



**EDUARDO DA SILVA AFONSO**

**SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA  
MONITORAMENTO E CONTROLE DE  
AMBIENTE TÉRMICO EM INSTALAÇÃO DE  
SUINOCULTURA**

**LAVRAS – MG**

**2021**

**EDUARDO DA SILVA AFONSO**

**SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO E CONTROLE  
DE AMBIENTE TÉRMICO EM INSTALAÇÃO DE SUINOCULTURA**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências da  
conclusão do curso de Graduação em  
Engenharia de Controle e Automação.



Prof. Dr. Benisario Nina Huallpa

Orientador

*Leonardo Schiassi*

Prof. Dr. Leonardo Schiassi

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2021**

**EDUARDO DA SILVA AFONSO**

**SISTEMA DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO E CONTROLE  
DE AMBIENTE TÉRMICO EM INSTALAÇÃO DE SUINOCULTURA  
LOW COST SYSTEM FOR MONITORING AND CONTROLLING THE  
THERMAL ENVIRONMENT IN A SWINE FACILITY**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências da  
conclusão do curso de Graduação em  
Engenharia de Controle e Automação.

APROVADA 20 de maio de 2021.

Dr. Belisario Nina Huallpa - UFLA  
Dr. Leonardo Schiassi - UFLA  
Dr. Rony Antonio Ferreira - UFLA  
Dr. Bruno de Abreu Silva - UFLA

Prof. Dr. Belisario Nina Huallpa  
Orientador

Prof. Dr. Leonardo Schiassi  
Co-Orientador

**LAVRAS – MG  
2021**

*Dedico aos professores que possam vir a utilizar esse trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço o apoio dos meus orientadores e dos meus amigos Daniel, Djony, Elisée e Chris

## RESUMO

O alto consumo mundial de proteína animal e a crescente demanda de alimentos oriundos de sistemas de criação trazem a motivação para este trabalho, o qual tem o objetivo de implementar um sistema de monitoramento e controle visando o bem estar animal em instalações de suinocultura. A proposta deste trabalho foi utilizar equipamentos e recursos de baixo custo, entre eles: Raspberry, NodeMCU-ESP32, sensores termo-higrômetro do modelo DHT22 e serviços de computação em nuvem . As diversas funcionalidades do sistema englobam alarmes, relatórios, monitoramento em tempo real e controle de temperatura. Partes desses recursos também são disponibilizados online através de uma aplicação web. A coleta dos dados foi feita durante sete dias no mês de janeiro e foi calculado o índice de temperatura e umidade para determinar o conforto térmico do local. Assim, este trabalho busca contribuir de maneira significativa para a pesquisa e atividades de campo em pequenas, médias e grandes propriedades de suinocultura brasileira, implementando uma solução de custo baixo.

**Palavras-chave:** Monitoramento. Controle. Temperatura. Umidade. Suinocultura. Baixo custo.

## ABSTRACT

The high worldwide consumption of animal protein and the growing demand for food from breeding systems bring the motivation for this work, which aims to implement a monitoring and control system aiming at animal welfare in pig farming facilities. The purpose of this work was to use low cost devices and resources, including: Raspberry, NodeMCU-ESP32, DHT22 thermo-hygrometer sensors and cloud computing services. The functionalities of the system include alarms, reports, real-time monitoring and temperature control. Some of these resources are also made available online through a web application. Data collection was carried out for seven days in January and the temperature and humidity index was calculated to determine the thermal comfort of the place. Thus, this work seeks to contribute significantly to research and field activities in small, medium and large pig farms in Brazil, implementing a low cost solution.

**Keywords:** Monitoring. Control. Temperature. Moisture. Pig farming. Low cost.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Diagrama de bloco das funcionalidades de cada elemento. . .	15
Figura 4.2 – Painel elétrico instalado. . . . .	17
Figura 4.3 – Equipamento com NodeMCU-ESP32 e DHT22 embarcados. .	17
Figura 4.4 – Arquitetura do Sistema. . . . .	19
Figura 4.5 – Instalação experimental - UFLA . . . . .	20
Figura 5.1 – Diagrama de bloco das ligações do sistema. . . . .	22
Figura 5.2 – Painel elétrico aberto com os equipamentos usados . . . . .	23
Figura 5.3 – Plataforma Web . . . . .	24
Figura 5.4 – Bot do Telegram. . . . .	25
Figura 5.5 – Página de Alarmes. . . . .	26
Figura 5.6 – Relatório gerado pelo localhost. . . . .	28
Figura 5.7 – Relatório da plataforma. . . . .	29
Figura 5.8 – Página do configuração do Controle da Ventilação. . . . .	30
Figura 5.9 – Página de monitoramento via celular. . . . .	31
Figura 5.10 – Página de monitoramento via computador. . . . .	32
Figura 5.11 – Dados do Setor 1 . . . . .	33
Figura 5.12 – Dados do Setor 2. . . . .	33
Figura 5.13 – Dados do Setor 3. . . . .	34
Figura 5.14 – Dados do ambiente externo. . . . .	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Ambiente térmico em instalações para animais confinados</b>	<b>10</b>
<b>2.2</b>	<b>Sistemas de monitoramento</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Internet das Coisas</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo geral</b>	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é uma das principais potências mundiais na suinocultura. De acordo com ABPA (2020), o país gera 4,1 milhões de empregos diretos e indiretos de maneira que dezenas de pequenas cidades no interior de país dependem dessa produção. Parte dos alimentos consumidos pelos brasileiros são de origem suínas tendo um papel fundamental na segurança alimentar da população. Esses dados mostram a importância deste mercado e os reflexos de inúmeras ampliações e melhorias na produção animal.

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) é uma medida usada para compreender a qualidade da produção animal. O ITU se caracteriza pela temperatura, ventilação, qualidade da ração e da água e boas práticas de produção (RSI, 2020). Esse índice aponta também o nível de conforto do ambiente e o impacto que traz na produção animal.

O conforto térmico busca o bem estar do animal para que seja possível alcançar maior produção e economia de alimento através do estudo e controle de variáveis do ambiente. Valores de temperatura e umidade foram definidos através de estudos para definir uma boa prática em determinadas condições. Em estações frias, a temperatura ideal está entre 16°C e 23°C, tendo uma variação de 3°C, e em estações quentes de 25°C a 30°C em instalações de gado. A umidade interna nas instalações podem variar entre 70% e 85% (NOVIKOV, 2020). Deste modo, o controle dessas variáveis é imprescindível para manter os níveis aceitáveis.

O modo manual e temporizado de controlar a temperatura e umidade do ambiente são usados em larga escala, considerados também tradicionais e de baixo custo (CHEN, 2019). Contudo, não se adaptam em situações de sazonalidade e mudanças climáticas. Ambos podem demandar configurações diferentes, gerando um custo maior de hora trabalhada e imprecisão em partes do ambiente. Neste último caso, os microclimas são afetados diretamente, pois os impactos são imediatos, principalmente na temperatura (NOVIKOV, 2020). O controle manual ou

temporizado pode ser melhorado para um sistema que dependa menos de configurações e possa trazer mais informações sobre o ambiente e o animal.

Em um trabalho feito na Universidade de Ciência e Tecnologia de Pingtung de Taiwan visando monitorar automaticamente o meio ambiente com gado leiteiro, observou-se uma alteração na produção de leite segundo as mudanças climáticas do local. Houve uma redução de 0,6481 L/dia na média da produção de leite por vaca em épocas mais quentes e úmidas (agosto) e um aumento de 0,6481 L/dia por vaca para cada redução de 1°C sob estresse moderado de calor, entre 80 e 89 índice de temperatura e umidade (CHEN, 2019). Esse trabalho obteve informações importantes contudo utilizando componentes que encarecem o experimento, tais como: controladores lógicos programáveis (CLP), interface homem-máquina (IHM) e computador desktop.

Em contrapartida, trabalhos na área de Smart Agriculture system e Internet of Things (IoT) têm sido feitos utilizando equipamentos de baixo custo. Diversas aplicações na agricultura e pecuária são possíveis. Entre elas, um estudo feito na Indonésia implementou uma solução utilizando dados de sensores sem fio para controlar e monitorar através de aplicativo Android e website (ATMAJA et al., 2021). Foram usados microcontroladores (Arduino e ESP01) conectados a sensores (DHT11) e um computador de baixo custo (Raspberry pi) para processar os dados, sendo todos conectados a internet. Concluíram que essa arquitetura foi muito eficiente para distância de até 30 metros entre os dispositivos.

