

**UNIVERSIDADE BRASIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO ANIMAL
CAMPUS DESCALVADO**

RICARDO DE SOUZA FARIA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO ELETRÔNICO
PARA MANEJO DE CORTINA, VENTILADOR E NEBULIZADOR
EM INSTALAÇÕES PARA SUÍNOS**

**ELECTRONIC PROTOTYPE DEVELOPMENT
FOR CURTAIN, FAN AND NEBULIZER MANAGEMENT IN SWINE
FACILITIES**

Descalvado – SP
2024

RICARDO DE SOUZA FARIA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO ELETRÔNICO
PARA MANEJO DE CORTINA, VENTILADOR E NEBULIZADOR
EM INSTALAÇÕES PARA SUÍNOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Profa. Dra. Cynthia Pieri Zeferino
Orientadora

Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira
Coorientador

Descalvado – SP
2024

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da Universidade Brasil,
com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

F236d Faria, Ricardo de Souza.
Desenvolvimento de protótipo eletrônico para manejo de cortina, ventilador e nebulizador em instalações para suínos / Ricardo de Souza Faria. Descalvado: Universidade Brasil, 2024.
60f. : il. ; 29,5cm.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Brasil, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Produção Animal.

Orientadora: Profa. Dra. Cynthia Pieri Zeferino.

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira.

1. Suinocultura. 2. Ambiente. 3. Dispositivo eletrônico. 4. Monitoramento. I. Título.

CDD 636.4



**UNIVERSIDADE
BRASIL**

TERMO DE APROVAÇÃO

Ricardo de Souza Faria

"Desenvolvimento de protótipo eletrônico para manejo de cortina, ventilador e nebulizador em instalações para suínos"

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre** no Programa de Mestrado em Produção Animal da Universidade Brasil, pela seguinte banca examinadora:



Profª Drª Cynthia Pieri Zeferino (presidente-orientadora)

Profª Drª Kathery Brennecke (Universidade Brasil)



Prof. Dr. Luiz Carlos Machado (Instituto Federal de Minas Gerais)

Descalvado/SP, 23 de agosto de 2024.

Presidente da Banca Profª Drª Cynthia Pieri Zeferino

Houve alteração do Título: sim () não (X):



**UNIVERSIDADE
BRASIL**

Termo de Autorização

Para Publicação de Dissertações e Teses no Formato Eletrônico na Página WWW do Respeetivo Programa da Universidade Brasil e no Banco de Teses da CAPES

Na qualidade de titular(es) dos direitos de autor da publicação, e de acordo com a Portaria CAPES no. 13, de 15 de fevereiro de 2006, autorizo(amos) a Universidade Brasil a disponibilizar através do site <http://www.universidadebrasil.edu.br>, na página do respectivo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu*, bem como no Banco de Dissertações e Teses da CAPES, através do site <http://bancodeteses.capes.gov.br>, a versão digital do texto integral da Dissertação/Tese abaixo citada, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira.

A utilização do conteúdo deste texto, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, fica condicionada à citação da fonte.

Título do Trabalho: “Desenvolvimento de protótipo eletrônico para manejo de cortina, ventilador e nebulizador em instalações para suínos”

Houve alteração do Título: sim () não (X)

Autores:

Discente: **Ricardo de Souza Faria**

Assinatura:



Documento assinado digitalmente
RICARDO DE SOUZA FARIA
Data: 30/08/2024 11:48:46 -0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Orientador (a): **Profª Drª Cynthia Pieri Zeferino**

Assinatura:



Documento assinado digitalmente
CYNTHIA PIERI ZEFERINO
Data: 30/08/2024 11:48:46 -0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Coorientador (a): **Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira**

Assinatura:

LUIZ ARTHUR MALTA
PEREIRA:2796654680

2

Assinado eletronicamente por LUIZ ARTHUR MALTA PEREIRA:2796654680
DN: cn=BR, ou=UF-Bras, ou=AC-SOLUTI Multisite v5, ou=409403547003195, ou=Videcon-RN-RECIA, ou=Certificado PFA, cn=LUIZ ARTHUR MALTA PEREIRA:2796654680
Date: 2024.08.08 11:50:00 -0300

Descalvado, 23 de agosto de 2024.

DEDICATÓRIA

Este trabalho dedico a **DEUS**, que me abençoou com saúde e força necessária para superar o desafio.

Dedico à minha esposa e filhos, que me apoiaram e incentivaram incondicionalmente enquanto estive nesse momento de aprendizado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em especial, à Profa. Dra. Cynthia Pieri Zeferino e ao Prof. Dr. Luiz Arthur Malta Pereira pela paciência, dedicação e auxílio durante todo o período de realização do Mestrado.

Agradeço à Profa. Dra. Káthery Brennecke pela grande contribuição neste estudo.

Agradeço ao Prof. Dr. Vando Edésio Soares, coordenador, e todo o corpo docente do Programa de Mestrado Profissional em Produção Animal, da Universidade Brasil, campus de Descalvado/SP.

“O homem não teria alcançado o possível se, repetidas vezes, não tivesse tentado o impossível.”

(Max Weber)

RESUMO

O clima possui impacto significativo na produção de suínos, sendo fator decisivo para otimização dos níveis produtivos e, conseqüente, sucesso da atividade. Fatores ambientais devem ser monitorados para manutenção das condições favoráveis, assim, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias acessíveis para mensuração do microclima das granjas de suínos. O presente estudo objetivou o desenvolvimento de um protótipo eletrônico de baixo custo para auxílio na manutenção do conforto térmico em pequenas e médias instalações suinícolas. O protótipo foi desenvolvido utilizando a plataforma Arduino Mega e combina a mensuração das variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro) para o cálculo do ponto de orvalho e dos índices de ambiência (Índice de Temperatura e Umidade; ITU e Índice de Temperatura de Globo e Umidade; ITGU). O equipamento classifica o estresse térmico e, por meio da programação, indica as tomadas de decisões quanto ao acionamento das cortinas, ventiladores e nebulizadores. O custo total para confecção de um exemplar foi de US\$ 97,80 (em Dólares americanos). Os testes laboratoriais foram conduzidos em três condições distintas e seus resultados comprovaram a funcionalidade. No ambiente interno, à sombra, o estresse foi do tipo moderado e as medidas de manejo propostas pelo protótipo foram a abertura total das cortinas, com ventiladores ligados. No ambiente externo, ao sol, o estresse foi do tipo severo e as medidas propostas foram a abertura total das cortinas, com ventiladores e nebulizadores ligados. No ambiente externo noturno não houve estresse por calor, portanto, nenhum tipo de manejo foi proposto. Em conclusão, o protótipo desenvolvido e validado se configura como ferramenta tecnológica eficiente e de baixo custo, para auxílio na manutenção do conforto térmico em instalações suinícolas, tanto de subsistência, quanto em escala comercial para produtores de médio porte.

Palavras-chave: Suinocultura. Ambiente. Dispositivo eletrônico. Monitoramento.

ABSTRACT

The climate has a significant impact on swine production, being a decisive factor in achieving productivity and, consequently, the success of the activity. Environmental factors must be monitored to maintain favorable conditions; thus, it is necessary to develop accessible technologies to measure the microclimate of swine farms. The study aimed to develop a low-cost electronic prototype to assist in maintaining thermal comfort in small and medium-sized swine facilities. The prototype was developed using the Arduino Mega platform and combines the measurement of environmental variables (air temperature, relative humidity and black globe temperature) to calculate the dew point and ambience indices (Temperature and Humidity Index; THI and Black globe-humidity index; BGHI). The equipment classifies thermal stress and, through programming, indicates the decisions to be made regarding the activation of curtains, fans and nebulizers. The total cost to manufacture a sample was US\$ 97.80 (in US dollars). The laboratory tests were conducted under three different conditions and their results confirmed the functionality, thus validating the prototype. In the indoor environment, in the shade, the stress was moderate and the management measures proposed by the prototype were the complete opening of the curtains, with fans on. In the outdoor environment, in the sun, the stress was severe and the measures proposed were the complete opening of the curtains, with fans and nebulizers on. In the outdoor environment at night, there was no heat stress, therefore, no type of management was proposed. In conclusion, the developed and validated prototype is configured as an efficient and low-cost technological tool to assist in maintaining thermal comfort in swine facilities, both for subsistence and on a commercial scale for small and medium-sized producers.

Keywords: Swine facilities. Environment. Electronic device. Monitoring.

DIVULGAÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE CONHECIMENTO

O controle do ambiente é de suma importância para que seja ofertado ao suíno um meio favorável ao desenvolvimento, em cada fase produtiva, de forma a se alcançar desempenho satisfatório. Índices de conforto levam em conta as variações climáticas e fisiológicas para avaliação dos efeitos do estresse térmico nos animais. Tendo em vista que o Brasil é um país de clima tropical e a genética suína utilizada é proveniente de países de clima frio, para que se possa fornecer um ambiente adequado faz-se necessário o monitoramento constante do interior da granja e o uso correto dos equipamentos. As empresas especializadas e os suinocultores de grande porte possuem equipamentos sofisticados, voltados ao controle do ambiente interno da granja, o que culmina em custo elevado para sua instalação e utilização. Entretanto, pequenos e médios produtores não se utilizam destes equipamentos, pois seu alto custo contribui para inviabilização da atividade. No intuito de atender à demanda destes grupos, este trabalho desenvolveu e validou, de forma efetiva, um protótipo eletrônico inédito e de baixo custo. Por meio da demonstração em tela da situação referente ao ambiente avaliado, este equipamento propõe ações quanto ao acionamento de cortinas, ventiladores e nebulizadores, auxiliando o pequeno e médio produtor para maior efetividade na manutenção do conforto térmico.

.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Consumo per capita de carne suína no Brasil (kg/habitante), de 2013 a 2023.....	18
Figura 2 – Efetivo do rebanho suíno brasileiro, em 2022.....	19
Figura 3 – Abate de suíno por unidade federativa em 2023 (cabeça).....	19
Figura 4 – Exportação de carne suína no cenário nacional na última década...	21
Figura 5 – Sistema de criação extensiva e semiextensiva (SISCAL).....	22
Figura 6 – Sistema de criação confinada, ou intensiva (SISCON).....	22
Figura 7 – As três zonas climáticas brasileiras.....	27
Figura 8 - Ilustrativa da placa Arduino Mega 2560 R3, com cabo Atmega2560 e cartão de memória de 8GB.....	37
Figura 9 – Ilustrativa do Modulo Relé 8 Canais Arduino Shield Uno R3 Mega Relay.....	38
Figura 10 – Ilustrativa do display Lcd 2004 20x4 Fundo Azul Modulo I2c Soldado Arduino.....	39
Figura 11 - Ilustrativa do sensor DHT22.....	40
Figura 12 – Ilustrativa do sensor TEMT6000.....	40
Figura 13 – Vista interna do protótipo. À esquerda: placa arduino Mega (A), entrada e cabo USB (B), sensor de temperatura do ar e umidade relativa (C), módulo relé 8 canais (D), display Lcd Modulo I2c (E) e globo negro alternativo (F). À direita: vista interna do globo negro alternativo, com sensor de temperatura do ar e umidade relativa.....	45
Figura 14 – Vista frontal do protótipo: display Lcd Modulo I2c (A), entrada e cabo USB (B), sensor de temperatura do ar e umidade relativa (C), módulo relé 8 canais (D) e globo negro alternativo (E).....	46
Figura 15 – Vista lateral do protótipo: display Lcd Modulo I2c (A), entrada e cabo USB (B), sensor de temperatura do ar e umidade relativa (C), módulo relé 8 canais (D) e globo negro alternativo(E).....	46
Figura 16 – Vista externa do protótipo finalizado: display (A), sensor de luminosidade (B) e globo negro alternativo(C).....	46
Figura 17 – Display com as variáveis ambientais coletadas, índices calculados, classificação do estresse térmico e tomada de decisão.....	47
Figura 18 – Fluxograma de funcionamento do protótipo.....	48
Figura 19 – Variáveis ambientais coletadas e índices calculados pelo	

protótipo, em diferentes ambientes.....	51
-----------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valor das exportações brasileiras de carne suína.....	20
Tabela 2 – Zona de termoneutralidade e ITU ideal aos suínos em diferentes fases de produção.....	31
Tabela 3 – Componentes e despectivo custo para confecção do protótipo.....	48
Tabela 4 – Médias descritivas das variáveis ambientais coletadas e dos índices calculados, com as classificações do estresse térmico, a tomada de decisão e o acionamento dos relés pelo protótipo, em diferentes ambientes.....	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
PIB	Produto Interno Bruto
ABCS	Associação Brasileira de Criadores de Suínos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
BEA	Bem-estar animal
OIE	Organização Mundial de Saúde Animal
CIGR	<i>Commission Internationale du Génie Rural</i>
ITU	Índice de Temperatura e Umidade
ONU	Organização das Nações Unidas
ITGU	Índice de Temperatura de Globo e Umidade

LISTA DE SÍMBOLOS

UR	Umidade relativa do ar, em %
T °C	Temperatura do ar, em graus Celsius, °C

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVO.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	18
3.1	PANORAMA DA SUINOCULTURA NO BRASIL E NO MUNDO E SUA IMPORTÂNCIA ECONÔMICA.....	18
3.2	SISTEMAS DE CRIAÇÃO DE SUÍNOS.....	21
3.3	BEM-ESTAR NA SUINOCULTURA.....	23
3.4	PARTICULARIDADES DA ESPÉCIE SUÍNA.....	25
3.5	IMPORTÂNCIA DO CONTROLE AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS.....	27
3.5.1	Temperatura do ar.....	28
3.5.2	Umidade Relativa do ar.....	30
3.5.3	Índice de Temperatura e Umidade.....	30
3.5.4	Índice de Temperatura de Globo e Umidade.....	31
3.5.5	Luminosidade.....	32
3.6	MANEJO DE CORTINAS.....	33
3.7	MANEJO DE VENTILADORES E NEBULIZADORES.....	33
3.8	AUTOMAÇÃO NA SUINOCULTURA: AVANÇOS TECNOLÓGICOS PARA CONTROLE AMBIENTAL.....	35
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4.1	COMPONENTES DO PROTÓTIPO.....	37
4.2	VARIÁVEIS AMBIENTAIS, FÓRMULAS PARA OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE AMBIÊNCIA E TOMADA DE DECISÃO.....	41
4.3	TESTE LABORATORIAL PARA VERIFICAÇÃO DA FUNCIONALIDADE DO PROTÓTIPO.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1	MONTAGEM DO PROTÓTIPO.....	45
5.2	CUSTO PARA CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO.....	48
5.3	VERIFICAÇÃO DA FUNCIONALIDADE PROTÓTIPO.....	49
6	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade de grande importância para a economia brasileira, uma vez que influencia na geração de empregos e renda, além de fomentar o setor de insumos. De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2024), atualmente, o Brasil é o quarto maior produtor e exportador mundial de carne suína e o quinto maior consumidor.

