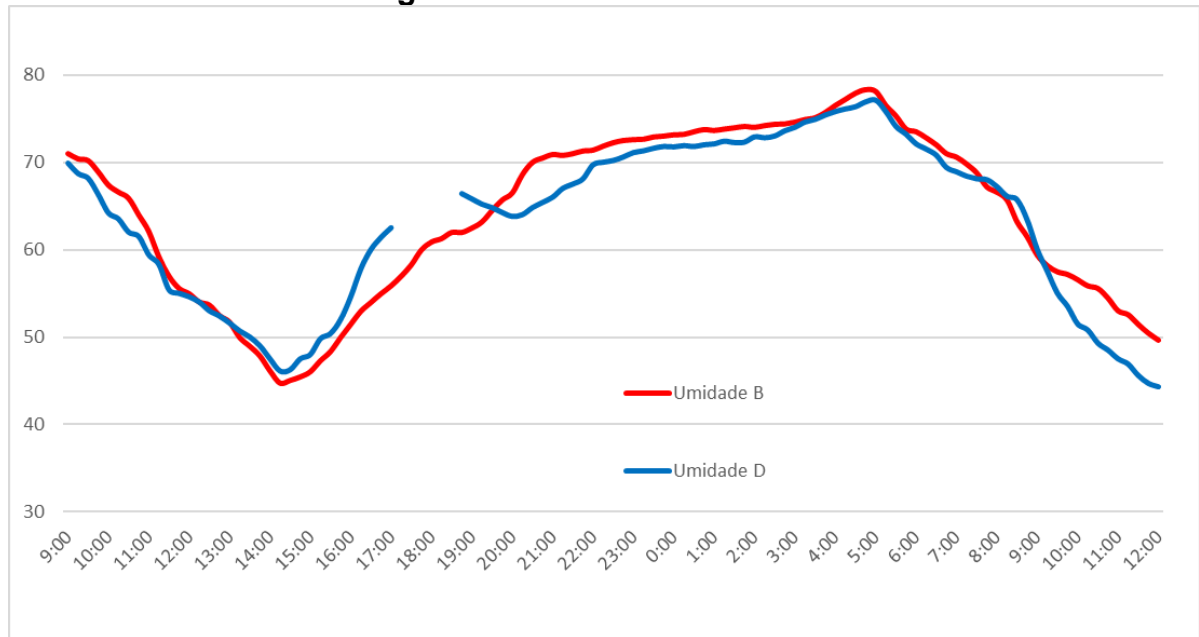
As figuras 17, 18 e 19 apresentam os resultados das variáveis coletadas pelos módulos sensores do tipo 1. As curvas identificadas como “B” nas figuras representam o módulo tipo 1 identificado pela letra B nas Figuras 15 e 20; as curvas identificadas pela letra “D” são referentes ao módulo identificado pela mesma letra. Os dados referentes ao módulo “4” possuem uma descontinuidade entre as 17h20 e as 18h50 do dia 31/10/2021 pois em uma demonstração do broker, os dados desse acabaram não sendo computados pois o relatório emitido é dependente de as variáveis estarem abertas no dashboard.