A proposta deste trabalho se baseia em um viés tecnológico aplicado à suinocultura, propondo uma solução automática de baixo custo que visa contribuir com o bem estar animal. O sistema desenvolvido neste trabalho é composto por funcionalidades que permitam ao usuário ter mais informações do meio através de histórico, relatórios, alarmes, controle, ambiente online (plataforma Web) e offline (local).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo, serão abordados as áreas fundamentais para o entendimento deste trabalho. A Seção 2.1 descreve aspectos sobre o ambiente térmico em instalações para animais confinados, a Seção 2.2 aborda trabalhos utilizando sistemas de monitoramento e, por fim, a Seção 2.3 explora os trabalhos de Internet das Coisas (IoT). Todas essas áreas estão correlacionadas ao sistema apresentado neste trabalho.

### 2.1 Ambiente térmico em instalações para animais confinados

O ambiente térmico em instalações é um assunto de interesse da comunidade científica e produtores, os quais visam o desenvolvimento de novas evidências e tecnologias para a área.

O trabalho de Amaral et al. (2020) propõe um estudo dos sons produzidos por suínos para identificar zonas térmicas neutras. Busca-se também fazer um comparativo entre a temperatura de bulbo seco do ar e de nível de pressão sonora produzidos pelos leitões a fim de propôr outros indicadores para caracterizar o ambiente térmico. Outra evidência levantada no trabalho foi a qualidade do ar que se mostrou um ponto importante, pois interfere no bem estar animal e na eficiência da produção. Deste modo, o monitoramento e controle da qualidade do ar se faz necessário segundo o estudo.

Segundo Guesine et al. (2021), o ambiente térmico pode ser correlacionado com a frequência respiratória dos animais com o intuito de evidenciar a eficiência do sistema do ponto de vista do conforto térmico. Para tanto, a coleta de dados foi feita durante 30 dias, ocorrendo 30 minutos antes de cada ordenha (03:30, 11:30 e 18:30) em uma fazenda comercial produtora de leite. O resultado evidenciou uma diferença significativa no ambiente externo e no interno.

"O fato de a entalpia ser maior no interior do galpão, nos leva a considerar que a quantidade de calor produzida oriunda dos

animais, da fermentação da cama e dos diversos elementos que contribuem para o aumento do calor interno é considerável."(GUESINE et al., 2021)

Os autores concluíram que os animais tiveram um conforto térmico médio, devido às alterações ambientais evidenciadas pela mudança na frequência respiratória.

## 2.2 Sistemas de monitoramento

O sistema de monitoramento para ambiente térmico está ligado ao avanço tecnológico. Diversos trabalhos buscam desenvolver equipamentos de baixo custo mantendo a mesma qualidade dos produtos comerciais para que sejam viabilizadas pesquisas de ambiência em diversas realidades.

As publicações na área de bem estar utilizando monitoramento têm sido acentuado entre os anos de 2016 e 2020 (LARSEN; WANG; NORTON, 2021). Os desenvolvimentos são voltados para extração e análise dos dados, utilizando sensores que não estão em contato com os animais, tais como: câmeras e microfones (AMARAL et al., 2020).

O trabalho de Cruz et al. (2021) propõe o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para diagnosticar a condição do conforto térmico. A pesquisa foi orientada em três fases. A primeira fase é a aquisição de dados utilizando a temperatura de bulbo seco, umidade relativa e pressão atmosférica. A segunda fase trata-se da implementação das lógicas que determinam o conforto térmico utilizando os dados da fase 1. A terceira fase é a interface homem-máquina que permite ao usuário visualizar os dados através de um aplicativo na plataforma Android.

Os dispositivos usados foram a plataforma de desenvolvimento Arduino® para processar as lógicas, termo-higrômetro DHT11 para sensorear o ambiente, display LCD para visualizar os dados, módulo RTC (relógio) e cartão SD para gravar os dados. O custo do desenvolvimento foi em torno de R\$ 153,50 considerado 86% menor que o valor do dispositivo comercial que não contém a função

de análise dos dados. As principais vantagens desse dispositivo, segundo o autor, foram: considerar as várias espécies e fases de reprodução, o estresse por calor é monitorado remotamente e em tempo real, dispositivo de baixo custo e eficaz.

O levantamento do trabalho de Larsen, Wang e Norton (2021) constata que existe um alto potencial no desenvolvimento de tecnologias que contribuam na aquisição de informação para a qualidade do bem estar animal. Assim, observa-se uma frente de pesquisa a ser explorada.

### **2.3 Internet das Coisas**

A internet das coisas conhecida como IoT (Internet of Thing) tem se mostrado uma enorme aliada no monitoramento de ambientes, uma vez que essa tecnologia foi desenvolvida também com esse propósito, além de análise, automação e controle. Os trabalhos envolvendo IoT em confinamento focalizam-se normalmente em monitoramento e análise de dados.

A câmera é um sensor de monitoramento por excelência e permite diversas aplicações incluindo captação e análise de imagens com o objetivo de levantar problemas de doenças e desconforto ambiental. Por vezes, esses fatores levam os animais a morte, entre eles: os suínos (HUA et al., 2021). A redução da probabilidade do adoecimento acarretam em economia de recursos, redução da mortalidade e previsibilidade na produção. Para tanto, faz-se necessário criar uma estrutura para que essas informações sejam obtidas de maneira segura e confiável.

A arquitetura de IoT não tem um modelo universal, pois trata-se de soluções personalizadas, escaláveis, utilizáveis e seguras. A estrutura utilizada em Hua et al. (2021) é semelhante às três fases de Cruz et al. (2021), passando por uma camada de percepção correspondendo à fase 1, camada de transporte sendo uma mistura da fase 1 com a fase 2 e a camada de aplicação que é referente a fase 3. Contudo, é possível encontrar sistemas mais robustos que exploram mais recursos.

A utilização do conceito de plataforma engloba uma série de funcionalidades como mostrada em Gu et al. (2020). Esse trabalho propõe uma plataforma para ambientes com suínos, permitindo uma otimização da produção dos animais através do gerenciamento tanto do ambiente quanto dos animais. Segundo o autor, a plataforma tem as seguintes funcionalidades: gerenciamento dos ativos, monitoramento de doenças, relatórios e intercomunicação entre usuário e aplicação. Essa solução inclui também computação em nuvem, inteligência artificial e uma rede com internet. Apesar da robustez dessa aplicação, existem pontos em comum com os outros trabalhos, tais como: camada de percepção, sistema de análise de dados e a camada de aplicação.

Existem semelhanças entre as aplicações IoT e algumas diferenças, sendo que essas permitem que os desenvolvedores possam adequar a solução de acordo com as necessidades do usuário. Deste modo, a implementação tende a se tornar otimizada e focalizada nos problemas específicos do usuário.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Desenvolver um sistema de monitoramento e controle de temperatura e umidade relativa do ar em instalação comercial de suínos.

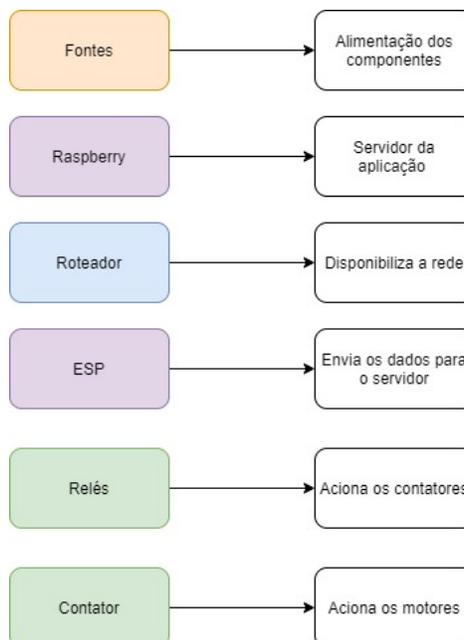
#### **3.2 Objetivos específicos**

Desenvolver uma plataforma de acesso remoto ao sistema desenvolvido, com leitura dos dados coletados e acesso a alertas de possíveis falhas. Testar o sistema desenvolvido em uma instalação experimental de suínos na fase de gestação. Analisar os dados ambientais obtidos durante as coletas de campo.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto tem como proposta central o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para monitoramento e controle de ambiente térmico em instalação de suinocultura, visando o bem estar animal. A proposta é composta por uma parte física que contém contadores, roteador, relés, fontes, NodeMCU-ESP32s, DHT22 e Raspberry pi 3 e outra parte de *softwares* embarcados. Os elementos da figura 4.1 demonstram a funcionalidade de cada parte do sistema. A fonte é responsável por alimentar o Raspberry e os sensores, o Raspberry é o servidor da aplicação juntamente com banco de dados, Roteador fornece uma rede Wifi para comunicação entre os dispositivos, ESP é o módulo que trata e envia os dados para o servidor, Relés acionam os contadores e os Contadores são ligados e acionam os motores.

