UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL

CAPSAICINA, ÓLEOS ESSENCIAIS E METABÓLITOS DE LEVEDURA NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE POR CALOR

Lorena Duarte Campos
Zootecnista

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS JABOTICABAL

CAPSAICINA, ÓLEOS ESSENCIAIS E METABÓLITOS DE LEVEDURA NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE POR CALOR

Discente: **Lorena Duarte Campos**
Orientador: **Prof. Dr. Luciano Hauschild**
Coorientadores: **Dr. Danilo Alves Marçal**
Dra. Alícia Zem Fraga

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciência Animal.

2025

C198c

Campos, Lorena Duarte
Capsaicina, óleos essenciais e metabólitos de levedura na alimentação de suínos em condições de estresse por calor / Lorena Duarte Campos. -- Jaboticabal, 2025
67 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Luciano Hauschild
Coorientador: Danilo Alves Marçal

1. Estresse térmico. 2. Nutrição animal. 3. Suinos. 4. Fisiologia. 5. Metabolismo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

O projeto contempla uma das consequências do aquecimento global, que é o estresse por calor. Altas temperaturas ambientais impactam negativamente o desempenho, a produção e o bem-estar dos animais, o que reflete em prejuízos econômicos para os produtores e também pode afetar o produto final (qualidade e preço) para os consumidores. Investigar e desenvolver ferramentas que atenuem os efeitos deletérios do estresse por calor é de grande importância para a sustentabilidade e produtividade do setor suinícola. Este projeto estudou a inclusão de um aditivo composto por ingredientes naturais (capsaicina, óleos essenciais e metabólitos de levedura), que, embora no meio científico seus efeitos individuais já corroborem para melhoria do desempenho, saúde intestinal e bem-estar dos animais, até o momento não foi encontrado na literatura a utilização combinada desses ingredientes na dieta de suínos. Dessa forma, preencher essa lacuna de conhecimento permite auxiliar tomadas de decisão no meio científico e de produção e desenvolver tecnologias nutricionais que irão tornar a produção mais eficiente. Ademais, esse projeto colabora com responsabilidades sociais e ambientais, haja vista que a utilização de um blend natural que busca reduzir os impactos negativos do estresse por calor se preocupa com o bem-estar animal, com um produto final acessível e de boa qualidade para os consumidores e com o desenvolvimento sustentável dos sistemas de produção.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The project addresses one of the consequences of global warming, heat stress. High ambient temperatures have a negative impact on performance, production and animal welfare, resulting in economic losses for producers and may also affect the final product (quality and price) for consumers. Research and development of tools to mitigate the adverse effects of heat stress is of great importance for the sustainability and productivity of the pig sector. This project investigated the incorporation of an additive composed of natural ingredients (capsaicin, essential oils and yeast metabolites), which, although their individual effects have been shown in scientific literature to improve performance, gut health and animal welfare, the combined use of these ingredients in pig diets has not been reported in the literature yet. Filling this knowledge gap will support scientific and production decisions and develop nutritional technologies that will make pig production more efficient. In addition, this project contributes to social and environmental responsibility, as the use of a natural compound to reduce the negative effects of heat stress addresses animal welfare, an affordable end product of good quality for consumers and the sustainable development of production systems.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CAPSAICINA, ÓLEOS ESSENCIAIS E METABÓLITOS DE LEVEDURA NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE POR CALOR

AUTORA: LORENA DUARTE CAMPOS
ORIENTADOR: LUCIANO HAUSCHILD
COORIENTADOR: DANILO ALVES MARÇAL
COORIENTADORA: ALÍCIA ZEM FRAGA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciência Animal, área: Nutrição Animal pela Comissão Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
LUCIANO HAUSCHILD
Data: 12/03/2025 09:16:48-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. LUCIANO HAUSCHILD (Participaçao Virtual)
Departamento de Zootecnia / FCAV UNESP Jaboticabal

gov.br Documento assinado digitalmente
PAULO HENRIQUE REIS FURTADO CAMPOS
Data: 07/03/2025 15:11:30-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Pesquisador. Dr. PAULO HENRIQUE REIS FURTADO CAMPOS (Participaçao Virtual)
Cargill Agrícola S/A / Campinas/SP

gov.br Documento assinado digitalmente
LUAN SOUSA DOS SANTOS
Data: 03/03/2025 13:23:38-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. LUAN SOUSA DOS SANTOS (Participaçao Virtual)
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) / Campo Grande/MS

Jaboticabal, 21 de fevereiro de 2025

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

LORENA DUARTE CAMPOS – nascida em Presidente Figueiredo – AM, no dia 15 de dezembro de 1997. Ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa UFV no ano de 2017, graduando-se em dezembro de 2022. Durante a graduação, realizou estágios na área de fisiologia e bem-estar de ruminantes e participou de projetos de pesquisa sob orientação da Profa. Dra. Luciana Navajas Rennó. Foi membro do Grupo de Discussão em Suinocultura (GDSUI) e monitora na disciplina de graduação Bioclimatologia Animal. Foi bolsista de iniciação científica (CNPq) na área de produção e nutrição de suínos de março de 2019 até julho de 2021 sob orientação do Prof. Dr. Paulo Henrique Reis Furtado Campos. Em janeiro de 2023 iniciou o Mestrado no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP – Campus de Jaboticabal, como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) sob orientação do Prof. Dr. Luciano Hauschild.

