

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**CONFORTO TÉRMICO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE NA
SUINOCULTURA: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO AMAZÔNICA**

RODRIGO HENRIQUE RISSO AIRES ALVES

**ORIENTADORA: PROF^a DR^a JANAÍNA PAOLUCCI SALES DE LIMA
COORIENTADORA: PROF^a DR^a JULIANE KAYSE ALBUQUERQUE SILVA
QUERINO**

**Humaitá, AM
Maio, 2026**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**CONFORTO TÉRMICO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE NA
SUINOCULTURA: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO AMAZÔNICA**

RODRIGO HENRIQUE RISSO AIRES ALVES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre Ciências Ambientais.

**ORIENTADORA: PROF^a DR^a JANAÍNA PAOLUCCI SALES DE LIMA
COORIENTADORA: PROF^a DR^a JULIANE KAYSE ALBUQUERQUE SILVA
QUERINO**

**Humaitá, AM
Maio, 2026**

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

-
- A474c Alves, Rodrigo Henrique Risso Aires
 Conforto térmico ambiental e sustentabilidade na suinocultura: um
 estudo de caso na região amazônica / Rodrigo Henrique Risso
 Aires Alves. - 2026.
 89 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Rodrigo Henrique Risso Aires Alves.
 Coorientador(a): Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas,
 Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Humaitá,
 2026.
1. Bem-estar. 2. Suínos. 3. Condições climáticas. 4. Ambientes. 5.
 Produtividade. I. Alves, Rodrigo Henrique Risso Aires. II. Querino,
 Juliane Kayse Albuquerque da Silva. III. Universidade Federal do
 Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.
 IV. Título
-

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

FOLHA DE APROVAÇÃO

CONFORTO TÉRMICO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE NA SUINOCULTURA: UM ESTUDO DE CASO NA REGIÃO AMAZÔNICA (Linha de Pesquisa 2- biodiversidade e sustentabilidade do bioma amazônico)

RODRIGO HENRIQUE RISSO AIRES ALVES

Dissertação defendida e aprovada em 28 de maio de 2026, pela comissão julgadora:

Documento assinado digitalmente
 **JANAÍNA PAOLUCCI SALES DE LIMA**
Data: 22/06/2026 10:28:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa Dr^a Janaína Paolucci Sales de Lima
(PPGCA/UFAM) Orientadora/Presidente
Universidade Federal do Amazonas - FCA/UFAM

Documento assinado digitalmente
 **JEFERSON TONIN**
Data: 22/06/2026 07:58:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jefferson Tonin
(PPGCA/UFAM) Membro Titular Interno
Universidade Federal de Integração Latino-Americana – UNILA

Documento assinado digitalmente
 **AURELIO DIAZ HERRAIZ**
Data: 21/06/2026 18:34:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr Aurélio Diaz Herraiz
Membro Suplente Externo
Instituto Federal do Amazonas- IFAM

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus por me conceder o dom da vida, aos meus pais que nunca desistiram de mim, e minha esposa pela sua bravura, amor e compreensão ao conduzir nossa família nos momentos de minha ausência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primordialmente, a Deus, fonte de toda sabedoria e fortaleza, por me conceder a saúde, o conhecimento e a oportunidade de realizar este trabalho.

Aos meus pais, Norma e Bill, expresso minha mais profunda gratidão pelo amor incondicional, apoio incansável e incentivo em todas as etapas da minha vida.

À minha esposa, Rosângela Maria, e aos meus filhos, Eduarda, Ícaro e Milenna, dedico meus mais sinceros agradecimentos pelo amor, paciência e compreensão durante este período de intensa dedicação aos estudos.

Aos meus companheiros e amigos do grupo 21 de outubro de Narcóticos Anônimos, Leandro E. e Anderson J., sem sua rede de apoio, confiabilidade e amizade, jamais chegaria até aqui.

À minha inestimável orientadora, a Prof^a. Dr^a. Janaína Paolucci Sales de Lima, sou imensamente grato pela orientação segura e dedicada, pelos valiosos ensinamentos e confiança depositada em mim.

À minha coorientadora, a Prof^a. Dr^a. Juliane Kayse de Albuquerque Silva Querino, agradeço por sua colaboração, sugestões enriquecedoras e pelo conhecimento compartilhado.

À Profa. Dr^a. Kalliane Nascimento de Oliveira, agradeço suas ricas sugestões que possibilitaram um aprofundamento significativo sobre a bioclimatologia suína.

Ao Prof. Dr. Jordeanes Nascimento do Araújo, pela oportunidade de realizarmos pesquisas conjuntas e amizade construída, permitindo um aprofundamento sobre os complexos desafios e as lutas do povo amazônico.

Ao Prof. Dr. Renato Abreu Lima, por toda atenção dispensada em dúvidas recorrentes aos Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Aos meus colegas de turma, agradeço pela amizade, companheirismo e rica troca de conhecimentos.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos que viabilizou a realização deste estudo. O apoio financeiro institucional foi indispensável para a minha dedicação exclusiva à pesquisa, garantindo as condições necessárias para o meu desenvolvimento acadêmico, científico e profissional.

Ao meu gestor da Escola Estadual Duque de Caxias, professor Marcus Germano, agradeço o apoio e compreensão durante a realização desta pesquisa.

À coordenadora setorial da SEDUC de Humaitá, Martinha Lamana, expresso minha gratidão por todo o incentivo e pela oportunidade de desenvolver este estudo.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso!
Não se apavore nem desanime, pois o SENHOR, o
seu Deus, estará com você por onde você andar.”
Josué 1:9

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS E QUADROS	12
LISTA DE ABREVIações E/OU SÍMBOLOS	13
RESUMO	15
ABSTRACT	16
1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Problemática	17
1.2. Justificativa	19
1.3. Objetivos	20
1.3.1. Objetivo geral	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Hipótese	20
1.5 Metodologia	21
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
3. ANEXOS	24
CAPÍTULO 1. Ambiência suína na Amazônia: Estratégias de enriquecimento e sustentabilidade	25
RESUMO	25
ABSTRACT	26
RESUMEN	26
1. INTRODUÇÃO	26
2. METODOLOGIA	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4. CONCLUSÃO	34
AGRADECIMENTOS	34
REFERÊNCIAS	34
CAPÍTULO 02. Biomarcadores fisiológicos de estresse em espécimes suínas: Uma revisão sistemática comparativa sobre o cortisol salivar e o plasmático	37
RESUMO	37
ABSTRACT	38
RESUMEN	38
1. INTRODUÇÃO	39
2. METODOLOGIA	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.1. Estressores em suínos	45
3.2. Concentrações salivares de cortisol como bioindicador de estresse suíno	46

3.3.	Concentrações de cortisol sanguíneo na mensuração da resposta adaptativa	47
3.4.	Correlação entre concentrações salivares e sanguíneas de cortisol como indicadores fisiológicos 47	
3.5.	Influência do modelo produtivo na resposta fisiológica adaptativa	48
4.	CONCLUSÃO	48
	AGRADECIMENTOS	49
	REFERÊNCIAS	49
	CAPÍTULO 03. Revisão comparativa do comportamento de matrizes suínas em sistemas de alojamentos individuais e coletivos	54
	RESUMO	54
	ABSTRACT	55
	RESUMEN	55
1.	INTRODUÇÃO	56
2.	METODOLOGIA	58
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
3.1.	Ambiência, comportamento, monitoramento e nutrição	59
3.2.	Desempenho reprodutivo e efeitos maternos na prole	62
3.3.	Perspectivas futuras: Tecnologia e sustentabilidade.....	64
4.	CONCLUSÃO	66
	AGRADECIMENTOS	66
	REFERÊNCIAS	66
	CAPÍTULO 04. AVALIAÇÃO INTEGRADA DA SUINOCULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO: AMBIÊNCIA, ETOLOGIA E DESEMPENHO ZOTÉCNICO	69
	RESUMO	70
	ABSTRACT	71
1.	INTRODUÇÃO	71
2.	MATERIAL E MÉTODOS	73
2.1.	Local, animais, alojamento e delineamento experimental	73
2.2.	Caracterização bioclimática	74
2.3.	Perfil etológico	74
2.4.	Análise estatística.....	75
3.	RESULTADOS	76
3.1.	Dinâmica bioclimática	76
3.2.	Monitoramento comportamental	80
4.	DISCUSSÃO	82
5.	CONCLUSÃO	84
	AGRADECIMENTOS	84
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Busca na base de dados SCOPUS	39
Figura 2. Busca na base de dados Agrícola	40
Figura 3. Estratégia da busca bibliográfica para a revisão sistemática.....	58
Figura 4. Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas, Setor de Suinocultura.	74
Figura 5. Correlação entre as variáveis ambientais e desempenho de suínos alojados em sistema SISCON na região amazônica. (A) Dispersão, ITU vs Peso; (B) Dispersão, ITGU vs Peso; (C) Dispersão, TGLO vs Peso; (D) Dispersão, TR vs Peso; (E) Dispersão, ITU vs TR; (F) Dispersão, ITGU vs TR.	78
Figura 6. Correlação entre temperatura do telhado e do dorso.....	79

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1. Levantamento bibliográficas de autores de trabalhos acadêmicos	27
Tabela 2. Levantamento bibliográfico de obras publicadas entre 2015 e 2025	40
Tabela 3. Desempenho zootécnico e variáveis ambientais de suínos alojados em sistema SISCON na região amazônica	77
Tabela 4. Temperaturas por imagens termográficas infravermelhas em sistema SISCON na região amazônica	79
Tabela 5. Etograma de suínos alojados em sistema SISCON na região amazônica	81
Quadro 1. Títulos das obras selecionadas para análise.....	59

LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS

ABCS – Associação Brasileira dos Criadores de Suínos

ANCOVA – Análise de Covariância

ANOVA – Análise de Variância

BR – Rodovia Brasileira

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CEUA – Comitê de Ética em Experimentação Animal (ou Comitê de Ética no Uso de Animais)

CHU – Período Chuvoso

CPI – *Climate Policy Initiative*

EDTA – Ácido Etilenodiamino Tetra-Acético

ELISA – *Enzyme-Linked Immunosorbent Assay* (Ensaio de Imunoabsorção Enzimática)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPM – Erro Padrão da Média

FAEXP – Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas

FCA – Faculdade de Ciências Agrárias

FLIR – *Forward Looking Infrared* (Câmeras de infravermelho)

HPA – Hipotálamo-Pituitária-Adrenal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEAA – Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente **ITGU** – Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade **ITU** – Índice de Temperatura e Umidade

km² – Quilômetro quadrado

mL – Mililitro

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

PC – Peso Corporal

PPGCA – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

SciELO – *Scientific Electronic Library Online*

SEC – Período Seco

SISCON – Sistema de Confinamento

TA – Temperatura Ambiental

TBS (ou **Tbs**) – Temperatura de Bulbo Seco

TBU (ou **Tbu**) – Temperatura de Bulbo Úmido

TC – Temperatura da Cabeça

TD – Temperatura do Dorso

TG (ou **tg** / **TGLO**) – Temperatura de Globo Negro

TP – Temperatura do Piso

TPa – Temperatura da Pata

TR – Temperatura Retal

TRA – Período de Transição

TT – Temperatura do Teto

UFAM – Universidade Federal do Amazonas

UR – Umidade Relativa do Ar

USDA – *United States Department of Agriculture* (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos)

WRI – *World Resources Institute*

ZCT – Zona de Conforto Térmico

ZT – Zona de Termoneutralidade

RESUMO

ALVES, R.H.R.A. **Conforto térmico ambiental e sustentabilidade na suinocultura: um estudo de caso na região amazônica.** Humaitá, 2026. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente- Universidade Federal do Amazonas.

A suinocultura brasileira, embora historicamente concentrada nas regiões Sul e Sudeste, demonstra um potencial de expansão em outras áreas do país, como a Amazônia. No entanto, o manejo de suínos em ambientes tropicais úmidos, exige cuidados específicos devido à sensibilidade dos animais a flutuações térmicas. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o impacto das condições climáticas sobre o bem-estar e a produtividade de suínos criados em confinamento. Capítulo 1. Ambiência suína na Amazônia: Estratégias de enriquecimento e sustentabilidade; Capítulo 02. Biomarcadores fisiológicos de estresse em espécimes suínas: Uma revisão sistemática comparativa sobre o cortisol salivar e o plasmático; Capítulo 03. Revisão comparativa do comportamento de matrizes suínas em sistemas de alojamentos individuais e coletivos; e Capítulo 04. Avaliação multivariada da suinocultura no trópico úmido: Ambiência, etologia e desempenho zootécnico. Com isso, os resultados deste trabalho contribuem para um melhor entendimento dos efeitos das condições climáticas tropicais sobre o bem-estar e a produtividade de suínos, permitindo o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis para região amazônica.

Palavras-chave: Bem-estar; Suínos; Condições climáticas; Ambientes; Produtividade.

ABSTRACT

ALVES, R.H.R.A. **Environmental Thermal Comfort and Sustainability in Swine Farming: A Case Study in the Amazon Region**. Humaitá, 2024. 90 p. Dissertation (Master in Environmental Sciences) - Institute of Education, Agriculture and Environment - Federal University of Amazonas

Brazilian pig farming, although historically concentrated in the South and Southeast regions, shows potential for expansion into other areas of the country, such as the Amazon. However, managing pigs in humid tropical environments requires specific care due to the animals' sensitivity to temperature fluctuations. This research aims to assess the impact of climatic conditions on the welfare and productivity of pigs raised in confinement. Chapter 1. Swine environment in the Amazon: Enrichment strategies and sustainability; Chapter 2. Physiological stress biomarkers in pig specimens: A systematic comparative review of salivary and plasma cortisol; Chapter 3. Comparative review of the behavior of sows in individual and collective housing systems; and Chapter 4. Multivariate assessment of pig farming in the humid tropics: Environment, ethology, and zootechnical performance. These results contribute to a better understanding of the effects of tropical climatic conditions on pig welfare and productivity, enabling the development of more efficient and sustainable management strategies for the Amazon region.

Keywords: Welfare; Swine; Climatic conditions; Environments; Productivity.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Problemática

A importância econômica da suinocultura no Brasil é notável, pois este setor ocupa um papel central no cenário nacional, promovendo o avanço socioeconômico em diversas regiões. Atualmente posicionado como o quarto maior produtor e exportador de carne suína do mundo, o Brasil demonstra condições ideais para a produção sustentável (Amaral, 2016). Na região amazônica, este tipo de produção contribui significativamente para a economia local; no entanto, sua expansão é prejudicada por diversos desafios, incluindo questões ambientais, como o desmatamento e poluição de recursos naturais. Essas preocupações ambientais exigem uma abordagem equilibrada nas práticas de produção que priorizem a sustentabilidade ecológica enquanto promovem o crescimento econômico, conforme Tavares (2019) aponta.

Considerando estes aspectos, o produtor necessita compreender que o ambiente térmico, tem se tornado um fator limitante dentro do processo de produção. Tornam-se relevantes pesquisas em busca de avaliar a influência do conforto térmico sobre o desempenho dos animais, buscando com isso, novas alternativas que ajustem os sistemas de criação dos suínos para as características regionais (Manno et al. 2006).

Sob essa perspectiva, Baptista et al. (2011) discutiram sobre as mudanças no perfil do produtor brasileiro, em virtude da sociedade buscar por produtos de maior qualidade, acarretando progressos substanciais que influenciaram positivamente na produção animal, atribuindo parâmetros que são usados na avaliação do bem-estar dos suínos nos sistemas onde são criados ainda hoje.

No entanto, é crucial contextualizar a correlação entre as elevadas temperaturas e o desempenho insatisfatório dos suínos. Conforme destacado por Araújo et al. (2022), os suínos apesar de serem animais homeotérmicos, são altamente sensíveis a variações de temperatura. Quando expostos a temperaturas elevadas, esses animais rapidamente desenvolvem uma série de problemas fisiológicos, como aumento da temperatura corporal, falhas nos mecanismos de termorregulação e elevação da frequência cardíaca e respiratória. Essas condições, se não controladas, podem levar à morte do animal, uma vez que a redução no consumo de alimentos está intrinsecamente ligada ao custo energético no processo de termorregulação.

A tecnificação do setor, ao oferecer ferramentas para o controle das variáveis ambientais, tem sido fundamental para garantir o conforto térmico dos animais e, consequentemente, melhorar sua qualidade de vida. Essa perspectiva converge com os achados de Santos et al. (2024).

No contexto da implementação de um sistema tecnificado dentro do ecossistema amazônico, Machado (2023) realiza uma análise dos parâmetros climáticos característicos dos ambientes tropicais, as altas temperaturas persistentes e a elevada umidade relativa observada durante todo o ano, exacerbam os desafios para a produção de suínos na região. Como consequência, o estressor climático está correlacionado com um declínio nos índices zootécnicos, como queda da produtividade, aumento nas taxas de morbidade e mortalidade, e prejuízo nos padrões de qualidade da carne suína.

Para quantificar e elucidar o impacto dessas variáveis climáticas no bem-estar animal, a literatura preconiza a utilização de índices de conforto térmico. Esses índices integram diferentes parâmetros ambientais — como temperatura do ar, umidade relativa, radiação e velocidade do vento — em valores numéricos que representam com maior fidelidade a sensação térmica real do animal. Dentre os índices mais consolidados e utilizados na suinocultura, destacam-se o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), o Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade (ITGU) e a Entalpia. O ITU é amplamente aplicado por relacionar os efeitos diretos do calor e da umidade do ar; o ITGU avança ao incorporar a carga térmica de radiação, sendo altamente recomendado para instalações zootécnicas abertas ou semiabertas; e a Entalpia avalia a energia total contida no ar, determinando a capacidade do ambiente em permitir a dissipação de calor latente pelo suíno (Silveira et al., 2025).

O conforto ambiental é essencial para garantir a saúde e o bem-estar dos suínos. Ambientes inadequados podem levar ao estresse térmico, que afeta o crescimento, a reprodução e a eficiência alimentar dos animais. Por isso, é crucial implementar estratégias de manejo que promovam um ambiente confortável, como a ventilação adequada, o uso de sombreamento e sistemas de resfriamento evaporativo (Sampaio, 2024).

Apoio a essas conclusões, Mesquita (2023) enfatiza a relação crítica entre as condições climáticas e o bem-estar animal, observando que tais estressores ambientais provocam respostas fisiológicas que comprometem o ganho de peso, induzem complicações reprodutivas e aumentam os riscos de mortalidade entre os suínos.

A sustentabilidade na suinocultura envolve práticas que minimizam os impactos ambientais, como a gestão eficiente de resíduos, a utilização de energias renováveis e a conservação dos recursos naturais. Na região amazônica, a preservação da floresta e a redução do desmatamento são fundamentais para manter o equilíbrio ecológico e garantir a viabilidade em longo prazo da atividade suinícola. Neste quesito, a pesquisa tem aporte nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) 2, 7 e 13, para os autores Pimenta e Pasqualetto (2024),

este é um momento chave para se adotar práticas mais responsáveis e equilibradas, que apesar do reconhecimento da importância, ainda ocorre uma distância e aplicação dos princípios estabelecidos pelas metas atribuídas a cada objetivo.

Em última análise, as pesquisas são insuficientes para determinar em que medida esse ambiente contribui para a produção (Collin et al. 2001). Além dos impactos na produção, a falta de controle do conforto térmico gera consequências ambientais significativas. A hipótese central desta pesquisa, é que a manutenção dos animais na

zona de temperatura máxima crítica nas granjas suínas da Amazônia contribui para a intensificação de problemas no meio ambiente.

Portanto, este estudo de caso visa explorar e analisar práticas de conforto ambiental e sustentabilidade, enfrentando os desafios impostos pelas altas temperaturas gerando subsídios para o desenvolvimento sustentável da atividade na região, fornecendo informações para os criadores locais.

1.2. Justificativa

A suinocultura é uma atividade agropecuária de grande expressão econômica. No entanto, a prática enfrenta desafios únicos devido às altas temperaturas e à umidade característica da região amazônica. Esses fatores ambientais podem impactar negativamente o bem-estar dos animais, reduzindo a produtividade e aumentando os custos de produção (Galvão et al., 2019).

O conforto ambiental é essencial para garantir a saúde e o bem-estar dos animais. Ambientes inadequados podem levar ao estresse térmico, que afeta o crescimento, a reprodução e a eficiência alimentar dos animais. Por isso, é crucial implementar estratégias de manejo que promovam um ambiente confortável, como a ventilação adequada, o uso de sombreamento e sistemas de resfriamento evaporativo (Sampaio, 2024), garantindo que as variáveis climáticas internas não prejudiquem a fisiologia animal.

Neste cenário, a eficácia do Sistema de Confinamento em manter os índices bioclimáticos adequados é o ponto central da investigação. A viabilidade técnica da atividade depende da precisão no controle do microclima para assegurar que o animal permaneça em sua zona de termoneutralidade. Para os autores Pimenta e Pasqualetto (2024), este é um momento chave para se adotar práticas de manejo térmico mais responsáveis e equilibradas, pois, apesar do reconhecimento da importância do bem-estar, ainda ocorre uma distância entre a teoria e a aplicação prática dos princípios estabelecidos pelas metas de conforto animal em regiões de clima tropical.

Portanto, este estudo de caso visa explorar e analisar as condições de conforto térmico

ambiental no Sistema de Confinamento, enfrentando os desafios impostos pelas altas temperaturas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Avaliar o conforto térmico ambiental de suínos alojados em sistema de confinamento (SISCON) na região amazônica.

1.3.2. Objetivos específicos

- Verificar as variáveis ambientais que influenciam a zona de termoneutralidade;
- Analisar os indicadores fisiológicos de estresse térmico;
- Identificar alternativas tecnológicas e de manejo que promovam a sustentabilidade e a mitigação do estresse térmico em sistemas de confinamento;
- Identificar alternativas de mitigação de estresse térmico em SISCON.

1.4. Hipótese

O estudo fundamenta-se no pressuposto de que o sistema de confinamento oferece um gradiente térmico favorável à suinocultura na Amazônia, mitigando os efeitos do estresse calórico ambiental. Acredita-se que o manejo das instalações permite o controle eficiente do microclima, assegurando que a temperatura superficial dos animais permaneça em equilíbrio com o ambiente, o que validaria a eficiência deste sistema em proporcionar conforto térmico contínuo e preservar o potencial zootécnico da espécie diante do desafio climático tropical.

1.5 Metodologia

A presente dissertação foi delineada em formato capitular, estruturando-se a partir de uma progressão lógico-científica que culmina na pesquisa empírica. Os Capítulos I, II e III foram elaborados sob a forma de artigos de revisão, compondo o alicerce teórico-conceitual do trabalho. Nessas seções, promove-se uma discussão crítica da literatura especializada para contextualizar a relevância e os desafios da suinocultura inserida nas particularidades do bioma amazônico.