Figura 4.1 – Diagrama de bloco das funcionalidades de cada elemento.



Fonte: O autor (2021)

Os dois elementos centrais no sistema implementado são NodeMCU-ESP32s e Raspberry, os quais são responsáveis pelo processamento da informação e comunicação. O NodeMCU-ESP32s é um microcontrolador com um módulo ESP32s que tem suporte a Wi-Fi e o Raspberry é um computador de baixo custo com processador ARM. Ambos os dispositivos têm pinos de entrada e saída para conectar sensores e atuadores.

Esses componentes já foram utilizados para validar resultados em experimentos em campo, fazendo uso dos seguintes dispositivos: Raspberry e DHT11 (versão antiga do DHT22), juntamente com rede Wi-Fi e exibição de dados via *dashboard* (RAHMAN et al., 2020).

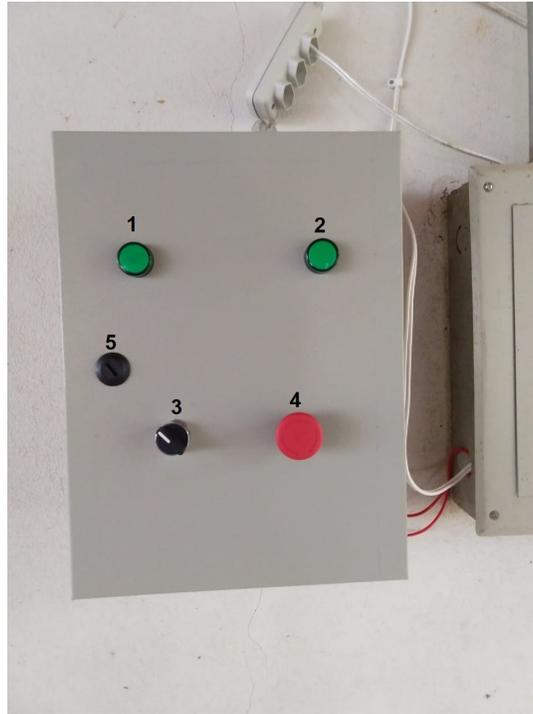
Os componentes selecionados para este projeto foram embarcados em um painel elétrico para garantir a proteção e o funcionamento dos equipamentos, além de evitar acidentes com os usuários. O painel tem uma vedação de borracha e uma tranca na porta (5) figura 4.2, mantendo os hardwares mais seguros.

A parte frontal do painel elétrico é composto por uma botoeira preta seletora (3) que liga e desliga o sistema, um botão vermelho de emergência (4) e sinaleiras verdes (1 e 2) que indicam o estado do aspersor e dos ventiladores, como mostrado na figura 4.2.

O envio e o tratamento dos dados são feitos pelo NodeMCU-ESP32s conectado ao sensor de umidade e temperatura DHT22, visto na figura 4.3. Esse dispositivo procede da seguinte maneira: se conecta ao Wi-Fi, verifica a integridade do dado do sensor e envia as informações para o Raspberry a cada um segundo.

A popularização da computação em nuvem trouxe uma imensa praticidade para o desenvolvimento. Uma das aplicações de *cloud computing* busca utilizar servidores em nuvem e comunicação wireless entre dispositivos para automatizar processos de irrigação em fazendas (VIJ et al., 2020). Deste modo, buscou-se acompanhar essas tendências tecnológicas buscando minimizar custos e aumentar a segurança do sistema.

Figura 4.2 – Painel elétrico instalado.



Fonte: O autor (2021)

Figura 4.3 – Equipamento com NodeMCU-ESP32 e DHT22 embarcados.



Fonte: O autor (2021)

As tecnologias utilizadas nesse trabalho são Node.js, Node-red, PostgreSQL, MQTT e C/C++, além de Google Cloud Platform (GCP) computação em nuvem. Node.js é um software multiplataforma de código aberto. Node-red é uma ferr-

menta de desenvolvimento baseada em fluxo. PostgreSQL é o banco de dado relacional utilizado. MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo de transporte para redes TCP/IP. GCP é a plataforma do Google para computação em nuvem.

A plataforma web foi desenvolvida usando Node.js e hospedada na infraestrutura da GCP. Ela utiliza um banco de dados em tempo real na nuvem bem como certificado de hospedagem segura na web. A parte do sistema que não utiliza internet é composto por Node-red, juntamente com o banco de dados PostgreSQL. Os protocolos de comunicação utilizados são o MQTT para envio de dados dos sensores para o servidor e HTTPS para enviar informações do servidor para a plataforma, pois o Raspberry tem acesso à internet via cabo de rede.

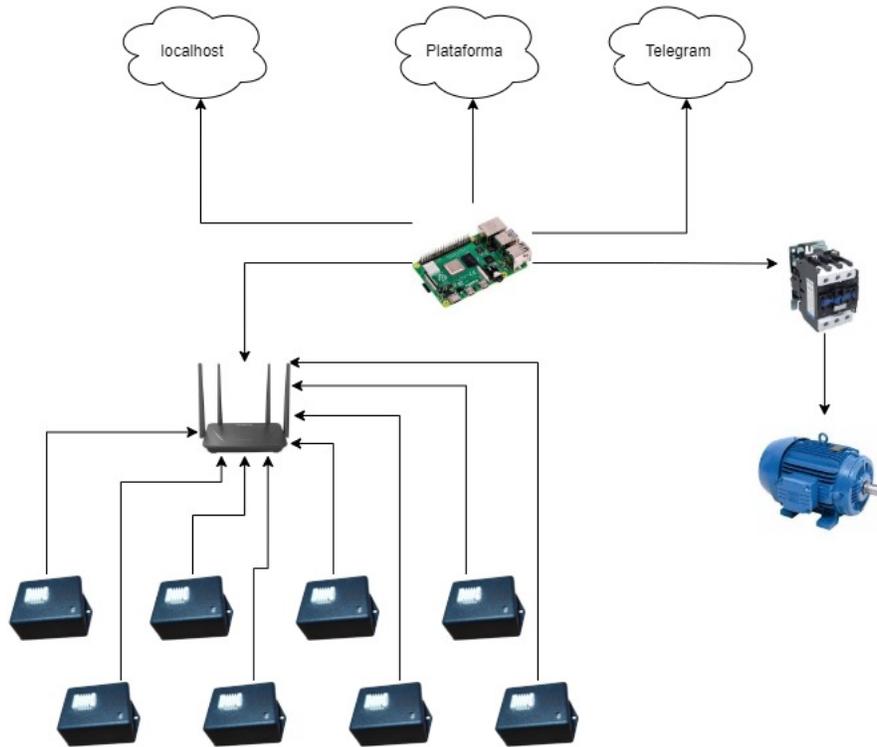
O sistema de alarme implementado localmente envia notificações para um bot do Telegram, caso os valores de temperatura e umidade ultrapassem os patamares críticos por padrão. Esses limites foram definidos em quatro classes: superior 29 °C, superior crítico 31 ° C, inferior 16 ° C e inferior crítico 14 ° C (NOVIKOV, 2020).

Os componentes utilizados permitem criar um ambiente flexível devido as multifuncionalidades de cada equipamento, entretanto foi escolhida uma arquitetura específica para garantir um fluxo que evite perdas no processo de coleta de dados, pois todos os dados passam pelo Raspberry e depois são direcionados para a nuvem.

A arquitetura da solução foi concebida como na figura 4.4. O roteador tem um papel fundamental, pois é responsável pela comunicação entre o Raspberry e os NodeMCU-ESP32s. O Raspberry aciona os motores de maneira indireta, pois passa primeiramente por relés de estado sólido, seguido por contadores e ao final ligado, efetivamente, aos motores.