“Se puderes olhar, vê. Se podes ver, repara. ”

José Saramago

Aos meus pais, que me apoiam e comemoram todas minhas conquistas,

Eu dedico.

AGRADECIMENTOS

São muitas pessoas que compõem uma pesquisa. Desde aquelas que escrevem os documentos analisados, aquelas que fornecem recursos necessários para execução e às que lutam por sua conservação ao longo do tempo como contribuição científica. Há os pesquisadores com quem dialogamos, citamos e estudamos minuciosamente e também aqueles que sequer são mencionados, mas que, em algum momento, contribuíram com a investigação e os caminhos percorridos. Creio, contudo, que as principais pessoas que produzem uma investigação acadêmica são aquelas que nos apoiam e estimulam.

Nos últimos dois anos, tive a alegria de ser amparada, acolhida e inspirada por muitas pessoas que me cederam não só as próprias mãos, como também a voz, a paciência, a amizade e o tempo.

Sempre, aos meus pais, Maria do Carmo e José Anselmo, que proporcionaram um terreno fértil, seguro e feliz para existir.

Às minhas avós, Eunísia e Anita, que são mulheres fortes e inteligentes que percorreram caminhos corajosos, e sempre, da maneira delas, me incentivaram a nunca parar de estudar e fazer o que me faz feliz.

Agradeço também às minhas inabaláveis amizades, especialmente, Bia Pessoa, Mayara Vieira, Letícia Fulgêncio, Lizandra Rodrigues, Anaís Cardoso, Larissa Horst, Isabelle Pinheiro, Alisson Alho, Laura Soares, Ricardo Leite e Camila Caneschi. Obrigada pela alegria compartilhada, pelos momentos de conforto, me presenteando com carinho e pausas necessárias. Com vocês, o amor foi sempre ação e intenção.

Sou grata ao meu orientador, Luciano Hauschild, que sempre abriu as portas, me guiou e me deu oportunidades que para sempre serei grata. Minha trajetória, ainda que em andamento, não teria sido possível sem sua dedicação em criar um espaço seguro onde eu pudesse experimentar, escolher, errar e acertar. Mais do que uma inspiração intelectual e profissional, sou grata por conviver próximo e admirá-lo como pessoa também.

Ao meu coorientador, Danilo Alves Marçal, que me guiou, orientou e incentivou desde o início do mestrado, e que tenho enorme admiração como pesquisador e pessoa. Muito obrigada pelo companheirismo e apoio!

Ao Paulo Henrique Reis Furtado Campos, que mais do que orientador na graduação é também família. Muito obrigada por me apresentar os suínos e abrir as portas para minha trajetória acadêmica e profissional, e por ser um pesquisador e pessoa que admiro tanto! Sou grata pelo acolhimento e por todo conhecimento e tempo compartilhado.

Aos amigos e colegas que fiz no LabSui, que aprendi tanto! Especialmente Alícia, Grazi, Pedro, Danilo, Ismael - muito obrigada pelos conselhos e incentivo, Cleslei, Manu, Jaira, Carol, Ygor – muito obrigada pela amizade e companheirismo e toda ajuda ao longo desse período. Admiro vocês! Alini, Marllon, Amanda, Giulia, Sara, Anderson, Camilo, Larissa, Elisa, e colegas do LabSui, muito obrigada por toda ajuda e dias compartilhados.

Ao José Segecique, pela sua amizade e que sempre, com disposição, gentileza e alegria, me ajudou durante todo o período experimental.

A todos os funcionários e colaboradores da UNESP/FCAV, em especial Renatha e PPG em Ciência Animal.

À CAPES, pela bolsa concedida e demais instituições que possibilitaram o desenvolvimento do presente projeto e que cumprem papel fundamental para ciência no país, e à GRASP, pelo recurso e parceria concedida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

À Lara, minha psicóloga, por me incentivar a ter uma experiência corpo a corpo com a vida, buscar minha autenticidade e paz nas minhas ações e decisões.

Aos meus animais, todo meu respeito e amor.