A consolidação desses conceitos fornece o embasamento estrutural para o Capítulo IV, que consubstancia a etapa prática da pesquisa, apresentando a condução, a análise e os resultados do experimento in loco, realizado no período de novembro de 2024 a janeiro de 2026.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, P. I. S. Avaliação ambiental e de bem-estar da criação de suínos em sistemas de cama sobreposta e convencional. 2016. 99 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11403>.
- ARAÚJO, R. G. R.; GUIMARÃES, T. P.; GOMES, M. R. Influência dos fatores climáticos sobre o desempenho, qualidade de carcaça e carne de suínos: revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 3, p. e263273047, fev. 2022.
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26327>.
- BAPTISTA, R. I. A. A.; BERTANI, G. R.; BARBOSA, C. N. Indicadores do bem-estar em suínos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 10, p. 1823-1830, out. 2011.
<https://www.scielo.br/j/cr/a/6cCQCPjVDbg6KHGYnHxHbhF/>.
- COLLIN, A.; VAN MILGEN, J.; DUBOIS, S.; NOBLET, J. Effect of high temperature and feeding level on energy utilization in piglets. *Journal of Animal Science*, Champaign, v. 79, n. 7, p. 1849-1857, 2001. <https://doi.org/10.2527/2001.7971849x>.
- GALVÃO, A. T.; DA SILVA, A. D. S. L.; PIRES, A. P.; DE MORAIS, A. F. F.; NETO, J. S. N. M.; AZEVEDO, H. H. F. (2019). Bem-estar animal na suinocultura: Revisão. *Pubvet*, 13, 148. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n3a289.1-6>
- MACHADO, F. F. S. Avaliação do ambiente térmico do setor produtivo de suinocultura da Universidade Federal Rural da Amazônia Campus Belém-PA. 2023. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA, 2023.
<https://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/3293>.
- MANNO, M. C., OLIVEIRA, R. F. M., DONZELE, J. L., et al. Efeitos da temperatura ambiente sobre o desempenho de suínos dos 30 aos 60 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(2), 471-477, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000200019>.
- MESQUITA, P. C. R. Desempenho de suínos alimentados com farinha de resíduos de tambaqui (*Colossoma macropomum*). 2023.
- PIMENTA, C.; PASQUALETTO, A. Análise de sustentabilidade da produção bovina do estado de Goiás. *COLÓQUIO. Revista do Desenvolvimento Regional*, v. 21, n. 3, p. 304-317, 2024. <https://doi.org/10.26767/coloquio.v21i3,%20jul./set..3529>.
- SAMPAIO, C. A. P. Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. *Ciência Rural*, v. 34, p. 785-790, 2004.
<https://www.scielo.br/j/cr/a/V75MJL4NBbSkvn6xcR6VVcp/>.
- SANTOS, I. S. DOS, PINTO, H. O., BRUNNER, P. K. C., OLIVEIRA, K. N. DE, & LIMA, J. P. S. de. (2024). Bem-estar de leitões confinados em cama sobreposta na região Amazônica. *Revista Agrária Acadêmica*, 7(2). <http://dx.doi.org/10.32406/v7n2/2024/10-agrariacad>.
- TAVARES, W. L. S. Farinha de Cará-roxo (*Dioscorea trifida*, L.) na alimentação de suínos na fase de terminação. 2019. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

3. ANEXOS

SEI/UFAM - 2781801 - Certificado CEUA

https://sei.ufam.edu.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir...



Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Comissão de Ética no Uso de Animais

CERTIFICADO CEUA/UFAM

Certificamos que a proposta intitulada "Conforto térmico ambiental e sustentabilidade na suinocultura: um estudo de caso na região amazônica", registradas com o nº 23105.030080/2025-11, sob a responsabilidade de Janaína Paolucci Sales de Lima - que envolve a produção, manutenção ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto humanos), para fins de pesquisa científica encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA).

Finalidade	() Ensino (X) Pesquisa Científica
Vigência da autorização	Até 31 de agosto de 2026
Espécie/linhagem/raça	Suíno (<i>Sus scrofa domesticus</i>)
Nº de animais	13
Peso/Idade	100 - 150kg / variada
Sexo	03 Machos / 10 Fêmeas
Origem	Fazenda Experimental da UFAM - FAEXP

PROCESSO:

APROVADO/DATA: 04 de setembro de 2025
TÍTULOS: Conforto térmico ambiental e sustentabilidade na suinocultura: um estudo de caso na região amazônica
AUTORES: Janaína Paolucci Sales de Lima
DEPARTAMENTO/UFAM: DPAV/FCA/UFAM

Manaus, 04 de setembro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por Lucas Magalhães Lara, Vice-Coordenador, em 04/09/2025, às 16:59, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufam.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 2781801 e o código CRC E845E75A.

Av. Rodrigo Otávio, 6200 - Bairro Coroado Campus Universitário Senador Arthur Virgílio Filho, Setor Sul, Bloco D, ao lado do Biotério Central -
Telefone:

CEP 69077-000, Manaus/AM, ceuamaneus@ufam.edu.br

Referência: Processo nº 23105.030080/2025-11

SEI nº 2781801

CAPÍTULO 1. Ambiência suína na Amazônia: Estratégias de enriquecimento e sustentabilidade.

Swine environment in the amazon: enrichment and sustainability strategies
Ambiente porcino en la amazonía: estrategias de enriquecimiento y sostenibilidad

DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv22n12-039>

Receipt of originals: 11/01/2024

Acceptance for publication: 11/27/2024

Rodrigo Henrique Risso Aires Alves

Mestrando em Ciências Ambientais Instituição: Universidade Federal do Amazonas

Endereço: Humaitá, Amazonas, Brasil

E-mail: rodrigobioquimica17@hotmail.com

Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino

Doutora em Física Ambiental Instituição: Universidade Federal do Mato Grosso

Endereço: Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

E-mail: julianekayse@ufam.edu.br

Renato Abreu Lima

Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia Instituição: Universidade Federal do Amazonas

Endereço: Humaitá, Amazonas, Brasil

E-mail: renatoal@ufam.edu.br

Janaína Paolucci Sales de Lima

Doutora em Biotecnologia Instituição: Universidade Federal do Amazonas

Endereço: Manaus, Amazonas, Brazil

E-mail: paolucci@ufam.edu.br

RESUMO

O presente estudo, por meio de uma revisão sistemática da literatura, buscou identificar e analisar as estratégias de enriquecimento ambiental e práticas de produção sustentável aplicadas à suinocultura na Amazônia. A pesquisa foi conduzida a partir de uma busca rigorosa em bases de dados acadêmicas, utilizando descritores específicos para a identificação dos artigos. Os resultados obtidos demonstram a necessidade de aprofundar os estudos sobre o tema, especialmente no que diz respeito à adaptação das tecnologias e práticas de manejo às condições edafoclimáticas da região. A importância do enriquecimento ambiental para promover o bem-estar animal e a qualidade da carcaça, bem como a utilização de recursos locais para reduzir os custos de produção e promover a sustentabilidade ambiental foram os principais pontos destacados.

Palavras-chave: Suinocultura, Bioclimatologia, Bem-Estar Animal.

ABSTRACT

The present study, through a systematic literature review, aimed to identify and analyze environmental enrichment strategies and sustainable production practices applied to pig farming in the Amazon. The research was conducted through a rigorous search in academic databases, utilizing specific descriptors for the identification of articles. The results obtained demonstrate the need to deepen studies on the subject, especially regarding the adaptation of technologies and management practices to the edaphoclimatic conditions of the region. The importance of environmental enrichment for promoting animal welfare and carcass quality, as well as the use of local resources to reduce production costs and promote environmental sustainability, were the main points highlighted.

Keywords: Pig Farming, Bioclimatology, Animal Welfare.

RESUMEN

El presente estudio, a través de una revisión sistemática de la literatura, buscó identificar y analizar las estrategias de enriquecimiento ambiental y las prácticas de producción sostenible aplicadas a la porcicultura en la Amazonía. La investigación se llevó a cabo mediante una búsqueda rigurosa en bases de datos académicas, utilizando descriptores específicos para la identificación de los artículos. Los resultados obtenidos demuestran la necesidad de profundizar los estudios sobre el tema, especialmente en lo que respecta a la adaptación de las tecnologías y prácticas de manejo a las condiciones edafoclimáticas de la región. La importancia del enriquecimiento ambiental para promover el bienestar animal y la calidad de la canal, así como la utilización de recursos locales para reducir los costos de producción y promover la sostenibilidad ambiental, fueron los principales puntos destacados.

Palabras clave: Producción Porcina, Bioclimatología, Bienestar Animal.

1. INTRODUÇÃO

A importância econômica da suinocultura no Brasil é notável, pois este setor ocupa um papel central no cenário nacional, promovendo o avanço socioeconômico em diversas regiões. Atualmente posicionado como o quarto maior produtor e exportador de carne suína do mundo, o Brasil demonstra condições ideais para a produção sustentável (Amaral, 2016). Na região amazônica, a suinocultura contribui significativamente para a economia local; no entanto, sua expansão é prejudicada por diversos desafios, incluindo questões

ambientais, como o desmatamento e poluição de recursos naturais. Essas preocupações ambientais exigem uma abordagem equilibrada nas práticas de produção que priorizem a sustentabilidade ecológica enquanto promovem o crescimento econômico.

Neste contexto, Machado (2023) argumenta que a região amazônica é caracterizada por um clima tropical, marcado por temperaturas elevadas e alta umidade relativa. Essas condições ambientais contribuem para uma maior vulnerabilidade da fauna local ao estresse térmico. Consequentemente, é imprescindível realizar uma avaliação ambiental abrangente para identificar os fatores que influenciam a termorregulação nessas espécies. Tais avaliações facilitarão o desenvolvimento de estratégias direcionadas para mitigar os efeitos adversos do estresse térmico no crescimento e desenvolvimento dos suínos. Ao elucidar os mecanismos subjacentes da termorregulação, essa abordagem pode levar a práticas de manejo aprimoradas que aperfeiçoem o bem-estar animal e a produtividade em ambientes tropicais. Além disso, compreender essas dinâmicas é crucial para avançar na produção sustentável em áreas ecologicamente sensíveis.

No estado do Amazonas, a criação de suínos serve principalmente a propósitos de subsistência, aproveitando os atributos ecológicos intrínsecos da região (Tavares, 2019). Embora a escala de produção estadual seja relativamente modesta em comparação com outras regiões, constitui um componente essencial da economia local. Além disso, apesar dos avanços na implementação de práticas sustentáveis de criação de suínos, ainda persistem lacunas substanciais de conhecimento sobre a eficácia de estratégias específicas de enriquecimento ambiental na mitigar de estressores ambientais e na melhoria do bem-estar animal. Abordar essas lacunas é crítico para avançar na sustentabilidade, sendo necessário pesquisas contínuas buscando elucidar a relação entre o enriquecimento ambiental e os resultados do bem-estar animal, assim como os impactos ecológicos.

Recentemente, Stolte, Garcia e Castro Burbarelli (2024) enfatizaram que desafios são prevalentes e inerentes às fases de desenvolvimento dos suínos, sendo o estresse térmico, as flutuações na densidade óssea, revestimento de piso e as interações humano-animal os problemas mais frequentemente encontrados. Considerando o discurso em andamento sobre o bem-estar suíno, é crucial assimilar a totalidade do conhecimento existente para formular recomendações baseadas em evidências para o enriquecimento ambiental. Essas recomendações são projetadas para proteger a saúde dos suínos, promover comportamentos típicos da espécie, aumentar a produtividade e, em última

análise, gerar resultados econômicos favoráveis para as operações na granja.

Esta revisão propõe que a aplicação de estratégias direcionadas de enriquecimento ambiental possa mitigar os estressores ambientais encontrados na suinocultura na região Amazônica. Tal abordagem visa aprimorar o conforto térmico para os suínos, e essas intervenções promovem simultaneamente a sustentabilidade. O objetivo principal desta investigação é identificar sistematicamente e avaliar criticamente essas estratégias, fornecendo assim recomendações empíricas destinadas a aprimorar a eficácia dos produtores e os resultados de bem-estar na suinocultura. Através dessa abordagem, aspiramos contribuir para o avanço de agroecossistemas sustentáveis no contexto da agricultura amazônica.

2. METODOLOGIA

O levantamento bibliográfico foi realizado com uma abordagem sistemática com o objetivo de sintetizar o conhecimento existente sobre as estratégias de enriquecimento ambiental e práticas sustentáveis na criação de suínos na região amazônica (Araújo et al., 2022). Inicialmente, realizou-se uma busca abrangente em bases de dados acadêmicas de alto impacto, incluindo a Scientific Electronic Library Online (SciELO), Google Acadêmico e o Portal de Periódicos da Capes (Garcia Mendorza et al., 2023). A busca utilizou um conjunto de palavras-chave bem definidas, especificamente: “ambiência suína”, “suinocultura”, “enriquecimento ambiental”, “sustentabilidade”, “Amazônia” e “bem-estar animal”. Os critérios de inclusão para a seleção dos artigos foram: estudos publicados nos últimos cinco anos (2019-2024), artigos revisados por pares e pesquisas que abordassem diretamente a ambiência suína e práticas de enriquecimento e sustentabilidade na Amazônia. Excluíram-se artigos que não apresentavam dados empíricos ou que não estavam disponíveis em texto completo.

O acesso a trabalho de conclusão de curso, dissertações, capítulos de livros e artigos pertinentes à temática proposta permitiu um embasamento teórico robusto, além de proporcionar novas ideias e uma perspectiva mais realista sobre a proposta levantada. A leitura dos resumos desses trabalhos foi essencial para responder a diversos questionamentos. Após a categorização dos temas, foram elaboradas discussões sobre cada aspecto relacionado ao estudo da suinocultura, enriquecimento ambiental e práticas sustentáveis (Barros et al., 2023). Os dados coletados foram analisados qualitativamente, identificando padrões e tendências nas estratégias de enriquecimento ambiental e práticas

sustentáveis descritas nos estudos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, um total de 20 artigos foi identificado de acordo com critérios pré- definidos para análise preliminar. Dentre esses, dez trabalhos acadêmicos (Tabela 1) com fundamentos científicos robustos foram selecionados, todos os quais estão alinhados com o foco temático desta revisão. As literaturas identificadas representam contribuições significativas para o discurso, facilitando uma compreensão abrangente do tema em questão com relevância, possibilitando as análises e interpretações subsequentes.

Tabela 1. Levantamento bibliográficas de autores de trabalhos acadêmicos.

Autores	Título	Tipo	Fonte	Ano de publicação
SILVA, L. F.; RIPPEL, D. N.; MENEGALI, I.; CANEPPELE, L. B. de P.	Biogás e água residuária de suinocultura: potencial de produção na região Norte do Brasil.	Artigo	Repositório UFMG	2019
SILVA, I. P.; MARTINELLI, S. G.; RITTER, M. A.; LIMA FILHO, H. A.; TADEU, H. C.	Caroço de açaí na alimentação de suínos criados no Sul do Amazonas	Artigo	Rev. Cadernos de agroecologia	2020
SOBCZAK, J. C.	Produção de biofertilizante com resíduos da suinocultura: avaliação da influência da economia circular nas dimensões da sustentabilidade no agronegócio catarinense	Dissertação	Repositório UFSC	2021
VIVEIROS, K. K. de S.	Ambiência e manejo de espera pré-abate de suínos em condições de clima tropical: influência nos indicadores termofisiológicos e de qualidade da carne.	Dissertação	Repositório UFSC	2022
FURTADO, M. O. B.; MACHADO, L. C.	Estudo de caso sobre a bioclimatologia e ambiência do setor de suinocultura de uma instituição de ensino federal.	Artigo	Research, Society and Development	2023

CAVALCANTI, I. M. P.	Comportamento de leitões sob diferentes estratégias de enriquecimento ambiental durante a fase de creche	Trabalho de conclusão de curso	Repositório UFPB	2023
MESQUITA, P. C. R.	Desempenho de suínos alimentados com farinha de resíduos de tabaqui (<i>Colossoma macropomum</i>).	Dissertação	Tede UFAM	2023
MOTA, T. M. P.	Consumo de carne suína: Mitos e realidades sobre a carne suína no Brasil	Trabalho de conclusão de curso	Repositório UFT	2022
GERONA, L. N.	Levantamento de publicações científicas sobre a gestão ambiental na suinocultura, através do uso de biodigestor.	Artigo	Revista Gestão e Sustentabilidade e Ambiental	2024
SANTOS, I. S. dos; PINTO, H. O.; BRUNNER, P. K. C.; OLIVEIRA, K. N. DE; LIMA, J. P. S. de.	Bem-estar de leitões confinados em cama sobreposta na região Amazônica.	Artigo	Revista Agrária Acadêmica	2024

Fonte: Autores.

De acordo com Miele e Waquil (2007), o Brasil apresentou uma trajetória ascendente notável em desempenho desde 1970, alcançando uma taxa de crescimento que supera a de seus concorrentes, apesar da imposição de regulamentos de mercado cada vez mais rigorosos. Os autores delineiam duas categorias distintas dentro do setor de abate e processamento de suínos: empresas líderes e mercados regionais. A principal distinção entre esses grupos reside em suas estratégias de maximização de lucros, que são mais claramente ilustradas pelo desenvolvimento de uma cadeia de produção integrada que abrange a síntese de insumos com agroindústrias especializadas em ração, genética, logística e suporte técnico. Além disso, houve avanços substanciais em tecnologia, padrões de saúde pública, infraestrutura de instalações, práticas de gestão e bem-estar animal, todos os quais contribuíram para uma maior eficiência de produção, particularmente nas regiões sul do Brasil.

Analisando o contexto histórico, o setor suinícola no Brasil experimentou uma expansão significativa durante o início dos anos 1990, impulsionada por diversos fatores, incluindo a vasta área territorial do país. Pesquisas realizadas por Gonçalves e Palmeira

(2006) relataram que a densidade de suínos no Brasil era de 4,34 suínos/Km², enquanto na China era de 45,5 suínos/Km². Essa disparidade levou países com populações suínas maiores a implementar medidas de controle reprodutivo e até considerar a redução do tamanho dos rebanhos. No entanto, o Brasil demonstrou um crescimento notável, subindo da 12^a posição nos rankings globais em 1993 para a 4^a posição atualmente. Essa transformação ressalta os avanços estratégicos e a competitividade do Brasil na indústria suína global.

As pesquisas conduzidas por Teixeira (2020) e Gerona (2024) melhoram significativamente a compreensão dos desafios associados às práticas contemporâneas de criação de suínos. Teixeira (2020) destaca a correlação entre as atividades intensificadas de criação de suínos e o aumento da geração de resíduos, indicando que a gestão inadequada de resíduos pode levar a uma degradação ambiental severa. Em contraste, Gerona (2024) elucida ainda mais os riscos associados a um foco exclusivo na rentabilidade econômica nos sistemas de produção, argumentando que a desconsideração das repercussões ambientais e sociais pode comprometer a sustentabilidade em longo prazo. A convergência das pesquisas de ambas as autoras aponta para a necessidade urgente de uma reavaliação do modelo aplicado atualmente na produção suinícola, buscando um equilíbrio entre a viabilidade econômica e a preservação da integridade ambiental e social.

Ao analisar o efetivo do rebanho suinícola brasileiro registrado pelo instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE) no ano de 2023, observa-se um contraste marcante entre as regiões sul e norte do país. Neste contexto, a diferença pode ser evidenciada entre os municípios de Santa Catarina e Amazonas. Santa Catarina possui o rebanho estimado em 9.316.166 cabeças (IBGE, 2024a), enquanto o Amazonas possui aproximadamente 75.971 cabeças (IBGE, 2024b). Essa diferença evidencia a pequena escala da atividade suinícola na região amazônica em relação ao restante do país.

No entanto, é crucial contextualizar a importância da suinocultura dentro da matriz produtiva da região, onde a agricultura familiar predomina e abrange uma variedade de componentes no sistema de produção. Essa suinocultura é predominantemente extensiva, mas desempenha um papel fundamental na econômica das famílias ribeirinhas. Consequentemente, o Amazonas possui um potencial considerável para o aprimoramento e a expansão deste setor, que, no presente, contribui com menos de 1% para a produção total de exportação (ABCS, 2023).

Considerando as características ecológicas e socioeconômicas da região

amazônica, é imperativo avaliar os potenciais entraves e desafios associados à implementação dos modelos de sistemas de produção prevalentes em outras regiões do Brasil no ambiente amazônico. Considerando a necessidade de uma abordagem que transcenda os aspectos produtivos tradicionais, como instalações e adaptações para o estresse térmico, Braga et al. (2018) propõem uma visão integrada que considere as interações entre os animais, o ambiente e os sistemas de produção adotados, ou seja, a promoção do bem-estar animal e a sustentabilidade da produção.

A revisão sistemática elucidou a suscetibilidade dos suínos a fatores estressores, particularmente o estresse térmico induzido por temperaturas ambientes elevadas e altos níveis de umidade relativa. Isso enfatiza a crescente priorização das condições ambientais na produção suína, com o objetivo de melhorar o bem-estar animal e otimizar a expressão do potencial genético inerente às espécies suínas. No processo de seleção de locais para instalações de suínos, é imperativo avaliar rigorosamente a faixa de temperatura e monitorar as respostas fisiológicas e comportamentais dos animais a essas flutuações de temperatura (Viveiros, 2022). Essas avaliações são críticas, pois influenciam diretamente a capacidade termorreguladora dos animais, tornando-os, conseqüentemente, mais vulneráveis ao surgimento de várias questões de saúde.

A tecnificação do setor, ao oferecer ferramentas para o controle das variáveis ambientais, tem sido fundamental para garantir o conforto térmico dos animais e, conseqüentemente, melhorar sua qualidade de vida. Essa perspectiva converge com os achados de Santos et al. (2024). No contexto da implementação de um sistema tecnificado dentro do ecossistema amazônico, Machado (2023) realiza uma análise dos parâmetros climáticos característicos dos ambientes tropicais, as altas temperaturas persistentes e a elevada umidade relativa observada durante todo o ano, exacerbam os desafios para a produção de suínos na região. Como consequência, o estressor climático está correlacionado com um declínio nos índices zootécnicos, como queda da produtividade, aumento nas taxas de morbidade e mortalidade, e prejuízo nos padrões de qualidade da carne suína. Apoio a essas conclusões, Mesquita (2023) enfatiza a relação crítica entre as condições climáticas e o bem-estar animal, observando que tais estressores ambientais provocam respostas fisiológicas que comprometem o ganho de peso, induzem complicações reprodutivas e aumentam os riscos de mortalidade entre o gado.

No tocante de implantação do sistema tecnificado no ambiente amazônico, Machado (2023) analisa as características climáticas nos trópicos, apontando as altas temperaturas

e umidade relativa elevada ao longo do ano, e como que acaba se tornando um problema a mais para a criação de suínos nessa região, devendo-se levar em consideração que os suínos são levados ao estresse térmico. Uma vez que isso ocasiona uma redução da produtividade, aumentando a morbidade e mortalidade, afetando o padrão da qualidade da carne. À luz dos fatos citados acima, Mesquita (2023) concorda que o clima está relacionado ao bem-estar animal, gerando respostas que produzem respostas de estresse, reduzindo o ganho de peso, deficiências na reprodução, podendo levar a morte dos animais, sendo necessária a busca por alternativas.