As três nuvens na figura 4.4 representam três serviços disponibilizados pelo sistema. O "localhost" é uma aplicação local em que o usuário pode se co-

Figura 4.4 – Arquitetura do Sistema.



Fonte: O autor (2021)

nectar utilizando um *browser*. O IPAddress do Raspberry na porta padrão 8080 é usado como endereço para acessar a aplicação. O sistema local comporta vários usuários simultaneamente conectados e mantém o *dashboard* atualizado caso haja alterações nas configurações ou nos dados. Deste modo, todos terão a aplicação no seu estado mais atualizado evitando conflitos de configurações. O serviço local é iniciado automaticamente quando o Raspberry é ligado e mantido disponível enquanto o mesmo não for desligado.

O trabalho se desdobrou em duas etapas, em um primeiro momento foram criadas as aplicações com suas respectivas infraestruturas. Posteriormente, inicia-se um período de testes e validação da solução.

A instalação experimental de gestação de suínos da UFLA foi usada como local de testes, pois atualmente apresenta a infraestrutura necessária, tal como:

rede elétrica, ventiladores, sistema de umidificação com aspersores. O local do experimento tem livre circulação de ar, um telhado de alvenaria sendo um ambiente planejado para confinamento de suínos, como visto na figura 4.5. O sistema foi dividido em três setores de acordo com o posicionamento dos ventiladores, de modo que fiquem acima do cano de aspersão e possam captar a temperatura de cada setor. Note que a figura 4.5 ilustra a organização dos setores em relação ao ventilador e o cano para aspersão. Assim, é possível obter uma média da instalação experimental com menores erros se usado apenas um sensor para todo o ambiente.

Figura 4.5 – Instalação experimental - UFLA



Fonte: Foto tirada na visita técnica

Houve duas etapas presenciais na instalação experimental sendo a primeira para verificar as características do ambiente e a segunda para instalar os equipamentos da solução.

Na primeira etapa, uma visita técnica foi feita para coletar informações, tais como: tensão dos ventiladores e motor, distância entre tomadas e os locais representativos para medição de temperatura e umidade.

Na segunda etapa, sensores conectados à plataforma foram instalados para a captação dos dados de temperatura e umidade, gerando histórico para que possam ser analisados pelo usuário. Os sensores foram instalados acima dos canos de água dentro da instalação, de modo a evitar molhá-los e proteger da incidência solar.

Os dados coletados podem ser usados para diversas análises. Uma delas seria utilizar a temperatura e umidade para calcular o índice de temperatura e umidade (ITU) (THOM, 1959). Outra seria a qualidade da instalação e, por fim, qual é a relação do ambiente externo com o bem estar animal. Neste trabalho, foram coletados os dados a cada 1 minuto durante 7 dias no mês de janeiro, iniciando às 9 horas até 17 horas. Posteriormente, foi usado a equação ITU para mensurar o índice de temperatura e umidade.

$$ITU = (0.8 * T + (UR/100) * (T - 14.4) + 46.4) \quad (4.1)$$

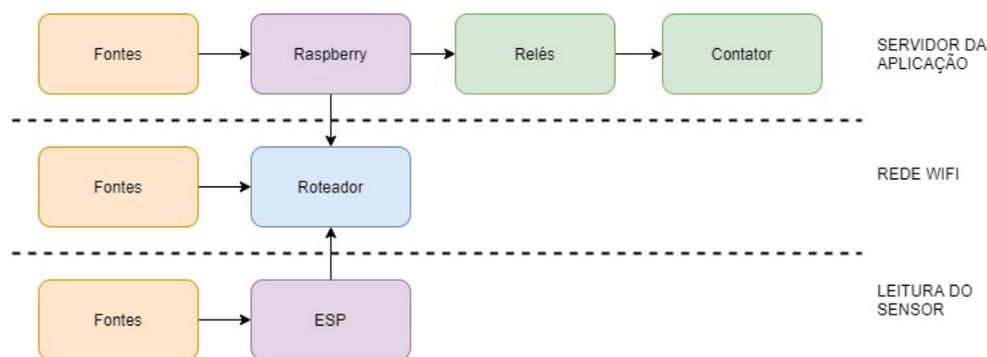
Em que T = temperatura do ar (°C); UR = umidade relativa do ar (%).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A implementação do sistema foi dividida em duas etapas. A primeira refere-se à ligação elétrica. O diagrama da figura 5.1 representa as conexões entre os componentes e a função de cada um.

O Servidor da Aplicação é composta pelo Raspberry, Relés de estado sólido e contadores. Essa parte é responsável pela lógica de controle e implementação da aplicação. A rede wifi apenas necessita do roteador mas é um componente central na comunicação, pois habilita uma rede wifi que permite o envio de dados entre as partes. A Leitura do Sensor é responsável pela coleta das informações, ou seja, são equipamentos de campo conectados na rede wifi.

Figura 5.1 – Diagrama de bloco das ligações do sistema.



Fonte: O autor (2021)

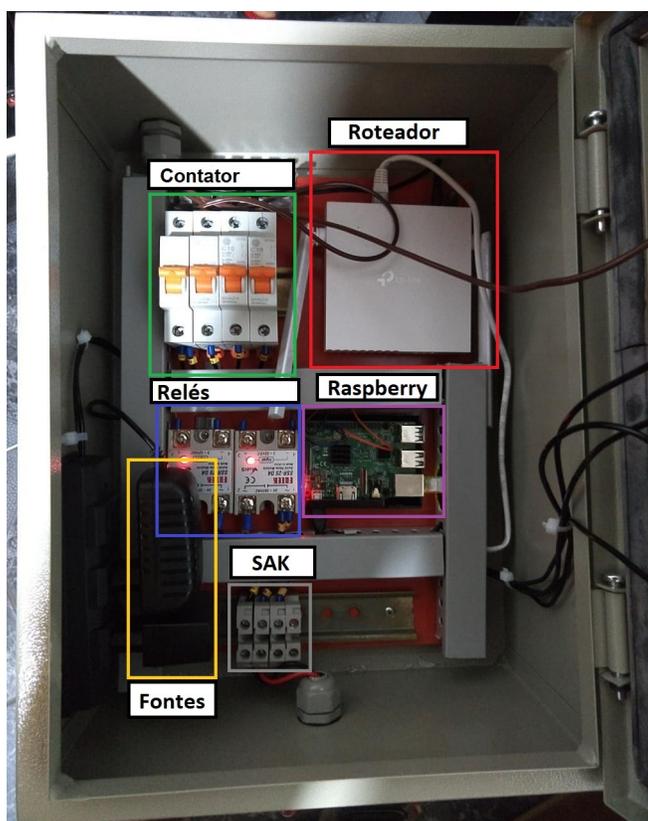
A figura 5.2 ilustra canaletas, disposição dos componentes e fiação. As canaletas foram usadas para passar a fiação e os trilhos din dão suporte à fixação dos dispositivos, conforme distribuição da figura 5.1.

Os contadores e relés são controlados pelo Raspberry e acionam os motores. Essa parte da implementação foi feita utilizando o tipo de controle On/Off. Usou-se um relé conectado a um contador para criar uma progressão no acionamento, saindo de um contato na ordem de 5V para 110/220V. Os elementos são alimentados por fontes separadas que atendem as suas especificações, deste modo

a fonte do Raspberry fornece uma corrente de 3A e a do NodeMCU-ESP32s de 1A.

A figura 5.2 mostra a disposição dos elementos utilizados na conexão. Note que existe um Roteador indicado dentro da borda vermelha ao lado dos contadores. Abaixo, tem-se os relés de estado sólido ao lado do Raspberry. Essa disposição foi escolhida pois o cabeamento se torna mais fácil. As fontes encontram-se no retângulo amarelo ao lado dos conectores SAK que são responsáveis por conectar cabos, evitando emendas.