A ocupação deste do 4º lugar no *ranking* das exportações mundiais de carne suína proporciona panorama favorável para o setor, onde a (ROCHA, 2020).

O controle do ambiente é de extrema importância para a garantia do bem-estar e do desempenho satisfatório na produção moderna de suínos. Desta forma, fatores ambientais, representados pela temperatura, umidade relativa do ar, ventilação e iluminação, dentre outros, devem ser monitorados para manutenção das condições favoráveis, de forma a maximizar a eficiência produtiva e promover a sustentabilidade da indústria suína.

As cortinas são equipamentos utilizados para controlar a entrada de luz, ar, temperatura e umidade do ar nos galpões, influenciando diretamente no microclima dos galpões e, conseqüentemente, na saúde e na produtividade dos suínos. É importante ajustar a abertura das cortinas e monitorar constantemente o ambiente interno para garantir condições ideais de criação.

Durante o verão, as cortinas podem ser abertas para permitir a entrada de ar fresco e reduzir a temperatura interna, evitando o estresse térmico nos suínos. Já no inverno, as cortinas podem ser fechadas para evitar a entrada de ar frio e manter o ambiente aquecido.

Os ventiladores são utilizados principalmente para promover a circulação de ar dentro dos galpões, contribuindo para o controle da temperatura, umidade e qualidade do ar. Durante os períodos de calor intenso, estes equipamentos são empregados para auxiliar na dissipação do calor gerado pelo metabolismo dos suínos e pelas condições ambientais externas.

Nebulizadores são dispositivos que convertem água em pequenas gotículas, criando uma névoa fina que é dispersa no ar, com o objetivo de melhorar o microclima, proporcionando condições ideais de umidade e reduzindo o estresse térmico em regiões onde as temperaturas elevadas são comuns, de forma a ajudar na manutenção da temperatura corporal dos suínos dentro de limites seguros.

Existem vários equipamentos eletrônicos para medição das variáveis ambientais que podem ser utilizadas na suinocultura, como por exemplo, os termômetros, os termo-higrômetros, os termômetros de globo negro, dentre outros, porém estes avaliam de forma específica, não diagnosticando as condições ambientais no interior da granja.

No mercado não há disponível dispositivo específico aos suínos, que combine a mensuração de diferentes variáveis para o cálculo de índices de estresse térmico, como o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) ou o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), com tomadas de decisões sobre manejo, voltados ao pequeno e médio produtor e que seja de fácil acesso e de baixo custo.

Entretanto, é importante ressaltar que grandes produtores de suínos já utilizam em suas instalações sistemas complexos de monitoramento automatizado, de forma a combinar sensores para medição de diversas variáveis ambientais, fornecendo uma visão em tempo real das condições exatas dentro dos galpões.

Esses sistemas podem enviar alertas quando as condições atingem níveis críticos de estresse térmico. Entretanto, apesar de eficientes, são complexos e de alto custo, inviabilizando o seu uso pelos pequenos e médios produtores brasileiros.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O estudo objetivou o desenvolvimento de um protótipo eletrônico de baixo custo, para auxílio na manutenção do conforto térmico em pequenas e médias instalações suinícolas.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mensuração das variáveis ambientais: temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo negro
- Programação para o cálculo do ponto de orvalho, do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e do Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU)
- Classificação do estresse térmico
- Programação do protótipo para a tomada de decisão
- Elaboração de circuito eletrônico para acionamento das cortinas, ventiladores e nebulizadores
- Testes laboratoriais a fim de comprovar a funcionalidade do equipamento.

3 REVISÃO DA LITERATURA

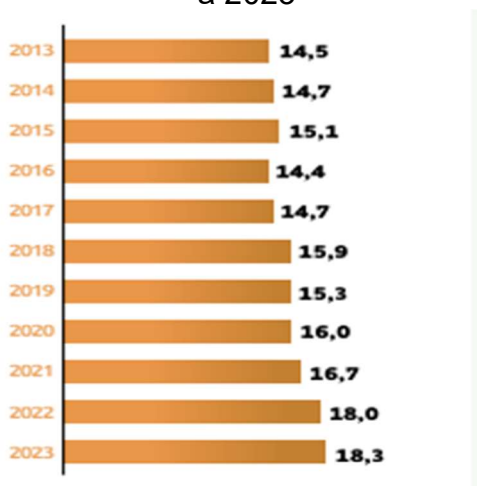
3.1 PANORAMA DA SUINOCULTURA NO BRASIL E NO MUNDO E SUA IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

De acordo com a Associação Brasileira de Criadores de Suínos (ABCS, 2024), na última década, o cenário de consumo da carne suína se manteve forte, embora ainda exista alguma restrição de consumo por questões religiosas.

No ano de 2023, os chineses permaneceram na liderança do *ranking* de importadores de carne suína *in natura* (33,8%) oriundas do Brasil, seguido de Hong Kong (9,9%), Filipinas (9,8%), Chile (8,0%), Singapura (5,8%), Uruguai (4,3%), Vietnã (4,3%), Japão (3,6%), Geórgia (2,7%), Angola (1,6%), Emirados Árabes (1,3%), Coréia do Sul (1,3%), Estados Unidos (1,3%) Argentina (1,2%) e outros países (8,4%) (ABCS, 2024).

Em relação ao mercado interno, o Brasil tem apresentado aumento no consumo da carne suína (Figura 1), conseqüentemente, está em consonância com a tendência mundial. Nos últimos anos, fatores como aumento da população e do índice de urbanização explicam parte deste maior consumo. Vale ressaltar que 76,15% da produção brasileira é destinada ao mercado interno e apenas 23,85% é destinado à exportação (ABPA, 2024).

Figura 1 - Consumo *per capita* de carne suína no Brasil (kg/habitante), de 2013 a 2023

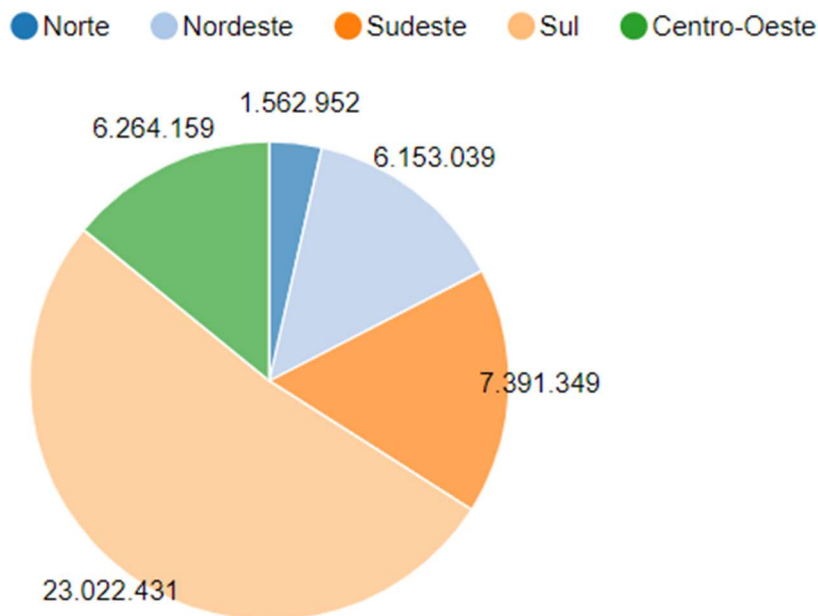


Fonte: Relatório Anual ABPA (2024)

No ano de 2022, a produção nacional de carne suína foi de 4,983 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2024). O rebanho total foi de 44.393.930 milhões de cabeças (Figura 2), sendo distribuído nas seguintes regiões e proporções: Sul

(67,46%), Sudeste (17,50%), Centro-Oeste (14,03%), Nordeste (0,91%) e Norte (0,11%), segundo dados do IBGE (2023).

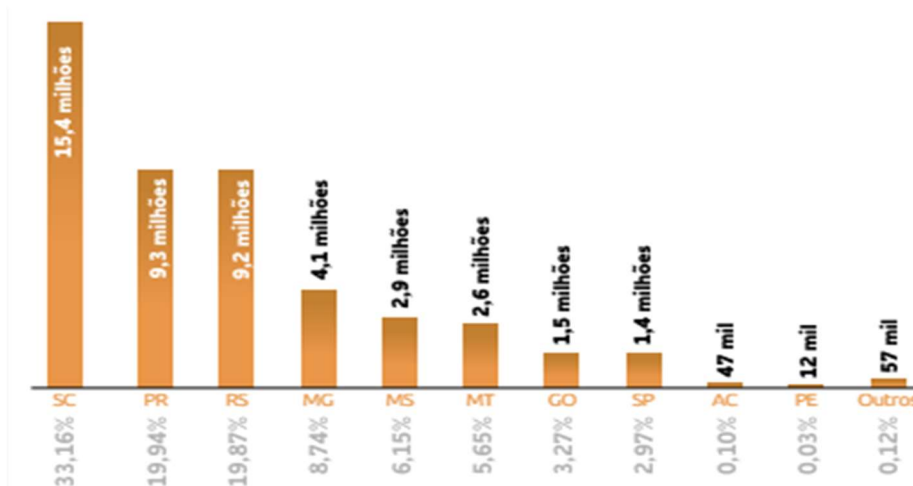
Figura 2 - Efetivo do rebanho suíno brasileiro, em 2022



Fonte: IBGE (2023)

No tocante ao abate de suínos, segundo dados da ABPA (2024) os estados brasileiros que mais se destacaram foram: Santa Catarina (33,16%), Paraná (19,94%), Rio Grande do Sul (19,87%), Minas Gerais (8,74%), Mato Grosso do Sul (6,15%), Mato Grosso (5,65%), Goiás (3,27%) e São Paulo (2,97%; Figura 3).