**Figura 17: Gráfico de Temperatura.**



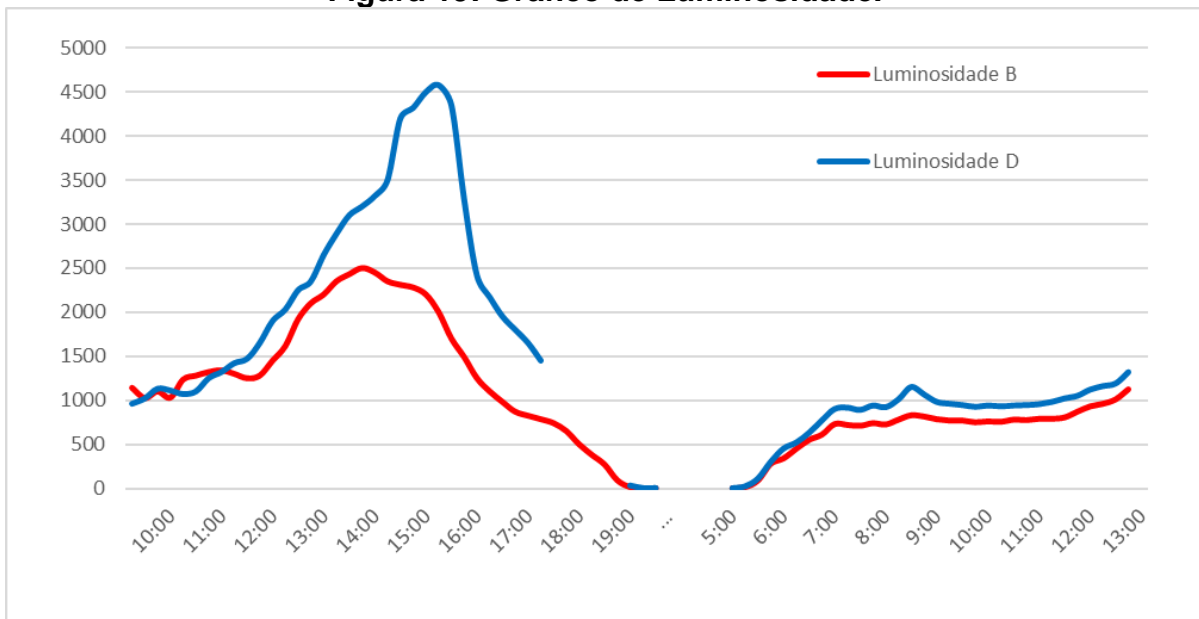
Fonte: O autor.

**Figura 18: Gráfico de Umidade.**



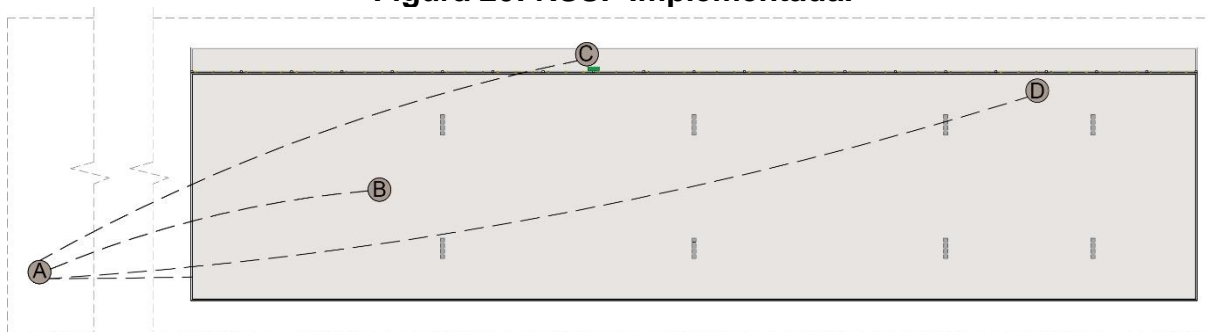
Fonte: O autor.

**Figura 19: Gráfico de Luminosidade.**



Fonte: O autor.

**Figura 20: RSSF Implementada.**



Fonte: O autor.

A Figura 20 demonstra de maneira aproximada a disposição dos sensores dentro das instalações da leiteria. Percebe-se que o nodo indicado pela letra C está junto da caixa de acionamento elétrico destaca em verde, bem como é perceptível que o nodo “D” também está próximo da extremidade do pavilhão devido a necessidade de reposicionamento do mesmo após ele precisar ser reiniciado. Quando comparado ao nodo “B”, o outro módulo sensor do tipo 1 também ficou mais baixo em relação ao solo.