Figura 5.2 – Painel elétrico aberto com os equipamentos usados

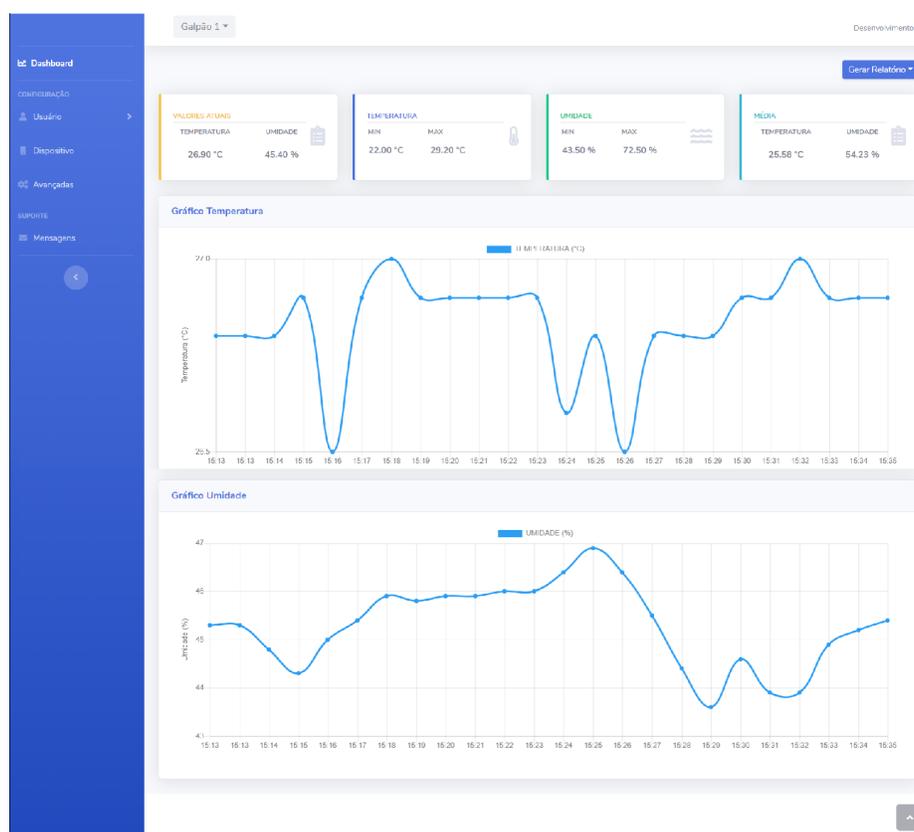


Fonte: O autor (2021)

O ambiente web desenvolvido pode ser acessado por qualquer dispositivo que tenha internet e um *browser* instalado. Esse ambiente está hospedado em um

servidor na nuvem e somente dispositivos conectados ao Raspberry serão visualizados na web. Por razões de segurança, o usuário não pode enviar informações da plataforma web para o Raspberry. Os dados são mostrados em tempo real para o usuário através de um *dashboard* 5.3 e calculado automaticamente o máximo, mínimo e média diário.

Figura 5.3 – Plataforma Web

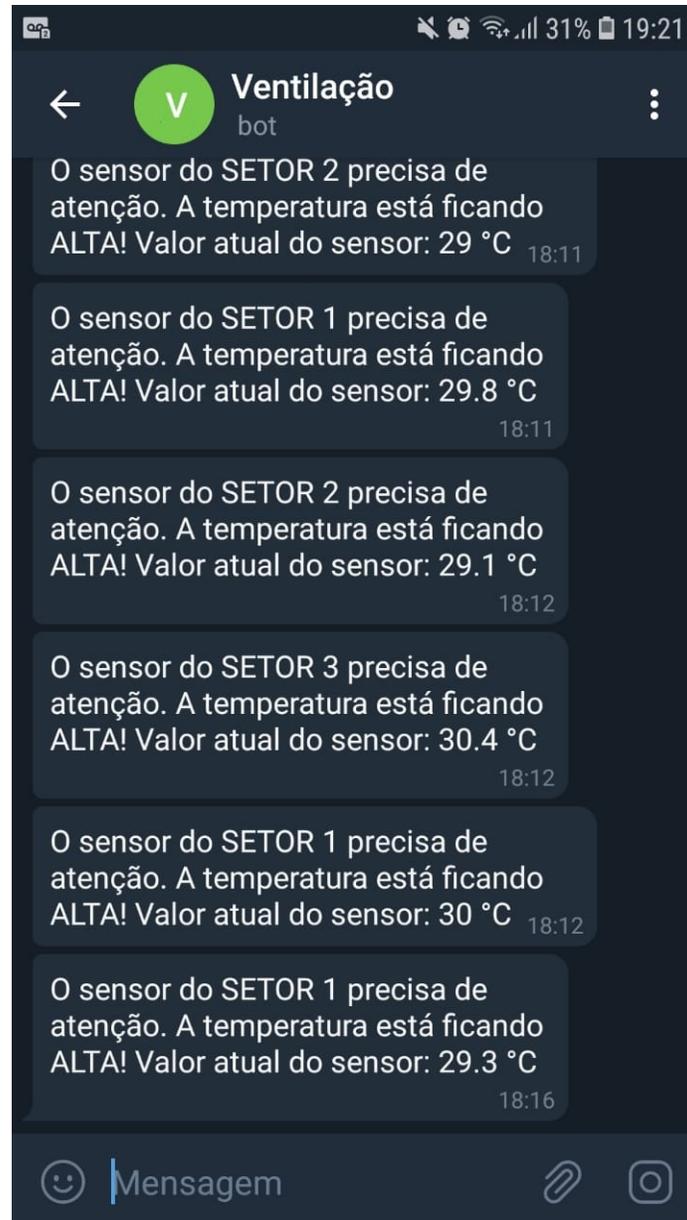


Fonte: O autor (2021)

O serviço de alarmes do Telegram conecta o usuário a um bot, responsável pelo fornecimento de avisos em tempo real. Ele pode ser desabilitado caso o usuário não queira receber as notificações, apesar de não ser uma prática recomendada. O bot envia em tempo real os alarmes caso os valores ultrapassem os limites con-

figurados. A mensagem de alarme é composta pelas seguintes informações: setor, valor da variável, data e hora, como mostrado na figura 5.4.

Figura 5.4 – Bot do Telegram.

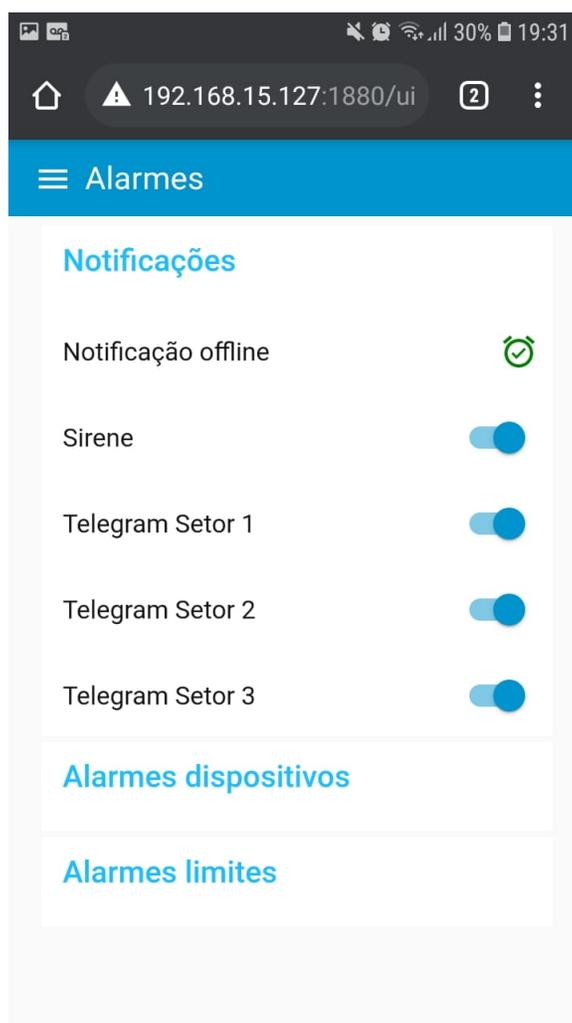


Fonte: O autor (2021)

A funcionalidade de notificações do alarme pode ser desativada, deste modo, deve-se acessar a página de alarmes e desabilitar os ícones, como mostrado na figura 5.5. Contudo, aconselha-se não proceder desta maneira em ambientes críticos.

As funcionalidades da plataforma e do Telegram dependem de acesso à internet. Por isso, o usuário tem acesso à todos os recursos do sistema se estiver online.

Figura 5.5 – Página de Alarmes.