Figura 3 - Abate de suíno por unidade federativa em 2023 (cabeça)



Fonte: ABPA (2024)

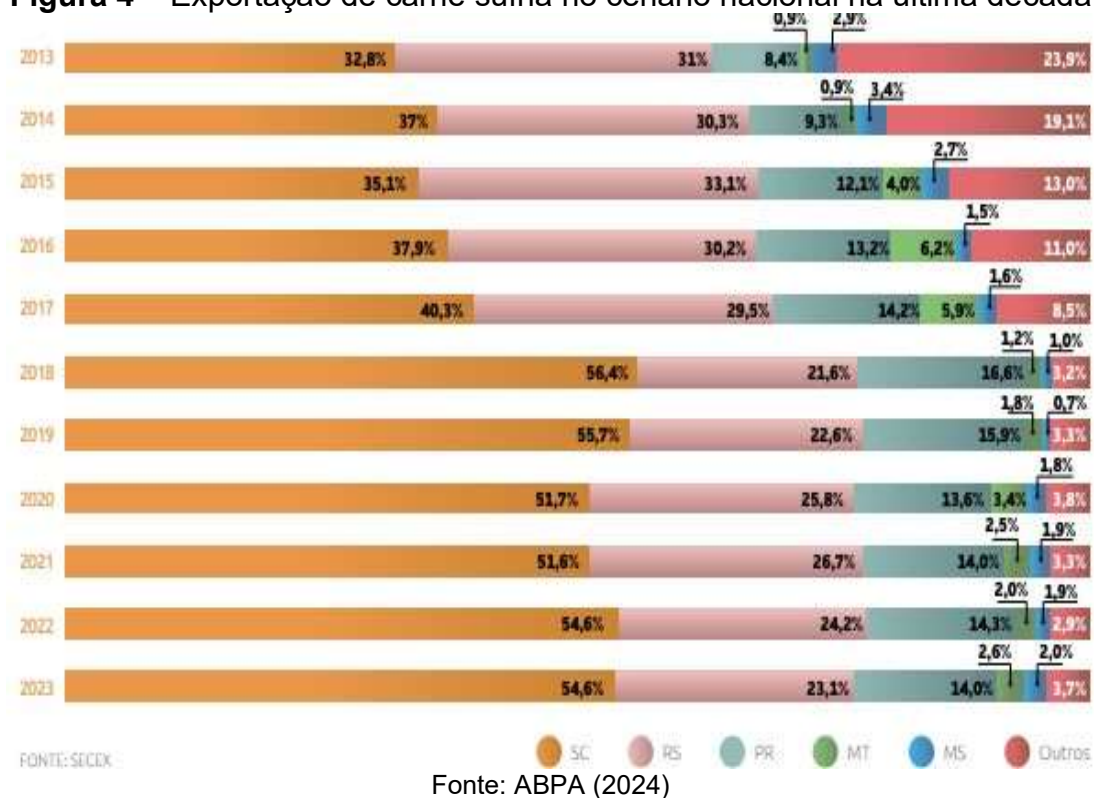
No cenário da exportação da carne suína, o Brasil segue obtendo ganhos e atingindo novos recordes. As exportações brasileiras, no primeiro trimestre de 2023, totalizaram 270,7 mil toneladas e US\$ 640,9 milhões. A Tabela 1 aponta o valor das exportações brasileiras dessa mercadoria, considerando-se o acumulado no período de janeiro a março de 2022 a 2023 (SECEX/COMEXSTAT, 2023).

Tabela 1 - Valor das exportações brasileiras de carne suína

Países	2022		2023		Var (%)	
	US\$	kg	US\$	kg	US\$	Kg
China	184.143.865	87.200.528	279.994.363	109.603.323	52,05	25,69
Hong Kong	46.994.298	24.068.180	62.581.127	28.324.556	33,17	17,68
Filipinas	33.588.333	16.498.367	39.381.854	17.622.722	17,25	6,81
Argentina	30.282.090	13.196.689	14.627.611	5.472.428	-51,70	-58,53
Singapura	29.537.913	12.645.178	40.987.656	15.908.057	38,76	25,80
Uruguai	22.289.327	10.883.208	24.132.475	10.627.977	8,27	-2,35
Chile	21.187.261	10.862.006	48.951.360	21.372.930	131,04	96,77
Japão	20.509.955	5.266.338	23.976.766	7.209.473	16,90	36,90
Rússia	17.065.935	7.324.931	2.005.682	727.244	-88,25	-90,07
Vietnã	14.534.660	6.941.062	12.285.521	4.900.286	-15,47	-29,40
Selecionados	420.133.637	194.886.487	548.924.415	221.768.996	30,65	13,79
Outros	71.438.244	37.721.781	92.042.991	48.975.895	28,84	29,83
Total geral	491.571.881	232.608.268	640.967.406	270.744.891	30,39	16,40

Fonte: Secex/ComexStat (2023)

Em 2023, os estados brasileiros de maior representatividade em exportação de carne suína foram: Santa Catarina (54,6%), Rio Grande do Sul (23,1%), Paraná (14,0%), Mato Grosso (2,6%) e Mato Grosso do Sul (2,0%). A Figura 4 demonstra a exportação de carne suína no cenário nacional, dentre os anos de 2013 a 2023 (ABPA, 2024).

Figura 4 – Exportação de carne suína no cenário nacional na última década

3.2 SISTEMAS DE CRIAÇÃO DE SUÍNOS

A criação de suínos pode ser definida conforme o tipo de produção e manejo, projetada para atender às necessidades específicas dos animais, em diferentes estágios de crescimento e produção. Podem ser do tipo: extensiva, semiextensiva ou intensiva.

A forma extensiva (ao ar livre) e semiextensiva (SISCAL) possui duas características distintas, uma composta por pequenos produtores voltados à subsistência, sem mão de obra qualificada e sem assistência técnica, com animais rústicos no plantel, apresentando alimentar baixa e tratados com subprodutos ou resíduos da produção agrícola, além da baixa tecnologia empregada, outra vertente deste sistema composta por suinocultores voltados a comercialização em grande escala onde o uso da mão de obra especializada e técnicas de produção são avançadas, esta atividade tecnificada do SISCAL está presente no Brasil desde meados da década de 1980.(Figura 5).

Figura 5 – Sistema de criação extensiva e semiextensiva (SISCAL)



Fonte: <http://blog.ruralpecuaria.com.br/2011/10/sistema-intensivo-de-suinos-criados-ao.html>

Na forma intensiva, ou confinada (SISCON), o objetivo é o ganho de peso rápido, para isto, a genética é fator determinante (Figura 6). Pode atuar com ciclo completo (CC), ou em etapas do ciclo, como a unidade produtora de leitões (UPL) e a unidade de terminação (UT).

Este sistema possui rigoroso controle sanitário e, principalmente, ambiental, com assistência técnica especializada. Além disto, os suínos são alojados em menor espaço, em lotes separados por idade e peso, alimentados com ração balanceada, adequada à cada ciclo ou fase, proporcionando condições propícias para que se atinja máximo desempenho produtivo (AMARAL, 2006; CARVALHO; VIANA, 2011).

Figura 6 – Sistema de criação confinada, ou intensiva (SISCON)



Fonte: Ouro Fino (2023)

No Brasil, a cadeia produtiva de suínos possui características organizacionais diversas, sendo composta por atividade independente (formada por pequenos produtores), empresas regionais, ou complexos produtivos integrados verticalmente (que comercializam nos mercados interno e externo).

O cenário da suinocultura apresenta migração da criação independente para a integrada, assim, a integradora entra com insumos e tecnologia e o produtor entra com a criação dividida por ciclos mais especializados (UPL e UT), favorecendo melhores resultados financeiros e qualidade da carne (SANTOS, 2011).

3.3 BEM-ESTAR NA SUINOCULTURA

O bem-estar animal (BEA) tem como definição “o estado físico e mental de um animal em relação às condições em que vive e morre”, conforme o código terrestre da Organização Mundial de Saúde Animal (OIE, 2022). Na intenção de garantir que os animais sejam conduzidos com ética e dignidade foram definidas cinco normas, ou liberdades, às quais norteiam o bem-estar.

As cinco liberdades são recomendações formuladas pelo Farm Animal Welfare Council (FAWC) em 1965, sendo elas, livre de fome e sede; livre de desconforto; livre de dor, doença e injúria; liberdade para expressar os comportamentos naturais da espécie; livre do medo e do estresse. Estes são essenciais para a interação com o ambiente social e físico, intervindo na relação entre o corpo e mente dos animais, trazendo como consequência a relação causa e efeito (BRAGA, 2018).

Pode-se ainda avaliar o BEA através dos cinco domínios que foi desenvolvido por David Mellor em 1994 e 1996, tem como finalidade proporcionar uma abordagem ampla para avaliar e melhorar o bem-estar.

O modelo dos cinco domínios é um método muito útil de garantir que os animais sejam bem conduzidos. Este é dividido em cinco partes, sendo elas: Nutrição (avalia o que os animais comem e se está adequado), Ambiente (avalia onde os animais vivem, garantindo que seja confortável e seguro), Saúde (Avalia se os animais estão saudáveis e se recebem atenção veterinária quando necessário), Comportamento (avalia como se portam e se apresentam comportamentos naturais e divertidos), Estado mental avalia como os animais estão mentalmente e se estão felizes). (MELLOR; BEAUSOLEIL, 2015).

Com a aplicação destes domínios é possível identificar se os animais estão sendo bem conduzidos ou se é necessário realizar adequações em algum destes aspectos. Tanto as cinco liberdades quanto os cinco domínios visam evitar o sofrimento, criar condições que promovam o bem-estar e a felicidade

dos animais, de forma a garantir uma vida digna e respeitosa. Vale aqui salientar que tanto as cinco liberdades como os cinco domínios são diretrizes a serem seguidas, não sendo condições impostas por lei.

A oferta de bem-estar é reconhecimento da importância do animal que está sendo conduzido dentro da cadeia alimentar humana bem como do dever do ser humano para com um outro ser senciente que lhe servirá de alimento, fatos que demonstram a necessidade de se trabalhar dentro de padrões éticos, fisiológicos e comportamentais aceitáveis (ALMEIDA FILHO, 2010).

É essencial a conscientização, por parte dos suinocultores, de que o bem-estar animal não está ligado somente à qualidade de vida do animal, mas também ao índice de produtividade e qualidade da carne, dentre outros aspectos (MARCHANT-FORDE *et al.*, 2014).

Na análise econômica, a suinocultura conduzida em condições de não observância mínima em relação ao bem-estar e à ambiência apresenta quadros crônicos de estresse, redução na capacidade de ganho de peso, complicações reprodutivas e/ou morte dos animais em casos mais extremos. Assim, com o aumento da produção de suínos e das exigências do mercado consumidor, a busca pela eficiência na produção deve estar voltada às necessidades de manejo, sanidade, genética nutrição e bem-estar animal (DIAS *et al.*, 2018).

A resposta dos suínos ao descuido com o ambiente em que é alojado ou que vive, pode ser demonstrada também por meio do estresse fisiológico e comportamental. Por exemplo, para as porcas, considera-se que a alteração do seu rito de parição primitivo contribua para o surgimento do estresse, desde antes da sua parição, até o período de lactação (ABCS, 2019).

Leitões necessitam de atenção, pois seu sistema termo regulatório e imunitário é pouco desenvolvido, assim, os cuidados que são tomados já nos seus primeiros dias de vida, apesar de necessários, podem promover ao animal, a sensação de estresse, a qual pode impactar consideravelmente seu desenvolvimento (ABCS, 2019; MORAES, 2022).

Levando em conta o panorama favorável e os avanços sanitários e tecnológicos do setor suinícola brasileiro, nem todas as propriedades criadoras acompanham essa evolução. De forma geral, as granjas que destinam seus produtos aos grandes mercados internos ou externos apresentam elevado grau de tecnificação e produtividade (ROCHA, 2020).

Em contrapartida, os pequenos produtores possuem rebanhos e áreas de criação variáveis, com tecnologia mínima e poucas práticas voltadas à qualidade de produção, sendo seus produtos destinados a um mercado regional e fragmentado, assim, utilizam a suinocultura como fonte complementar de renda (ROCHA, 2020).

3.4 PARTICULARIDADES DA ESPÉCIE SUÍNA

O ambiente em que os suínos são criados exerce influência significativa em seu desempenho e saúde (SMITH, 2019). Esta afirmação ressalta a importância de criar um ambiente adequado, que atenda às necessidades fisiológicas e comportamentais dos animais. Desta forma, compreender e otimizar as condições ambientais é essencial para garantir o bem-estar animal, maximizar a eficiência produtiva e promover a sustentabilidade da indústria suína.

Os animais homeotérmicos, dentre eles os suínos, possuem a capacidade de manter a temperatura corpórea interna constante, ainda que ocorram variações do ambiente externo (HANNAS *et al.* 1999). Essa habilidade é fundamental para o bom funcionamento de suas atividades metabólicas e fisiológicas.

Dentro desse contexto, há um intervalo de temperatura ambiental conhecido como zona de conforto térmico ou termoneutralidade, onde os animais não experimentam sensação de frio ou calor excessivo, possibilitando que suas atividades, inclusive o desempenho produtivo, são otimizadas (ABREU; ABREU, 2004).

No entanto, o mecanismo de homeostase é eficiente somente quando a temperatura ambiente está dentro de determinados limites. Há vários fatores que interferem neste quesito, dentre eles os fatores climáticos (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, vento, entre outros). Estas variáveis interferem no crescimento, reprodução e produção, pois impactam na utilização de nutrientes e energia que serão utilizados para reversão do estresse por temperatura e garantir a termorregulação (FIALHO, 1994).(ANDRADE *et al* 2023).

Em situação de estresse por calor os animais tendem a reduzir o consumo de ração e, em consequência, o consumo de nutrientes na tentativa de baixar a

taxa metabólica, diminuindo a temperatura corporal (FIALHO, 1994; ANDRADE *et al.*, 2023), tendo como consequência a redução na produtividade.

Os suínos possuem a característica de converter nutrientes dos alimentos em energia com maior eficiência e em ritmo mais acelerado, tem capa de gordura espessa e baixa capacidade de perda de calor através da sudorese (glândulas sudoríparas queratinizadas), fator este que os tornam sensíveis a variações de temperaturas nas fases de terminação e reprodução, estas características dificultam sua ambientação em clima tropical.