Investigações na região Amazônica (Tabela 1) estão cada vez mais focadas em gerar subsídios científicos para o desenvolvimento de técnicas e tecnologias personalizadas que se alinhem às características ecológicas únicas da região. Notavelmente, as áreas de pesquisa proeminentes incluem a utilização de biodigestores (Silva, 2019; Sobczak, 2021; Gerona, 2024), produção de biofertilizantes (Sobczak, 2021), Ambiência; Viveiros, 2022; Furtado e Machado, 2023; Cavalcanti, 2023; Santos et al., 2024); implementação de fontes de alimentação alternativas derivadas de subprodutos agroindustriais (Silva et al., 2020; Reis et al., 2023; Mesquita, 2023) e consumo (Mota, 2024). As pesquisas analisadas convergem para a necessidade de práticas inovadoras e sustentáveis na suinocultura.

Furtado e Machado (2023) enfatiza que todo o setor deve se adequar para as mudanças em decorrência da nova legislação de bem-estar animal. Santos et al. (2024) demonstram os benefícios dos sistemas de camas sobrepostas para a sanidade e bem-estar dos animais. Em vista disso Mota (2022), discorre em sua pesquisa que a carne suína é uma proteína magra e que rende benefícios para a saúde humana, dentro dos dados coletados, nota-se que seu consumo tem aumentado.

Cavalcanti (2023) enfatiza a importância do enriquecimento ambiental nas primeiras fases de vida dos animais para promover o bem-estar. Viveiros (2022) destaca a crescente influência da tecnificação nos processos produtivos, enquanto Silva (2019) aponta o biogás como uma alternativa promissora e renovável para gerar energia. Sobczak (2021) identifica o Norte do país como região com grande potencial para produção de biogás a partir de dejetos suínos, além disso, a autora Gerona (2024) aponta que os biodigestores trazem vantagens para os produtores, como os biofertilizantes.

Silva et al. (2020) e Mesquita (2023) exploram alternativas sustentáveis para a alimentação de suínos, utilizando caroço de açaí e farinha de resíduos de tambaqui,

respectivamente. Essas pesquisas evidenciam a busca por soluções que conciliem produtividade, bem-estar animal e sustentabilidade na suinocultura. Esta abordagem multidisciplinar visa aprimorar a sustentabilidade e promover soluções inovadoras que sejam congruentes com as dinâmicas socioambientais regionais.

Em última análise, a integração de um planejamento regional com a inserção de tecnologias capazes de regular as variáveis ambientais é fundamental para aperfeiçoar a produção suína amazônica. Além disso, a proposta deverá estar em consonância com os princípios da economia circular e da bioeconomia, promovendo a eficiência dos recursos e minimizando o desperdício. Consequentemente, essas estratégias objetivam não apenas melhorar o bem-estar animal, mas contribuem para a sustentabilidade ambiental.

4. CONCLUSÃO

A ambiência suína na Amazônia revela um cenário promissor para a pesquisa e a inovação na produção animal. Assim, torna-se imperativo explorar estratégias alternativas viáveis para mitigar esses efeitos adversos e aumentar a sustentabilidade da suinocultura neste ambiente desafiador. A combinação de conhecimentos tradicionais com as mais recentes tecnologias pode levar ao desenvolvimento de sistemas de produção mais eficientes, rentáveis e sustentáveis, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico da Amazônia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amazonas e à FAPEAM pelo incentivo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, P. I. S. **Avaliação ambiental e de bem-estar da criação de suínos em sistemas de cama sobreposta e convencional**. 2016. 99 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/11403>.

ARAÚJO, Raiane Gomes Rodrigues; GUIMARÃES, Tiago Pereira; GOMES, Márcia Rosa. **Influência dos fatores climáticos sobre o desempenho, qualidade de carcaça e carne de suínos: revisão bibliográfica**. Research, Society and Development, v. 11, n. 3, p. e10711326327-e10711326327, 2022.
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/26327/23047/307969>.

ABCS. **Associação brasileira dos criadores de suínos. Ano de 2023 marcado por recorde de exportação, estabilização da produção e queda no custo de insumos**.

<https://abcs.org.br/noticia/ano-de-2023-marcado-por-recorde-de-exportacao-estabilizacao-da-producao-e-queda-no-custo-de-insumos/>.

BARROS, T. A. de O.; CARVALHO, T. A. Caracterização da suinocultura em ceres-go: produção, manejo, alimentação e sanidade. **Científica-Multidisciplinary Journal**, v. 10, n. 2, p. 1-13, 2023. doi: <https://doi.org/10.37951/2358-260X>.

BRAGA, J. D. S. *et al.* O modelo dos “Cinco Domínios” do bem-estar animal aplicado em sistemas intensivos de produção de bovinos, suínos e aves. **Revista Brasileira de Zootecias**, v. 19, n. 2, 2018. doi: <https://doi.org/10.34019/2596-3325.2018.v19.24771>.

CAVALCANTI, I. M. P. **Comportamento de leitões sob diferentes estratégias de enriquecimento ambiental durante a fase de creche**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Campus Areia, PB, 2023. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/29169>.

FURTADO, M. O. B; MACHADO, L. C. Estudo de caso sobre a bioclimatologia e ambiência do setor de suinocultura de uma instituição de ensino federal. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 5, p. e12212541518-e12212541518, 2023. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i5.41518>.

GERONA, L. N. Levantamento de publicações científicas sobre a gestão ambiental na suinocultura, através do uso de biodigestor. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 13, n. 1, p. e8803, 2024. doi: <https://doi.org/10.59306/rgsa.v13e12024e8803>.

GONÇALVES, R. G; PALMEIRA, E. M. Suinocultura brasileira. **Revista Acadêmica de Economia**, v. 71, 2006. <https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/06/rgg.pdf>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados. Produção da Pecuária Municipal 2023, Santa Catarina**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024a. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/pesquisa/18/16459>.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados. Produção da Pecuária Municipal 2023, Manaus**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024b. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/pesquisa/18/16459>.

MACHADO, F. F. S. **Avaliação do ambiente térmico do setor produtivo de suinocultura da Universidade Federal Rural da Amazônia Campus Belém-PA**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, PA. <https://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/3293>.

MESQUITA, P. C. R. **Desempenho de suínos alimentados com farinha de resíduos de tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, AM. <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/9974>.

MIELE, M; WAQUIL, P. D. Cadeia produtiva da carne suína no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 16, n. 1, p. 75-87, 2007. <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/448/pdf>.

MOTA, T. M. P. **Consumo de carne suína: Mitos e realidades sobre a carne suína no Brasil**. 2022. <http://hdl.handle.net/11612/5151>.

REIS, E. F. A.; SILVA, R. S; GUIMARÃES, C. R. R. **Utilização de subprodutos do babaçu na alimentação de suínos**. 2023.

<http://revistas.faculdefacit.edu.br/index.php/JNT/article/view/2647>.

SANTOS, I. S. dos et al. Bem-estar de leitões confinados em cama sobreposta na região Amazônica. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 7, n. 2, 2024. doi: <http://dx.doi.org/10.32406/v7n2/2024/10-/agrariacad>.

SILVA, L. F. et al. **Biogás e água residuária de suinocultura: potencial de produção na região Norte do Brasil**. II Simpósio Internacional de Ambiência e Engenharia na Produção Animal Sustentável - SIAPAS e VI Simpósio Nacional de Construções Rurais e Ambiência – SIMCRA. Lavras, MG, 2019. <http://hdl.handle.net/1843/41084>.

SILVA, I. P. et al. Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão, Sergipe. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020. <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/4521/3383>.

SOBCZAK, J. C. - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/226838>.

STOLTE, C; GARCIA, R. G; CASTRO BURBARELLI, M. F. **O impacto do enriquecimento ambiental no bem-estar animal na suinocultura**. Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN), v. 7, n. 1, 2024. <https://periodicos.ufms.br/index.php/EIGEDIN/article/view/20784>.

TAVARES, W. L. S. **Farinha de Cará-roxo (*Dioscorea trifida* L.) na alimentação de suínos na fase de terminação. 2019. 61 f.** Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019. <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/9974>.

TEIXEIRA, M. M. C. **Agronegócio e meio ambiente: suinocultura sustentável em Rio Verde. Dissertação (Graduação em Ciências Econômicas)** - Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiás. 2020. <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/361/>.

VIVEIROS, K. K. de S. **Ambiência e manejo de espera pré-abate de suínos em condições de clima tropical: influência nos indicadores termofisiológicos e de qualidade da carne. 2022. 56f.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/67521>.

CAPÍTULO 02. Biomarcadores fisiológicos de estresse em espécimes suínas: Uma revisão sistemática comparativa sobre o cortisol salivar e o plasmático.

Physiological stress biomarkers in swine: a comparative systematic review on salivary and plasmic cortisol

Biomarcadores fisiológicos de estrés en especies porcinas: una revisión sistemática comparativa sobre el cortisol salival y plasmático

DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv23n7-060>

Receipt of originals: 6/13/2025

Acceptance for publication: 7/7/2025

Rodrigo Henrique Risso Aires Alves

Mestrando em Ciências Ambientais

Instituição: Instituto de Educação Agricultura e Ambiente, Universidades Federal do Amazonas

Endereço: Humaitá, Amazonas, Brasil E-mail: rodrigo.aires@ufam.edu.br

Taylon Antônio Sales da Silva

Doutorando em Zootecnia

Instituição: Instituto de Educação Agricultura e Ambiente, Universidades Federal do Amazonas

Endereço: Humaitá, Amazonas, Brasil E-mail: taylon.silva@ufam.edu.br

Douglas Marcelo Pinheiro da Silva

Doutor em Agronomia

Instituição: Instituto de Educação Agricultura e Ambiente, Universidades Federal do Amazonas

Endereço: Humaitá, Amazonas, Brasil E-mail: douglassilva@ufam.edu.br

Janaína Paolucci Sales de Lima

Pós-Doutora em Zootecnia

Instituição: Faculdade de Ciências Agrárias, Universidades Federal do Amazonas

Endereço: Manaus, Amazonas, Brasil

E-mail: paolucci@ufam.edu.br

RESUMO

A suinocultura brasileira desempenha um papel socioeconômico relevante, e a crescente preocupação com o bem-estar animal é abordada pela estrutura dos cinco domínios. Fatores ambientais, como o estresse térmico e as condições dos sistemas de produção, impactam negativamente a fisiologia e o desempenho suíno. Apesar do avanço no conhecimento sobre biomarcadores de estresse, como o cortisol, e a vantagem de métodos não invasivos, ainda existe uma lacuna na validação de metodologias de avaliação de estresses específicos para o contexto brasileiro. Diante disso, esta revisão sistemática comparou a viabilidade e aplicabilidade do cortisol salivar e sanguíneo como biomarcadores

de estresse em suínos. A metodologia envolveu uma busca bibliográfica em bases de dados específicas, utilizando termos relevantes para selecionar estudos que avaliam e comparam o cortisol em suínos sob estresse ambiental e em diferentes sistemas de produção, excluindo aqueles que não atendiam a esses critérios ou eram revisões sem dados originais. A análise dos dados extraídos visou discernir as prerrogativas e restrições de cada abordagem analítica, buscando otimizar a avaliação do bem-estar animal em diversos modelos de produção.

Palavras-chave: Bem-Estar, Produção, Suinocultura, Viabilidade.

ABSTRACT

Brazilian swine farming plays a significant socioeconomic role, with growing concern for animal welfare addressed by the five domains framework. Environmental factors, such as heat stress and production system conditions, negatively impact swine physiology and performance. Despite advances in knowledge about stress biomarkers like cortisol and the advantages of non-invasive methods, there remains a gap in validating stress assessment methodologies specific to the Brazilian context. Therefore, this systematic review compared the viability and applicability of salivary and blood cortisol as stress biomarkers in pigs. The methodology involved a bibliographic search in specific databases, using relevant terms to select studies that evaluate and compare cortisol in pigs under environmental stress and in different production systems, excluding those that did not meet these criteria or were reviews without original data. The analysis of the extracted data aimed to discern the prerogatives and restrictions of each analytical approach, seeking to optimize animal welfare assessment in various production models.

Keywords: Welfare, Production, Swine Farming, Viability.

RESUMEN

La porcicultura brasileña desempeña un papel socioeconómico relevante, y la creciente preocupación por el bienestar animal se aborda mediante la estructura de los cinco dominios. Factores ambientales, como el estrés térmico y las condiciones de los sistemas de producción, impactan negativamente la fisiología y el rendimiento porcino. A pesar del avance en el conocimiento sobre biomarcadores de estrés, como el cortisol, y la ventaja de los métodos no invasivos, aún existe una brecha en la validación de metodologías de evaluación del estrés específicas para el contexto brasileño. Ante esto, esta revisión

sistemática comparó la viabilidad y aplicabilidad del cortisol salival y sanguíneo como biomarcadores de estrés en cerdos. La metodología implicó una búsqueda bibliográfica en bases de datos específicas, utilizando términos relevantes para seleccionar estudios que evalúen y comparen el cortisol en cerdos bajo estrés ambiental y en diferentes sistemas de producción, excluyendo aquellos que no cumplieran con estos criterios o fueran revisiones sin datos originales. El análisis de los datos extraídos tuvo como objetivo discernir las prerrogativas y restricciones de cada enfoque analítico, buscando optimizar la evaluación del bienestar animal en diversos modelos de producción.

Palabras clave: Bienestar, Producción, Porcicultura, Viabilidad.

1. INTRODUÇÃO

No âmbito do agronegócio brasileiro, a suinocultura desempenha um papel socioeconômico relevante, contribuindo significativamente para a geração de emprego e renda no meio rural. Paralelamente, a temática do bem-estar animal tem ganhado crescente importância nas investigações científicas. A estrutura conceitual dos cinco domínios, discutida na pesquisa de Furtado e Machado (2023), oferece uma abordagem holística para a avaliação do estado animal, abrangendo aspectos de nutrição, ambiente, saúde, comportamento e estado mental.

Dentre os fatores ambientais com potencial de impactar a condição fisiológica e etológica dos suínos, o clima se destaca como variável crítica, capaz de comprometer a eficiência produtiva (Oliveira, 2022). O estresse térmico, em particular, configura-se como uma resposta biológica do organismo frente a um desafio à sua homeostase, sendo a temperatura ambiente um fator limitante para suínos devido à sua fisiologia monogástrica, que dificulta a dissipação eficiente de calor corporal.

Apesar do crescente conhecimento sobre o impacto de fatores ambientais no bem-estar e na produção suína, observa-se uma lacuna específica na aplicação e validação de metodologias de avaliação de estresse em diferentes contextos geográficos e sistemas de produção no Brasil. Embora estudos como os de Bezerra e colaboradores (2019) e de Ferreira (2015) enfatizem a importância da quantificação objetiva do estresse através de biomarcadores como o cortisol e apontem para as vantagens de métodos não invasivos como a análise salivar em relação à coleta sanguínea, ainda são necessárias investigações que explorem a aplicabilidade dessas metodologias em cenários específicos do agronegócio brasileiro, particularmente em regiões com características ambientais

distintas.

O presente estudo não se dedica diretamente à discussão abrangente do bem-estar animal na suinocultura brasileira. Contudo, reconhece a relevância da utilização de biomarcadores, com ênfase específica no cortisol, tanto em sua apresentação salivar quanto sanguínea, como instrumento indispensável para a mensuração objetiva do estresse fisiológico em suínos. Esta revisão sistemática tem como objetivo comparar a viabilidade e a aplicabilidade do cortisol salivar e sanguíneo como biomarcadores de estresse em suínos. A relevância desta comparação reside na necessidade de otimizar o bem-estar animal e a precisão na avaliação do estresse, fatores que impactam diretamente a produtividade e a qualidade da produção suína em diversos contextos de criação.

Diante do exposto, este artigo de revisão consiste na análise comparativa e crítica da literatura científica selecionada, concernente à aplicação da dosagem de cortisol em matrizes biológicas distintas (saliva e sangue) como biomarcadores de estresse ambiental em espécimes suínas. Tem-se como finalidade, discernir as prerrogativas, as restrições metodológicas e a pertinência de cada abordagem analítica no âmbito do setor suinícola brasileiro.

2. METODOLOGIA

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados SCOPUS e National Agricultural Library, sendo aplicado o filtro de período de publicação entre 2015 e 2025. Na base de dados Scopus ("swine AND stress AND biomarkers") foram aplicados os filtros por palavras-chave: "Porco", "suínos", "Marcador Biológico", "estresse fisiológico" e "cortisol". Na National Agricultural Library do USDA, iniciou-se a busca por "Cortisol for Assessing Stress in Swine", após foi realizada aplicação dos filtros ativos: "Cortisol", "Suínos", "Sangue", "Saliva" e "Biomarcadores". Na etapa subsequente, realizou-se a consideração dos critérios de inclusão e exclusão nos resumos das publicações, para posterior análise.

Na inclusão foram consideradas pesquisas científicas que avaliaram o cortisol salivar ou sanguíneo em suínos, comparando-os como biomarcadores de estresse, abordando o estresse ambiental e descrevendo o sistema de produção suína utilizado. Foram excluídos estudos que não utilizavam o cortisol como biomarcador, não avaliaram o cortisol salivar ou sanguíneo em suínos, não abordaram o estresse ambiental, não compararam os dois tipos de cortisol, e não descreveram o sistema de produção, ou seja, publicações sem dados primários.

A extração de dados relevantes foi realizada por meio de formulário padronizado, registrando informações como título, ano, autores e periódicos. A análise comparativa dos resultados e a identificação dos fatores que influenciam a escolha do biomarcador foram realizadas, considerando os diferentes tipos de sistemas de produção. A síntese dos dados foi apresentada de forma narrativa e tabular, com discussão das implicações para a suinocultura em seus diversos segmentos, a partir da leitura dos resumos das publicações elegíveis para revisão sistemática.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca na base de dados Scopus resultou na seleção de 24 artigos, a partir do levantamento bibliográfico inicial de 349 publicações (Figura 1). Por outro lado, a busca realizada na National Agricultural Library do USDA resultou em 24 artigos (Figura 2), mantendo-se após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

Figura 1. Busca na base de dados SCOPUS.



Fonte: Autores.

Figura 2. Busca na base de dados Agrícola.



Fonte: Autores.

A análise agregada dos níveis de cortisol nas duas matrizes biológicas, conjuntamente com outros marcadores de bem-estar, forneceu informações cruciais para a compreensão do estado de estresse nos animais. A síntese dos resultados comportamentais e fisiológicos (Tabela 1) revelou padrões díspares em resposta a distintas condições experimentais, a exemplo do enriquecimento ambiental e dos sistemas de alojamento.

Os estudos analisados apresentam uma variedade de análises para investigar o bem-estar e o estresse em suínos. Revisões bibliográficas (Katiyar et al., 2025; Huanca-Marca et al., 2025) forneceram reflexões comparativas de sistemas de produção e discussões baseadas em literatura existente. Pesquisas experimentais empregaram delineamentos variados, incluindo blocos casualizados (Casal et al., 2017; Cruz et al., 2024; Valros et al., 2024), inteiramente ao acaso e observacional.

Tabela 2. Levantamento bibliográfico de obras publicadas entre 2015 e 2025.

Título	Autores	Ano	Periódicos
Changes in cortisol, cortisone and 11 β -hydroxysteroid dehydrogenase type II activity in saliva during pregnancy and lactation in sows	Botía et al.	2024	<i>Domestic Animal Endocrinology</i>

Animal Welfare Assessment and Meat Quality through Assessment of Stress Biomarkers in Fattening Pigs with and without Visible Damage during Slaughter	Ogawa et al.	2024	<i>Animals</i>
Dietary fiber and weaning age affect stress and immune markers in saliva of sows and their offspring	Grzeskowiak et al.	2024	<i>Journal of Animal Science</i>
Investigating intestinal mast cell dynamics during acute heat stress in growing pigs	Mayorga et al.	2024	<i>Journal of Animal Science</i>
Influence of the circadian cycle, sex and production stage on the reference values of parameters related to stress and pathology in porcine saliva	Saco et al.	2023	<i>Porcine Health Management</i>
Analys biomarkers in oral fluid from pigs: influence of collection strategy and age of the pig	Ornelas et al.	2023	<i>Porcine Health Management</i>
Welfare and Performance of Post-Weaning Sows and Piglets Previously Housed in Farrowing Pens with Temporary Crating on a Spanish Commercial Farm: A Pilot Study	Ko et al.	2022	<i>Animals</i>
How epigenetics can enhance pig welfare?	Silva et al.	2022	<i>Animals</i>
Proposed multidimensional pain outcome methodology to demonstrate analgesic drug efficacy and facilitate future drug approval for piglet castration	Baysinger et al.	2021	<i>Animal health Research Reviews</i>
Impact of dietary porcine blood by-products in meagre (<i>Argyrosomus regius</i>) physiology, evaluated by welfare biomarkers and the antibacterial properties of the skin mucus	Fernández-Alacid et al.	2021	<i>Fish and shellfish Immunology</i>
Changes in saliva analytes during pregnancy, farrowing and lactation in sows: A sialochemistry approach	Contreras-Aguilar et al.	2021	<i>Veterinary Journal</i>
Measurement of cortisol, cortisone and 11 β -hydroxysteroid dehydrogenase type 2 activity in hair of sows during different phases of the reproductive cycle	López-Arjona et al.	2020	<i>Veterinary Journal</i>
Meat quality in relation to swine well-being after transport and during lairage at the slaughterhouse	Rey-Salgueiro et al.	2018	<i>Meat Science</i>
Determining the effects of early gestation in utero heat stress on postnatal fasting heat production and circulating biomarkers associated with metabolism in growing pigs	Chapel et al.	2017	<i>Journal of Animal Science</i>
Effect of environmental enrichment and	Casal et al.	2017	<i>Animal</i>

herbal compound supplementation on physiological stress indicators (chromogranin A, cortisol and tumour necrosis factor- α) in growing pigs

The Combination of Serum and Oral Fluid Cortisol Levels and Welfare Quality Protocol® for Assessment of Pig Welfare on Intensive Farms	Plut et al.	2023	<i>Agriculture</i>
The dark side of white hair? Artificial light irradiation reduces cortisol concentrations in white but not black hairs of cattle and pigs	Otten et al.	2021	<i>Animal</i>
Comparative assessment of native, crossbred and exotic pigs during different seasons (winter, spring and summer) based on rhythmic changes in the levels of serum cortisol, lactate dehydrogenase levels and PBMC HSP70 mRNA expression pattern	Somavilla et al.	2017	<i>Animals</i>
Identification of Possible Pre-Slaughter Indicators to Predict Stress and Meat Quality: A Study on Heavy Pigs	Sardi et al.	2020	<i>Animals</i>
Effects of environmental enrichment on decision-making behavior in pigs	Van der Staay et al.	2017	<i>Applied animal behaviour scienc</i>
Consistency of Convenience Sampling Order and its Association With Response to Handling and Weaning in Domestic Pigs (<i>Sus scrofa</i>)	Ko et al.	2023	<i>Journal of Veterinary Behavior</i>
Correlations among various blood parameters at exsanguination and their relationships to pork quality traits	Choe et al.	2015	<i>Animal production Science</i>
Identifying blood-based biomarkers associated with aggression in weaned pigs after mixing	Shen et al.	2020	<i>Applied animal behaviour science</i>
Impact of sexual maturity on the welfare of immunocastrated v. entire heavy female pigs	Di Martino et al.	2018	<i>Animal</i>

Fonte: Elaborado pelos autores

Em relação as características dos experimentos, os trabalhos variaram em delineamento experimental, especificamente em “N amostral”, ou seja, a unidade animal composta de um único animal (ex, baia individual ou gaiola metabólica) até agrupamentos (ex, baias coletivas ou piquetes). Destaca-se que a fase de produção (ex, creche ou terminação) a ser avaliada apresentou uma correlação positiva com a duração do

experimento abrangendo períodos curtos (ex, observações comportamentais) ou longos (ex, avaliação de desempenho zootécnico).