Os gráficos apresentados nas figuras 17, 18 e 19 apresentam médias móveis dos valores registrados na última hora para temperatura, umidade e luminosidade respectivamente. Os registros de acionamento dos ventiladores são menos relevantes, pois não sofreram alteração no período monitorado; da mesma forma, as concentrações de gases jamais acusaram níveis altos exceto por instantes esporádicos nos quais os pinos digitais sofriam alteração de estado, o que provavelmente se originaram de algum ruído ou alteração semelhante, não sendo uma correta retratação das condições. O acompanhamento do acionamento dos aspersores sofreu com a falta de registro em função do não monitoramento dos mesmos na dashboard.

Os subtópicos que seguem, tratam de abordar as variáveis monitoradas dando ênfase individual a cada uma delas e comentando o comportamento das mesmas.

#### 5.1.2.1 Temperatura e Umidade

Ao se observar as curvas descritas pelas variáveis de temperatura e umidade nos dois sensores que as registravam, percebe-se um comportamento tal como o

esperado, no qual as duas variáveis apresentam comportamentos opostos. Enquanto que a temperatura é mais baixa no início da manhã e pela noite, a umidade descreve uma curva que apresenta seus maiores valores justamente nesses períodos. Apesar da variação de posicionamento dos sensores, a dinâmica diária básica da variação dos valores dessas variáveis pode ser observada claramente nas respectivas figuras.

No que se refere a discrepâncias entre as duas medidas em períodos específicos, pode-se destacar a diferença de umidade registrada entre 15h30 e 19h do sábado, dia trinta e um de outubro; bem como a diferença de temperatura registrada no período noturno e madrugada. Uma vez que a maior atividade dos aspersores se dá a partir da meia tarde, e sabendo que o nodo “4” se encontrava mais baixo, e próximo da linha de cocho, é provável que os níveis de umidade relatados por ele representem o efeito dos aspersores na saturação da umidade relativa do ar no seu entorno. Ao mesmo tempo, a posição mais central e elevada do nodo “2” pode ter colaborado com uma menor variação de temperaturas durante a noite visto que o desenho do telhado do pavilhão, somado a atividade biológica da cama e dos próprios animais pode ter colaborado para tal situação. A verificação de tais suspeitas depende de uma observação de mais longo prazo buscando pela repetição desses padrões.

#### 5.1.2.2 Luminosidade

O gráfico de luminosidade do ambiente, retratado na Figura 19, talvez seja o que apresenta a maior discrepância entre os dois módulos de sensores que realizavam essa medida. Os altos níveis de claridades observados pelo nodo “4” (Luminosidade 2) no período da tarde são coerentes com a orientação da leiteria no terreno, que está retratada conforme alinhamento com o norte geográfico na Figura 15, e com a maior susceptibilidade a variações de luminosidade do ambiente externo devido ao posicionamento do mesmo ser mais próximo ao limite da área coberta.

Mesmo desconsiderando-se o período em que se observou uma maior diferença entre os valores coletados, o posicionamento distinto entre os sensores ditou uma tendência nas medidas. O comportamento observado demonstra a importância do posicionamento dos sensores, uma vez que esse tem papel de destaque na identificação dos dados coletados.

### 5.1.2.3 Ventilação e Aspersão

Apesar de contarem com sistemas de temporização para a determinação das faixas de atuação dos mecanismos, uma falha elétrica comprometeu tais acionamentos de modo que os ventiladores precisavam ser acionados e desligados manualmente no período em que se sucedeu o teste de campo, o mesmo vale para a atuação dos aspersores, que mantiveram apenas o comportamento de ficarem abertos por 5 segundos por intervalos distantes em 20 segundos quando acionados. Em função da temperatura amena e do clima não chuvoso, apenas parte dos ventiladores precisou ser acionada para assegurar a preservação da qualidade da cama.