Estudos têm demonstrado que diferentes faixas de temperatura são observadas em suínos, em diferentes fases da vida. A temperatura da superfície da pele dos suínos varia conforme seu estágio de desenvolvimento, desta forma, leitões recém-nascidos e em fase de lactação possuem temperatura da pele mais baixa, em comparação com animais mais velhos.

Segundo Johnson *et al.* (2017), a temperatura da pele dos leitões lactantes pode variar entre 30°C e 35°C, de modo que estes necessitam de aquecimento junto à matriz para manutenção da temperatura corporal.

Conforme os suínos vão se desenvolvendo e entram na fase de crescimento e terminação, a temperatura da superfície da pele tende a se equilibrar em níveis semelhantes à dos animais adultos, desta forma, a temperatura média da pele de suínos em crescimento e terminação varia em torno de 35°C a 38°C (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Essa faixa de temperatura mais alta demonstra a capacidade dos suínos mais velhos de regularem sua temperatura corporal com maior eficiência, mesmo em condições ambientais variáveis.

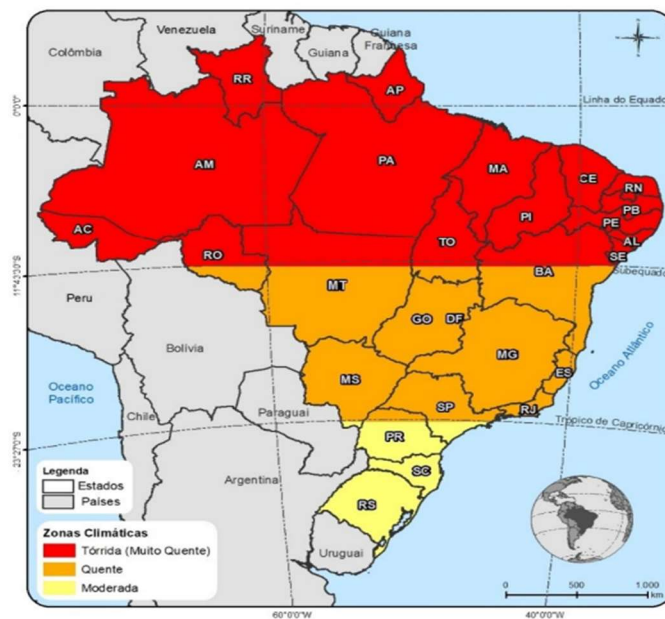
A temperatura retal é boa indicadora da temperatura corporal por não estar sujeita a interferência do ambiente externo (SILVA, 2000). Um aumento no valor da temperatura retal significa que o animal está armazenando calor e que os mecanismos de liberação de calor estão incapazes de manter o equilíbrio (ou seja, a homeotermia).

A absorção da radiação solar, direta ou indireta e o metabolismo produzem o calor necessário para manter a temperatura corporal dos animais, porém, a temperatura corporal depende do equilíbrio entre o calor produzido e o calor liberado para o ambiente (BACCARI JR., 2001).

3.5 IMPORTÂNCIA DO CONTROLE AMBIENTAL NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS

Um dos componentes determinantes do sucesso na suinocultura é o clima e suas variações. O Brasil pode ser dividido em três zonas climáticas distintas (Figura 6): zona tórrida ou muito quente (abrangendo a maioria dos estados do Norte e do Nordeste), zona quente (abrangendo os estados da região Central e Sudeste) e zona moderada (abrangendo os estados do Sul do país).

Figura 7- As três zonas climáticas brasileiras



Fonte: Dourados (2023)

O clima possui impacto significativo na produção de suínos, sendo fator decisivo na obtenção da produtividade e, conseqüente sucesso da atividade, pois, está diretamente ligado a capacidade dos animais expressarem seu potencial genético. Vale salientar que as principais linhagens utilizadas no país, em sua maioria é adaptada às regiões frias, provenientes de linhagens europeias e norte asiáticas.

É primordial observar a região em que se pretende instalar a granja, pois em regiões mais quentes e ou com maiores variações de temperatura se faz necessário o controle mais eficiente do ambiente interno das instalações, para garantir condições adequadas ao desenvolvimento da atividade, de forma a respeitar as exigências dos animais e gerar o resultado de produção desejado.

O suíno é considerado um agente modificador do meio em que vive, seja por meio da geração de calor, vapor d'água, fezes e urina, ou como foco de desenvolvimento de patógenos. Nessas condições, o verdadeiro ambiente passa a ser aquele reinante no interior da edificação (microclima), ou aquele cujo ar os animais respiram (BENEDI, 1986).

O ambiente é fator determinante ao sucesso da atividade suinícola, não apenas para atender as necessidades dos animais quanto ao conforto, mas, para atender à demanda crescente de mercado, de forma a garantir ao consumidor que a carne oferecida seja proveniente de animais criados e abatidos de maneira ética e responsável.

No intuito de atender esta demanda, são vários os fatores que contribuem na obtenção de ambiente adequado, como a qualidade das baias, água, cama, ração específica à idade, lotação e, principalmente, as variáveis ambientais, como temperatura e umidade relativa do ar, ventilação, luminosidade, dentre outros.

3.5.1 Temperatura do ar

Um dos aspectos fundamentais do controle ambiental na produção de suínos é a temperatura do ar. Os suínos são sensíveis a variações extremas de temperatura, o que pode afetar negativamente seu crescimento e saúde. De acordo com o estudo realizado por Oliveira *et al.* (2020), temperaturas elevadas podem resultar em estresse térmico nos suínos, reduzindo sua ingestão de alimentos e, conseqüentemente, seu ganho de peso.

O suíno apresenta dificuldade para dissipar calor em ambiente de alta temperatura e alta umidade, pois o excesso de umidade restringe as perdas evaporativas pela respiração e diminui o apetite (RODRIGUES *et al.*, 2010).

A temperatura do ar ideal para a criação de suínos lactentes, durante as primeiras semanas de vida, situa-se entre 30°C e 35°C. Nesta fase, os leitões são particularmente sensíveis ao frio, devido à sua incapacidade de regular eficientemente a temperatura corporal (Silva *et al.*, 2017).

Portanto, é de extrema importância o fornecimento de ambiente termicamente confortável, além do uso de equipamentos como os escamoteadores, para promover o aquecimento, o desenvolvimento adequado e reduzir o risco de mortalidade neonatal (SILVA *et al.*, 2017).

À medida que os suínos se desenvolvem e atingem as fases de crescimento e terminação, as exigências térmicas mudam. De acordo com as diretrizes da ABCS (2014), a faixa de temperatura do ar recomendada para suínos em crescimento varia entre 20°C e 25°C. Temperaturas mais altas podem levar ao estresse térmico, reduzindo a ingestão de alimentos e prejudicando o crescimento e a eficiência alimentar dos suínos.

Segundo o *National Farm Animal Care Council* (NFACC, 2014), para o cuidado e manejo de suínos, as temperaturas ideais são: 35°C para recém-nascidos; 21 °C para suínos em crescimento, 18°C para suínos em terminação e 18°C para fêmeas gestantes e lactantes (FERREIRA et al., 2015). Desta forma, observa-se que na maternidade existe desafio alto, pois matrizes e leitões apresentam grandes diferenças em suas necessidades térmicas (DIAS; SILVA; MANTECA, 2014).

As fêmeas em fase de reprodutiva sofrem interferência do clima, principalmente no verão e no início do outono, com a associação de altas temperaturas onde apresentam prejuízos na reprodução, tendo como consequência puberdade tardia, interferência no intervalo de estro, reduzidas taxas de parto e ninhadas (RENSIS et al., 2017). A temperatura ambiente considerada ótima para a matriz varia entre 7 e 23°C (NOBLET et al., 1989; LUCAS & CRUZ, 1997).

Em locais onde as temperaturas no verão são superiores a 24 °C, verifica-se diminuição da fertilidade das fêmeas suínas e alta porcentagem de retorno ao cio (BORTOLOZZO et al. 1997; WENTZ et al. 1997; PELTONIEMI et al. 1999), principalmente nas fêmeas primíparas (VIEIRA & VIEIRA, 1987), atraso da maturidade sexual (FLORES et al. 1989) e maior mobilização de gordura corporal durante a lactação (BARB et al., 1991).

Para suínos em terminação, a faixa de temperatura ideal é semelhante à dos suínos em crescimento. No entanto, é importante observar que suínos em terminação podem tolerar temperaturas ligeiramente mais baixas devido ao aumento da gordura corporal e ao maior tamanho corporal. A faixa de temperatura recomendada para suínos em terminação varia entre 18°C e 23°C (OLIVEIRA et al., 2021).

Nos machos destinados a reprodução, temperaturas superiores a 25°C podem comprometer a qualidade do sêmen, com diminuição da libido e volume espermático (FERREIRA, 2019).

3.5.2 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é outro fator ambiental importante a ser considerado na criação de suínos, pois pode afetar diretamente o conforto térmico e a saúde dos animais em todas as fases de desenvolvimento. Manter

níveis adequados de umidade relativa é essencial para prevenir problemas respiratórios, reduzir o estresse térmico e promover o bem-estar geral dos suínos.

O ideal para suínos é a faixa de umidade relativa do ar entre 60 e 70%. Uma elevação da umidade relativa do ar de 45 para 90%, à temperatura de 21°C, é responsável pela redução em até 8% das perdas de calor (NIENABER *et al.*, 1987).

Durante a fase de lactação, os leitões são particularmente sensíveis à umidade excessiva, o que pode aumentar o risco de infecções respiratórias e dermatites. Segundo recomendações da Associação de Criadores de Suínos (ACS, 2019), a umidade relativa do ar ideal para leitões lactantes deve ser mantida entre 50% e 70%. Manter a umidade dentro dessa faixa ajuda a garantir um ambiente confortável e saudável para os leitões recém-nascidos.

Para suínos em crescimento e terminação, a faixa de umidade relativa ideal é semelhante à dos leitões lactantes, variando entre 50% e 70%. Pesquisas realizadas por Oliveira *et al.* (2019) demonstraram que altos níveis de umidade relativa podem aumentar a incidência de doenças respiratórias e dermatológicas em suínos em todas as fases de produção.

É importante ressaltar que a umidade relativa do ar pode variar de acordo com o clima e as condições locais. Portanto, é essencial monitorar regularmente os níveis de umidade nas instalações suinícolas e tomar medidas adequadas de manejo para manter os valores dentro da faixa recomendada.

3.5.3 Índice de Temperatura e Umidade

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) é amplamente utilizado. Foi desenvolvido por Thom (1959), no intuito de avaliar o conforto térmico em seres humanos, mas posteriormente foi utilizado em animais de produção. Este índice compreende a relação entre as variáveis de temperatura ambiental e umidade relativa do ar, tendo a seguinte fórmula:

$$\text{ITU } (^{\circ}\text{C}) = T (^{\circ}\text{C}) [0,55 (0,0055 \times \text{UR})] \times [T (^{\circ}\text{C}) 14,5]$$

Onde:

T (°C) = temperatura do ar (°C)

UR = umidade relativa do ar (%)

De acordo com a Tabela 2, valores de ITU até 70 oferecem condições de ambiente seguro para o animal, de 71 a 78 condições críticas, de 79 a 83 situação de perigo e acima de 83 condição de emergência (FURTADO; MACHADO, 2023).

Tabela 2 - Zona de termoneutralidade e Índice de Temperatura e Umidade (ITU) ideal aos suínos em diferentes fases de produção

Categoria	Temperatura (°C)		UR (%)	ITU Ideal
	Máxima	Mínima	Ótima	
Leitões/Nascimento	32,0	30,0	70,0	81,32 – 84,32
2ª semana	26,0	25,0	70,0	73,82 – 75,32
3ª semana	24,0	22,0	70,0	69,32 – 72,32
4ª semana	22,0	21,0	70,0	67,82 – 69, 32
5 a 8 semanas	22,0	20,0	50,0 – 70,0	65,76 – 68,56
20 a 30 kg	20,0	18,0	50,0 – 70,0	62,96 – 65,76
30 a 60 kg	18,0	16,0	50,0 – 70,0	60,16 – 62,60
60 a 100 kg	18,0	12,0	50,0 – 70,0	56,56 – 62,96
Matrizes	18,0	12,0	50,0 – 70,0	54,56 - 62,96

Fonte: adaptado de Furtado; Machado (2023).

3.5.4 Índice de Temperatura de Globo e Umidade

O Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) é um indicador mais preciso do conforto térmico e da produção animal quando comparado ao ITU, em condições ambientais onde a radiação solar ou a movimentação do ar sejam altas.

Entretanto, sob condições moderadas de radiação solar, o ITU e o ITGU são igualmente eficientes, e quando se compara medições em locais com e sem cobertura, os ITUs não apresentam diferenças significativas, enquanto o ITGU apresenta diferenças significativas, principalmente para locais sem cobertura.

3.5.5 Luminosidade

A luminosidade é primordial para a suinocultura. À cada faixa etária deve ser oferecida uma faixa de luminosidade que ofereça condições necessárias

para o desenvolvimento dos animais e possibilitar expressar seu comportamento natural.