Fonte: O autor (2021)

Existem dois tipos de alarmes no sistema, o primeiro está relacionado aos dispositivo e o segundo aos dados. O primeiro é acionado caso o dispositivo saia da rede ou interrompa o envio de dados por mais de 1 minuto, esse alarme é necessário para manter o sistema de monitoramento e controle funcionando, pois ambos dependem do dado vindo dos dispositivos. O segundo indica se os valores recebidos estão fora dos limites configurados por padrão no sistema, esse alarme está vinculado a possíveis erros ou problemas no ambiente que devem ser verificados presencialmente. A sirene é um elemento opcional, pois em alguns casos evita-se alarmes sonoros para não estressar os animais.

O usuário poderá também acessar o *dashboard* para verificar as medições e o histórico. Para gerar relatórios, deve-se configurar a data inicial e, posteriormente, apertar no botão "Relatório". Esse comando irá criar um arquivo no formato csv. Desta forma, o usuário terá os dados a cada um minuto de acordo com o período selecionado. Esse relatório é gerado com os dados de temperatura, umidade e o *timestamp*, como mostrado na figura 5.6. Note que na coluna A tem o valor da temperatura em graus Celsius, na coluna B a umidade em porcentagem e na coluna C a dia, mês, ano, hora e minuto do envio dos dados. Cada linha representa um conjunto de dados de temperatura e umidade enviado no instante definido pela coluna C.

Alternativamente, o usuário pode gerar o relatório utilizando a plataforma. Para isso, deve apertar o botão do ícone de relatório no *dashboard* e definir as datas, assim será gerado um arquivo em pdf igual ao da figura 5.7 com uma folha de rosto indicando qual dispositivo, a data do relatório e os dados nas páginas seguintes.

A seguir são abordadas a visualização das informações e a configuração do controle, utilizando padrões de telas para que haja uma harmonia e facilidade na compreensão das informações.

Figura 5.6 – Relatório gerado pelo localhost.

	A	B	C
1	Temperatura	Umidade	Tempo
2	29	37.7	26/12/2020 14:03
3	29	37.7	26/12/2020 14:04
4	29	37.7	26/12/2020 14:05
5	29	37.7	26/12/2020 14:06
6	29	37.7	26/12/2020 14:07
7	29	37.7	26/12/2020 14:08
8	29	37.7	26/12/2020 14:09
9	29	37.7	26/12/2020 14:10
10	29	37.7	26/12/2020 14:11
11	29	37.7	26/12/2020 14:12
12	29	37.7	26/12/2020 14:13
13	29	37.7	26/12/2020 14:14
14	29	37.7	26/12/2020 14:15
15	29	37.7	26/12/2020 14:16
16	29	37.7	26/12/2020 14:17
17	29	37.7	26/12/2020 14:18
18	29	37.7	26/12/2020 14:19
19	29	37.7	26/12/2020 14:20
20	29	37.7	26/12/2020 14:21
21	29	37.7	26/12/2020 14:22
22	29	37.7	26/12/2020 14:23
23	29	37.7	26/12/2020 14:24
24	29	37.7	26/12/2020 14:25

Fonte: O autor (2021)

Os sensores situados fora do ambiente fornecem a temperatura e umidade do meio externo. Esses dados têm relação com o meio interno aonde outros sensores fazem medições também. Os sensores externos funcionam como parte de uma pequena estação meteorológica local, permitindo ao usuário identificar imediatamente as variações climáticas.

As condições climáticas externas interferem diretamente no local onde o animal está confinado e, por consequência, gera vários impactos no sistema. Entre eles, o aumento ou redução do consumo de energia dependendo das condições climáticas do dia.

A configuração do controle dos motores foi implementada de acordo com os requisitos do sistema, buscando acompanhar o padrão visual das outras telas.

O controle dos motores é uma parte da solução que interfere no meio a fim de manter a temperatura ideal. A configuração do controle é feita, primeiramente, definindo o valor ideal (setpoint). Uma senha de segurança também foi criada para

Figura 5.7 – Relatório da plataforma.

Dia	Hora	Temperatura Máxima	Hora	Temperatura Mínima	Média da Temperatura
23	18:02	28.60 °C	15:57	18.60 °C	22.22 °C

Dia	Hora	Umidade Máxima	Hora	Umidade Mínima	Média da Umidade
23	15:57	73.00 %	17:16	43.90 %	60.22 %

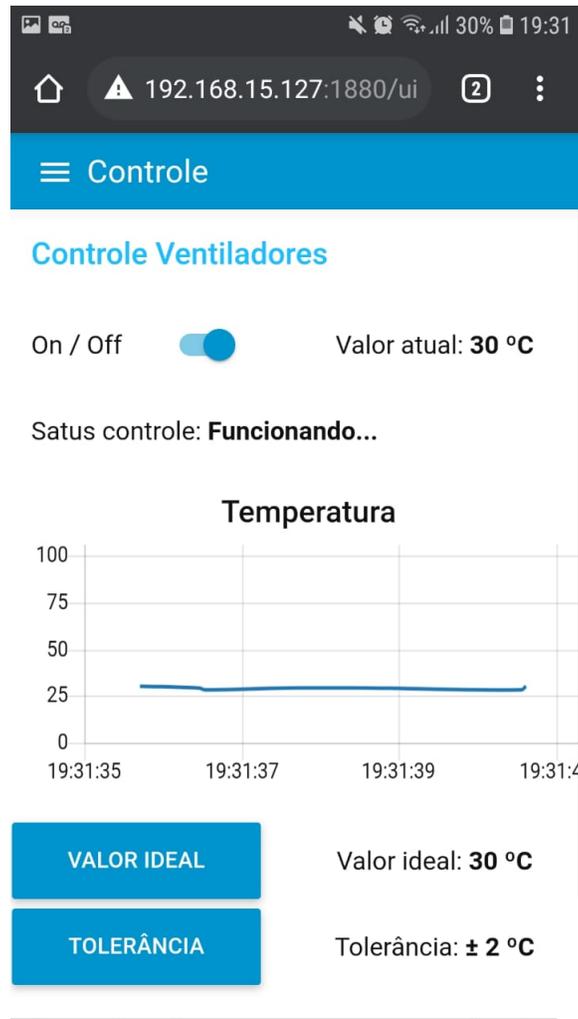
Horas:Minutos	Temperatura (°C)	Umidade (%)
00:19	21.40	64.20
01:03	21.10	65.10
01:48	20.80	66.20
02:33	20.50	67.10
03:18	20.10	67.60
04:02	19.80	68.60
04:47	19.50	69.70
05:32	19.20	70.60
06:16	19.00	71.70
07:01	18.80	72.80
15:57	18.60	73.00
17:16	27.80	43.90
18:02	28.60	44.80

Fonte: O autor (2021)

que apenas pessoas autorizadas possam definir esse valor, pois trata-se uma informação crítica. O usuário pode inserir uma flutuação no setpoint e qual o intervalo da intermitência dos ventiladores ligados e desligados. O botão On/Off liga e desliga o controle de maneira geral e o "Status controle" informa o estado, podendo ser "Funcionando..." indicando que está operando corretamente, "Suspensão" caso haja algum defeito ou falha no recebimento dos dados e "Desligado" se o controle estiver desligado.

O gráfico da figura 5.8 corresponde ao valor médio dos três setores, denominado valor de processo. Assim, quando o valor de processo for maior que o valor ideal os motores serão ligados e caso seja menor serão desligados, procurando manter a temperatura dentro do setpoint respeitando a flutuação também definida nas configurações.

Figura 5.8 – Página do configuração do Controle da Ventilação.



Fonte: O autor (2021)

Essa mesma configuração é disponibilizada para o aspersor, de modo que a variável de processo também é a temperatura ambiente. Ou seja, o sistema tem dois controles funcionando simultaneamente para manter o valor de temperatura ideal, um aciona os ventiladores e o outro aciona os aspersores.

As páginas são importantes para a interação com o usuário, para tanto elas podem ser visualizadas em qualquer dispositivo que tenha acesso a rede. Elas também se adaptam de acordo com o tamanho da tela, ou seja, são responsivas. A

Figura 5.9 – Página de monitoramento via celular.



Fonte: O autor (2021)

figura 5.10 mostra a reconfiguração automática visto do monitor de computador e a figura 5.9 ilustra a visualização pela tela de um celular. Essa flexibilidade permite que o usuário possa gerar relatórios no celular, tablet ou computador e salvá-los no seu dispositivo ou reconfigurar parâmetros.