Mesmo que um erro de utilização da ferramenta de software tenha comprometido a exportação de registro de acionamento dos aspersores, sabendo-se que os mesmos são ativados principalmente nos dois períodos em que a alimentação dos animais é repostada, isso é, após os períodos de ordenha, pela manhã e próximo do final da tarde, pode-se observar os impactos de tal mecanismo nos valores de temperatura e umidade. A ativação da aspersão tem seu impacto mais notável no sensor de umidade posicionado próximo da linha do cocho, especialmente no período da tarde, mas também no início da manhã, mesmo que de forma menos significativa.

Existem evidências para se acreditar que a aspersão também impacta a temperatura ambiente nas áreas imediatamente adjacentes, conforme sugere a curva da Figura 17. De qualquer forma, a validação de tais possibilidades exige um acompanhamento prolongado das dinâmicas envolvidas.

## 6 POSSIBILIDADES DE TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo estão brevemente descritas algumas possibilidades vislumbradas para o presente projeto. As opções para continuidade do projeto desenvolvido se estendem tanto no sentido de aprimorar a proposta atual, como também de expandi-la e de permitir que ela se adeque a eventuais alterações nas instalações. A flexibilidade e abrangência possibilitada pelo projeto fica evidente pelas possibilidades de modificação e incremento ao trabalho apresentadas nos parágrafos que seguem.

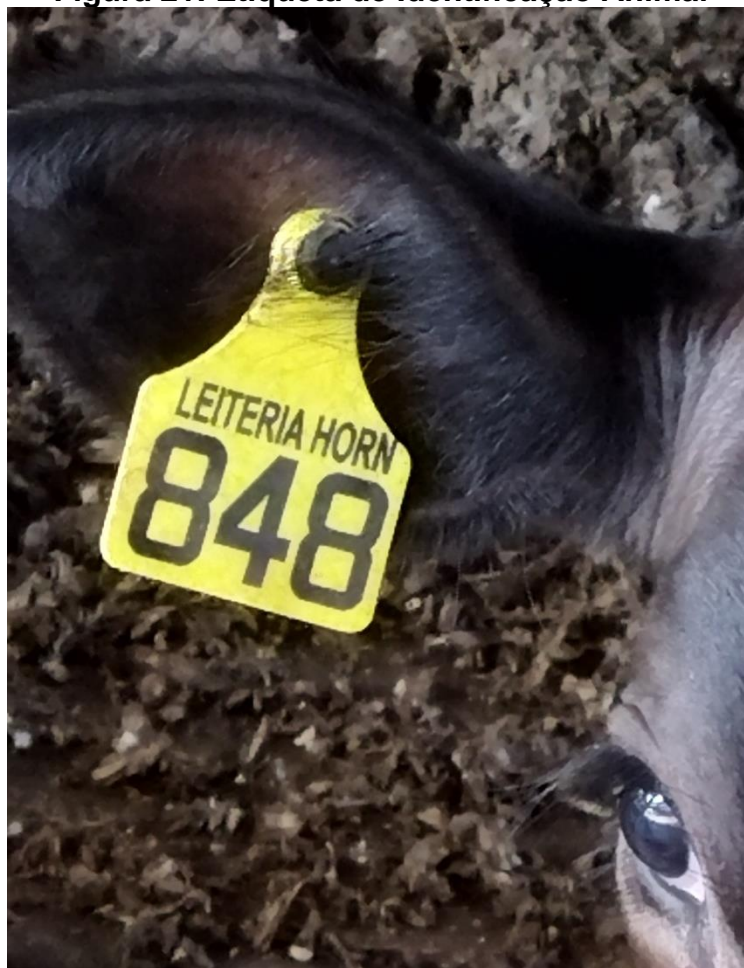
No que tange a possíveis adições frente a projetos pendentes na leiteria, está a integração dos dados dos diferentes sistemas utilizados na leiteria em uma aplicação de IoT para acompanhamento de variáveis. Tais sistemas impactados seriam o acompanhamento de produtividade por animal, que é indicado pelas ordenhadeiras, mas não fica registrado eletronicamente, exigindo que se tome nota dos valores obtidos e o acompanhamento da geração fotovoltaica de energia que está prevista para ser instalada ao longo do próximo ano.