Para leitões lactantes, a luminosidade sugerida é na faixa de 30 a 50 lux, onde níveis mais altos de luminosidade tendem a causar desconforto e estresse nos leitões recém-nascidos (JOHNSON *et al.*, 2018).

Para suínos de crescimento e terminação, a luminosidade ideal é de aproximadamente 50 a 150 lux. Em relação a matriz, recomenda-se oferecer de 12-14 horas de iluminação diária (SVENDSEN; SVENDSEN, 1997), com preferência para a iluminação natural e complementando com a artificial (ROHR *et al.*, 2016).

A qualidade da luz é fundamental, desta forma, deve-se priorizar a iluminação natural, pois, esta é mais uniforme e tende a regular os ritmos circadianos (relógio biológico) dos suínos. Porém, em instalações que há deficiência da iluminação natural, se faz necessário o oferecimento de iluminação artificial de forma planejada.

De acordo com a literatura, pesquisas realizadas para programa de luz em suínos são escassas, contraditórias e inconclusivas, pois estas apontam que diversos programas de luz foram aplicados nos animais e que suas respostas não foram satisfatórias, ainda que o oferecimento de luz em horários mais frescos possibilitasse a ingestão de alimentos, com alteração de seu comportamento, e promovesse o bem-estar (FERREIRA *et al.*, 2016).

Em termos fisiológicos, a luz incide na retina do animal e estimula o nervo óptico, o quiasma óptico e o núcleo hipotalâmico supraquiasmático, fazendo com que aumente a atividade do nervo simpático da glândula pineal, levando à inibição das enzimas N-acetil-serotonina e hidroxindol-O-metiltransferase, resultando em altos níveis plasmáticos de serotonina e baixos níveis de melatonina (FERREIRA *et al.*, 2016).

Zonderland *et al.* (2009) citam que há necessidade de fornecer intensidade luminosa de 40 lux para estimulação dos níveis de serotonina nos suínos. No entanto, Ferreira *et al.* (2016) ao disponibilizarem 290 luxes à altura dos olhos dos animais, observaram que mesmo com a alteração do tempo de exposição à luz, não houve alterações nos níveis de melatonina.

De acordo com as informações, ainda que divergentes, torna-se primordial o oferecimento de luz natural, pela sua qualidade, e se necessário à

sua complementação com iluminação artificial, de forma a contribuir com a regulação do ciclo circadiano.

3.6 MANEJO DE CORTINAS

O uso de cortinas é prática comum na indústria suinícola para controlar a ventilação e manter as condições ideais do ar nas instalações de criação. No entanto, é crucial realizar um manejo adequado das cortinas para garantir uma ventilação eficaz e promover o bem-estar dos suínos em diferentes idades e tipos de criações.

Durante a fase de lactação, o manejo das cortinas é especialmente importante para criar um ambiente confortável e saudável para as matrizes e leitões. Estas devem ser ajustadas para permitir ventilação adequada e controlar a temperatura e umidade dentro das instalações de maternidade (Johnson *et al.*, 2020),

Para suínos em crescimento e terminação, o manejo das cortinas também auxilia na manutenção das condições ideais do ar, às quais devem ser ajustadas para fornecer ventilação adequada e controlar a umidade e a concentração de gases nocivos nas instalações.

As cortinas devem ser abertas durante os períodos de clima quente para facilitar a circulação de ar e reduzir o risco de estresse térmico nos suínos e durante os períodos de clima frio, as cortinas podem ser parcialmente fechadas para evitar correntes de ar excessivas e manter uma temperatura confortável.

Além do manejo das cortinas, é importante realizar inspeções regulares para garantir que estejam em boas condições de funcionamento e livre de obstruções. Cortinas danificadas ou obstruídas podem comprometer a eficácia da ventilação e aumentar o risco de problemas de saúde nos suínos.

3.7 MANEJO DE VENTILADORES E NEBULIZADORES

Durante a fase de lactação, é importante fornecer ventilação adequada para garantir um ambiente confortável e saudável para as matrizes e leitões. Um estudo realizado por Santos *et al.* (2019) sugere que a taxa de renovação do ar para instalações de lactação deve estar na faixa de 10 a 20 trocas de ar por hora.

Para suínos em crescimento e terminação, a taxa de renovação do ar deve estar na faixa de 5 a 10 trocas de ar por hora (DIAS *et al.*, 2011). Manter

boa circulação de ar ajuda a reduzir a umidade excessiva, controlar a temperatura e minimizar a concentração de gases nocivos, como amônia e dióxido de carbono, nas instalações.

Além da taxa de renovação do ar, é importante considerar outros aspectos da ventilação, como a distribuição uniforme do ar e a direção do fluxo de ar. Sistemas de ventilação eficazes devem ser projetados para garantir uma distribuição uniforme do ar fresco por toda a instalação, minimizando os pontos de estagnação e proporcionando uma ventilação adequada em todas as áreas.

O uso de nebulizadores em instalações para suínos é uma prática que visa melhorar o ambiente interno. Nebulizadores são dispositivos que convertem água em pequenas gotículas, criando uma névoa fina que é dispersa no ar, com o objetivo de melhorar o microclima, proporcionando condições ideais de umidade e reduzindo o estresse térmico, de modo a fornecer um efeito de resfriamento evaporativo.

Este equipamento é especialmente importante em regiões onde as temperaturas elevadas são comuns, ajudando a manter a temperatura corporal dos suínos dentro de limites seguros.

Além disso, os nebulizadores podem contribuir para melhorar a qualidade do ar dentro dos galpões, ajudando a reduzir a concentração de poeira e partículas suspensas, o que pode ser benéfico para a saúde respiratória dos suínos. A umidificação do ar também pode auxiliar na prevenção de problemas de pele e nas vias respiratórias, que são comuns em ambientes muito secos.

No entanto, é importante ressaltar que o uso de nebulizadores requer um controle cuidadoso para evitar o excesso de umidade, que pode criar condições favoráveis ao crescimento de micro-organismos nocivos e aumentar o risco de problemas de saúde, como doenças respiratórias. O uso de nebulizadores em instalações para suínos pode ser uma ferramenta eficaz, desde que seja feito de maneira adequada e controlada.

3.8 AUTOMAÇÃO NA SUINOCULTURA: AVANÇOS TECNOLÓGICOS PARA CONTROLE AMBIENTAL

Nos últimos anos, avanços significativos têm sido feitos na automação da criação de suínos, especialmente no desenvolvimento de protótipos de controle ambiental. Essas tecnologias oferecem aos produtores a capacidade de

monitorar e ajustar as condições ambientais nas instalações suinícolas de forma precisa e eficiente, beneficiando suínos em todas as idades e tipos de criações.

Para suínos em fase de lactação, sistemas automatizados de controle de temperatura e umidade são essenciais para garantia do conforto térmico, desenvolvimento saudável dos leitões e bem-estar das matrizes (Oliveira et al., 2020). Para suínos em crescimento e terminação, a automação desempenha papel fundamental no controle da ventilação e da qualidade do ar nas instalações.

Sistemas de ventilação automatizados, como os descritos por Garcia *et al.* (2018), podem ajustar a taxa de renovação do ar de acordo com as condições ambientais e as necessidades dos animais, prevenindo o acúmulo de gases nocivos e garantindo um ambiente respirável e confortável para os suínos.

Além disso, a automação também está sendo aplicada no monitoramento do consumo de ração, na identificação e rastreamento individual dos animais e no controle de acesso às instalações, proporcionando maior eficiência e precisão na gestão da produção suinícola.

No entanto, é importante ressaltar que a implementação bem-sucedida da automação na criação de suínos requer não apenas tecnologia avançada, mas também conhecimento especializado e treinamento adequado por parte dos produtores. Como observado por Smith (2019), a integração eficaz de sistemas automatizados exige uma compreensão profunda das necessidades dos suínos e das práticas de manejo recomendadas.

Quanto à plataforma Arduíno, como fonte tecnológica para a suinocultura, diversos equipamentos foram desenvolvidos empregando essa tecnologia, para monitoramento das condições ambientais, proporcionando aos produtores uma maneira acessível e eficaz de controlar o ambiente nas instalações.

Um exemplo é o uso de sensores de temperatura e umidade conectados a placas Arduino para monitorar as condições ambientais dentro dos galpões de criação de suínos. Esses sensores podem fornecer leituras em tempo real, permitindo aos produtores acompanhar de perto as variações de temperatura e umidade e tomar medidas corretivas conforme necessário (SANTOS *et al.*, 2020).

Além disso, sistemas de controle de ventilação automatizados baseados em Arduino também têm sido desenvolvidos para otimizar a circulação de ar

dentro dos galpões suinícolas. Esses sistemas podem ajustar automaticamente as aberturas das janelas ou cortinas com base em leituras de sensores de temperatura e umidade, garantindo um ambiente confortável e saudável para os suínos (SILVA *et al.*, 2019).

Outro exemplo é o uso de dispositivos Arduino para monitorar o consumo de água e ração pelos suínos. Sensores de fluxo podem ser instalados nas tubulações de água e nos alimentadores para registrar o uso de recursos pelos animais, fornecendo aos produtores dados valiosos para gerenciar a alimentação e o fornecimento de água de forma mais eficiente (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Esses são apenas alguns exemplos de como a plataforma Arduino está sendo aplicada na suinocultura para o monitoramento e controle das condições ambientais. A acessibilidade, flexibilidade e facilidade de programação do Arduino tornam-no uma escolha popular para o desenvolvimento de soluções personalizadas para as necessidades específicas dos produtores suinícolas.

A atividade suinícola é de grande importância para a agricultura familiar brasileira, que não dispõe de condições financeiras para realizar investimento de alto custo na intenção de tecnificar sua produção e que não dispõe de grande área de terra, sendo assim uma alternativa para essas famílias por não necessitar de grandes áreas para sua implantação (EMBRAPA, 2017).

Devido aos recursos limitados, a agricultura familiar se alicerça na diversificação da produção, sendo os dejetos da suinocultura utilizados na adubação do solo, de forma a viabilizar a agricultura e a pecuária (EMBRAPA, 2017).

No intuito de oferecer uma tecnologia de baixo custo, acessível e que tenha uma linguagem simples e direta, facilitando seu manuseio, torna-se necessário o desenvolvimento de ferramentas e dispositivos tecnológicos para mensurar as condições internas da granja e realizar avaliações constantes das variações climáticas oferecidas aos animais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo deriva da patente denominada “Monitor eletrônico do ambiente em instalações de aves, bovinos e suínos”, concedida sob processo número BR 102019007958-4 A2 (PEREIRA *et al.*, 2020).

O desenvolvimento e montagem do protótipo, além dos testes para verificação da funcionalidade, foram conduzidos no Laboratório de Zootecnia de Precisão, do Departamento do Programa de Mestrado Profissional em Produção Animal (PMPPA), da Universidade Brasil, campus de Descalvado - SP.

4.1 COMPONENTES DO PROTÓTIPO

- **Placa Arduino Mega 2560 R3**

A placa Arduino Mega é utilizada em projetos que necessitam de mais memória e/ou maior número de pinos. É baseada no ATmega2560, um microcontrolador de 8bits, com 256KB de memória flash e 8KB de SRAM, juntamente com 54 pinos digitais e 16 pinos que podem ser usados como entradas analógicas, os quais possibilitam seu uso em projetos que utilizam vários sensores, como é o caso do protótipo deste estudo. Esta placa utiliza, especificamente, o cabo Atmega2560.

Para composição do protótipo foi inserido o cartão de memória ScanDisk, com capacidade de 8GB, além de estabelecida a programação para registro dos dados ambientais a cada cinco minutos, de modo a facilitar o armazenamento e a transferência dos dados para o computador, para que o usuário possa ter maior controle do ambiente nas instalações (Figura 6).

Figura 8 - Ilustrativa da placa Arduino Mega 2560 R3, com cabo Atmega2560 e cartão de memória de 8GB



Fonte: <https://blog.smartkits.com.br/conhecendo-o-arduino-mega-2560/>

- **Modulo Relé 8 Canais Arduino Shield Uno R3 Mega Relay**

O Módulo Relé 8 Canais Arduino Shield Uno R3 Mega Relay (Figura 7) tem como função, facilitar o acionamento eletrônico dos relés, com a utilização de placas microcontroladas como Arduino, de forma rápida, oferecendo possibilidade de se realizar as ligações sem a necessidade de montar circuitos.

É capaz de controlar até 8 dispositivos e possui o optoacoplador, componente essencial, cuja função é isolar uma região de outra para proteger o microcontrolador, caso haja sobrecarga de energia.

Este módulo é capaz de receber as informações da placa Arduino e realizar o acionamento dos equipamentos a ele pareados, de forma específica e de acordo com a necessidade.

Quando o protótipo realiza as leituras, imediatamente procede o cálculo dos índices e a classificação do ambiente. Em seguida, dispara o comando para o módulo relé realizar a ativação dos equipamentos necessários, ou seja, o módulo relé tem por finalidade acionar cada dispositivo conforme a necessidade de adequação do ambiente

Desta forma, o módulo rele 08 canais foi escolhido para compor o protótipo, objetivando também o oferecimento de subsídios para melhor tomada de decisão, por meio do acionamento das cortinas, dos ventiladores e dos nebulizadores.