As funcionalidades estão disponíveis para qualquer dispositivo que acesse o sistema, conforme mostrado nas figuras 5.9 e 5.10. A plataforma também foi projetada para o acesso via computador, tablet ou celular garantindo as mesmas funcionalidades em todos os dispositivos. Deste modo, o usuário tem acesso a todas as funcionalidades de maneira igual independente do dispositivo.

Figura 5.10 – Página de monitoramento via computador.



Fonte: O autor (2021)

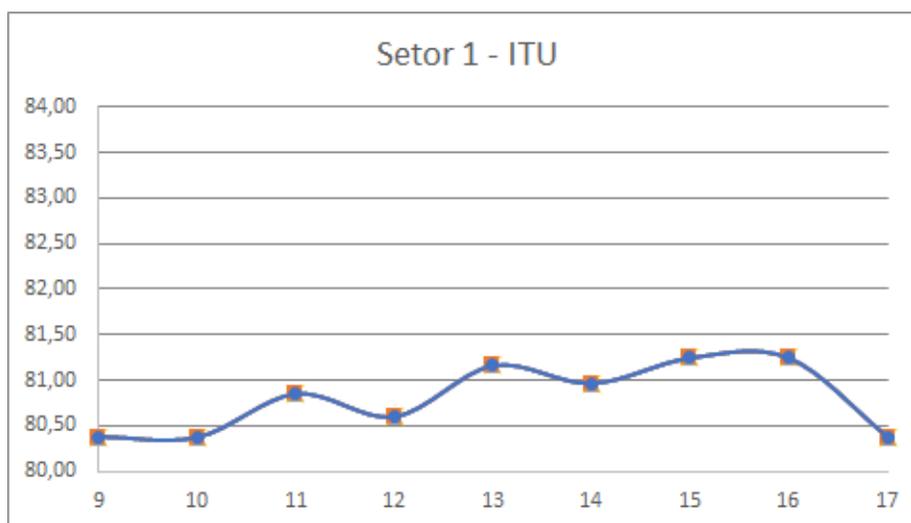
Os resultados obtidos com as coletas são apresentados nas figuras 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14. Observa-se que todos os gráficos estão com os índices ITU acima de 80, o qual é caracterizado como sendo o limite do conforto térmico. É possível notar que o setor 2 apresenta o maior ITU em comparação aos outros setores.

Os dados do ambiente externo também apresentam uma maior oscilação, o qual é esperado devido às interferências climáticas, tais como: incidência solar e mudança de temperatura e umidade ocasionado pela qualidade do vento.

Assim, pode-se avaliar que a instalação experimental deve ter ventilação nos primeiros meses do ano, pois não apresenta um ambiente adequado para o conforto térmico dos animais.

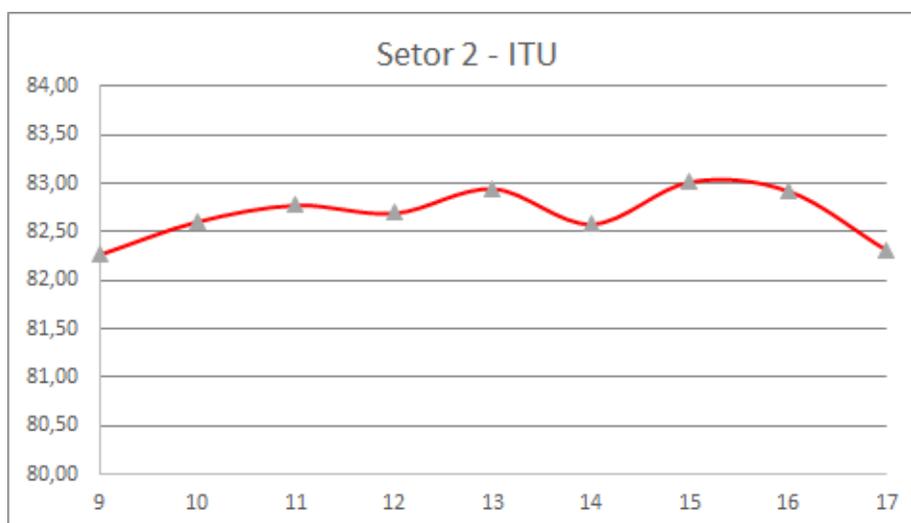
O próximo teste será utilizando os ventiladores para avaliar se são adequados para a instalação, desta maneira será possível adquirir parâmetros para dimensionar melhor os equipamentos da instalação, contribuindo para a melhoria do conforto térmico do ambiente.

Figura 5.11 – Dados do Setor 1



Fonte: O autor (2021)

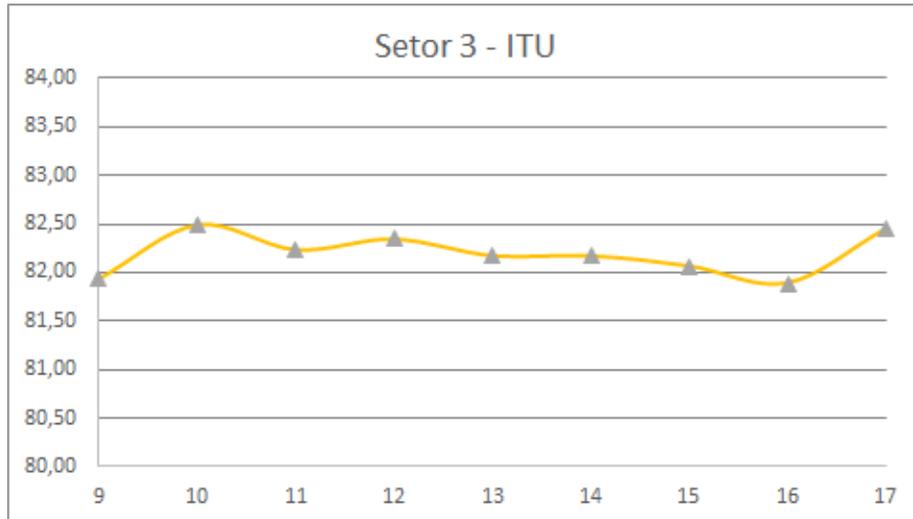
Figura 5.12 – Dados do Setor 2.



Fonte: O autor (2021)

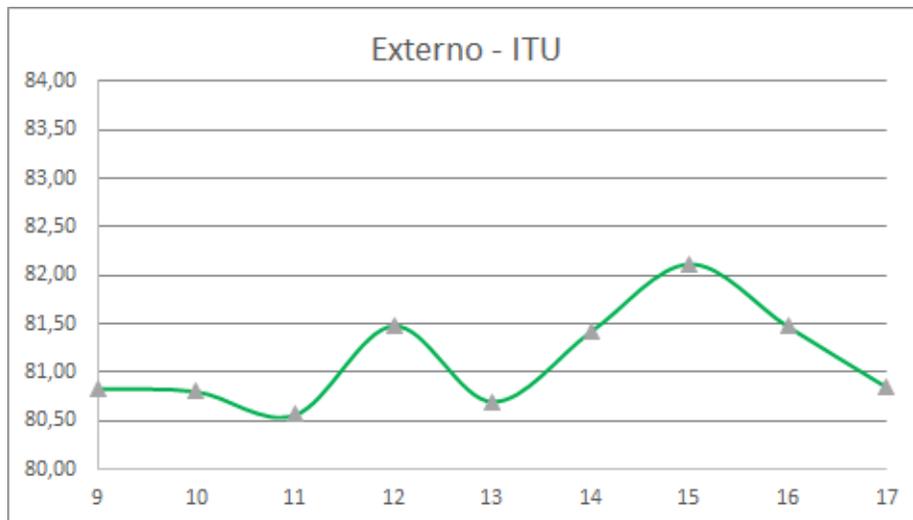
Os valores mínimos e máximos dos perfis representados nas figuras 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14 são 80,30 e 81,25 no setor 1, 82,27 e 83,02 no setor 2, 81,89 e 82,49 no setor 3 e 80,57 e 82,12 na parte externa.

Figura 5.13 – Dados do Setor 3.



Fonte: O autor (2021)

Figura 5.14 – Dados do ambiente externo.