Os procedimentos metodológicos utilizados apresentaram especificidades em relação a coleta de material biológico (sangue ou saliva) para análise de cortisol, destacando-se os protocolos e os momentos de avaliação.

3.1. Estressores em suínos

A investigação das categorias de estresse em suínos revela uma abordagem multifacetada, com o cortisol salivar emergindo como um biomarcador proeminente para diversas formas de desconforto. No contexto do estresse agudo, Giergiel et al. (2021) e Ott et al. (2014) demonstraram elevações significativas nos níveis de cortisol salivar em resposta a estressores como imobilização e privação alimentar. Contudo, Puy et al. (2024) levantaram questionamentos sobre a sensibilidade do cortisol salivar em todos os cenários agudos, enquanto Lee et al. (2024) exploraram a relação entre a resposta comportamental ao estresse agudo e a resiliência fisiológica, fundamentando a classificação dos animais no cortisol sérico.

No que concerne ao estresse crônico, Ijiri et al. (2022) e Ha et al. (2025) investigaram o estresse térmico utilizando biomarcadores sanguíneos e capilares, respectivamente. Martínez-Miró et al. (2016) e Baxter et al. (2023) empregaram o cortisol capilar e salivar, respectivamente, para avaliar o impacto do enriquecimento ambiental e do manejo materno no bem-estar a longo prazo. O estresse decorrente de práticas de manejo também foi extensivamente estudado, com Botía et al. (2024) e Attalah et al. (2025) utilizando o cortisol salivar para avaliar o impacto do manejo pré-abate e da imunocastração. De forma semelhante, Steinerová et al. (2024) e Valros et al. (2024) empregaram o cortisol salivar para analisar o efeito do enriquecimento ambiental e de intervenções como injeções no nível de estresse dos suínos.

Adicionalmente, o cortisol salivar foi empregado para investigar o estresse fisiológico associado a condições específicas, como as fases reprodutivas (Botía et al., 2024) e em resposta a diversas patologias (Llamas et al., 2025; Lopez-Martínez et al., 2023). Outras abordagens para a avaliação do estresse incluíram a análise de epibiomarcadores (Silva et al., 2021), parâmetros hematológicos e temperatura corporal (Ogawa et al., 2024; Huanca-Marca et al., 2025), e a avaliação do impacto econômico e fisiológico geral de estressores como o estresse térmico (Niu et al., 2024; Katiyar et al., 2025). Em síntese, esses autores

demonstram a ampla aplicabilidade do cortisol salivar na avaliação de diversas categorias de estresse em suínos, sublinhando que a interpretação dos resultados deve considerar o contexto específico e, idealmente, ser complementada pela análise de outros biomarcadores e pela observação de indicadores comportamentais e de saúde.

3.2. Concentrações salivares de cortisol como bioindicador de estresse suíno

A crescente preocupação com o bem-estar animal impulsiona a busca por ferramentas de avaliação eficazes e minimamente invasivas, destacando a concentração salivar de cortisol como potencial bioindicador de estresse em suínos. Rey-Salgueiro et al. (2018) demonstraram sua sensibilidade ao estresse agudo pré-abate, com influência genotípica, enquanto Ko et al. (2023) e Choe et al. (2015) investigaram seu comportamento no desmame. Shen et al. (2020) evidenciaram a sensibilidade do cortisol salivar ao estresse social pós-mistura, e Grzeskowiak et al. (2024) mostraram alterações em porcas devido à dieta e idade de desmame. Contudo, Plut et al. (2023) alertaram para a complexidade da relação com outros indicadores de bem-estar.

Outros estudos, embora não primariamente focados no cortisol salivar, fornecem contexto relevante para a resposta ao estresse. Staay et al. (2017) observaram cortisol capilar em ambientes estéreis, Vashi et al. (2018) usaram cortisol sérico para adaptação sazonal, e Somnavila et al. (2017) e Sardi et al. (2020) investigaram cortisol sanguíneo relacionado ao transporte e pré-abate. Di Martino et al. (2018) encontraram cortisol plasmático reduzido em suínos imunocastrados, e Mayorga et al. (2024) notaram aumento transitório de cortisol sanguíneo durante estresse térmico agudo. Adicionalmente, Baysinger et al. (2021) destacaram o cortisol como indicador de dor na castração, enquanto Chapel et al. (2017) investigaram o impacto do estresse térmico intrauterino no cortisol plasmático pós-natal.

A análise de outras matrizes biológicas também contribui para a avaliação não invasiva do estresse, como o cortisol no muco da pele em peixes (Fernandez-Alacid et al., 2021), ilustrando princípios aplicáveis. Otten et al. (2021) e López-Arjona et al. (2020) exploraram o cortisol capilar para avaliação retrospectiva de estresse crônico e a influência de fatores ambientais e fisiológicos. Em síntese, a literatura abrangente fornecida, composta por 17 trabalhos analisados, converge para o reconhecimento do cortisol, em diversas matrizes biológicas incluindo a saliva, como um bioindicador fundamental de estresse em suínos, útil em pesquisa de bem-estar devido à sua sensibilidade a múltiplos

estressores.

3.3. Concentrações de cortisol sanguíneo na mensuração da resposta adaptativa

A investigação da resposta fisiológica adaptativa em suínos revela a multifacetada influência dos sistemas de produção. Pesquisas como as de Giergiel et al. (2021) e Ott et al. (2014) corroboraram a sensibilidade do cortisol salivar como biomarcador de estresse agudo, demonstrando elevações significativas em resposta a estressores como imobilização e privação alimentar, sublinhando sua utilidade no monitoramento não invasivo. Baxter et al. (2023) mostraram que o ambiente materno e o manejo inicial modulam a resposta de cortisol plasmático da prole, sugerindo uma programação precoce do eixo HPA.

O estresse crônico também foi abordado, com Casal et al. (2017) evidenciando que o enriquecimento ambiental pode mitigar o cortisol capilar em suínos em crescimento, realçando o papel do ambiente no bem-estar a longo prazo. As condições ambientais extremas, como o estresse térmico, foram exploradas por Mayorga et al. (2024), que documentaram um aumento transitório no cortisol sanguíneo em suínos expostos ao calor agudo, e por Vashi et al. (2018), que revelaram variações sazonais nos níveis séricos de cortisol com distintas respostas entre genótipos, enfatizando a interação entre fatores genéticos e ambientais.

Ademais, Rey-Salgueiro et al. (2018) lançaram luz sobre o impacto das condições pré-abate, demonstrando um aumento substancial no cortisol salivar de suínos. Em síntese, a integração da dosagem de cortisol com outras ferramentas de avaliação fisiológica e comportamental mostrou-se indispensável para uma compreensão holística da capacidade dos suínos em manter a homeostase e prosperar nos complexos cenários da produção zootécnica contemporânea, abrangendo 8 trabalhos analisados.

3.4. Correlação entre concentrações salivares e sanguíneas de cortisol como indicadores fisiológicos

Estudos como os de Giergiel et al. (2021) e Ott et al. (2014), embora focados na resposta aguda ao estresse, lançam luz sobre a dinâmica do cortisol salivar e sua sensibilidade a alterações fisiológicas. A elevação consistente do cortisol salivar em resposta a estressores como a imobilização e a privação alimentar sugere um acoplamento entre a atividade do eixo HPA e a secreção salivar do hormônio. A não invasividade da

coleta salivar, conforme salientado por esses autores, confere-lhe uma vantagem significativa para o monitoramento repetido do estresse em condições de produção, minimizando o estresse adicional induzido pela própria amostragem.

A aplicabilidade do cortisol salivar como um indicador de bem-estar em diferentes contextos de manejo também é explorada. Casal et al. (2017), ao investigarem os efeitos do enriquecimento ambiental, utilizaram o cortisol salivar (juntamente com o capilar) como um dos biomarcadores de estresse, inferindo que a redução nos níveis salivares em grupos enriquecidos refletia uma melhor adaptação ao ambiente. Da mesma forma, Shen et al. (2020) observaram alterações no cortisol salivar de suínos em resposta ao estresse social da mistura, indicando a capacidade desse biomarcador em detectar respostas fisiológicas a interações sociais complexas.

Embora os estudos analisados (14 no total, com apenas 5, representando 35,7%, abordando especificamente essa relação) não correlacionem diretamente o cortisol salivar e sanguíneo em suínos, as alterações consistentes observadas no cortisol salivar em resposta a diferentes estressores sugerem uma ligação funcional com os níveis sistêmicos. Isso é corroborado pelo conhecimento fisiológico da transferência de hormônios para a saliva.

3.5. Influência do modelo produtivo na resposta fisiológica adaptativa

A arquitetura dos sistemas de produção suína influenciou a resposta fisiológica adaptativa dos animais, com modelos intensivos causando estresse crônico que altera o cortisol (Staay et al., Casal et al.). A plasticidade fisiológica foi observada em variações sazonais do cortisol sérico (Vashi et al.), enquanto o enriquecimento ambiental materno (Baxter et al.) demonstrou atenuar o estresse da prole. As condições pré-abate (Rey-Salgueiro et al.) também foram críticas para a resposta de cortisol, e a maioria dos estudos (73,08% dos 26 trabalhos) corroborou a influência do modelo produtivo no bem-estar e na fisiologia dos suínos.

4. CONCLUSÃO

A aplicabilidade do cortisol salivar e sanguíneo como marcadores fisiológicos de estresse em suínos, alicerçada na análise das plataformas Agrícola e Scopus e na adoção de parâmetros de inclusão estritos, sublinha a importância de uma avaliação circunstanciada na determinação da técnica mais apropriada para a aferição do bem-estar

animal em variados modelos de produção. A compilação das provas reunidas oferece fundamentação para futuras explorações que objetivem o refinamento das metodologias de identificação do desconforto suíno, especificamente na integração de múltiplos bioindicadores e nas especificidades dos cenários de criação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ao Instituto de Educação de Agricultura e Ambiente (IEAA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) pela contribuição e apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ATALLAH, E.; PESENTI ROSSI, G.; SOARES FILIPE, J. F.; DALLA COSTA, E.; MAZZOLA, S. M.; SENHOR MINERO; PECILE, A.; MOTTA, A.; BARBIERI, S. Evaluation of salivary cortisol and testosterone as non-invasive biomarkers for GnRH immunocastration efficiency in heavy pigs. 2025. **BMC Vet Res**. <https://doi.org/10.1186/s12917-025-04708-w>.

ATALLAH, E.; PESENTI ROSSI, G.; SOARES FILIPE, J. F.; DALLA COSTA, E.; MAZZOLA, S. M.; SENHOR MINERO; PECILE, A.; MOTTA, A.; BARBIERI, S. Piglet behaviour and performance in relation to sow characteristics. **Animal**, v. 17, n. 2, p. 100699, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100699>.

BAYSINGER, A.; WEBB, S. R.; BROWN, J.; COETZEE, J. F.; CRAWFORD, S.; DEDECKER, A.; KARRIKER, L. A.; PAIRIS-GARCIA, M.; SUTHERLAND, M. A.; VISCARDI, A. V. Metodologia proposta para desfechos multidimensionais de dor para demonstrar a eficácia de analgésicos e facilitar a aprovação futura de medicamentos para castração de leitões. **Animal Health Research Reviews**, v. 22, n. 2, p. 163-176, 2021. <https://doi.org/10.1017/S1466252321000141>.

BEZERRA, B. M. O.; SILVA, S. S. C.; OLIVEIRA, A. M. A.; SILVA, C. V. O.; PARENTE, R. A.; ANDRADE, T. S.; EVANGELISTA, J. N. B.; PINHEIRO, D. C. S. N. Avaliação do estresse e do desempenho de suínos na fase de creche, empregando-se técnicas de enriquecimento ambiental. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 71, n. 01, p. 281-290, 2019. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10209>.

BOTIA, M.; ESCRIBANO, D.; TECLES, F.; MARTÍNEZ-SUBIELA, S.; CERÓN, J. J.; LÓPEZ-ARJONA, M. Changes in cortisol, cortisone and 11 β -hydroxysteroid dehydrogenase type II activity in saliva during pregnancy and lactation in sows. **Domestic Animal Endocrinology**, v. 89, p. 106875-106875, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2024.106875>.

BOTÍA, M.; ESCRIBANO, D.; ORTÍN-BUSTILLO, A.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, M. J.; FUENTES, P.; JIMÉNEZ-CAPARRÓS, F. J.; HERNÁNDEZ-GÓMEZ, J. L.; AVELLANEDA, A.; CERÓN, J. J.; RUBIO, C. P.; TVARIJONAVICUITE, A.; MARTÍNEZ-SUBIELA, S.; LÓPEZ-ARJONA, M.; TÉCLES, F. Comparison of the effect of two different stunning

management conditions on pig saliva analytes. **Metabolites**, v. 14, 2024. <https://doi.org/10.3390/metabo14040234>.

BOTÍA, M.; ESCRIBANO, D.; MAINAU, E.; MUÑOZ-PRieto, A.; CERÓN, J. J. Measurement of Novel Biomarkers of Immunity and Welfare in Sow Colostrum and Milk: Analytical Validation and Changes During Lactation. **Biology**, v. 13, n. 10, p. 829, 2024. <https://doi.org/10.3390/biology13100829>.

CASAL, N.; MANTECA, X.; ESCRIBANO, D.; CERÓN, J. J.; FÀBREGA, E. Effect of environmental enrichment and herbal compound supplementation on physiological stress indicators (chromogranin A, cortisol and tumor necrosis factor- α) in growing pigs. <https://doi.org/10.1017/S1751731116002561>.

CONTRERAS-AGUILAR, D.; LÓPEZ-ARJONA, M.; MARTÍNEZ-MIRÓ, S.; ESCRIBANO, D.; HERNÁNDEZ-RUIPÉREZ, F.; CERÓN, J. J.; TÉCLES, F. Changes in saliva analytes during pregnancy, farrowing and lactation in sows: A sialochemistry approach. **The Veterinary Journal**, v. 273, p. 105679, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2021.105679>.

CHAPEL, N. M.; BYRD, C. J.; LUGAR, D. W.; MORELLO, G. M.; BAUMGARD, L. H.; ROSS, J. W.; SAFRANSKI, T. J.; LUCY, M. C.; JOHNSON, J. S. Determining the effects of early gestation in utero heat stress on postnatal fasting heat production and circulating biomarkers associated with metabolism in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 10, 2017. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1730>.

CHOE, J. H. A. B.; CHOI, M. H. A.; RYU, Y. C.; LIM, K. S. B. D.; LEE, E. A.; KANG, J. H.; HONG, K. C.; LEE, S. K.; KIM, Y. T. F.; MOON, S. S. F.; LEE, K. W.; RHEE, M. S. A.; KIM, B. C. A. G. Correlations among various blood parameters at exsanguination and their relationships to pork quality traits. **Animal Production Science**, v. 55, n. 5, p. 672-679, 2014. <https://doi.org/10.1071/AN13424>.

CRUZ, T. A. D.; MURO, B. B. D.; COSTA LIMA, E. M.; MOREIRA, V. D. S.; CARVALHO, J. C. C. de; GARBOSSA, C. A. P.; COSTA, L. B. Aspartic protease supplementation improves performance, carcass traits, nutrient digestibility and economic viability, without altering blood parameters and salivary cortisol of growing- finishing pigs. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 11238, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62006-1>.

DI MARTINO, G.; SCOLLO, A.; GARBO, A.; LEGA, F.; STEFANI, A. L.; VASCELLARI, M.; NATALE, A.; ZULIANI, F.; ZANARDELLO, C.; TONON, F.; BONFANTI, L. Impact of sexual maturity on the welfare of immunocastrated v. entire heavy female pigs. **Animal**, v. 12, n. 8, p. 1631-1637, 2018. <https://doi.org/10.1017/S1751731117003135>.

FERREIRA, T. R. **Aspectos de produção e ambiência de suínos criados em diferentes sistemas de produção**. 2015. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação(Bacharel em Engenharia Agrícola) - Campus Central - Sede: Anápolis - CET - Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO. <https://repositorio.ueg.br/jspui/handle/riueg/4639>.

FERNÁNDEZ-ALACID, L.; FIRMINO, J. P.; SANAHUJA, I.; MADRID, C.; POLO, J.; DE BORBA, M. R.; BALSALOBRE, C.; GISEBERT, E.; IBARZ, A. Impact of dietary porcine blood by-products in meagre (*Argyrosomus regius*) physiology, evaluated by welfare biomarkers and the antibacterial properties of the skin mucus, avaliado por biomarcadores de bem-estar e pelas propriedades antibacterianas do muco da pele. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 118, p. 241-250, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.09.011>.

FURTADO, M. O. B; MACHADO, L. C. Estudo de caso sobre a bioclimatologia e ambiência do setor de suinocultura de uma instituição de ensino federal. **Research**

Society and Development, v. 12, n. 5, p. e12212541518-e12212541518, 2023.

<https://doi.org/10.33448/rsd-v12i5.41518>.

GIERGIEL, M.; OLEJNIK, M.; JABLÓNKA, A.; POSYŃIAK, A. Stress markers in the oral fluid of swine. **Journal of Veterinary Research**, v. 65, n. 4, p. 487, 2021.

<https://doi.org/10.2478/jvetres-2021-0065>.

HA, S. H.; KIM, M. J.; MUN, J. Y.; HOSSEINDOUST, A.; TEMITOPE, T. H.; CHOI, S. D.; PARK, S. A.; SILVESTRE, P. N.; LEE, S. S.; KIM, J. S. Effects of dietary mineral level and creep feed provision on lactating sows during heat stress. **Tropical animal health and production**, v. 57, n. 3, p. 166, 2025. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5384757/v1>.

HUANCA-MARCA, N. F.; ESTÉVEZ-MORENO, L. X.; ESPINOSA, N. L.; MIRANDA-DE LA LAMA, G. C. Assessment of pig welfare at slaughterhouse level: A systematic review of animal-based indicators suitable for inclusion in monitoring protocols. **Meat Science**, v. 220, n. 10968, p. 9, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109689>.

KATIYAR, R.; GONMEI, C.; DEORI, S.; SINGH, M.; ABEDIN, S. N.; RAUTELA, R.; SINGH, N. S.; CHAKRAVARTY, H.; DAS, M.; CHOUDHURY, B. U.; MISHRA, V. K. Effect of heat stress on pig production and its mitigation strategies: a review. **Tropical animal health and production**, v. 57, n. 3, p. 139, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04387-7>.

KO, H. L.; MANTECA, X.; LLONCH, P. Consistency of convenience sampling order and its association with response to handling and weaning in domestic pigs (*Sus scrofa*). **Journal of Veterinary Behavior**, v. 61, p. 19-24, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2023.01.004>.

KO, H. L.; DÉBORAH, T.; HALES, J.; MANTECA, X.; LLONCH, P. Welfare and performance of post-weaning sows and piglets previously housed in farrowing pens with temporary crating on a Spanish commercial farm: a pilot study. **Animals**, v. 12, n. 6, p. 724, 2022.

LEE, B.; LUTTMAN, A. M.; ERNST, C. W.; STEIBEL, J. P.; RANEY, N. E.; SIEGFORD, J. M. Associations between weaning stress resilience and startle response in nursery-aged piglets. **Applied Animal Behavior Science**, v. 274, p. 106243, 2024.

<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106243>.

LLAMAS-AMOR, E.; ORTÍN-BUSTILLO, A.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, M. J.; MUÑOZ-PRIETO, A.; MANZANILLA, E. G.; ARENSE, J.; MIRALLES-CHORRO, A.; FUENTES, P.; MARTÍNEZ-SUBIELA, S.; GONZÁLEZ-BULNES, A.; GOYENA, E.; MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, A.; CERÓN, J. J.; TECLES, F. Use of Saliva Analytes as a Predictive Model to Detect Diseases in the Pig: A Pilot Study. **Metabolites**, v. 15, n. 2, p. 130, 2025.

<https://doi.org/10.3390/metabo15020130>.

LÓPEZ-MARTÍNEZ, M. J.; ORNELAS, M. A. S.; AMARIE, R. E.; MANZANILLA, E. G.; MARTÍNEZ-SUBIELA, S.; TECLES, F.; TVARIJONAVICIUTE, A.; ESCRIBANO, D.; GONZÁLEZ-BULNES, A.; CERÓN, J. J.; LÓPEZ-ARJONA, M.; MUÑOZ-PRIETO, A. Changes in salivary biomarkers of stress, inflammation, redox status and muscle damage due to *Streptococcus suis* infection in pigs. **BMC Veterinary Research**, v. 19, p. 100, 2023. <https://doi.org/10.1186/s12917-023-03650z>.

LÓPEZ-ARJONA, M.; TECLES, F.; MATEUS, S. V.; CONTRERAS-AGUILAR, D.; MARTÍNEZ-MIRÓ, S.; CERÓN, J. J.; MARTÍNEZ-SUBIELA, S. Measurement of cortisol, cortisone and 11 β -hydroxysteroid dehydrogenase type 2 activity in hair of sows during different phases of the reproductive cycle. **The Veterinary Journal**, v. 259, p. 105458, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105458>.

MARTÍNEZ-MIRÓ, S.; TECLES, F.; RAMÓN, M.; ESCRIBANO, D.; HERNÁNDEZ, F.; MADRID, J.; ORENGO, J.; MARTÍNEZ-SUBIELA, S.; MANTECA, X.; CERÓN, J. J. Causes, consequences and biomarkers of stress in swine: an update. **BMC Veterinary Research**, 12:171, 2016. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0791-8>.

MAYORGA, E. J.; RODRIGUEZ-JIMENEZ, S.; ABEYTA, M. A.; GOETZ, B. M.; OPGENORTH, J.; MOESER, A. J.; BAUMGARD, L. H. Investigating intestinal mast cell dynamics during acute heat stress in growing pigs. **Journal of Animal Science**, v. 102, p. skae030, 2024. <https://doi.org/10.1093/jas/skae030>.