Figura 9 - Ilustrativa do Modulo Relé 8 Canais Arduino Shield Uno R3 Mega Relay



Fonte: https://www.ardurobotica.com.br/MLB-1851859803-modulo-rele-8-canais-arduino-shield-uno-r3-mega-relay-_JM

- **Display Lcd 2004 20x4 Fundo Azul Modulo I2c Soldado Arduino**

O *display* Lcd 2004 20x4 Fundo Azul Modulo I2c Soldado Arduino (Figura 8) foi escolhido para compor o protótipo, em função de sua facilidade de interpretação dos dados junto à tela (fundo azul), mesmo em ambiente de pouca luminosidade, além de ser muito indicado em projetos com Arduino, que envolvam grande número de sistemas microcontroladores.

O *display* possui o módulo adaptador I2c, com capacidade de controlar o contraste de tela, pelo ajuste simples e rápido da luz de fundo, de forma a oferecer elevada funcionalidade e qualidade de imagem.

Figura 10 – Ilustrativa do *display* Lcd 2004 20x4 Fundo Azul Modulo I2c Soldado Arduino.



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1860401038-display-lcd-2004-20x4-fundo-azul-modulo-i2c-soldado-arduino>

- **Sensor DHT22**

O sensor de umidade e temperatura DHT22 (Figura 8) foi escolhido para compor o protótipo por ser digital, possuir alta sensibilidade e resistência à interferência, além de longa vida útil, baixo custo e facilidade de uso. O DHT 22 possui um sensor de umidade capacitivo e um termistor (ou seja, resistor térmico capaz de avaliar a temperatura ambiente entre -100°C a 300°C).

Após medição do ar circundante, este emite um sinal digital no pino de dados (sem necessidade de conversores analógicos), permitindo a obtenção de novos dados de leitura a cada 2 segundos. A faixa de medição de umidade é de 0 a 100%, com precisão de 2 a 5%, além da faixa de medição de temperatura de -40 a 80°C, com leituras de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ de precisão.

Figura 11 - Ilustrativa do sensor DHT22



Fonte: <https://www.casadarobotica.com/sensores-e-modulos/sensores/umidade/modulo-sensor-de-umidade-e-temperatura-dht22-am2302>

- **Sensor TEMT6000**

O módulo sensor TEMT6000 (Figura 9) foi escolhido para aferição da luminosidade. Trata-se de inovador módulo eletrônico, desenvolvido especificamente para detecção de luz ambiente, exibindo dados confiáveis e precisos. É um fototransistor do tipo NPN (negativo, positivo, negativo), que oferece precisão superior aos conhecidos LDRs (resistores dependentes de luz).

Figura 12 - Ilustrativa do sensor TEMT6000



Fonte: <https://www.rsrobotica.com.br/produto/c541.html>.

Seu funcionamento é simplificado, pois quanto maior for a incidência de luz sobre o sensor, maior será o valor apresentado na sua saída analógica, em contrapartida, quanto menor a iluminação, menor o valor na saída, permitindo ao microcontrolador ações de acordo com a programação para cada situação.

O sensor TEMT6000 possui ainda como diferencial, configuração e ajuste dos possíveis níveis de detecção, além de possuir local para fixação e ser acompanhado de uma barra de pinos, de forma a facilitar a instalação.

- **Termômetro de Globo Negro**

O termômetro de globo negro utilizado neste protótipo foi do tipo alternativo, desenvolvido e validado por BRENNECKE et al. (2023). Optou-se pelo emprego deste, ao invés do globo de Vernon tradicional (esfera de cobre), por ser de menor custo, fácil acesso e com resultados eficientes.

Desta forma, para medição da temperatura de globo negro, empregou-se no protótipo uma caneca de alumínio, utilizada em pistola de pintura. A caneca foi pintada com tinta preto-fosca, em duas camadas, e um sensor DHT 22 foi inserido internamente (BRENNECKE et al., 2023).

- **Caixa externa**

A caixa externa, composta por material acrílico preto, foi utilizada no protótipo para acondicionamento, conexão e proteção de todos os componentes descritos acima viabilizando tanto a instalação e transporte, bem como a utilização do protótipo.

Após a escolha de cada componente do protótipo, procedeu-se o levantamento do custo, por meio de sites da internet e a posterior aquisição destes.

4.2 VARIÁVEIS AMBIENTAIS, FÓRMULAS PARA OBTENÇÃO DOS ÍNDICES DE AMBIÊNCIA E TOMADA DE DECISÃO

Para as variáveis ambientais, considerou-se a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a temperatura de globo negro e a temperatura de ponto de orvalho. A temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a temperatura de globo negro foram obtidas por meio da mensuração pelos sensores do protótipo e a temperatura de ponto de orvalho foi obtida pela seguinte equação (Lawrence, 2005; Alduchov & Eskridge, 1996):

$$t_d = \frac{B_1 \left[\ln \left(\frac{RH}{100} \right) + \frac{A_1 t}{B_1 + t} \right]}{A_1 - \ln \left(\frac{RH}{100} \right) - \frac{A_1 t}{B_1 + t}},$$

Em que:

Td = temperatura de ponto de orvalho (°C)

RH = umidade relativa do ar (%)

t = temperatura do ar (°C)

coeficiente A1 = 17,625°C

coeficiente B1 = 243,04°C

Para os índices de ambiência, foram considerados neste protótipo o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e o Índice de Temperatura de Globo e Umidade

(ITGU). O ITU para suínos foi calculado de acordo com BERMAN et al. (2016), o qual apresenta uma fórmula adaptada para suínos:

$$ITU = 3,43 + 1,058(T) - 0,293 (UR) + 0,0164(T) (UR) + 35,7$$

Em que:

ITU = Índice de Temperatura e Umidade;

T = temperatura do ar, °C

UR = umidade relativa do ar, %

De acordo com MELLADO et al. (2018), o ITU específico para suínos pode ser classificado em certos limiares de estresse térmico: ITU < 74 indica ambiente confortável, $74 \leq ITU < 78$ indica estresse térmico leve, $78 \leq ITU < 82$ indica estresse térmico moderado e $ITU \geq 82$ indica estresse térmico severo.

O ITGU, diferentemente do ITU, não apresenta fórmula adaptada aos suínos, sendo, portanto, utilizado nos estudos a mesma fórmula empregada para outras espécies de animais de produção. Assim, o índice foi calculado de acordo com BUFFINGTON et al. (1981) em:

$$ITGU = Tgn + 0,36Tpo + 41,5$$

Em que:

ITGU = Índice de Temperatura de Globo e Umidade

Tgn = Temperatura de globo negro (°C)

Tpo = Temperatura do ponto de orvalho (°C)

Da mesma forma que não existe uma fórmula específica do ITGU para suínos, também não existem classificações específicas deste índice. Portanto, para a programação do protótipo foi utilizada a classificação padrão empregada para as demais espécies animais, ou seja, valores de ITGU até 74 definem conforto, de 74 a 78 é sinal de alerta, de 79 a 84 é sinal de perigo e, acima de 84 é considerado sinal de emergência (BAÊTA; SOUZA, 2010).

Enfim, com base nestas variáveis ambientais e índices descritos acima, planejou-se utilizar no protótipo um módulo relé de 8 canais para possibilitar todas as tomadas de decisão necessárias. Desta forma, aos relés 1, 2 e 3 foram

atribuídos o manejo da cortina, ao relé 4, o funcionamento do ventilador e ao relé 5, o funcionamento do nebulizador.

Aos relés 6, 7 e 8 pretende-se inserir mais funções (como por exemplo, a medição da luminosidade, pela inclusão do sensor TEMT6000), de forma a complementar este protótipo inicial, em estudos posteriores.

Assim, a programação do protótipo foi estabelecida da seguinte forma:

- ITU e ITGU confortáveis: manutenção das condições ambientais e de manejo. Para isto, o sistema não aciona o relé, pois nenhuma ação é necessária;

- ITU classificado como estresse térmico leve e ITGU em sinal de alerta: a tomada de decisão se refere à abertura parcial das cortinas (até aproximadamente 33,3% da altura total), até atingir ITU e ITGU confortáveis.

Para isto, o sistema aciona o relé 1;

- ITU classificado como estresse térmico moderado e ITGU em sinal de perigo: a tomada de decisão se refere à abertura total das cortinas e após, ao acionamento dos ventiladores até atingir ITU e ITGU confortáveis. Para isto, o sistema aciona os relés 1, 2, 3 (abertura em torno de 33,3% da cortina, para cada relé) e relé 4;

- ITU classificado como estresse térmico severo e ITGU em sinal de emergência: a tomada de decisão se refere à manutenção das cortinas totalmente abertas, ao acionamento dos ventiladores e, também dos nebulizadores. Para isto, o sistema aciona todos os relés (1, 2, 3, 4 e 5).

O protótipo nesta etapa inicial não foi parado as cortinas, ventiladores e nebulizadores, desta forma, todas as ações mostradas no display deveriam ser tomadas manualmente, bem como o retorno as características iniciais em os equipamentos se encontravam antes de serem acionados devem ocorrer de forma manual. Em um próximo estudo se cogita possibilidade de pareamento para acionamento eletrônico dos equipamentos.

É importante destacar que não há classificação de ITU e ITGU para ambiente frio, portanto, valores de ITU e ITGU inferiores à 66 foram classificados como estresse por frio. Para a obtenção deste valor foram calculados os índices, considerando como limiares a temperatura crítica inferior de 22°C e a umidade relativa do ar de 60%. Assim, de acordo com a programação, a tomada de

decisão se refere ao fechamento total das cortinas. Para isto, o sistema aciona os relés 1, 2 e 3.

No caso de ITU e ITGU diferirem quanto às classificações, o que predominará será o ITU para a tomada de decisão pelo protótipo, pois apesar do ITGU ser um índice que engloba a radiação solar, portanto, mais preciso, em contrapartida, o ITU por ser específico para suínos (BERMAN et al., 2016; MELLADO et al. 2018), torna-se mais sensível às necessidades de manejo do ambiente para otimização das condições ambientais numa granja suinícola, tendo em vista o sistema confinado de criação.

4.3 TESTE VERIFICAÇÃO DE FUNCIONALIDADE

O teste para verificar o funcionamento do protótipo foi realizado no Laboratório de Zootecnia de Precisão do Programa de Mestrado Profissional em Produção Animal (PMPPA), da Universidade Brasil, campus de Descalvado- SP. O município situa-se na latitude 21° 54' 14" sul e longitude 47° 37' 12" oeste, sendo o clima classificado em Cwa, segundo Koeppen.

As medições ambientais foram realizadas nos dias 20, 21 e 22 de maio de 2024, em dois períodos diurnos (ambos das 13h00 às 14h30) e um noturno (das 21h00 às 22h30). Foram realizadas 10 medições para cada período, totalizando 30 medições, em um intervalo de 10 minutos.

As medições do ambiente diurno interno (à sombra) foram realizadas no dia 20 de maio, as medições do ambiente diurno externo (exposição direta ao sol) foram realizadas no dia 21 de maio e as medições do ambiente noturno externo foram realizadas no dia 22 de maio. Estas informações coletadas foram transferidas para planilhas do Excel e obtidas as médias descritivas de cada ambiente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

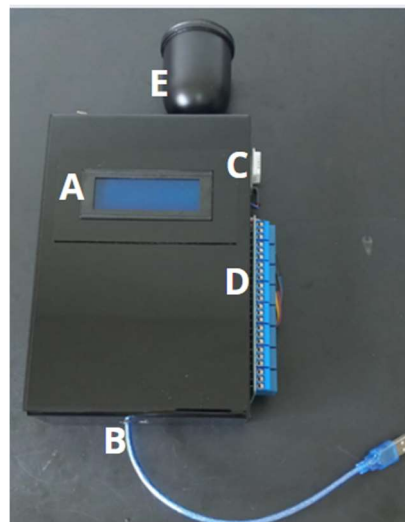
As Figuras 13 a 16 descritas a seguir, representam as etapas de montagem do protótipo, em laboratório.

Figura 13 - Vista interna do protótipo: placa Arduino Mega (A), entrada e cabo USB (B), sensor de temperatura do ar e umidade relativa (C), módulo relé 8 canais (D), *display* Lcd Modulo I2c (E) e globo negro alternativo (F).