Outro projeto possível para o futuro da propriedade é o fechamento das laterais, de modo a criar uma espécie de túnel, tornando mais barato em termos energéticos secar a acama por meio de ventilação forçada. Nesse cenário, o monitoramento das concentrações de gases potencialmente nocivos teria maior ênfase. Apesar do presente trabalho já apresentar uma solução para esse caso, sua relevância seria bastante maior, podendo se usar a detecção de tais concentrações para o acionamento de alarmes ou atuadores.

A individualização da ativação dos aspersores, bem como a implementação de uma lógica de acionamento baseada nas variáveis de temperatura e umidade no ambiente talvez seja a possibilidade mais flexível em termos de abordagem. Além de um comando de acionamento desencadeado pela validação de certas condições via software, a implementação de recursos para determinar o acionamento pode adotar recursos distintos para identificar quando acionar, ou não, cada um dos bicos de aspersão. Além de se individualizar os atuadores das válvulas, a detecção da presença de animal junto ao cocho pode ser efetuada por sensor de presença, ou

ainda, até mesmo pela identificação do animal específico por meio da etiqueta de identificação (Figura 21) que todos eles apresentam na orelha, a qual já possui modelos disponíveis que integrem recursos como NFC.

**Figura 21: Etiqueta de Identificação Animal**



Fonte: O autor.

A utilização de NFC permite ainda a possibilidade de que se crie um acompanhamento individualizado do padrão de alimentação de cada animal, uma vez que permitiria determinar a frequência com a qual o mesmo se dirige ao cocho, tanto para procurar por água, como por comida.

Por fim, a já visitada possibilidade de acumulação de medições no longo prazo permite que se crie uma base de dados de modo de que sobre a tal seja possível buscar por padrões dentre as variáveis monitoradas a fim de melhor entender a dinâmica entre elas e resultados como produtividade de leite ou até mesmo percepção de conforto animal. Uma base de dados suficientemente robusta ainda se apresenta



como o elemento primordial para a implementação de atuações, ou apenas acompanhamento, buscando compreender as dinâmicas envolvidas na leiteria por meio de *Machine Learning* ou outros recursos semelhantes.

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de otimizar o processo de verificação das condições do ambiente de criação dos bovinos, permitindo que a verificação pudesse ser feita remotamente e com maior precisão. Na propriedade adotada como modelo, este acompanhamento se dá de maneira presencial e dependente da percepção da pessoa encarregada pelo monitoramento.

Partindo dessa dificuldade, se propôs um mecanismo de acompanhamento que permita flexibilizar a rotina do produtor ao oferecer possibilidades de uma plataforma para acompanhamento remoto e automatização de processos.

Tendo em vista os resultados obtidos, observa-se que o objetivo de propor uma solução escalável para acompanhamento da situação das instalações remotamente foi atingido plenamente. Ainda, dentro desse modelo proposto, deslumbra-se a possibilidade de os dados coletados localmente desencadearem a ativação de atuadores, e também podendo ser fonte futura para análise de dados coletados. Foi possível verificar as capacidades da comunicação LoRa como alternativa para IoT em distâncias longas, mesmo ao utilizar um hardware financeiramente acessível e amplamente disponível. Ao mesmo tempo, a utilização do protocolo MQTT se mostra adequada para projetos de magnitudes variadas devido a sua grande escalabilidade e flexibilidade.

Dessa forma, o trabalho desenvolvido não só ofereceu possibilidades, como testou uma possível implementação em campo, encontrando limitações e também pontos positivos na abordagem. O capítulo de possibilidades futuras também oferece uma amostra do panorama otimista para IoT se tornar cada vez mais presente em aplicações sejam elas industriais, comerciais, ou ainda residenciais uma vez que as ferramentas disponíveis se mostram funcionais e capazes.