Fonte: O autor (2021)

A tabela 5.1 descreve o detalhamento de preço da solução. Esse valor total é tomado como baixo custo se comparado com Cruz et al. (2021), pois um único dispositivo custa R\$ 153,50. O sistema apresentado neste trabalho é composto por

8 dispositivos, painel elétrico e um mini computador, além de diversas funcionalidades adicionais online e offline. Deste modo, avalia-se que o sistema se enquadra em uma solução de baixo custo.

Tabela 5.1 – Detalhamento dos preços

Qtd	Descrição	Preço (R\$)
10	Fontes	10,88
2	Contatores	115,00
8	NodeMCU	40,00
8	DHT22	30,00
1	Raspberry pi 3	340,00
1	Roteador	80,00
1	Painel elétrico	215,00
2	Relés estado sólido	33,90
1	Canaletas 30cm	30,00
2	Prensa Cabo	5,00
20	Terminal isolante	0,11
20	Terminal fêmea	0,16
15	Leds bicolor	1,02
1	Placa circuito	5,01
20	Resistor	0,08
4	Passa fio	0,99
2	Sinaleiras	8,00
-	<b>TOTAL</b>	<b>1688,87</b>

Fonte: O autor (2021)

Valores observados no dia 01/04/2021. As propostas futuras são voltadas à análise de dados e aprendizado de máquina. Esses recursos já podem ser encontrados no GCP e em pacotes do Node, permitindo uma implementação rápida dessas funcionalidades. Alguns produtos no mercado já incorporam as tecnologias utilizadas nesse trabalho além da área de ciência de dados, explorando desde soluções preditivas (Roy et al., 2017) até otimização em irrigação com *machine learning* (VIJ et al., 2020).

O controle pode ser melhorado com a utilização de controle do tipo PID ou cascata. Esses tipos de técnicas permitem mais economia de energia e melhor

precisão no controle da temperatura. Por consequência, os animais estarão em um ambiente mais adequado com um menor gasto de recursos.

## 6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposto e implementado um sistema de monitoramento e controle de temperatura, usando uma solução de baixo custo. A proposta mostra funcionalidades que fornecem informações para o usuário e recursos de controle da temperatura do ambiente, visando manter em níveis adequados para o bem estar do animal.

Esse trabalho foi desenvolvido tendo como foco central a disponibilização de informações na nuvem. Deste modo, os dados podem ser usados, por exemplo, para calcular a média anual de temperatura e/ou desempenho dos ventiladores para predição de manutenção. O caráter modular da solução permite conectar outras funcionalidades para expandir e aproveitar dos dados em diversas aplicações.

O monitoramento offline e os relatórios funcionaram segundo a modelagem feita no desenvolvimento da aplicação. Deste modo, foram apresentados os dados coletados dos setores a fim de comprovar o funcionamento do sistema. Os resultados preliminares obtidos também revelam que os sensores têm uma resposta satisfatória. O monitoramento online e controle são as próximas etapas para a validação da solução como um todo.

Como trabalhos futuros, sugere-se continuar com a coleta de dados, análise dos resultados e proposta de melhorias segundo o desempenho do sistema. Deste modo, atualizações serão implementadas retomando a fase de testes, adequação e atualização em campo. Assim, a proposta seguirá em melhorias constantes, buscando definir o escopo das atualizações segundo as demandas requisitadas pelos produtores e pesquisadores da área.

## REFERÊNCIAS

- ABPA, A. B. d. P. A. Relatório anual 2020. ABPA, São Paulo -SP, n. 2020, 2020. Disponível em: <[https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2020/05/abpa\\_relatorio\\_anual\\_2020\\_portugues\\_web.pdf](https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2020/05/abpa_relatorio_anual_2020_portugues_web.pdf)>. Acesso em: 12 janeiro 2021.
- AMARAL, P. I. S. et al. USING SOUNDS PRODUCED BY PIGS TO IDENTIFY THERMONEUTRALITY ZONES FOR THERMAL ENVIRONMENT ASSESSMENT RATIOS. **Engenharia Agrícola**, scielo, v. 40, p. 266 – 271, 06 2020. ISSN 0100-6916. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162020000300266&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162020000300266&nrm=iso)>. Acesso em: 10 novembro 2020.
- ATMAJA, A. et al. Communication systems of smart agriculture based on wireless sensor networks in iot. **Journal of Robotics and Control (JRC)**, v. 2, n. 4, p. 297–301, 2021. ISSN 2715-5072. Disponível em: <<https://journal.umy.ac.id/index.php/jrc/article/view/10108>>. Acesso em: 12 fevereiro 2021.
- CHEN, C.-S. C. e W.-C. Research and Development of Automatic Monitoring System for Livestock Farms. **MDPI - Applied Science**, v. 9(6), n. 1132, mar. 2019. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/9/6/1132>>. Acesso em: 15 outubro 2020.
- CRUZ, M. V. A. d. et al. DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO DOS ANIMAIS DE PRODUÇÃO. **ANAIS DO 5º. CONGRESSO DE ZOOTECNIA DE PRECISÃO e 19º. SEMINÁRIO TÉCNICO CIENTÍFICO DE AVES,**, AVESUI 2021, abril 2021. Disponível em: <<https://data.avesui.com/file/2021/04/19/H135952-F00000-A236.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2021.
- GU, M. et al. An industrial internet platform for massive pig farming (iip4mpf). **Journal of Computer and Communications**, v. 08, p. 181–196, 01 2020. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/348045790\\_An\\_Industrial\\_Internet\\_Platform\\_for\\_Massive\\_Pig\\_Farming\\_IIP4MPF](https://www.researchgate.net/publication/348045790_An_Industrial_Internet_Platform_for_Massive_Pig_Farming_IIP4MPF)>. Acesso em: 03 dezembro 2020.
- GUESINE, G. D. et al. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE E O NÍVEL DE CONFORTO DE ANIMAIS CRIADOS EM SISTEMA COMPOST BARN. **ANAIS DO 5º. CONGRESSO DE ZOOTECNIA DE PRECISÃO e 19º. SEMINÁRIO TÉCNICO CIENTÍFICO DE AVES,**, AVESUI 2021, abril 2021. Disponível em: <<https://data.avesui.com/file/2021/04/19/H140635-F00000-M815.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2021.

HUA, S. et al. Image processing technology based on internet of things in intelligent pig breeding. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2021, 03 2021. Disponível em: <<https://www.hindawi.com/journals/mpe/2021/5583355/>>. Acesso em: 20 maio 2021.

LARSEN, M. L. V.; WANG, M.; NORTON, T. Information technologies for welfare monitoring in pigs and their relation to welfare quality®. **Sustainability**, v. 13, n. 2, 2021. ISSN 2071-1050. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/692>>. Acesso em: 5 maio 2021.

NOVIKOV, Y. I. e N. Digital Intelligent Microclimate Control of Livestock Farms. **XIII International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020”**, v. 175, n. 11012, p. 8, jun. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017511012>>. Acesso em: 12 janeiro 2021.

RAHMAN, M. et al. Real-time and low-cost iot based farming using raspberry pi. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, v. 17, p. 197–204, 01 2020. Disponível em: <[10.11591/ijeecs.v17.i1.pp197-204](https://doi.org/10.11591/ijeecs.v17.i1.pp197-204)>. Acesso em: 06 fevereiro 2021.

Roy, S. et al. Iot, big data science analytics, cloud computing and mobile app based hybrid system for smart agriculture. In: **2017 8th Annual Industrial Automation and Electromechanical Engineering Conference (IEMECON)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 303–304.

RSI, R. D. S. I. Conversão alimentar - as ações que podem ampliar o rendimento das granjas. *Suíno cultura industrial*, Itu-SP, n. 01/09/2020 09:53, 2020. Disponível em: <<https://www.suinoindustrail.com.br/imprensa/conversao-alimentar-as-acoes-que-podem-ampliar-o-rendimento-das-granjas/20200901-094151-1785>>. Acesso em: 12 janeiro 2021.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, Routledge, v. 12, n. 2, p. 57–61, 1959. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00431672.1959.9926960>>. Acesso em: 12 janeiro 2021.

VII, A. et al. Iot and machine learning approaches for automation of farm irrigation system. **Procedia Computer Science**, v. 167, p. 1250–1257, 2020. ISSN 1877-0509. International Conference on Computational Intelligence and Data Science. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920309078>>.