Fonte: Aatoria própria (2024)

Figura 14 - Vista frontal do protótipo: *display* Lcd Modulo I2c (A), entrada e cabo USB (B), sensor de temperatura do ar e umidade relativa (C), módulo relé 8 canais (D) e globo negro alternativo (E)



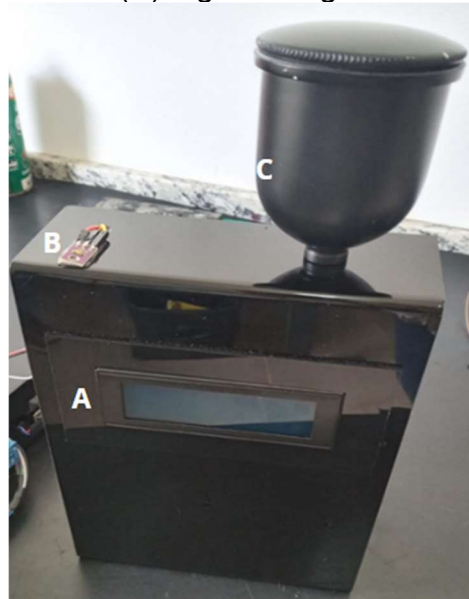
Fonte: Aatoria própria (2024)

Figura 15 - Vista lateral do protótipo: *display* Lcd Modulo I2c (A), entrada e cabo USB (B), sensor de temperatura do ar e umidade relativa (C), módulo relé 8 canais (D) e globo negro alternativo (E)



Fonte: Autoria própria (2024)

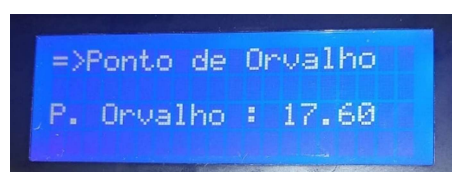
Figura 16 - Vista externa do protótipo finalizado: display (A), sensor de luminosidade (B) e globo negro alternativo (C)



Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 17 representa imagens do *display* do protótipo com a exibição das variáveis ambientais coletadas de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%) e temperatura de globo negro ($^{\circ}\text{C}$), resultados de temperatura de ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$), dos índices ITU e ITGU, classificação do estresse térmico e tomada de decisão referente ao manejo de cortina, ventilador e nebulizador.

Figura 17 - *Display* com as variáveis ambientais coletadas, índices calculados, classificação do estresse térmico e tomada de decisão

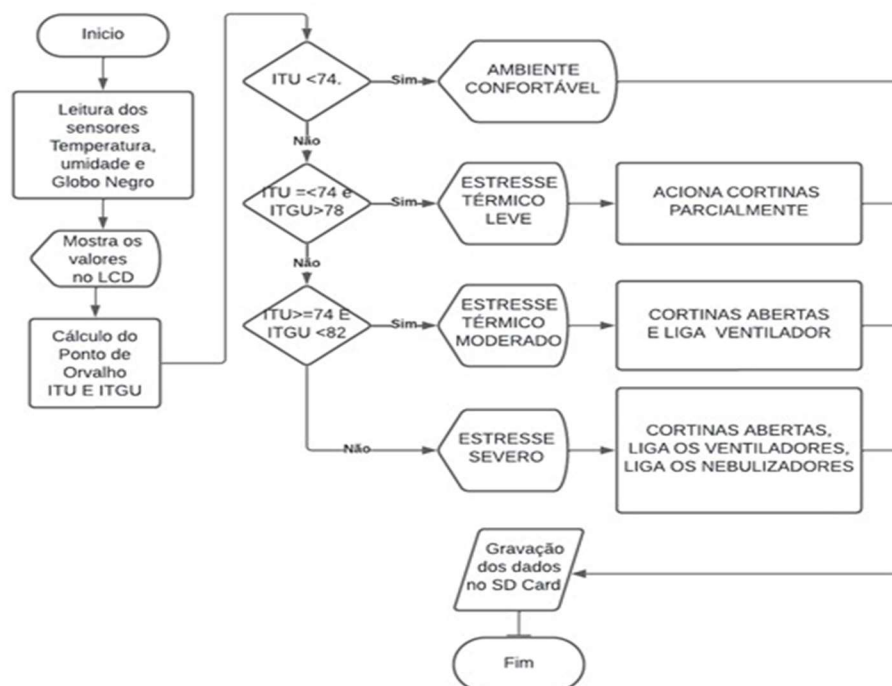




Fonte: Autoria própria (2024)

A Figura 18 apresenta o fluxograma que descreve o funcionamento dos sistemas do equipamento desenvolvido para compreensão das funcionalidades, conforme as avaliações do ambiente e suas variações e as ações propostas pelo mesmo para manutenção do ambiente térmico confortável aos suínos.

Figura 18 – Fluxograma de funcionamento do protótipo.



5.2 CUSTO PARA CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO

A Tabela 2 descreve os componentes e o custo para confecção do protótipo. Estes foram adquiridos no mês de agosto do ano de 2023, pelo site Ali Express (<https://pt.aliexpress.com/>). O custo total para confecção de um exemplar deste protótipo foi de R\$ 527,80 (em Real, moeda brasileira) e US\$ 97,80 (em Dólar, moeda americana).

Tabela 3 - Componentes e respectivo custo para confecção do protótipo*

Componentes	Custo unitário	
	R\$	US\$
Placa Arduino Mega 2560 R3	120,00	22,23
Cartão de memória (8GB)	57,80	10,71
Modulo Relé 8 Canais Arduino Shield Uno R3 Mega Relay	40,00	7,41
Display Lcd 2004 20x4 Módulo I2c Soldado Arduino	70,00	13,00
Sensor DHT22	40,00	7,41
Sensor TEMT6000	30,00	5,55
Termômetro de Globo Negro**	80,00	14,82
Caixa externa	90,00	16,67
Total	527,80	97,80

*Os componentes foram adquiridos no dia 15 de agosto do ano de 2023, pelo site Ali Express (<https://pt.aliexpress.com/>). **Caneca de pistola de pintura Arpex, pintada com 2 camadas de tinta preto fosca e sensor DHT 22 (Brennecke et al., 2023).

5.3 VERIFICAÇÃO DA FUNCIONALIDADE DO PROTÓTIPO

A Tabela 3 se refere às médias descritivas das variáveis ambientais e dos índices, além da classificação do estresse térmico, da tomada de decisão e do acionamento dos relés pelo protótipo durante os testes laboratoriais, nos três tipos de ambientes.

De acordo com os resultados, nota-se que no ambiente interno, à sombra, o estresse foi do tipo moderado e as medidas de manejo propostas pelo protótipo foram a abertura total das cortinas (acionamento dos relés 1 a 3) e os ventiladores ligados (relé 4).

No ambiente externo, ao sol, o estresse foi do tipo severo e as medidas de manejo propostas pelo protótipo foram a abertura total das cortinas (acionamento dos relés 1 a 3), com ventiladores e nebulizadores ligados (relés 4 e 5, respectivamente).

No ambiente externo noturno não houve estresse por calor, portanto, nenhum tipo de manejo foi proposto. Estes resultados referentes à tomada de decisão comprovam a funcionalidade.

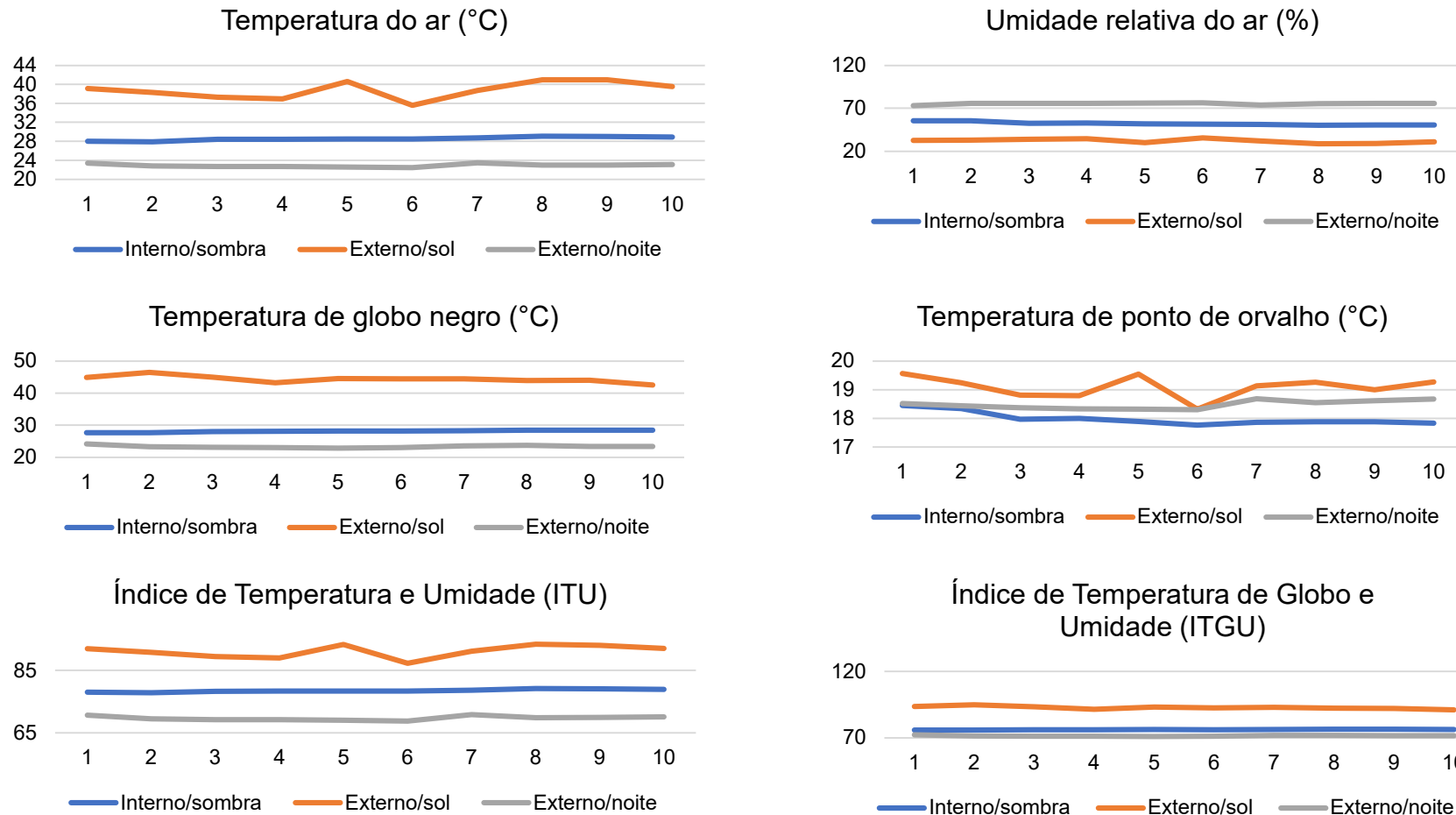
Tabela 4 - Médias descritivas das variáveis ambientais coletadas e dos índices calculados, com as classificações do estresse térmico, a tomada de decisão e o acionamento dos relés pelo protótipo, em diferentes ambientes

Ambiente ¹	Variáveis ambientais ²				Índices ³		ET ⁴	Decisão ⁵	Relé
	Tar	UR ar	TGN	Tpo	ITU	ITGU			
Interno/sombra	28,5	52,3	28,2	18,0	78,5	76,1	MO	CT/VE	1, 2, 3, 4
Externo/sol	39,2	31,6	44,4	19,2	91,5	92,8	SE	CT/VE/NE	1, 2, 3, 4, 5
Externo/noite	23,0	75,3	23,4	18,5	69,7	71,5	CO	Nenhuma ação	0

¹Ambiente: Interno/sombra: medição no dia 20 de maio de 2024, das 13h00 às 14h30; Externo/sol (exposição direta ao sol): medição no dia 21 de maio de 2024, das 13h00 às 14h30; Externo/noite: medição no dia 22 de maio, das 21h00 às 22h30. Foram realizadas 10 medições para cada ambiente, totalizando 30 medições, em um intervalo de 10 minutos. ²Variáveis ambientais: Tar: temperatura do ar (°C), UR ar: Umidade relativa do ar (%), TGN Temperatura de globo negro (°C), Tpo: temperatura de ponto de orvalho (°C). ³Índices: ITU: Índice de Temperatura e Umidade, ITGU: Índice de Temperatura de Globo e Umidade. ⁴ET = Classificação do estresse térmico em: CO: conforto, MO: Moderado, SE: Severo. ⁵Tomada de decisão: Nenhuma ação necessária, CT: cortina, VE: ventilador, NE: nebulizador.

A Figura 16 se refere às variáveis ambientais coletadas e os índices calculados pelo protótipo durante os testes laboratoriais, nos três tipos de ambiente. De acordo com os resultados, maiores temperaturas do ar, de globo negro e de ponto de orvalho, além de menor umidade relativa do ar foram obtidas no ambiente externo, ao sol. Resultados opostos foram registrados para o ambiente externo, à noite. Os resultados de ITU e ITGU confirmam os diferentes ambientes, validando o protótipo.

Figura 19 - Variáveis ambientais coletadas e índices calculados pelo protótipo, em diferentes ambientes



No eixo x, os números de 1 a 10 se referem à cada medição realizada nos diferentes ambientes e o eixo y se refere ao valor das variáveis ambientais e dos índices. O ambiente do tipo interno/sombra se refere à medição no dia 20 de maio de 2024, das 13h00 às 14h30; o ambiente externo/sol (exposição direta ao sol) se refere à medição no dia 21 de maio de 2024, das 13h00 às 14h30 e o ambiente externo/noite se refere à medição no dia 22 de maio, das 21h00 às 22h30.