NANONI, E.; SARDI, L.; VITALI, M.; TREVISI, E.; FERRARI, A.; FERRI, M. E.; BACCI, M. L.; GOVONI, N.; BARBIERI, S.; MARTELLI, G. Enrichment devices for heavy non-housed pigs: effects on animal welfare, blood parameters and production traits. **Italian Journal Of Animal Science**, v. 18, n. 1, p. 45-56, 2019. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2018.1472531>.

NIU, K; ZHONG, J; HU, X. Impacts of climate change-induced heat stress on swine productivity in China. **The Science of the total environment**, v. 908, p. 168215, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168215>.

OGAWA, N. N.; SILVA, G. L.; BARBON, A. P. A. D. C.; FLAIBAN, K. K. M. D. C.; SILVA, C. A. D.; ROCHA, L. M.; BRIDI, A. M. Animal Welfare Assessment and Meat Quality through Assessment of Stress Biomarkers in Fattening Pigs with and without Visible Damage during Slaughter. **Animals: An Open Access Journal from MDPI**, v. 14, n. 5, p. 700, 2024. <https://doi.org/10.3390/ani14050700>.

OLIVEIRA, E.S. **Bem-estar na suinocultura: percepção de produtores e técnicos perante à instrução normativa nº113/2020**. 2022. 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/35573>.

ORNELAS, M. A. S.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, M. J.; FRANCO-MARTÍNEZ, L.; CERÓN, J. J.; ORTÍN-BUSTILLO, A.; RUBIO, C. P.; MANZANILLA, E. G. Analysis of biomarkers in oral fluid of swine: influence of collection strategy and pig age. **Porcine Health Management**, v. 9, n. 1, p. 39, 2023. <https://doi.org/10.1186/s40813-023-00333-x>.

ORNELAS, M. A. S.; MANZANILLA, E. G.; CERÓN, J. J.; ORTÍN-BUSTILLO, A.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, M. J.; CORREIA-GOMES, C.; LEONARD, F. C.; FRANCO-MARTÍNEZ, L. Associations between health, productive performance and oral fluid biomarkers in commercial swine farms. **Porcine Health Management**, v. 10, n. 1, p. 62, 2024. <https://doi.org/10.1186/s40813-024-00418-1>.

ORNELAS, M. A. S.; MANZANILLA, E. G.; CERÓN, J. J.; ORTÍN-BUSTILLO, A.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, M. J.; CORREIA-GOMES, C.; LEONARD, F. C.; FRANCO-MARTÍNEZ, L. Different stressors elicit different responses in salivary cortisol, haptoglobin and chromogranin A biomarkers in pigs. **Veterinary science research**, v. 97, n. 1, p. 124-128, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2014.06.002>.

OTTEN, W.; BARTELS, T.; HEIMBÜRGE, S.; TUCHSCHERER, U.; KANITZ, E. The dark side of white hair? Artificial light irradiation reduces cortisol concentrations in white but not black hairs of cattle and pigs. **Animal**, v. 15, n. 6, p. 100230, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100230>.

PUY, S.; GIRAL, M.; GARCÍA-OLMO, D. C. Short sling immobilization does not lead to increased salivary cortisol levels in pigs. **Animals** 2024, 14, 2760 [online]. 2024. DOI: 10.3390/ani14192760. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100230>.

PLUT, J. et al. The combination of serum and oral fluid cortisol levels and welfare quality protocol® for assessment of pig welfare on intensive farms. **Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 351, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020351>.

REY-SALGUEIRO, L. et al. Qualidade da carne em relação ao bem-estar dos suínos após o transporte e durante o período de espera no matadouro. **Meat Science**, v. 142, p. 38-43, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.005>.

SACO, Y., et al. "Influence of circadian cycle, sex and production stage on reference values of stress- and pathology-related parameters in pig saliva." **Porcine health management** 9.1 (2023): 42. <https://doi.org/10.1186/s40813-023-00337-7>.

SARDI, L. et al. Identification of possible pre-slaughter indicators to predict stress and meat quality: A study on heavy pigs. **Animals**, v. 10, n. 6, p. 945, 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10060945>.

SILVA N. A. et al. How epigenetics can enhance pig welfare? **Animals**, v. 12, n. 1, p. 32, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani12010032>.

SHEN, C. et al. Identificação de biomarcadores sanguíneos associados à agressividade em leitões desmamados após a mistura. **Applied Animal Behavior Science**, v. 224, p. 104927, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2019.104927>.

SOMMAVILLA, R.; FAUCITANO, L.; GONYOU, H.; SEDDON, Y.; BERGERON, R.; WIDOWSKI, T.; CROWE, T.; CONNOR, L.; SCHEEREN, M. B.; GOUMON, S.; BROWN, J. Season, Transport Duration and Trailer Compartment Effects on Blood Stress Indicators in Pigs: Relationship to Environmental, Behavioral and Other Physiological Factors, and Pork Quality Traits. **Animals**, v. 7, n. 2, p. 8, 2017. <https://doi.org/10.3390/ani7020008>.

STEINEROVÁ, K.; PARKER, S. E.; BROWN, J. A.; SEDDON, Y. M. Promoting play behaviour in growing-finishing pigs: the relationship between behaviours indicating positive experience and physiological measures. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 275, p. 106263, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106263>.

VALROS, A.; NORRING, M.; AHLQVIST, K.; BERGQVIST, T.; CERON, J. J.; LOPEZ-ARJONA, M.; HEINONEN, M. Effects of repeated intramuscular injections on behavioural reactions of sows and stress-related salivary biomarkers – A pilot study. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 271, p. 106173, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2024.106173>.

VAN DER STAAY, F. J.; VAN ZUTPHEN, J. A.; DE RIDDER, M. M.; NORDQUIST, R. E. Efeitos do enriquecimento ambiental no comportamento de tomada de decisão em suínos. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 194, p. 14-23, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.05.006>.

VASHI, Y.; NASKAR, S.; CHUTIA, T.; BANIK, S.; SINGH, A. K.; GOSWAMI, J.; SEJALAN, V. Comparative assessment of native, crossbred and exotic pigs during different seasons (winter, spring and summer) based on rhythmic changes in the levels of serum cortisol, lactate dehydrogenase levels and PBMC HSP70 mRNA expression pattern. **Biological Rhythm Research**, v. 49, n. 5, p. 725-734, 2018. <https://doi.org/10.1080/09291016.2017.1410019>.

VILLA-MANCERA, A; MÉNDEZ-ROSAS, M; CRUZ-AVIÑA, J. Effect of heat stress on reproductive performance of swine breeding females: comparison of different thermal comfort indices in a temperate climate. **Animal Production Science**, v. 64, n. 4, 2024. <https://doi.org/10.1071/AN23181>.

CAPÍTULO 03. Revisão comparativa do comportamento de matrizes suínas em sistemas de alojamentos individuais e coletivos.

Comparative review of the behavior of sows in individual and group housing systems
Revisión comparativa del comportamiento de cerdas en sistemas de alojamiento individual y grupal

DOI: <https://doi.org/10.54899/dcs.v23i88.4786>

Recibido: 01/03/2026 | Aceptado: 03/03/2026 | Publicación en línea: 11/03/2026.

Rodrigo Henrique Risso Aires Alves¹, Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino²,
Janaína Paolucci Sales de Lima³

¹Mestrando em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, Amazonas, Brasil. E-mail: rodrigo.aires@ufam.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4257-6326>

²Pós-Doutora em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, Amazonas, Brasil. E-mail: julianekayse@ufam.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2312-4810>

³Pós-Doutora em Zootecnia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: paolucci@ufam.edu.br Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3771-3891>

RESUMO

A produção moderna de suínos enfrenta o imperativo de equilibrar a eficiência produtiva com a crescente demanda global por um bem-estar animal aprimorado. Este estudo apresenta uma revisão abrangente da literatura de 2015 a 2025, analisando sistematicamente 11 artigos revisados por pares retirados da base de dados ScienceDirect que investigam as respostas comportamentais de matrizes suínas em sistemas de alojamento individual versus coletivo. Os resultados indicam que, embora o alojamento individual facilite o manejo nutricional preciso e reduza a agressão física, ele restringe significativamente os comportamentos naturais e prejudica a termorregulação, muitas vezes levando ao estresse crônico. Em contraste, o alojamento coletivo promove a interação social e o movimento irrestrito, mas introduz desafios relacionados a conflitos hierárquicos, que podem ser mitigados por meio de inovações tecnológicas, como nutrição de precisão e inteligência artificial. Além disso, no âmbito do framework Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD), a revisão destaca que o estresse materno impacta negativamente o desenvolvimento fetal e a saúde da prole. As evidências sugerem que a transição para o alojamento coletivo é uma tendência inevitável; no entanto, a integração de tecnologias avançadas é fundamental para garantir que a sustentabilidade econômica não ocorra à custa de considerações éticas e do bem-estar animal.

Palavras-chave: Dinâmica Comportamental. Eficiência de Produção. Bem-estar. Alojamento.

ABSTRACT

Modern swine production faces the imperative to balance productive efficiency with the escalating global demand for enhanced animal welfare. This study presents a comprehensive review of the literature from 2015 to 2025, systematically analyzing 11 peer-reviewed articles retrieved from the ScienceDirect database that examine the behavioral responses of sows in individual versus collective housing systems. Findings indicate that while individual housing facilitates precise nutritional management and reduces physical aggression, it significantly restricts natural behaviors and hampers thermoregulation, often leading to chronic stress. In contrast, group housing fosters social interaction and unrestricted movement but introduces challenges related to hierarchical conflicts, which can be mitigated through technological innovations such as precision nutrition and artificial intelligence. Additionally, within the framework of the Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD), the review underscores that maternal stress adversely impacts fetal development and offspring health. The evidence suggests that transitioning towards collective housing is an inevitable trend; however, integrating advanced technologies is critical to ensuring that economic sustainability does not come at the expense of ethical considerations and animal welfare.

Keywords: Behavioral Dynamics. Production Efficiency. Animal Welfare. Housing Systems.

RESUMEN

La producción moderna de porcinos enfrenta la imperativa de equilibrar la eficiencia productiva con la creciente demanda global de mejorar el bienestar animal. Este estudio presenta una revisión exhaustiva de la literatura desde 2015 hasta 2025, analizando sistemáticamente 11 artículos revisados por pares extraídos de la base de datos ScienceDirect que examinan las respuestas conductuales de las cerdas en sistemas de alojamiento individual versus colectivo. Los hallazgos indican que, si bien el alojamiento individual facilita una gestión nutricional precisa y reduce la agresión física, limita significativamente los comportamientos naturales y dificulta la termorregulación, lo que a menudo conduce a un estrés crónico. En contraste, el alojamiento grupal fomenta la interacción social y el movimiento sin restricciones, pero introduce desafíos relacionados

con conflictos jerárquicos, los cuales pueden mitigarse mediante innovaciones tecnológicas como la nutrición de precisión y la inteligencia artificial. Además, dentro del marco Developmental Origins of Health and Disease (DOHaD), la revisión enfatiza que el estrés materno impacta negativamente en el desarrollo fetal y la salud de la descendencia. La evidencia sugiere que la transición hacia el alojamiento colectivo es una tendencia inevitable; sin embargo, la integración de tecnologías avanzadas es fundamental para garantizar que la sostenibilidad económica no se logre a costa de consideraciones éticas y del bienestar animal.

Palabras clave: Dinámica Comportamental. Eficiencia de Producción. Bienestar Animal. Alojamiento.

1. INTRODUÇÃO

A suinocultura global representa um pilar econômico e nutricional estratégico para a segurança alimentar, exercendo implicações diretas na pecuária mundial. O Brasil consolidou sua posição como o quarto maior produtor e exportador do mundo ao gerenciar um plantel de aproximadamente 2,4 milhões de matrizes. Segundo dados da ABPA (2025) e projeções de Knox (2024), a forte demanda da China, que detém quase metade da produção global, é o principal motor para a expansão tecnológica das granjas brasileiras.

A modernização do setor no Brasil envolve a adoção de instalações tecnologicamente avançadas, regimes nutricionais de alta precisão e melhorias genéticas constantes. Santos (2025) e Gaillard et al. (2020) ressaltam que o foco atual da indústria é maximizar a produtividade mantendo o equilíbrio ético com o bem-estar animal. Essa evolução busca sustentar um mercado interno robusto, onde o consumo de carne suína já ultrapassa a marca de 20 kg per capita.

O domínio dos sistemas de baias ou gaiolas individuais na suinocultura intensiva é principalmente justificado pela conveniência operacional e pela proteção física dos animais. No entanto, essa abordagem apresenta limitações significativas, especialmente a restrição de comportamentos naturais e os impactos negativos associados à saúde e ao bem-estar psicológico (Pellenz et al., 2021). Em contrapartida, modelos de manejo alternativos, como o alojamento coletivo e o Sistema Intensivo de Suínos Criados ao Ar Livre (SISCAL), surgiram para preencher essas lacunas. Estes sistemas facilitam interações sociais e permitem a expressão de comportamentos inatos, incluindo a construção de ninhos e a exploração (Cunha et al., 2023). Apesar dessas vantagens, permanecem desafios na

adoção de modelos de alojamento aberto, especialmente no que diz respeito à adaptação da infraestrutura, viabilidade econômica e manutenção dos padrões sanitários, consolidados pelo confinamento restritivo (Silva, 2025).

O estudo analisa os paradigmas de alojamento individual e coletivo na suinocultura. O sistema individual prioriza o controle nutricional e a segurança física, mas impõe isolamento e restrição motora. Pellenz et al. (2021) e Santos (2025) argumentam que essas limitações físicas impactam negativamente o bem-estar psicológico e a expressão de comportamentos naturais das matrizes.

Em contrapartida, o modelo coletivo resgata a complexidade social e a liberdade comportamental. Silva (2025) e Santos (2025) destacam que a análise deve transcender métricas produtivas tradicionais, focando em como a arquitetura do sistema molda a qualidade de vida animal. A transição para modelos abertos busca conciliar a expressão inata da espécie com a sustentabilidade econômica da atividade.

O estudo analisa os paradigmas de alojamento individual e coletivo na suinocultura. O sistema individual prioriza o controle nutricional e a segurança física, mas impõe isolamento e restrição motora. Pellenz et al. (2021) e Santos (2025) argumentam que essas limitações físicas impactam negativamente o bem-estar psicológico e a expressão de comportamentos naturais das matrizes.

Em contrapartida, o modelo coletivo resgata a complexidade social e a liberdade comportamental. Silva (2025) e Santos (2025) destacam que a análise deve transcender métricas produtivas tradicionais, focando em como a arquitetura do sistema molda a qualidade de vida animal. A transição para modelos abertos busca conciliar a expressão inata da espécie com a sustentabilidade econômica da atividade.

Partindo dessa premissa, a hipótese deste estudo é de que o alojamento coletivo, apesar dos desafios inerentes à hierarquia social e ao manejo, oferece um nível superior de bem-estar para as matrizes, ao possibilitar comportamentos naturais e reduzir as estereotipias associadas ao confinamento. Assim, o objetivo principal desta revisão é analisar, por meio de um levantamento bibliográfico abrangente dos últimos 10 anos, os impactos comportamentais dos sistemas de alojamento em matrizes no contexto da produção de suínos no Brasil. Essa análise visa fornecer subsídios para práticas que otimizem o bem-estar das porcas sem comprometer a sustentabilidade econômica.

2. METODOLOGIA

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados Science Direct, sendo aplicado o filtro de período de publicação entre 2015 e 2025.

Na etapa subsequente, foram aplicados critérios de inclusão e exclusão nos resumos das publicações, para posterior análise. Na inclusão foram consideradas pesquisas científicas que avaliaram o comportamento e o bem-estar de matrizes suínas, comparando os sistemas de alojamento individual (bairas ou gaiolas) e coletivo (bairas ou SISCAL) durante a fase de gestação, abordando indicadores etológicos, agressividade e desempenho reprodutivo, considerados apenas estudos originais controlados e publicados em inglês. Em contrapartida, foram excluídos estudos que não focaram na fase de gestação, não realizavam comparativo entre os sistemas de alojamento, não abordavam indicadores comportamentais ou não descreviam claramente o manejo utilizado.

A extração de dados relevantes foi realizada por meio de formulário padronizado, registrando informações como título, ano, autores e delineamento experimental. A análise comparativa dos resultados e a identificação dos fatores que influenciam o bem-estar das fêmeas foram realizadas considerando as particularidades de cada sistema de alojamento. A síntese dos dados foi apresentada de forma narrativa, com discussão das implicações para a suinocultura industrial e a adequação às normas de bem-estar, a partir da leitura crítica das publicações elegíveis.

Figura 3. Estratégia da busca bibliográfica para a revisão sistemática.



Fonte: Autores, 2025.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da metodologia e das palavras-chave nas bases de dados escolhida resultou inicialmente em 1.183 trabalhos. Após as etapas de refinamento e triagem, chegou-se a um conjunto preliminar de 29 artigos. Deste total, após análise de escopo, foram selecionados 11 artigos científicos com relevância direta e exclusiva para a suinocultura, compreendidos no período de 2015 a 2025, os quais compõem a base desta discussão.

A fim de alcançar o objetivo desta revisão comparativa e compreender os fatores que influenciam o bem-estar de matrizes em diferentes sistemas de alojamento, os dados resultantes foram sistematizados e agrupados em eixos temáticos que exploram o presente trabalho. A discussão a seguir integra os achados sobre o comportamento animal e nutrição de precisão, a influência da ambiência e qualidade do ar, os impactos no desempenho reprodutivo e na saúde da prole, e, por fim, as perspectivas tecnológicas e futuras para o setor.

Quadro 1. Títulos das obras selecionadas para análise.

TÍTULO (ORIGINAL EM INGLÊS)	AUTORES	ANO
Worldwide perspective for swine production and reproduction for the next 20 years	KNOX	2024
Artificial intelligence and porcine breeding	GARCÍA-VÁZQUEZ	2024
Characteristics of aerosols from swine farms: a review of the past two-decade progress	LIU ET AL.	2023
Effects of the environment and animal behavior on nutrient requirements for gestating sows: future improvements in precision feeding	GAILLARD ET AL.	2021
A critical review of advancement in scientific research on food animal welfare- related air pollution	NI ET AL.	2021
Improvement of feed and nutritional efficiency in pig production through precision feeding	GAILLARD ET AL.	2020
In utero heat stress alters postnatal phenotypes in swine	JOHNSON ET AL.	2020
Sows' responses to increased heat load – a review	BJERG ET AL.	2020
Developmental origins of health and disease in swine: implications for animal production and biomedical research	GONZALEZ-BULNES ET AL.	2016
Non-infectious causes of pre-weaning mortality in piglets	MUNS ET AL.	2016
Review on greenhouse gas emissions from pig houses: production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure	PHILIPPE ET AL.	2015

Fonte: Autores, 2025.

3.1. Ambiência, comportamento, monitoramento e nutrição.

A suinocultura moderna enfrenta o desafio de equilibrar a eficiência produtiva com a

crescente demanda global por padrões elevados de bem-estar animal. Segundo Knox (2024), essa transição é impulsionada por pressões regulatórias que forçam a indústria a abandonar sistemas restritivos em favor de modelos que permitam uma vida mais próxima do repertório natural da espécie. A busca por sustentabilidade ética não deve ser vista apenas como um custo, mas como uma estratégia para garantir a viabilidade econômica e a aceitação do mercado consumidor em longo prazo.

A fundamentação teórica que norteia essas mudanças baseia-se no conceito das "Cinco Liberdades", estabelecido originalmente pelo Relatório Brambell (1965) e formalizado pelo Farm Animal Welfare Council (1979). Hoje, essa visão evoluiu para o "Modelo dos Cinco Domínios", proposto por Mellor (2016), que expande a análise para além da simples ausência de sofrimento, focando em estados mentais positivos e na capacidade de o animal interagir de forma adaptativa com o meio. Essa "liberdade" é definida como a autonomia do indivíduo para expressar comportamentos inatos e satisfazer necessidades fisiológicas e psicológicas sem impedimentos físicos ou medo crônico.

Na fase de gestação, o alojamento individual em gaiolas é historicamente justificado pela proteção física das matrizes e facilidade de manejo nutricional. No entanto, Pellenz et al. (2021) argumentam que esse isolamento suprime severamente o comportamento natural, impedindo a locomoção e a exploração do ambiente. A restrição de espaço em gaiolas, onde as porcas permanecem inativas por mais de 80% do tempo, é um fator determinante para o desenvolvimento de estresse psicológico e frustração comportamental.

O comportamento das matrizes em gaiolas individuais é frequentemente marcado por estereotípias, como o ato de morder as grades ou realizar mastigação em vazio, reflexos de um ambiente sensorialmente pobre. Dalla Costa et al. (2023) observaram que a falta de estímulos e de espaço para fuçar ou interagir leva a um estado de apatia ou reatividade exagerada. Em contrapartida, o alojamento coletivo permite que a matriz expresse o comportamento de exploração e interação social, elementos fundamentais para a manutenção da saúde mental durante a gestação.

No entanto, o alojamento coletivo introduz a complexidade da hierarquia social, onde o estabelecimento de dominância pode resultar em comportamentos agressivos agudos. Camargo et al. (2021) destacam que, sem um design de baia adequado que inclua zonas de fuga, as fêmeas subordinadas sofrem com o medo constante e o estresse social. Esse cenário exige que o manejo minimize a agressividade no momento do agrupamento para não comprometer a vitalidade da prole em desenvolvimento.

A ambiência térmica é um dos eixos críticos onde a liberdade de escolha se manifesta de forma decisiva. Bjerg et al. (2020) revisaram que, em temperaturas superiores a 25 °C, as matrizes ativam mecanismos de termorregulação comportamental, buscando áreas mais ventiladas ou pisos úmidos para dissipar calor. Em gaiolas, a incapacidade de buscar esses microclimas exacerba o estresse térmico, enquanto no sistema coletivo a livre movimentação permite que o animal encontre condições ambientais mais favoráveis à sua homeostase.

A qualidade do ar no ambiente de produção é outro fator que impacta diretamente a saúde respiratória e o bem-estar. Philippe e Nicks (2015) demonstram que a produção de gases como o dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) varia conforme o sistema de alojamento e o manejo dos dejetos, podendo atingir níveis prejudiciais se a ventilação for ineficiente. O monitoramento constante desses poluentes é essencial para garantir que a concentração de amônia e gases de efeito estufa não comprometa a imunidade das matrizes.

Complementarmente, Liu et al. (2023) enfatizam a importância do controle de aerossóis e poeira orgânica, que atuam como vetores de patógenos e irritantes pulmonares. Ni et al. (2021) reforçam que a poluição do ar interna está intrinsecamente ligada ao bem-estar e à produtividade, exigindo sistemas de monitoramento que possam intervir no microclima em tempo real. A falha no controle da ambiência aérea pode resultar em doenças respiratórias crônicas que afetam o desempenho reprodutivo de longo prazo.