## REFERÊNCIAS

Anatel, Resolução nº680 de 27 de junho de 2017, (2017). Disponível em: <https://espectro.org.br/sites/default/files/downloads-legislacao/Anatel%20-%20Resolucao%20680%2C%20de%2027%20de%20junho%20de%202017.pdf>  
Acessado em 21/11/2021.

BARBERG, A., ENDRES, M., JANNI, K.. (2007). Compost Dairy Barns in Minnesota: A Descriptive Study. *Applied Engineering in Agriculture*. 23. 231-238. 10.13031/2013.22606.

BARBOSA, O. R., BOZA, P. R., SANTOS, G. T. dos, SAKAGUSHI, E. S., & RIBAS, N. P. (2008). Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da raça Holandesa durante o verão. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 26(1), p.115-122.

BERMAN, A. (1973): Critical temperatures in lactating dairy cattle: A new approach to an old problem. *Int J Biometeorology*, v.17, p.167–176 (1973)

BOR, M.; VIDLER, J.; ROEDIG, U. *LoRa for the Internet of Things*. EWSN 2016 Junction Publishing, AUT, p.361-366.

Bosch-Sensortec, BME 280 Digital umidity, pressure and temperature sensor, BST-BME280-DS002-15, (2018). Disponível em: <https://www.mouser.com/datasheet/2/783/BST-BME280-DS002-1509607.pdf>  
Acessado em 21/11/2021.

Chastain, J.P., and R.S. Hiatt. "Supplemental Lighting for Improved Milk Production. National Food and Energy Council, 1998.

Embrapa. "Sistema Compost Barn: caracterização dos parâmetros de qualidade do leite e mastite, reprodutivos, bem estar animal, do composto e econômicos em condições tropicais". 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/209863/sistema-compost-barn-caracterizacao-dos-parametros-de-qualidade-do-leite-e-mastite-reprodutivos-bem-estar-animal-do-composto-e-economicos-em-condicoes-tropicais> Acessado em 21/11/2021.

Espressif Systems, ESP32 Series Datasheet, version 3.8 (2021). Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)  
Acessado em 21/11/2021.

Heltec Automation, WiFi LoRa 32 (V2), By Info (2018). Disponível em <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/> Acessado em 21/11/2021.

IBRAHIM, Dragan. The Complete ESP32 Projects Guide. 1a. ed. [S.l.]: Elektor Digital, 2017.

KOLBAN, Neil. Kolban's book on ESP32. [S.l.]: Leanpub, 2018.

LOUREIRO, A. A. et al. (2003). Redes de sensores sem fio. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores.

PENEV, T.; RADEV, V.; SLAVOV, T.; KIROV, V. Effect of lighting on the growth, development, behavior, production and reproduction traits in dairy cows. International Journal of Current Microbiology and Applied Science. 3. 798-810, 2014.

ROENFELDT, S. You can't afford to ignore heat stress. Dairy Manage, v.35, n.5, p.6-12, 1998.

ROHM Semiconductor, Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC, (2011)

SCHWAB, K.; *The Fourth Industrial Revolution*, Currency, 2017

Semtech Corporation. LoRa Modulation Basics— Application Note 1200.22, Revision 2; Semtech Corporation: Camarillo, CA, USA, 2015. Disponível em: <https://www.frugalprototype.com/wp-content/uploads/2016/08/an1200.22.pdf> Acessado em 21/11/2021.

SILVA, G. D. Análise da tecnologia de conectividade em longa distância Lora® para a internet das coisas. Trabalho de conclusão de curso da UFFS.

VANGELISTA, L., ZANELLA, A. e ZORZI M., "Long-range IoT technologies: The dawn of LoRa", Springer, 2015.

YHDC, SCT013 Split core current transformer, PoweUC. Disponível em <https://en.yhdc.com/product/SCT013-401.html> Acessado em 21/11/2021.

YOULSEF, M. K. Stress physiology in livestock. Boca Raton: CRC Press, 1985.