De acordo com os dados coletados, pode-se inferir que o protótipo funciona conforme o esperado, coletando dados ambientais de maneira fidedigna, calculando os índices e classificando o ambiente corretamente, de modo a auxiliar os produtores quanto às tomadas de decisão para melhor promoção do conforto térmico nas pequenas e médias instalações de suínos.

Em outras palavras, o acionamento das funções é determinado pela existência ou não de estresse térmico, as informações equacionadas aparecem no *display* com linguagem simples, informando a situação atual do ambiente de alojamento dos animais, e sendo pareado às cortinas, ventiladores e nebulizadores, aciona cada um destes elementos dentro da necessidade para manutenção do ambiente adequado.

Este protótipo é inédito, não havendo disponibilidade no mercado de equipamento similar, que seja específico para a criação de suínos confinados, com cálculos de índices e tomada de decisão, voltado à pequenos e médios produtores.

Entretanto, existe no mercado produtos tecnológicos mais complexos para controle de galpões, com funções avançadas, acessíveis apenas a grandes suinocultores, já especializados, com galpões definidos para cada fase da criação.

O baixo custo deste equipamento pode viabilizar a aquisição pela assistência técnica para utilização nas atividades de campo esclarecendo aos seus assistidos a necessidade e vantagens de realizarem o monitoramento destes dados tanto para resultado do produto em qualidade, bem como atendendo à demanda crescente do mercado por um produto que atenda não somente aos anseios do consumidor, mas que potencialize as condições de atendimento ao domínio ambiental do bem-estar dos animais.

Foi levantada a ideia de se inserir no protótipo uma programação baseada em controle de programa de luz para suínos, entretanto, isto ainda não foi possível em função da ausência de um programa de luz ideal já estabelecido, com base na duração (relação entre horas de luz vs. horas de escuro), período do ano, categoria e idade animal, além de intensidade luminosa (AMARAL *et al.*, 2014; FERREIRA *et al.*, 2016).

Vislumbra-se como etapa futura, em outros estudos, o aprimoramento da mensuração da luminosidade, em unidade de lux para avaliar a quantidade de luz incidente sobre os animais e seus efeitos na produção.

Pretende-se, futuramente, aprimorar o protótipo por meio da utilização de contadores para automação do processo, principalmente em relação à abertura e fechamento de cortinas, pois neste protótipo este manejo é realizado de forma manual. Além disto, incluir novas funcionalidades, tendo em vista a disponibilidade dos relés 6, 7 e 8, além da realização de testes à campo, em instalações de pequenos e médios produtores de suínos.

6 CONCLUSÃO

O protótipo desenvolvido e validado se configura como ferramenta tecnológica eficiente e de baixo custo, para auxílio na manutenção do conforto térmico em instalações suinícolas. Com a mensuração das variáveis ambientais e análise dos dados por meio da programação inserida, o sistema é capaz de diagnosticar as condições ambientais e indicar as ações corretivas necessárias, quanto ao acionamento das cortinas, ventiladores e nebulizadores. Essas ações garantem um ambiente adequado ao desenvolvimento da suinocultura, tanto de subsistência, quanto em escala comercial para produtores de médio porte.

REFERÊNCIAS

AMARAL, A. L.; MORÉS, N.; BARIONI JÚNIOR, W.; WENTZ, I.; BORTOLOZZO, F.P.; OBESTIANSKY, J.; DALLA COSTA, O. A. Fatores de risco associados ao desempenho reprodutivo da fêmea suína. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 52, n. 5, pp. 479-486, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. RELATÓRIO ANUAL 2018, p. 176, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS - ABCS. Exportações de carne suína crescem no primeiro semestre e preço do suíno sobe no mercado interno. Associação Brasileira de Criadores de Suínos, coordenação editorial. Brasília, DF, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE SUÍNOS. **Manual de industrialização dos suínos**. Associação Brasileira de Criadores de Suínos, coordenação editorial. Brasília, DF, 2014.

ASSOCIAÇÃO DE CRIADORES DE SUÍNOS (ACS). (2011). Diretrizes de manejo para suínos em crescimento e terminação.

ASSOCIAÇÃO DE CRIADORES DE SUÍNOS (ACS). (2011). Diretrizes de manejo para leitões lactantes.

ASSOCIAÇÃO DE SUINOCULTURA DO MEU PAÍS (ASC). (2011). Diretrizes de manejo para suínos em crescimento.

ASSOCIAÇÃO DE CRIADORES DE SUÍNOS (ACS). (2011). Diretrizes de manejo para suínos em crescimento e terminação.

BAÊTA F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. 2. ed. Viçosa: UFV. 2010.

BERMAN, A.; HOROVITZ, T.; KAIM, M.; GACITUA, H. A COMPARISON OF THI indices leads to a sensible heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. *Int. J. Biometeorol.* 2016, 60, 1453-1462.

BRENNECKE, K.; PEREIRA, L. A. M.; ZEFERINO, C. P.; SOARES, V. E.; ORLANDI, C. M. B.; DIAN, P. H. M.; SANTOS JUNIOR, I.; ZAMPIERI, J. H.; HOLANDA, M. C. F. Utilização de caneca de alumínio como material alternativo para temperatura de Globo de Vernon. **ARS VETERINARIA**, Jaboticabal, SP, v. 39, n. 2, p. 034-039, 2023.

BUFFINGTON, D. E.; COLAZZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H. ET AL. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transaction of the ASAE, St. Joseph*, 1981, 24(3), 711-714.

EMBRAPA. **Mapeamento da suinocultura brasileira**. Brasília: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas; Associação Brasileira dos Criadores de Suínos, 2016. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Mapeamento+da+Suinocultura+Brasileira.pdf>. Acesso em: 02/10/ 2023.

EMBRAPA. **Qualidade da carne suína**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne/carne-suina>. Acesso em: 21 nov. 23.

FERREIRA, Rony Antonio; FASSANI, Edison José; RIBEIRO, Bruna Pontara Vilas Boas; OLIVEIRA, Rodrigo Fortunato de, CANTARELLI, Vinicius de Souza; ABREU, Márvio Lobão Teixeira de. Programas de luz para suínos em crescimento. **Archives of Veterinary Science**, v.20, n.3, p.65-70, 2015. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25699/23216>. Acesso em: 3 dez. 2023.

FIALHO, E. S.; SANTOS, L. G. F. dos. Unidades Mesoclimáticas de Viçosa-MG, na Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 31, n. 18, p. 230–258, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v31i18.15841. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/15841>. Acesso em: 26 nov. 2023.

FURTADO, MOB.; MACHADO, LC. Relato de caso sobre bioclimatologia e ambiência de unidade produtiva de suínos em uma instituição de ensino federal. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 5, pág. e12212541518, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i5.41518. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/41518>. Acesso em: 3 dez. 2023.

GARCIA, M. *et al.* Automated Ventilation Systems for Swine Facilities: Design and Implementation Considerations. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 42, n. 4, p. 301-315, 2018.

JOHNSON, M. *et al.* Skin Surface Temperature in Nursing Piglets: Influencing Factors and Relationship with Survival. **Journal of Animal Science**, v. 52, n. 3, p. 201-215, 2017.

JOHNSON, M. *et al.* Effects of Light Intensity on Behavior and Performance of Nursing Piglets. **Journal of Animal Science**, v. 52, n. 3, p. 201-215, 2018.

JOHNSON, M. *et al.* Curtain Management for Optimal Ventilation in Swine Maternity Facilities. **Journal of Animal Science**, v. 48, n. 2, p. 101-115, 2020.

LAWRENCE, M. G. The Relationship between Relative Humidity and the Dewpoint Temperature in Moist Air: A Simple Conversion and Applications. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 86, n.2, 225–234 p., 2005.

MELLADO, M.; GAYTÁN, L.; MACÍAS-CRUZ, U.; AVENDAÑO, L.; MEZA-HERRERA, C.; LOZANO, E.A.; RODRÍGUEZ, Á.; MELLADO, J. Effect of climate and insemination technique on reproductive performance of gilts and sows in a subtropical zone of Mexico. *Austral J. Vet. Sci.*, 2018, 50, 27–34.

MELLOR, D. J.; BEAUSOLEIL, N. J. Extending the 'Five Domains' model for animal welfare assessment to incorporate positive welfare states. *Animal*

Welfare, v. 24, n. 3, p. 241-253, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/280631950_Extending_the_%27Five_Domains%27_model_for_animal_welfare_assessment_to_incorporate_positive_welfare_states. Acesso em: 03/03/24

MORAES, Deina Lima de. **Aspectos relevantes da importância do bem-estar animal na suinocultura**. 2022. Disponível em: <http://repositorio.uft.edu.br/bitstream/11612/5037/1/Deina%20Lima%20de%20Moraes%20-%20TCC.pdf>

OIE. **Animal Welfare**. Disponível em: <https://www.oie.int/en/what-we-do/animalhealth-and-welfare/animal-welfare/>. Acesso em: 06 jun. 2023.

OLIVEIRA, A. *et al.* Automation of Environmental Control Systems in Swine Production: Benefits and Considerations. **Livestock Technology Review**, v. 55, n. 3, p. 201-215, 2020.

OLIVEIRA, A. *et al.* Effects of Air Quality and Humidity on Swine Health and Production. **Livestock Science**, v. 68, n. 3, p. 201-215, 2019.

OLIVEIRA, A. *et al.* Thermal Stress in Swine: Impact on Performance and Health. **Livestock Science**, v. 78, n. 3, p. 210-225, 2020.

OLIVEIRA, A. *et al.* Environmental Management for Finishing Swine: Temperature, Air Quality, and Housing Considerations. **Journal of Animal Science**, v. 73, n. 4, p. 280-295, 2021.

OLIVEIRA, A. *et al.* Skin Temperature Variation in Growing and Finishing Swine: Implications for Thermal Comfort Monitoring. **Livestock Science**, v. 65, n. 2, p. 98-112, 2019.

OLIVEIRA, M. *et al.* Arduino-Based Monitoring System for Water and Feed Consumption in Swine Production. **Livestock Science**, v. 72, n. 3, p. 201-215, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Relatório anual 2022. Disponível em: https://brasil.un.org/sites/default/files/2023-03/ONU_Brasil_Relatorio_Anual_2022.pdf. Acesso em: 21/11/2023.

PEREIRA, L. A. M.; BRENNECKE, K.; SGAVIOLI, S.; ZEFERINO, C. P.; ORLANDI, C. M. B. Monitor eletrônico do ambiente em instalações de aves, bovinos e suínos. INPI. Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Data do Depósito: 18/04/2019. Data da Publicação Nacional: 27/10/2020.

ROCHA, Isis Daniele dos Santos. **Caracterização da suinocultura no estado da Paraíba, Brasil**. 2020.

SANTOS, R. *et al.* Development of an Arduino-Based Environmental Monitoring System for Swine Production. **Livestock Technology Review**, v. 58, n. 4, p. 301-315, 2020.

SANTOS, R. *et al.* Ventilation Rates for Lactating Sows and Piglets: Considerations for Health and Performance. **Livestock Science**, v. 45, n. 2, p. 123-135, 2019.

SARUBBI, J. *et al.* Nocturnal thermal comfort in facilities for growing swines. **Campbell Scientific Agriculture Engineer**, v. 32, n. 6, p. 1034–1040, 2018.

SENSOR de luz ambiente TEMT6000. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-luminosidade/sensor-de-luz-ambiente-temt6000-4859.html>. Acesso em: 12/11/2023.

SILVA, A. *et al.* Automation of Ventilation Systems in Swine Facilities Using Arduino Technology. **Journal of Agricultural Engineering**, v. 47n. 2, p. 123-135, 2019.

SILVA, R. *et al.* Thermal Comfort Indices for Lactating Sows and Piglets: A Review. **Livestock Science**, v. 65, n. 2, p. 98-112, 2017.

SMITH, J. Integrating Automation Technologies into Swine Production: Opportunities and Challenges. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 67, n. 2, p. 123-135, 2019.

SMITH, J. Environmental Factors Affecting Swine Performance. **Journal of Animal Science**, v. 45, n. 2, p. 123-135, 2019.

SUINOCULTURA mundial: usda melhora as perspectivas para o comércio internacional. 2023. Disponível em: [https://www.3tres3.com.br/noticias-sector-suinicola/suinocultura-mundial-usda-melhora-as-perspectivas_3596/#:~:text=estimativas%20globais,\(114%2c4%20mt](https://www.3tres3.com.br/noticias-sector-suinicola/suinocultura-mundial-usda-melhora-as-perspectivas_3596/#:~:text=estimativas%20globais,(114%2c4%20mt). Acesso em: 11/11/23.

ZONDERLAND, J. J.; CORNELISSEN, L.; WOLTHUIS-FILLERUP, M.; SPOOLDER, H. A. M. Visual acuity of pigs at different light intensities. **Applied Animal Behaviour Science**, Amsterdam, v.111, n.2, p.28-37, 2009.