No campo da nutrição, as demandas metabólicas de matrizes gestantes em grupos são altamente dinâmicas e influenciadas pelo nível de atividade física. Gaillard et al. (2021) detalham que fêmeas mais ativas ou subordinadas (que se movimentam mais para evitar agressões) possuem necessidades energéticas de manutenção superiores às fêmeas alojadas em gaiolas estáticas. Ignorar essa variabilidade individual na alimentação de grupo leva a lotes desuniformes e subnutrição de indivíduos menos dominantes.

A nutrição de precisão surge como a solução tecnológica para atender a essas demandas específicas de forma individualizada. Remus et al. (2020) explicam que o fornecimento diário de dietas ajustadas ao peso e ao comportamento de cada animal reduz a excreção de nutrientes e melhora a eficiência alimentar. Essa tecnologia permite que, mesmo dentro do sistema coletivo, cada matriz receba o aporte exato de lisina e energia necessário para suportar o desenvolvimento fetal sem excessos ou carências.

A integração do monitoramento tecnológico e da Inteligência Artificial (IA) redefine o

cuidado individual no coletivo. García-Vázquez (2024) aponta que o uso de sensores de visão computacional e Big Data permite identificar precocemente claudicações, cios ou alterações no consumo de ração com uma precisão impossível para a observação humana convencional. Essa abordagem, conhecida como Suinocultura 5.0, garante que o bem-estar seja monitorado individualmente, prevenindo que problemas de saúde passem despercebidos em grupos grandes.

O uso de sensores IoT permite a automação completa da ambiência, ajustando cortinas e ventiladores com base em dados de umidade e temperatura em tempo real. Santos (2025) destaca que essa conectividade transforma a granja em um ecossistema inteligente, onde o ambiente se adapta às necessidades biológicas do animal e não o contrário. Tais inovações são fundamentais para mitigar os riscos de estresse térmico agudo que poderiam comprometer a manutenção da gestação e a vitalidade da prole.

A importância de um ambiente adequado estende-se aos efeitos transgeracionais, onde o estresse materno molda a saúde futura do leitão (conceito DOHaD). Gonzalez-bulnes et al. (2016) e Johnson et al. (2020) evidenciam que matrizes expostas a desconforto térmico ou social severo durante a gestação geram leitões com menor potencial de desenvolvimento e carcaças de menor qualidade. Assim, o investimento em ambiência e monitoramento é, na verdade, um investimento na qualidade do produto final da cadeia suinícola.

Em conclusão, a evolução para sistemas coletivos apoiados por tecnologias de precisão representa o equilíbrio necessário entre a biologia do suíno e a engenharia de produção. A análise comparativa demonstra que, embora o sistema individual ofereça controle simplificado, o custo biológico para a fêmea é insustentável frente aos padrões éticos atuais. O futuro da atividade reside na adoção de modelos que priorizem as liberdades fundamentais, garantindo a sustentabilidade econômica por meio de um bem-estar animal superior.

3.2. Desempenho reprodutivo e efeitos maternos na prole

A eficiência reprodutiva em sistemas de alojamento coletivo é um tema que desperta debates intensos devido ao potencial impacto da agressividade social sobre os índices produtivos. Muns, Nuntapaitoon e Tummaruk (2016) defendem que a mortalidade de leitões e as perdas gestacionais possuem uma natureza estritamente multifatorial, não podendo ser atribuídas unicamente ao tipo de alojamento.

Essa perspectiva é corroborada por Knox (2024), que destaca a necessidade de equilibrar o controle sanitário e a eficiência reprodutiva em rebanhos cada vez maiores, onde o manejo técnico se torna tão decisivo quanto à arquitetura das instalações. Santos (2025) complementa essa visão ao sugerir que a integração de sistemas de monitoramento avançados pode mitigar os riscos inerentes à convivência em grupo, garantindo que a saúde das matrizes seja preservada.

O estresse materno, manifestado de forma crônica no confinamento individual ou de forma aguda em misturas de lotes sociais, compromete diretamente a vitalidade da prole. Muns et al. (2016) explicam que o estado hormonal da fêmea influencia o risco de esmagamento de leitões no período pós-parto. Camargo et al. (2021) discutem que o desafio central reside em encontrar um equilíbrio entre a redução da agressividade física e a manutenção da viabilidade econômica dos sistemas abertos. Silva (2025) reforça que, além do estresse social, a manutenção de padrões sanitários rigorosos é essencial para que o desempenho reprodutivo em alojamentos coletivos não seja inferior ao observado em sistemas de confinamento restritivo.

A compreensão dos mecanismos de "programação" biológica da prole é fundamentada pelo conceito DOHaD (Developmental Origins of Health and Disease). Gonzalez-Bulnes et al. (2016) descrevem que o ambiente intrauterino, moldado pela nutrição e pelos níveis de estresse da matriz, atua como um determinante da saúde futura dos leitões. Knox (2024) projeta que, nas próximas décadas, a indústria suinícola deverá focar na otimização desse ambiente fetal para atender às exigências de produtividade e bem-estar global. Johnson et al. (2020) consubstanciam essa tese ao demonstrar que as condições sofridas pela fêmea in utero geram fenótipos alterados no nascimento, afetando permanentemente o desenvolvimento dos tecidos da prole.

Os princípios do conceito DOHaD baseiam-se na plasticidade do desenvolvimento, onde estímulos externos durante a gestação provocam adaptações fisiológicas duradouras. Gonzalez- Bulnes et al. (2016) evidenciam que tanto a subnutrição quanto o estresse severo em alojamentos inadequados reduzem o potencial de crescimento dos leitões. Gaillard et al. (2021) relacionam esse fenômeno às necessidades energéticas variáveis das matrizes, sugerindo que falhas no aporte nutricional durante janelas críticas da gestação prejudicam a formação orgânica fetal. Bjerg et al. (2020) acrescentam que a carga fisiológica imposta pelo ambiente, como o aumento da frequência respiratória em resposta ao desconforto, altera a partição de nutrientes que seriam destinados ao desenvolvimento

placentário.

A discussão sobre o bem-estar pré-natal deve ser expandida para além do estresse térmico, incluindo a influência da qualidade do ar e de contaminantes ambientais. Enquanto Johnson et al. (2020) focam nas alterações de gordura e massa magra decorrentes do calor in utero, Philippe e Nicks (2015) alertam que a exposição crônica a gases como metano e óxido nitroso nas instalações impacta a saúde respiratória materna e, consequentemente, a oxigenação fetal. Ni et al. (2021) afirmam que a poluição do ar interna é um fator de risco subestimado para o bem-estar, exigindo um monitoramento preciso para evitar perdas reprodutivas silenciosas. Liu et al. (2023) reforçam que o controle de aerossóis é vital para manter a imunidade da matriz em níveis que não comprometam a gestação.

A mitigação desses impactos negativos depende da integração de tecnologias de precisão que permitam um cuidado individualizado dentro do coletivo. García-Vázquez (2024) argumenta que a inteligência artificial é a ferramenta necessária para identificar padrões comportamentais anormais que indicam falhas no bem-estar reprodutivo. Santos (2025) propõe que a "Suinocultura 5.0" deve utilizar dados em tempo real para ajustar a nutrição e o microclima, protegendo a matriz de estressores externos. Gaillard et al. (2020) concluem que o ajuste fino da dieta, baseado em exigências individuais, é o que permite alcançar o máximo potencial produtivo da prole sem comprometer a integridade física e ética da produção.

3.3. Perspectivas futuras: Tecnologia e sustentabilidade

A análise da literatura científica contemporânea aponta para um direcionamento global que prioriza a transição para sistemas de alojamento que favoreçam o bem-estar animal, embora as estratégias para tal mudança sejam passíveis de constante refutação e aprimoramento técnico. Knox (2024) argumenta que, para as próximas duas décadas, as pressões regulatórias e as exigências de mercados importadores, como o chinês e o europeu, atuarão como os principais motores dessa transformação. Complementarmente, os dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2025) reforçam que o Brasil, como protagonista na exportação, necessita adaptar suas instalações para manter a competitividade, embora a viabilidade econômica desses novos modelos ainda dependa de ajustes finos na infraestrutura nacional.

A superação dos desafios operacionais em rebanhos alojados coletivamente reside na implementação da Inteligência Artificial (IA) e do monitoramento em tempo real. García-

Vázquez (2024) aponta que o uso de sensores de precisão e Big Data permite a individualização do cuidado em grupos extensos, identificando precocemente sinais de claudicação ou estros. Santos (2025) denomina esse estágio de "Suinocultura 5.0", onde a tecnologia resolve o paradoxo histórico do setor ao oferecer liberdade de movimento com o controle minucioso anteriormente restrito às celas de gestação, promovendo um ambiente produtivo mais ético e transparente.

A sustentabilidade dos sistemas futuros também dependerá do rigoroso monitoramento da ambiência aérea e da mitigação de poluentes particulados. Liu et al. (2023) revisaram o progresso de duas décadas no estudo de aerossóis em granjas, enfatizando que a qualidade do ar é um componente indissociável do bem-estar que afeta a saúde respiratória de matrizes e trabalhadores.

Ni et al. (2021) corroboram essa visão ao afirmar que a poluição do ar interna deve ser tratada como um fator de risco biológico, exigindo inovações em sistemas de ventilação automatizados que possam ser ajustados dinamicamente para reduzir a concentração de amônia e outros gases irritantes.

No campo da eficiência metabólica, a nutrição de precisão será o pilar para garantir que a liberdade social não resulte em disparidade nutricional entre as fêmeas. Gaillard et al. (2020) explicam que a automação na entrega de nutrientes permite que cada matriz receba uma dieta personalizada com base em sua atividade física e estágio gestacional. Segundo Gaillard et al. (2021), essa abordagem tecnológica é essencial para equalizar o bem-estar em grupos, visto que as demandas energéticas são distintas entre animais dominantes e subordinados, o que exige um manejo alimentar que vá além das médias populacionais tradicionais.

A programação biológica da prole surge como uma métrica de sucesso para os novos sistemas, ligando o conforto da matriz à qualidade do produto final. Johnson et al. (2020) destacam que o estresse térmico sofrido pela fêmea altera o fenótipo dos leitões, reforçando que sistemas de resfriamento inteligente serão indispensáveis em climas tropicais. Gonzalez-Bulnes et al. (2016) fundamentam que essa visão, baseada no framework DOHaD, obriga a indústria a reconsiderar o manejo gestacional não apenas como uma fase de manutenção, mas como o período crítico de definição da imunidade e do potencial de crescimento da próxima geração produtiva.

Por fim, é imperativo reconhecer que as estratégias tecnológicas atuais, embora promissoras, não são definitivas e devem ser submetidas a uma constante vigilância

científica. Knox (2024) adverte que o aumento na escala de produção e o uso intensivo de grupos maiores podem introduzir novos estressores sanitários e sociais ainda não totalmente compreendidos. Santos (2025) e Silva (2025) concluem que o futuro da suinocultura não reside em uma solução única, mas em uma engenharia de produção dinâmica que saiba integrar a biologia do animal às demandas éticas da sociedade, mantendo-se aberta a refutações e novas descobertas acadêmicas.

4. CONCLUSÃO

A análise comparativa da produção suinícola na última década demonstra que o alojamento coletivo de matrizes gestantes é superior ao sistema individual por permitir a expressão de comportamentos naturais e reduzir o estresse biológico severo associado ao confinamento restritivo. Embora o manejo em grupo introduza desafios inerentes à hierarquia social, o emprego de tecnologias avançadas, como a nutrição de precisão e a inteligência artificial, atua como um fator equalizador que permite o cuidado individualizado e a mitigação da agressividade, garantindo a eficiência produtiva. O investimento sistemático no bem-estar materno e no controle rigoroso da ambiência reflete-se positivamente na imunidade e na qualidade da carcaça da prole via programação fetal (DOHaD), refutando a premissa de que a migração para sistemas abertos compromete a sustentabilidade econômica da atividade. Dessa forma, o equilíbrio técnico entre a biologia animal e a engenharia de produção estabelece um padrão ético elevado que, além de atender às demandas normativas do mercado global, assegura a viabilidade e a competitividade da suinocultura brasileira a longo prazo.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amazonas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). Relatório Anual 2025. São Paulo: ABPA, 2025. <https://abpa-br.org/>.

BJERG, B.; BRANDT, P.; PEDERSEN, P.; ZHANG, G. Sows' responses to increased heat load – A review. *Journal of Thermal Biology*, v. 94, art. 102758, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102758>.

BRAMBELL, F. W. R. Report of the technical committee to enquire into the welfare of animals kept under intensive livestock husbandry systems. London: Her Majesty's

Stationery Office, 1965.

CAMARGO, N. O. T.; ANDRETTA, I.; CARVALHO, C. L.; XAVIER, E. G. Análise comportamental e características de desempenho zootécnico de matrizes suínas alojadas em baias coletivas e gaiolas individuais. In: Suinocultura e Avicultura: Do Básico a Zootecnia de Precisão. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2021. p. 56-67.

CARNEIRO, A. S. A construção do outro como não-ser como fundamento do ser. 2005. Tese (Doutorado em Educação) – Curso de Educação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CUNHA, E. C. P. et al. Comportamento e bem-estar de matrizes suínas em sistema intensivo de criação ao ar livre (SISCAL). Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 248-261, 2023. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv6n1-020>.

DALLA COSTA, F. A. et al. Protocolo de avaliação de bem-estar animal: suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2023. 104 p. DOI: <https://doi.org/10.35332/978-65-87776-32-3>.

GAILLARD, C.; BROSSARD, L.; DOURMAD, J. Y. Improvement of feed and nutritional efficiency in pig production through precision feeding. INRAE Productions Animales, v. 33, n. 1, p. 23-36, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114611>.

GAILLARD, C.; DURAND, M.; LARGOUËT, C.; DOURMAD, J. Y.; TALLET, C. Effects of the environment and animal behavior on nutrient requirements for gestating sows: Future improvements in precision feeding. Animal Feed Science and Technology, v. 279, art. 115034, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115034>.

GARCÍA-VÁZQUEZ, F. A. Artificial intelligence and porcine breeding. Animal Reproduction Science, v. 269, art. 107538, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2024.107538>.

GONZALEZ-BULNES, A. et al. Developmental Origins of Health and Disease in swine: implications for animal production and biomedical research. Theriogenology, v. 86, n. 1, p. 110-119, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.03.024>.

JOHNSON, J. S. et al. In utero heat stress alters postnatal phenotypes in swine. Theriogenology, v. 154, p. 110-119, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.013>.

KNOX, R. V. Worldwide perspective for swine production and reproduction for the next 20 years. Theriogenology, v. 234, art. 11-20, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2024.11.020>.

LIU, T. et al. Characteristics of aerosols from swine farms: A review of the past two-decade progress. Environment International, v. 178, art. 108074, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108074>.

MELLOR, D. J. Moving beyond the "Five Freedoms" to "Five Domains" of animal welfare. Animals, Basel, v. 6, n. 3, p. 21, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani6030021>.

MUNS, R.; NUNTAPAITOON, M.; TUMMARUK, P. Non-infectious causes of pre-weaning mortality in piglets. Livestock Science, v. 184, p. 46-57, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.11.025>.

NI, J. Q. et al. A critical review of advancement in scientific research on food animal welfare- related air pollution. Journal of Hazardous Materials, v. 408, art. 124468, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124468>.

PELLENZ, J. et al. Desempenho e comportamento de matrizes suínas alojadas em gaiolas ou baias coletivas durante a gestação. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 51, n. 10, e20200547, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200547>.

PHILIPPE, F. X.; NICKS, B. Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 199, p. 10-25, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.015>.

REMUS, A. et al. Application of precision feeding in swine production. *Animal Frontiers*, Oxford, v. 10, n. 2, p. 31-39, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfaa010>.

SANTOS, C. G. Suinocultura 5.0: inteligência artificial aplicada à saúde e bem-estar animal. 2025. <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/8889>.

SILVA, R. A. Ambiente físico e bem-estar de matrizes suínas no pós-parto: uma revisão de literatura. 2025. <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/6006>.

CAPÍTULO 04. AVALIAÇÃO INTEGRADA DA SUINOCULTURA NO TRÓPICO ÚMIDO: AMBIÊNCIA, ETOLOGIA E DESEMPENHO ZOOTÉCNICO.

Rodrigo Henrique Risso Aires Alves¹, Ana Beatriz Mendonça Pires², Raquel de Almeida Pereira³, Jeferson Tonin⁴, Aurelio Diaz Herraiz⁵,
Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino⁶,
Kaliane Nascimento Oliveira⁷ Janaína Paolucci Sales de Lima⁸

¹Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, Humaitá, Amazonas, Brasil.

E-mail: rodrigo.aires@ufam.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4257-6326>

²Graduanda em Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, Brasil.

E-mail: beatriz.mendonca@ufam.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-0069-8477>

³Graduanda em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, Manaus Amazonas, Brasil.

E-mail: raquel.pereira@ufam.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-3346-2823>

⁴Doutor em Desenvolvimento Rural, Instituto Latino-Americano de Economia, Sociedade e Política, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.

E-mail: jeferson.tonin@unila.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3410-7247>

⁵Doutor em Gestão Sustentável e Recursos Naturais, Instituto Federal do Amazonas, Humaitá, Amazonas, Brasil.

E-mail: aurelio.herraiz@ifam.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7856-0388>

⁶Doutora em Física Ambiental, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente,
Humaitá, Amazonas, Brasil.

E-mail: aurelio.herraiz@ifam.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2312-4818>

⁷Pós-Doutora em Zootecnia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus,
Amazonas, Brasil.

E-mail: kaliane@ufam.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2312-4810>

⁸Pós-Doutora em Zootecnia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus,
Amazonas, Brasil.

E-mail: paolucci@ufam.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3771-3891>

RESUMO

A suinocultura na região amazônica é constantemente desafiada pelas elevadas temperaturas e umidade relativa, fatores que comprometem a homeostase animal. Este estudo objetivou avaliar a interação entre variáveis bioclimáticas, respostas comportamentais e o desempenho zootécnico de suínos em sistema SISCO, durante os períodos sazonais seco, de transição e chuvoso. Ao longo de um ano, monitoraram-se os índices bioclimáticos (ITU e ITGU), parâmetros fisiológicos, zootécnicos e etológicos. Os resultados demonstraram que não houve diferença significativa no peso corporal ($p=0,4914$) ou na temperatura retal ($p=0,3009$) entre as estações. Os índices ambientais também não apresentaram variação sazonal expressiva, mas indicaram uma condição contínua de estresse térmico para os animais (ex: ITU médio de 77,35 durante o monitoramento). Etologicamente, observou-se a prevalência de comportamentos inativos, como dormir (42,42%) e deitar (37,00%), os quais apresentaram correlações significativas ($p<0,05$) com os índices de conforto térmico, refletindo uma adaptação fisiológica. Conclui-se que, não obstante as condições ambientais adversas, os animais exibiram uma notável resiliência produtiva e plasticidade comportamental, mitigando eficazmente a hipertermia através da perda de calor por condução via contato com o piso das instalações.

Palavras-chave: Amazônia; Termorregulação; Bem-estar animal.

ABSTRACT

Here is the English version of the revised abstract, maintaining a fluid, academic, and professional tone that matches international publication standards:

Abstract

Swine production in the Amazon region is constantly challenged by high temperatures and relative humidity, factors known to compromise animal homeostasis. This study aimed to evaluate the interaction among bioclimatic variables, behavioral responses, and the zootechnical performance of pigs housed in a SISCON system across dry, transition, and rainy seasons. Over a one-year period, bioclimatic indices (THI and BGHI), physiological parameters, performance, and behavior were monitored. The results demonstrated no significant differences in body weight ($p=0.4914$) or rectal temperature ($p=0.3009$) among seasons. Environmental indices also showed no substantial seasonal variation but consistently indicated a condition of heat stress (e.g., mean THI of 77.35 during behavioral monitoring). Ethological analysis revealed a prevalence of inactive behaviors, such as sleeping (42.42%) and lying down (37.00%), which showed significant correlations ($p<0.05$) with thermal comfort indices, reflecting a physiological adaptation. In conclusion, despite the adverse environmental conditions, the animals exhibited remarkable productive resilience and behavioral plasticity, effectively mitigating hyperthermia through conductive heat loss via contact with the pen floor.

Keywords: Amazon; Thermoregulation; Animal welfare.

1. INTRODUÇÃO

A região amazônica é caracterizada por um clima equatorial úmido, intrinsecamente marcado por elevadas temperaturas, baixa amplitude térmica e uma umidade relativa do ar persistentemente alta ao longo de todo o ano. Nesse cenário, a suinocultura tem se consolidado como uma atividade de importância estratégica, impulsionada pela necessidade de garantir a segurança alimentar regional, atender à crescente demanda por proteína animal e reduzir a dependência logística e econômica de produtos oriundos de outras regiões do país.

Contudo, a expansão e a viabilidade dessa cadeia produtiva esbarram em complexos desafios fisiológicos. A termodinâmica aplicada à produção de monogástricos neste bioma opera sob restrições ambientais severas. A elevação simultânea da temperatura do ar e da

umidade relativa reduz o gradiente de pressão de vapor, anulando quase que integralmente a eficiência da dissipação de calor latente por evaporação (Silva et al., 2021).

Sob a ótica do balanço energético, o acúmulo de energia no sistema biológico impõe a ativação de mecanismos autônomos compensatórios, que desviam a fração de energia metabolizável da rota anabólica para a manutenção da homeostase térmica, gerando déficits quantificáveis na eficiência produtiva e no ganho de massa (Renaudeau et al., 2022). Apesar da consolidação metodológica de parâmetros analisados em conjunto, ou de forma isolada, a literatura científica apresenta lacunas analíticas na integração sistêmica dessas variáveis. Não existem estudos multivariados que correlacionem, em uma única matriz, a entalpia de microclimas tropicais, como o amazônico, as oscilações térmicas de superfície, a supressão cinética temporal e as taxas exatas de conversão alimentar (Campos et al., 2020). A segmentação atual desses dados limita a compreensão do peso estatístico de cada resposta fisiológica e comportamental sobre o desempenho zootécnico final. No escopo das investigações bioclimáticas atuais, enfatiza-se que a modelagem da carga entálpica ambiental em instalações suinícolas é rotineiramente estabelecida por índices preditivos, como o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) e o Índice de Temperatura do Globo Negro e Umidade (ITGU), que fornecem a métrica exata da severidade do estresse térmico imposto aos suínos (Brown-Brandl et al., 2022). Como resposta fisiológica a esse vetor climático, a termografia infravermelha tem se consolidado como a ferramenta de maior acurácia para o mapeamento não invasivo do perfil hemodinâmico cutâneo na espécie, permitindo mensurar a magnitude da vasodilatação periférica em sítios anatômicos específicos desses animais (Kashiha et al., 2021). Simultaneamente a essas reações autonômicas, observa-se uma drástica reconfiguração da matriz comportamental do plantel, marcada pela redução voluntária da atividade cinética e da ingestão de matéria seca, consistindo em uma tentativa primária dos suínos de minimizar a termogênese (Oliveira et al., 2021).

A modelagem preditiva dessa interdependência termorregulatória é essencial para validar a eficiência termodinâmica de sistemas de mitigação ambiental aplicados à suinocultura. Ao estabelecer equações de covariância entre o ambiente limitante e as falhas metabólicas intrínsecas aos suínos, torna-se possível projetar intervenções precisas, como o resfriamento condutivo e convectivo nas baias, capazes de amortecer a curva de estresse da categoria. A extração de dados analíticos robustos a partir dessas metodologias fornece o substrato estatístico rigoroso necessário para viabilizar a tomada de decisão do produtor,

otimizando o ganho de peso e minimizando as perdas energéticas, fatores críticos para a sustentabilidade e viabilidade do rebanho de matrizes suínas (Ross et al., 2024; Ramirez et al., 2023).

Postula-se, portanto, a hipótese de que a elevação da carga entálpica ambiental no trópico úmido amazônico apresenta correlação direta com desvios fisiológicos imediatos e com a letargia comportamental dos suínos, induzindo perdas significativas na eficiência de conversão alimentar e no desempenho produtivo global.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no setor de criação de suínos da Fazenda Experimental pertencente à Universidade Federal do Amazonas (FAEXP/UFAM), localizada no Km 38 da rodovia BR-174, área rural de Manaus, Amazonas (2°39'00"S 60°03'06"W). O protocolo de pesquisa recebeu aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA/UFAM) sob o certificado nº 23105.030080/2025-11.

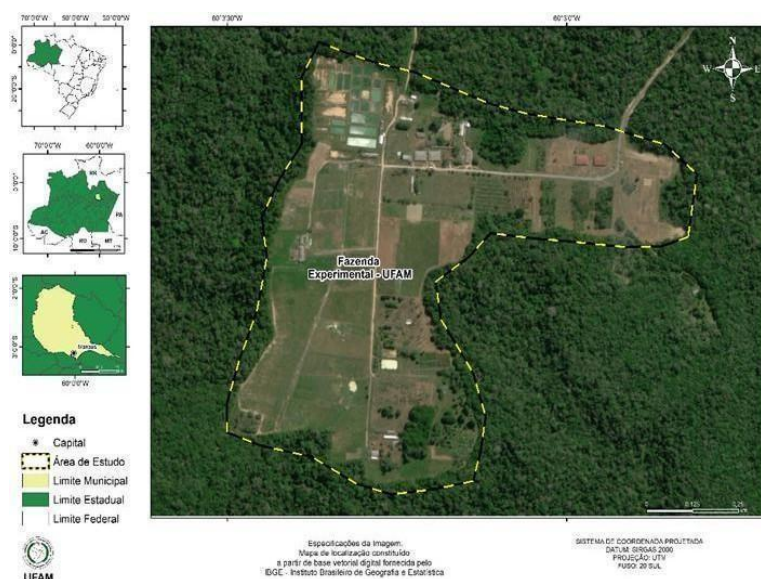


Figura 4. Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas, Setor de Suinocultura.

2.1. Local, animais, alojamento e delineamento experimental

Foram utilizados 13 suínos híbridos (Landrace x Large White), sendo 3 machos ($174 \pm 11,31$ kg PC) e 10 fêmeas ($177,16 \pm 11,31$ kg PC) foram pesados (fita de pesagem), identificados e alojados em galpão de alvenaria por um período experimental de 365 dias.

A temperatura e a ventilação da instalação foram gerenciadas de forma eficaz por meio de paisagismo estratégico em ambos os lados do armazém. No início do experimento,

os animais foram pesados e marcados com microchips subcutâneos para identificação. Os suínos foram alojados em um galpão de alvenaria baias individuais de alvenaria (6,3 m²). As dietas foram formuladas para satisfazer as necessidades nutricionais, com base nas diretrizes descritas por Rostagno et al. (2017). Todas as baias foram equipadas com comedouros e bebedouros, com acesso *ad libitum*.

2.2. Caracterização bioclimática

A caracterização bioclimática foi realizada durante um ano (Novembro/2024 a Dezembro/2025), em diferentes períodos sazonais: Chuvoso (Dezembro a Maio), seco (Julho a Setembro) e transição (Outubro e Novembro) momentos diferenciados na climatologia da região amazônica (Andrade e Oliveira, 2024). Os dados microclimáticos foram medidos usando estação meteorológica profissional (Modelo ITWH1080, InsMat, São Paulo, Brasil) e medidor de estresse térmico (Modelo IBUTG AK887, Akso, Brasil).

Com base nos dados coletados foram calculados os ITU (1) e ITGU (1) utilizando as equações propostas por Thom (1958) e Buffington et al. (1981).

$$ITU = 0,8.Tbs + UR(Tbs-14,3)/100 + 46,3 \quad (1)$$

Em que Tbs = temperatura de bulbo seco; UR = umidade relativa.

$$ITGU = 0,72 (tg + tbu) + 40,6 \quad (2)$$

Em que Tbs= temperatura de bulbo seco; Tbu= temperatura de bulbo úmido; UR = umidade relativa do ar e tg =temperatura de globo negro. Após a obtenção dos Índices de Conforto Térmico, estes foram comparados com as condições de conforto térmico ideal para suínos, conforme Sales et al. (2006).

Adicionalmente, a cada 30 dias os animais e as instalações foram avaliados utilizando câmera termográfica (FLIR), termômetro retal (Vet thermometer, Shang nong technology, China) e fita de pesagem (Agrovet Market, Peru), sendo as variáveis: peso corporal (kg), temperatura retal (°C), temperaturas superficiais dos animais (°C; cabeça, dorso e pata), temperatura do piso da baia (°C) e temperatura interna de telhado da baia (°C).

2.3. Perfil etológico

Durante o mês de janeiro de 2026 (período chuvoso), por três dias consecutivos, o comportamento dos suínos foi monitorado por 12 horas diárias (06h às 18h), com amostragem instantânea e observações realizadas a intervalos de 10 minutos. Todos os dados

comportamentais foram registrados de forma sistemática em uma planilha, seguindo um etograma adaptado de Guy et al. (2013) e Massari (2014). Para fins de análise e quantificação, as atividades observadas foram classificadas em três estados comportamentais principais: 1) Comportamentos inativos (ócio): compreendem as posturas de descanso e redução metabólica, que são fundamentais para a conservação de energia, destacando-se os atos de dormir e permanecer deitado (seja em decúbito lateral ou ventral para maximizar a troca térmica por condução com o piso); 2) Comportamentos posturais ou de transição: representados predominantemente pelo estado "em pé parado", que pode indicar um nível basal de alerta ou uma postura adotada para favorecer a dissipação convectiva de calor; e 3) Comportamentos ativos: envolvem maior dispêndio energético e interação direta com o ambiente ou coespecíficos, englobando atividades como locomoção, ingestão (água e ração) e o comportamento exploratório de fuçar.

2.4. Análise estatística

Antes de avaliar o resultado da análise de covariância (ANCOVA) ou variância (ANOVA), foi verificada a análise dos resíduos padronizados de Student, a fim de diagnosticar observações influentes ou *outliers*, o critério utilizado foi baseado na curva de distribuição normal, em que os valores maiores ou iguais a 3 desvios-padrão foram considerados como *outliers*. Os dados foram testados quanto à normalidade dos erros experimentais e a homogeneidade de variâncias dos erros entre os tratamentos utilizando os testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente.

Com base nos resultados, se os dados atendessem à suposição, o modelo estatístico aplicado para os períodos sazonais (Chuvoso, seco e transição) foi expresso como:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} + \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (3)$$

Em que H = estatística do teste de Kruskal-Wallis; N = número total de observações em todos os grupos; k = número de grupos comparados (neste estudo, k = 3 estações); n_i = número de observações no i-ésimo grupo; R_i = soma dos postos (*ranks*) atribuídos às observações do i-ésimo grupo.

Adicionalmente, para avaliar a magnitude e a direção da associação entre as variáveis ambientais (Desafio térmico) e as variáveis de resposta do animal, aplicou-se o coeficiente de correlação expresso pelo modelo:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (4)$$

Em que ρ = coeficiente de correlação de postos de Spearman; d_i = diferença entre as posições (postos) das observações emparelhadas das variáveis analisadas; n = número total de observações emparelhadas.

As análises estatísticas e a geração de gráficos foram realizadas utilizando a linguagem de programação Python (versão 3.x), por meio das bibliotecas computacionais *pandas* para manipulação dos dados, *scipy.stats* para as inferências estatísticas, e *seaborn* e *matplotlib* para a visualização gráfica (Lopes et al., 2019).

3. RESULTADOS

3.1. Dinâmica bioclimática

Em relação ao desempenho zootécnico, o peso corporal médio dos espécimes nos períodos seco e de transição se manteve em comparação ao chuvoso (156,67 kg e 163,00 kg vs. 163,67 kg; $p = 0,4914$; Tabela 3).

Da mesma forma, a TR não apresentou variação significativa entre os períodos sazonais, mantendo-se estável entre 37,74 °C, 36,60 °C e 37,82 °C ($p = 0,3009$; Tabela 4).

Ao avaliar o período experimental em relação às variáveis ambientais, a temperatura do ar (TA) não apresentou diferença estatística significativa ($p = 0,4455$) entre os períodos, registrando médias de 30,81 °C (chuvoso), 31,98 °C (seco) e 30,52 °C (transição).

Em contrapartida, houve diferença significativa para a umidade relativa do ar (UR; $p = 0,0418$), que apresentou sua menor média no período seco (64,64%), comparado aos períodos chuvoso (70,58%) e de transição (69,58%). Da mesma forma, a temperatura de globo (TGLO) apresentou variação significativa ($p = 0,0497$), atingindo o seu ápice no período seco (31,47 °C) em relação aos períodos chuvoso (29,08 °C) e de transição (30,72 °C), conforme detalhado na Tabela 3.

Não houve diferença significativa entre os períodos sazonais analisados para ITU ITGU. Entretanto, no período de seco e de transição, os índices ambientais mantiveram-se elevados em relação ao período chuvoso, com valores de ITU 82,25 e 82,67 respectivamente frente a 81,17; ($p = 0,5334$; Tabela 3) e de ITGU com valores de 75,32 e 75,91 frente a 78,18; ($p = 0,8071$; Tabela 3).

Tabela 3. Desempenho zootécnico e variáveis ambientais de suínos alojados em sistema SISCON na região amazônica.

Variáveis ¹	Período sazonal ²						p-Value ⁴
	CHU	EPM ³	SEC	EPM ³	TRA	EPM ³	
PC, kg	163,67	7,840	156,67	2,520	163,00	8,890	0,4914
TR, °C	37,82	1,480	37,74	0,890	36,60	1,570	0,3009

TA, °C	30,81	0,55	31,98	0,35	30,52	2,04	0,4455
UR, %	70,58	1,35	64,64	0,19	69,58	2,26	0,0418
TGLO, °C	29,08	1,81	31,47	0,700	30,72	1,190	0,0497
ITU	81,17	2,740	82,25	1,850	82,67	1,270	0,5334
ITGU	78,18	5,333	75,32	4,944	75,91	5,100	0,8071

*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si de acordo com o teste de Kruskal-Wallis ($P < 0,05$).

¹PC, Peso corporal; TR, Temperatura retal; TA, Temperatura ambiental; UR, Umidade relativa do ar; TGLO, Temperatura de globo negro; ITU, Índice de temperatura e umidade; ITGU, Índice de temperatura e umidade de globo negro. ²Chu, Chuvoso (dezembro a maio); Sec, Seco (julho a outubro); TRA, Transição (novembro).

³EPM, Erro padrão da média. ⁴*P-Value*, Nível de significância.

A correlação entre ITU e PC ($r = 0,270$; $p = 0,3472$; Figura 1) e ITU e TR ($r = 0,040$; $p = 0,8991$; Figura 5) não foram significativas, indicando uma dissociação entre o ambiente térmico externo e as métricas de desempenho zootécnico.

A dinâmica das temperaturas corporais (TC, TD e TPa) não apresentou diferença significativa entre os períodos sazonais analisados ($p > 0,05$). Quanto às instalações, as médias da TT mantiveram-se superiores a 36 °C ($p = 0,3722$), indicando uma contínua e elevada carga térmica radiante ao longo do ano, conforme detalhado na Tabela 4.

Observou-se uma correlação positiva entre a TT e a TD ($r = 0,48$; $p < 0,05$; Figura 6). Em contrapartida, a TP manteve as menores temperaturas registradas (28,37 °C vs 29,62 °C vs 30,00; $p = 0,2404$; Tabela 4), permanecendo consistentemente abaixo das temperaturas térmicas corporais em todos os períodos sazonais.

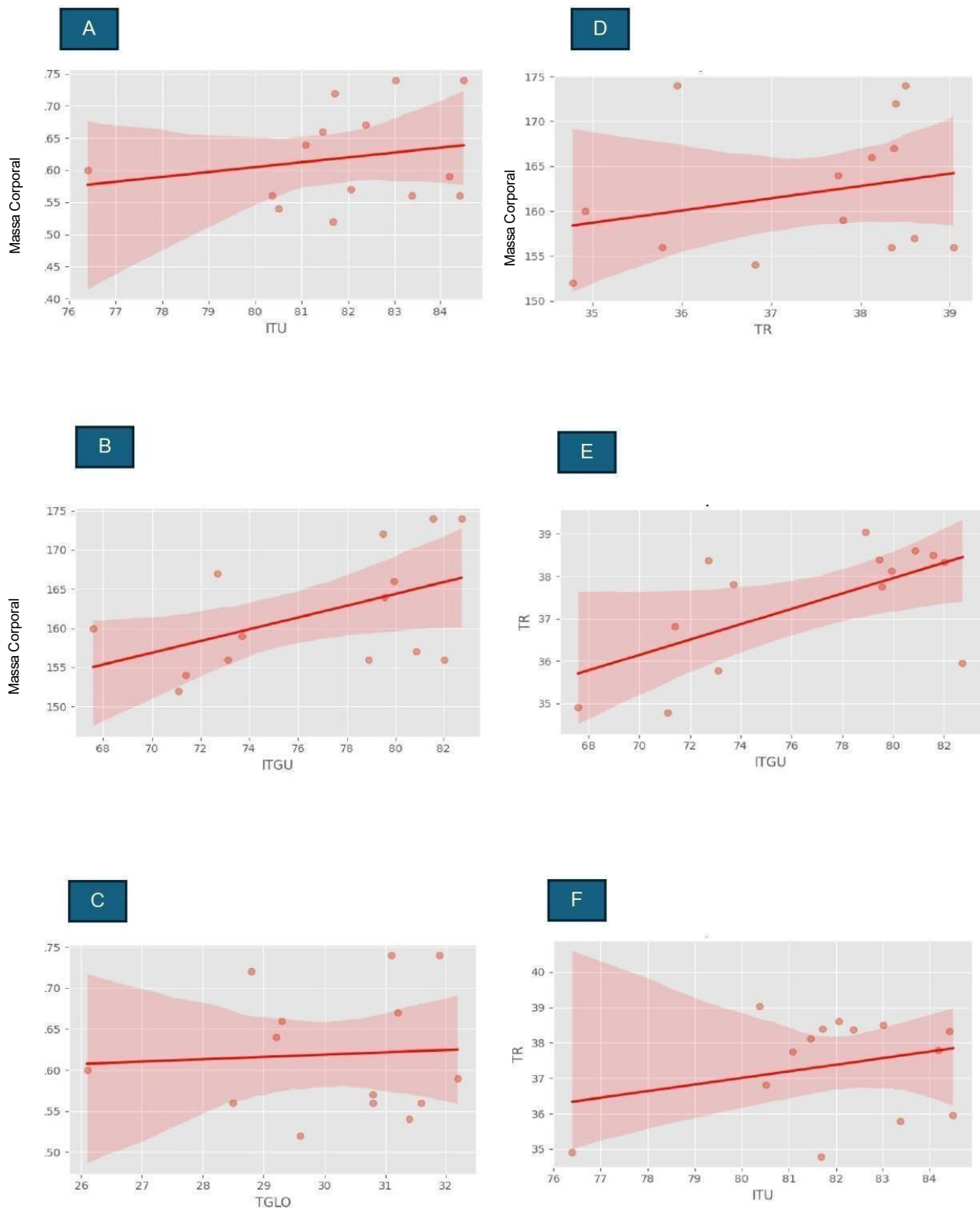


Figura 5. Correlação entre as variáveis ambientais e desempenho de suínos alojados em sistema SISCON na região amazônica. (A) Correlação entre ITU (°C) e Peso (Kg); (B) Correlação, ITGU vs Peso; (C) Correlação, TGLO vs Peso; (D) Correlação, TR vs Peso; (E) Correlação, ITU vs TR; (F) Correlação, ITGU vs TR.

Tabela 4. Temperaturas por imagens termográficas infravermelhas em sistema SISCON na região amazônica.

Variáveis ¹	Período sazonal ²						p-Value ⁴
	CHU	EPM ³	SEC	EPM ³	TRA	EPM ³	
TC, °C	34,13	1,566	34,33	1,670	34,85	0,640	0,8871
TD, °C	34,03	1,555	34,80	2,170	31,25	5,870	0,8042
TPa, °C	34,00	2,555	34,33	1,840	33,65	3,460	0,9379
TP, °C	28,37	1,310	29,62	1,410	30,00	0,990	0,2404
TT, °C	38,90	4,960	36,62	1,620	43,35	8,130	0,3722

*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si de acordo com o teste de Kruskal-Wallis ($P < 0,05$).

¹TC, temperatura da cabeça; TD, Temperatura do dorso; TPa, Temperatura da pata; TP, Temperatura do piso; TT, Temperatura do teto. ²Chu, Chuvoso (dezembro a maio); Sec, Seco (julho a outubro); TRA, Transição (novembro). ³EPM, Erro padrão da média. ⁴P-Value, Nível de significância.

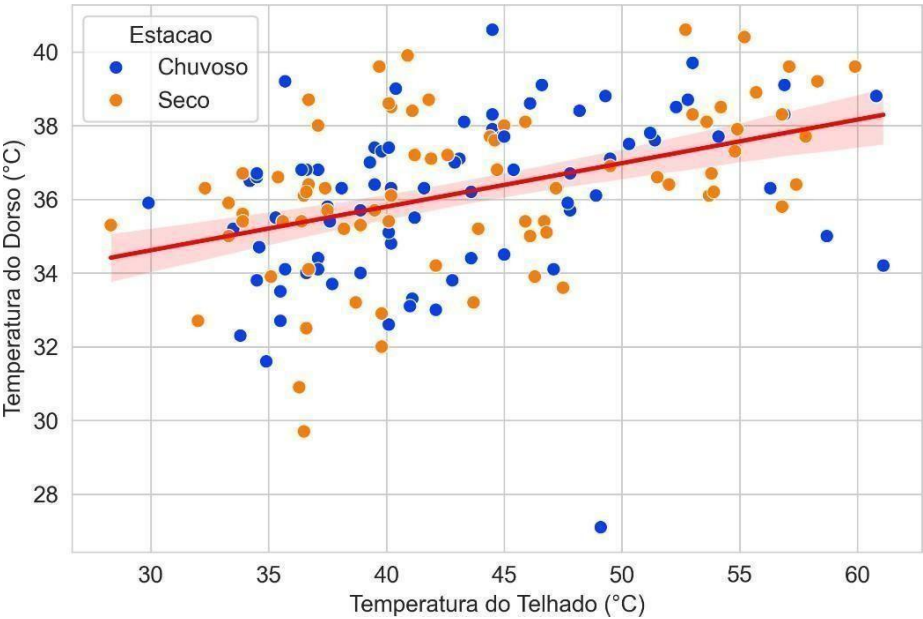


Figura 6. Correlação entre temperatura do telhado e do dorso.

A Figura 6 ilustra uma correlação linear positiva clara entre a temperatura instantânea da face interna do telhado (TT) e a temperatura superficial do dorso (TD) dos suínos, aferidas simultaneamente ao longo do período experimental. Cabe ressaltar que a análise foi conduzida com os dados originais, sem a remoção de outliers, visando preservar a variação real e os picos de estresse térmico momentâneos observados a campo. O gráfico evidencia o processo de transferência de calor por radiação de onda longa no interior da instalação. À medida que a cobertura do galpão absorve a radiação solar direta e se aquece — atingindo valores extremos pontuais próximos a 60 °C —, ela passa a atuar

como o principal vetor radiante do sistema. Essa carga térmica é transferida diretamente para a superfície corporal do animal, elevando a TD.

Além disso, a dispersão dos dados no gráfico revela que esse padrão de aquecimento radiante ocorre de forma consistente em ambos os períodos sazonais avaliados (chuvoso e seco), com os pontos se distribuindo de maneira homogênea ao longo da mesma linha de tendência. Essa observação visual corrobora os achados da Tabela 4, na qual não se observou diferença estatística significativa ($P > 0,05$) para a TD entre as estações. Isso demonstra que a ineficiência estrutural no isolamento térmico da cobertura representa um desafio bioclimático crônico na região, mantendo a incidência do estresse térmico radiante constante durante todo o ano.

3.2. Monitoramento comportamental

Durante o monitoramento comportamental, os índices, ITU (77,35) e ITGU (68,42) indicaram condição de estresse térmico. A análise etológica revelou a prevalência de comportamentos inativos (ócio), destacando-se os comportamentos dormindo (29,42 min; 42,42%; Tabela 5) com uma correlação negativa significativa com ITU ($p < 0,05$; $r = -0,390$; Tabela 5). Além disso, o comportamento deitado (25,72 min; 37,00%; Tabela 5) apresenta uma correlação positiva significativa com ITU ($p < 0,05$; $r = 0,230$; Tabela 5). Adicionalmente, o comportamento em pé parado (2,00 min; 1,17%), sofreu variações significativas ao longo do dia, apresentando uma correlação positiva com ITU ($p < 0,05$; $r = 0,450$; Tabela 5) e negativa com ITGU ($p < 0,05$; $r = -0,280$; Tabela 5).

Entre os comportamentos ativos, o comportamento exploratório de fuçar ($r = -0,360$; $p < 0,05$) foi significativo apresentando correlação negativa com o horário do dia, indicação de diminuição na frequência comportamental ao longo do dia.

Tabela 5. Etograma de suínos alojados em sistema SISCON na região amazônica.

Comportamento	Descrição	Horas			ITU ¹	ITGU ²
		Frequência(%)	EPM ³	r ⁴	r ⁴	r ⁴
Inativo	Deitado	37,00	18,95	- 0,160	0,230*	0,210
	Sentado	1,79	4,71	0,280*	0,190	0,070
	Em pé	1,17	3,57	0,320*	0,450*	- 0,280*
Ativo	Dormindo	42,42	27,93	0,000	- 0,390*	0,070
	Comendo	7,15	18,55	0,210	0,350*	- 0,070
	Bebendo	0,95	4,79	0,070	- 0,020	- 0,210
	Andando	3,20	5,65	0,080	0,080	- 0,030
	Fuçando	2,64	5,76	- 0,360*	- 0,140	- 0,220
	Excretando	0,11	0,90	- 0,150	- 0,100	- 0,090
	Interagindo	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000
	Coçando	0,21	1,80	- 0,090	- 0,060	0,000
Agonístico	Sugando	1,55	3,57	- 0,010	0,150	0,140
	Mordendo	1,49	3,80	0,030	0,200	- 0,170
	Brigando	0,32	1,54	0,140	0,220	0,110

*Significativo de acordo com o teste de Correlação de Spearman ($P < 0,05$).

¹ITU, Índice de temperatura e umidade.

²ITGU: Índice de temperatura do globo negro e umidade

³EPM, Erro padrão da média.

⁴r, Coeficiente de correlação de Spearman.

4. DISCUSSÃO

A caracterização bioclimática observada neste estudo revelou que a bacia amazônica impõe um estado de perigo térmico ininterrupto, operando como um fator limitante à produção suína. As médias de temperatura ambiente (TA) e umidade relativa do ar (UR) geraram índices de ITU situados entre 81,17 e 82,67, patamares que excedem o limiar de conforto de 74 estabelecido por Thom (1959) e validado por Sampaio et al. (2004) para suínos em terminação no Brasil. Conforme discutido por Silva et al. (2022), a combinação de alta temperatura e umidade elevada anula o gradiente de pressão de vapor, impedindo a termólise latente.

A gravidade deste cenário é amplificada pela ausência de um período de recuperação térmica noturna na região, o que, segundo Johnston et al. (2013) e Ramirez et al. (2022), impede a dissipação do calor corporal acumulado e resulta em uma fadiga termorregulatória permanente. Esse bloqueio fisiológico é agravado pela baixa velocidade do vento característica da bacia amazônica, conforme pontuado por Gómez-Prado et al. (2022), o que impede a quebra da camada de ar saturado ao redor do animal, consolidando o que Ramirez et al. (2022) definem como uma inércia térmica geográfica.

Essa conjuntura de alta entalpia transforma o ambiente em uma zona de acúmulo radiante, evidenciada pela TGLO no período seco. Estes dados corroboram as críticas de Ramirez et al. (2018, 2022) sobre a insuficiência de índices que ignoram a carga radiante infravermelha em baixas latitudes. O elevado ITGU sinaliza que a infra-estrutura não atua como barreira, divergindo de modelos descritos por Cook et al. (2020). Segundo os princípios de Fialho et al. (2004), valores dessa magnitude indicam que o suíno está em um regime de ganho térmico radiante líquido, forçando o organismo a uma aclimação por exaustão que, como reforçado por Xue et al. (1994), neutraliza variações sazonais de manejo.

Entretanto, essa estabilidade térmica exige um elevado custo fisiológico, comprometendo diretamente o anabolismo e o desenvolvimento muscular. Os achados deste trabalho, corroborados pela Tabela 3, evidenciaram que os animais não apresentaram evolução ponderal significativa ($p = 0,49$) ao longo dos períodos chuvoso (163,67 kg), seco (156,67 kg) e de transição (163 kg), mesmo sob severos Índices de Temperatura e Umidade ($ITU > 81$). Essa estagnação do Peso Corporal (PC) consolida a tese da estabilização metabólica restrita à manutenção vital. Enquanto Zhang et al. (2012) e Lekule e Kyvsgaard (2003) apontam quedas lineares no desempenho conforme

o avanço da temperatura, os dados deste estudo sugerem que os suínos atingiram um platô adaptativo focado puramente na sobrevivência.

Esse fenômeno é explicado pela regulação metabólica descrita por Noblet et al. (1999). Ao contrário do que ocorre em ambientes termoneutros, a isquemia visceral induzida pelo desvio do fluxo sanguíneo para a periferia compromete a integridade da mucosa gastrointestinal e a absorção de nutrientes, impedindo a expressão do potencial genético das linhagens modernas (Gómez-Prado et al., 2022). Na prática, o animal sacrifica o crescimento para preservar a homeostase.

Para compreender a eficiência dessa termorregulação, a aplicação da termografia infravermelha foi crucial para mapear os gradientes de temperatura nas diferentes partes do corpo do animal. Medir essas distintas zonas térmicas é fundamental, pois evidencia a capacidade do suíno de dissipar o calor interno alterando o fluxo sanguíneo periférico. Ao identificar a TT como o principal vetor radiante, e observar a correlação positiva entre TT e TD, os resultados corroboram os princípios de transferência de calor descritos por Axaopoulos et al. (2017) e Hanneman et al. (2004). O suíno absorve radiação de onda longa, elevando a TD, conforme analisado por Tanaka e Xin (1997) e Wiegert et al. (2022).

Do ponto de vista fisiológico e termodinâmico, a absorção contínua dessa elevada carga radiante agrava severamente o balanço térmico do suíno. Como o dorso atinge temperaturas superficiais frequentemente entre 36 °C e 38 °C sob a influência do teto, o gradiente térmico entre a pele do animal e o ar circundante é drasticamente reduzido. Com a via de dissipação sensível bloqueada ou invertida (o animal passa a receber calor do ambiente em vez de perdê-lo), o suíno é forçado a redirecionar seu fluxo sanguíneo periférico e acionar mecanismos comportamentais de salvaguarda, justificando a letargia e o estado de inércia etológica observados ao longo do experimento.

Como alternativa, a estabilidade da TP permitiu a condução física como via de escape térmico para o piso. Contudo, a eficácia desta via cessa quando o gradiente térmico pele-piso é inferior a 5 °C. No período sazonal de transição, a taxa de transferência tornou-se insuficiente, levando à saturação do sumidouro térmico — um processo que Put et al. (2025) e Field et al. (2022) associam a um marcador de estresse crônico, exigindo tecnologias de monitoramento contínuo do fluxo térmico (Yook et al., 2026; Deng et al., 2025).

A análise do orçamento temporal revelou como a constante elevação dos índices de conforto térmico (como o ITU) impactou diretamente todas as variáveis comportamentais estudadas. O rearranjo etológico de salvaguarda biológica manifestou-se na inatividade, que aumentou significativamente conforme o ambiente se tornava mais crítico. Esse comportamento visa frear a termogênese muscular voluntária, como sustentado por Boyle et al. (2022) e O'Malley et al. (2022). O paradoxo observado — uma correlação negativa entre a elevação do ITU e o tempo de sono profundo — indica que o estresse térmico mantém o animal em um quadro de vigília exaustiva (Collarini et al., 2023).

Por fim, a supressão total de interações sociais frente aos picos de calor prova que a necessidade térmica se sobrepõe às liberdades etológicas básicas (O'Malley et al., 2022). Mesmo o ato de comer foi negativamente correlacionado com o avanço do estresse térmico, revelando um bloqueio motor radiante mapeado por algoritmos de otimização comportamental (Alghamdi et al., 2022). Em última análise, a letargia observada e a automação de captioning comportamental (Jiang et al., 2025) confirmam que o animal abdica de sua identidade biológica típica para garantir a sobrevivência frente a uma geografia amazônica inexorável.

5. CONCLUSÃO

A avaliação integrada confirmou que o estresse térmico no trópico úmido amazônico atua como um fator limitante determinante no manejo e produção animal de suínos. As correlações estabelecidas evidenciam que a elevação dos índices térmicos está diretamente associada ao estado de inércia etológica e à estagnação do desempenho produtivo. Esses achados ratificam que o desafio bioclimático regional impõe um redirecionamento fisiológico focado na manutenção vital, em que a estabilidade da temperatura retal e do peso corporal caracteriza um platô de sobrevivência, e não conforto térmico. Consequentemente, a forte interação negativa entre a intensa ambiência equatorial e as respostas fisiológico-comportamentais dos suínos consolida o ambiente como o principal modulador da eficiência zootécnica na região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amazonas e a CAPES pelo incentivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALGHAMDI, Saleh. et al. Improved pig behavior analysis by optimizing window sizes for individual behaviors on acceleration and angular velocity data. *Journal of Animal Science*, [S. l.], v. 100, n. 11, p. skac293, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skac293>. Acesso em: 26 abr. 2026.

ANDRADE, J. S; OLIVEIRA, B. L. Caracterização dos Anos-Padrão Pluvial em Manaus-AM. *Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade*, [S. l.], v. 6, n. 02, p. 334–348, 2024. DOI: <https://doi.org/10.46551/rvg2675239520242334348>. Acesso em: 12 abr. 2026.

AXAOPOULOS, P.; PANAGAKIS, P.; AXAOPOULOS, I. Optimization of exterior wall and roof insulation thickness of a growing-finishing piggery building. *Transactions of the ASABE*, [S. l.], v. 60, n. 02, p. 489-495, 2017. DOI: 10.13031/trans.12009. Acesso em: 26 abr. 2026.

BARRETT, Perry.; BOLBOREA, Matei. Molecular pathways involved in seasonal body weight and reproductive responses governed by melatonin. *Journal of Pineal Research*, [S. l.], v. 52, n. 04, p. 376-388, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-079X.2011.00963.x>. Acesso em: 26 abr. 2026.

BOYLE, Laura A. et al. The evidence for a causal link between disease and damaging behavior in pigs. *Frontiers in Veterinary Science*, [S. l.], v. 08, p. 771682, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.771682>. Acesso em: 26 abr. 2026.

BROWN-BRANDL, Tami M.; EIGENBERG, Roger A.; NIENABER, John A.; HAHN, G. Leroy. Bioclimatic indices and thermal stress in monogastric production. *Journal of Animal Science*, v. 100, n. 4, p. skac072, 2022. <https://doi.org/10.1093/jas/skac072>. Acesso em: 02 fev. 2026.

CAMPOS, Alessandro T.; CASTRO, João P.; SCHIASSI, Leonardo; YANAGI JUNIOR, Tadayuki. Multivariate models for swine ambiance in equatorial climates. *Agricultural Systems*, v. 185, p. 102941, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102941>. Acesso em: 05 fev. 2026.

CHAUHAN, Surinder S.; CODSWORTH, Richard; BAUMGARD, Lance H.; RHOADS, Robert P.; REWITZ, Kyle. Biomarkers of heat stress in swine: physiological and molecular responses. *Journal of Animal Science*, v. 99, n. 3, p. skab063, 2021. <https://doi.org/10.1093/jas/skab063>. Acesso em: 08 fev. 2026.

COLLARINI, Edoardo. et al. Respostas das porcas a leitões em sofrimento: uma investigação experimental em ambiente natural. *Animals*, [S. l.], v. 13, n. 14, p. 2261, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13142261>. Acesso em: 26 abr. 2026.

COOK, Nigel.; CHABOT, Brady.; LIU, Tong. et al. Radiated temperature from thermal imaging is related to feed consumption, growth rate and feed efficiency in grower pigs. *Journal of Thermal Biology*, [S. l.], v. 89, p. 102747, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102747>. Acesso em: 26 abr. 2026.

DENG, Yujun. et al. A soft thermal sensor for the continuous assessment of flow in vascular access. *Nature Communications*, [S. l.], v. 16, n. 01, p. 38, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-54944-x>. Acesso em: 26 abr. 2026.

FIALHO, Flávio B.; BUCKLIN, R. A.; ZAZUETA, F. S.; MYER, R. O. Modelo teórico do balanço térmico em suínos. *Animal Science*, [S. l.], v. 79, n. 01, p. 121-134, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1017/S135772980005459X>. Acesso em: 26 abr. 2026.

FIELD, Tyler C. et al. Desenvolvimento de um dispositivo de monitoramento de temperatura interna em tempo real para porcas. 2022 ASABE Annual International Meeting, [S. l.], p. 1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.202201362>. Acesso em: 26 abr. 2026.

GABLER, Nicholas K.; MANI, Venkatesh; PEARCE, Sarah C.; RHOADS, Robert P.; BAUMGARD, Lance H. Swine nutrition and health under heat stress. *Animal Frontiers*, v. 8, n. 3, p. 12-18, 2018. <https://doi.org/10.1093/af/vfy012>. Acesso em: 12 fev. 2026.

GÓMEZ-PRADO, J. et al. Thermoregulation mechanisms and perspectives for validating thermal windows in pigs with hypothermia and hyperthermia: An overview. *Frontiers in Veterinary Science*, [S. l.], v. 09, p. 1023294, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1023294>. Acesso em: 26 abr. 2026.

GOURDINE, Jean-Luc.; RENAUDEAU, David.; ANAÏS, Chantal.; QUINIOU, Nathalie.; SILVA, Ian J. O. Productive resilience of swine in humid tropical biomes. *Livestock Science*, v. 245, p. 104414, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104414>. Acesso em: 15 fev. 2026.

HANNEMAN, S. K.; JESURUM-URBAITIS, J. T.; BICKEL, D. R. Comparison of methods of temperature measurement in swine. *Laboratory Animals*, [S. l.], v. 38, n. 03, p. 297-306, 2004. DOI: 10.1258/0023677041240833. Acesso em: 26 abr. 2026.

HE, Dongjian.; LI, Ze.; ZHANG, Jialin.; CHEN, Changhai.; LI, Jinfeng. Precision livestock farming tools for swine thermal comfort monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 165, p. 104958, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104958>. Acesso em: 20 fev. 2026.

JIANG, Honghua.; ZENG, Yongqing.; QIAO, Yongliang. Deep Learning-Based Pig Behavior Captioning for Smart Livestock Farming. 2025 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), [S. l.], p. 1855-1860, 2025. Acesso em: 26 abr. 2026.

JOHNSTON, L. J.; BRUMM, M. C.; MOELLER, S. J. et al. Effects of reduced nocturnal temperature on pig performance and energy consumption in swine nursery rooms. *Journal of Animal Science*, [S. l.], v. 91, n. 07, p. 3429-3435, 2013. DOI: 10.2527/jas.2012-5824. Acesso em: 26 abr. 2026.

KASHIHA, Mohammad.; ENYIDI, Uzodinma.; BAERT, Joris.; BAHR, Claudia.; BERCKMANS, Daniel. Infrared thermography for non-invasive health monitoring in pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 180, p. 105888, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105888>. Acesso em: 23 fev. 2026.

KING, G. J.; WILLOUGHBY, R. A.; HACKER, R. R. Fluctuations in rectal temperature of swine at parturition. *Canadian Veterinary Journal*, [S. l.], v. 13, n. 03, p. 72-74, 1972. PMID: 5016929. Acesso em: 26 abr. 2026.

KRUGER, Karine.; MARTELLO, Luciane Silva.; SAVASTANO JUNIOR, Holmer. Sustainable barn design for swine production in equatorial regions. *Agricultural Engineering*, v. 43, n. 1, p. e20220123, 2023. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v43n1e20220123/2023>. Acesso em: 26 fev. 2026.

LABUSSIÈRE, Etienne.; MILGEN, Jaap Van.; RENAUDEAU, David.; NOBLET, Jean. Energy metabolism and heat production in heat-stressed pigs. *Journal of Animal Science*, v. 93, n. 12, p. 5720-5730, 2015. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9475>. Acesso em: 28 fev. 2026.

LEKULE, Faustin P.; KYVSGAARD, Niels C. Improving pig husbandry in tropical resource-poor communities and its potential to reduce risk of porcine cysticercosis. *Acta Tropica*, [S. l.], v. 87, n. 01, p. 111-117, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0001-706X\(03\)00026-3](https://doi.org/10.1016/S0001-706X(03)00026-3). Acesso em: 26 abr. 2026.

LOPES, GESIEL RIOS ET AL. Introdução à análise exploratória de dados com python. **MINICURSOS ERCAS ENUCMPI**, V. 2019, P. 160-176, 2019.

MARTELLO, Luciane Silva.; SAVASTANO JUNIOR, Holmer.; SILVA, Ian J. O.; TITTO, Cristiane G. P. Thermal comfort and facility engineering for pigs in tropical regions. *Journal of Thermal Biology*, v. 98, p. 102910, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2021.102910>. Acesso em: 02 mar. 2026.

MAYORGA, Johana.; SCHWEER, J. S.; JOHNSON, S. S.; BAUMGARD, Lance H.; GABLER, Nicholas K. Heat stress and its effect on pig performance and physiology. *Animal Frontiers*, v. 9, n. 1, p. 15-21, 2019. <https://doi.org/10.1093/af/vfy035>. Acesso em: 04 mar. 2026.

MORRISON, R. S.; BAUMGARD, Lance H.; GABLER, Nicholas K.; ROSS, Jason W. Thermal comfort indices and the impact of radiant heat on swine welfare. *Journal of Animal Science*, v. 98, n. 8, p. skaa245, 2020. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa245>. Acesso em: 06 mar. 2026.

NOBLET, Jean.; KAREGE, C.; DUBOIS, S.; MILGEN, Jaap Van. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *Journal of Animal Science*, [S. l.], v. 77, n. 05, p. 1208-1216, 1999. DOI: <https://doi.org/10.2527/1999.7751208x>. Acesso em: 26 abr. 2026.

OLIVEIRA, Rodrigo Fortunato de.; SOARES, Rita da Trindade Ribeiro Nobre.; MOREIRA, Rennan Herculano Rufino.; ANDRADE, Rayanne Prates de.; ROSENFELD, Derek Andrew. Behavioral reconfiguration and thermogenesis in finishing pigs. *Livestock Science*, v. 248, p. 104505, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104505>. Acesso em: 08 mar. 2026.

O'MALLEY, Carly I. et al. The Social Life of Pigs: Changes in affiliative and agonistic behaviors following mixing. *Animals*, [S. l.], v. 12, n. 02, p. 206, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12020206>. Acesso em: 26 abr. 2026.

OSORIO SARAZ, Jairo Alexander. et al. Assessment of spatial variability of environmental conditions in different swine production typologies in tropical conditions. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, [S. l.], v. 09, n. 03, p. 1-8, 2021. DOI: 10.31893/jabb.21021. Acesso em: 26 abr. 2026.

PEARCE, Sarah C.; MANI, Venkatesh.; WEBER, Thomas E.; RHOADS, Robert P.; PATIENCE, John F.; BAUMGARD, Lance H.; GABLER, Nicholas K. Intestinal integrity and the biological response to heat stress in pigs. *Annual Review of Animal Biosciences*, v. 8, p. 301-320, 2020. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083626>. Acesso em: 10 mar. 2026.

PUT, Oi In.; MASELYNE, Jarissa.; LECOMPTE, Steven. Comparing Thermal Comfort Models: Insights from Human and Swine Environments for Improving IEQ and Energy

Efficiency. REHVA HVAC World Congress, [S. l.], p. 593-604, 2025. Acesso em: 26 abr. 2026.

RAMIREZ, Brett C.; HOFF, Steven J.; HAYES, Michael D.; BROWN-BRANDL, Tami M.; HARMON, Jay D.; ROHRER, Gary A. Engineering interventions for heat stress mitigation in swine barns. *Transactions of the ASABE*, v. 66, n. 2, p. 415-426, 2023.

<https://doi.org/10.13031/trans.15124>. Acesso em: 12 mar. 2026.

RENAUDEAU, David.; LABUSSIÈRE, Etienne.; QUINIOU, Nathalie.; MILGEN, Jaap Van.; NOBLET, Jean. Energy balance and metabolic heat production in heat-stressed pigs. *Annual Review of Animal Biosciences*, v. 10, p. 305-325, 2022.

<https://doi.org/10.1146/annurev-animal-020420-112313>. Acesso em: 14 mar. 2026.

ROSS, Jason W.; MAYORGA, Johana.; RHOADS, Robert P.; BAUMGARD, Lance H. Nutritional strategies for heat-stressed sows. *Theriogenology*, v. 215, p. 88-95, 2024.

<https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2023.11.012>. Acesso em: 18 mar. 2026.

SAMPAIO, C. A. P.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA, J. L.; CECON, P. R.; GOMES, P. C. Limites de conforto térmico para suínos baseados em índices bioclimáticos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S. l.], v. 08, n. 02, p. 292-297, 2004. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000200020>. Acesso em: 26 abr. 2026.

SARUBBI, Juliana.; ROSSI, Luiz Antonio.; MOURA, Daniella Jorge.; OLIVEIRA, Rafael Augustus de. Nocturnal thermal comfort in facilities for growing swines. *Engenharia Agrícola*, [S. l.], v. 32, n. 06, p. 1034-1040, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000600004>. Acesso em: 26 abr. 2026.

SILVA, Edlaine Aparecida Siqueira da. et al. Thermal Comfort in Swine: Basic Concepts for Better Production. *International Journal for Innovation Education and Research*, [S. l.], v. 10, n. 11, p. 162, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31686/ijer.vol10.iss11.4005>. Acesso em: 26 abr. 2026.

SILVA, Ian J. O.; VIEIRA, Frederico M. C.; MIRANDA, Kelly O. S. Thermodynamics of monogastric production in humid tropical biomes. *International Journal of Biometeorology*, v. 65, n. 8, p. 1151-1162, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02094-2>. Acesso em: 20 mar. 2026.

TANAKA, Akihiro.; XIN, Hongwei. Thermal characteristics of a hoop structure for swine production. *Transactions of the ASAE*, [S. l.], v. 40, n. 04, p. 1171-1177, 1997. DOI: 10.13031/2013.21339. Acesso em: 26 abr. 2026.

THOM, Earl Crabill. The discomfort index. *Weatherwise*, [S. l.], v. 12, n. 02, p. 57-61, 1959. DOI: 10.1080/00431672.1959.9926795. Acesso em: 26 abr. 2026.

VIER, Carine M.; DEROUCHÉY, Joel M.; TOKACH, Mike D.; GOODBAND, Robert D.; WOODWORTH, Jason C. Nutritional strategies to mitigate heat stress in finishing pigs. *Translational Animal Science*, v. 4, n. 4, p. txaa177, 2020.

<https://doi.org/10.1093/tas/txaa177>. Acesso em: 22 mar. 2026.

WIEGERT, Jeffery.; KNAUER, Mark.; SHAH, Sanjay B. Impactos do resfriamento por painéis evaporativos no ambiente do galpão e no desempenho de suínos em fase de terminação. *Applied Engineering in Agriculture*, [S. l.], v. 38, n. 02, p. 351-359, 2022. DOI: 10.13031/aea.14819. Acesso em: 26 abr. 2026.

XUE, Jin-Liang. et al. Multiple manifestations of season on reproductive performance of commercial swine. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, [S. l.], v. 204,

n. 09, p. 1486-1489, 1994. DOI: 10.2460/javma.1994.204.09.1486. Acesso em: 26 abr. 2026.

YOOK, Younghan. et al. Ultra-flexible near-infrared vertical cavity surface emitting laser for skin-compatible photoplethysmography monitoring. npj Flexible Electronics, [S. l.], 2026. Acesso em: 26 abr. 2026.

ZHANG, C. et al. Effects of environmental hypothermia on hemodynamics and oxygen dynamics in a conscious swine model of hemorrhagic shock. World Journal of Emergency Medicine, [S. l.], v. 03, n. 02, p. 128-134, 2012. DOI: 10.5847/wjem.j.issn.1920-8642.2012.02.009. Acesso em: 26 abr. 2026.