SUMÁRIO

RESUMO iv
ABSTRACT vi
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS 1
1.1 Introdução 1
1.2 Revisão de Literatura 2
1.2.1 Caracterização do estresse por calor em suínos 2
1.2.2 Impacto do estresse por calor no desempenho e fisiologia de suínos em fase de crescimento e terminação 3
1.2.3 Efeitos do estresse por calor na composição corporal 6
1.2.4 Efeitos do estresse por calor na integridade intestinal e sistema imune 7
1.2.5 Efeito da capsaicina, óleos essenciais e metabólitos de levedura em condições de estresse por calor 9
1.2.6 Hipótese 12
1.2.7 Objetivos 12
1.3 Referências 12
CAPÍTULO 2 – Capsaicin, essential oils and yeast metabolites as feed additive in heat stressed pigs 18
Abstract 19
Introduction 20
Material and Methods 22
Animals, housing, and experimental design 22
Data collection 24
Rectal temperature 24
Growth performance and body composition 24
Blood Sampling 25
Statistical Analysis 25
Results 26
Rectal Temperature 26
Growth Performance and Body Composition 26
Blood Parameters 27
Discussion 27
Establishment of HS condition 28

Consequences of HS and blend inclusion on performance and body composition 29
Plasma and serum metabolites acute phase proteins 31
Immune system and acute phase proteins 33
Conclusions 34
Conflict of interest 35
Acknowledgements 35
References.....35
Table 1.....44
Table 2.....45
Table 3.....46
Figure 1 48
Figure 2 49

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal

CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"Efeito de aditivo na dieta de suínos em engorda sobre sua tolerância ao estresse térmico"**, protocolo nº 4449/22, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Alex Sandro Campos Maia, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 06 de julho de 2022.

Vigência do Projeto	01/08/2022 a 30/01/2023
Espécie / Linhagem	Suínos (Sus domesticus)
Nº de animais	30
Peso / Idade	20kg / 60 dias
Sexo	Macho
Origem	Laboratório de Bioclimatologia FCAV/UNESP

Jaboticabal, 06 de julho de 2022.

Fabiana Pilarski

Profª Drª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 - Jaboticabal - SP - Brasil
Tel. 16 3209-7100 - www.fcav.unesp.br

CAPSAICINA, ÓLEOS ESSENCIAIS E METABÓLITOS DE LEVEDURA NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE POR CALOR

RESUMO – Mudanças climáticas globais estão ocorrendo e serão um dos principais desafios da produção animal nas próximas décadas. Associado à crescente demanda por produtos de origem animal e à expansão dos sistemas de produção de suínos, localizados sobretudo em regiões de clima quente, os animais serão, cada vez mais, expostos a condições de estresse por calor (HS), o que compromete o bem-estar, saúde e desempenho dos mesmos. Nesse contexto, a utilização de aditivos alimentares é uma ferramenta importante com o objetivo de atenuar os efeitos negativos do estresse térmico em suínos. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do aditivo composto de capsaicina, metabólitos de levedura da cana de açúcar e óleos essenciais (carvacrol, eugenol e cinamaldeído) no desempenho, composição corporal, fisiologia e metabolismo de suínos em crescimento e terminação submetidos ao estresse por calor. Foram utilizadas 24 fêmeas, com peso vivo médio de 50 ± 3.98 kg. Os animais foram distribuídos em blocos de acordo com peso inicial e distribuídos ao acaso em dois tratamentos: CON – dieta sem inclusão do aditivo e BLEND – dieta com a inclusão do aditivo (nível de inclusão: 2,5 g/kg). Os animais foram alojados em uma baia coletiva dotada de um sistema automatizado de alimentação (*Automated Intelligent Precision Feeder - AIPF*) e bebedouros tipo chupeta. O período experimental teve duração de 56 dias divido em duas fases: fase 1 (0–28 dias) e fase 2 (29–56 dias), em que a temperatura ambiental foi mantida constante a 35ºC. Durante o período experimental, a temperatura retal (RT) foi medida diariamente do dia 0 ao 14 e após esse período foi medida uma vez por semana. Os animais foram pesados individualmente nos dias 0, 28 e 56 e os dados de consumo de ração foram obtidos pelo AIPF. A composição corporal foi medida por meio do equipamento de absorciometria por duplo feixe de raio X (DXA) nos dias 0, 28 e 56 e amostras de sangue foram coletadas nos mesmos dias para mensurar marcadores de resposta inflamatória e bioquímicos. Os animais expostos ao HS apresentaram um aumento na RT a partir do dia 1 ($p < 0,01$), seguido de uma redução gradual ao longo do tempo. A partir do dia 10, não houve diferença entre os dias mensurados ($p > 0,05$). Na fase 1, os animais do grupo CON apresentaram uma tendência de maior ganho de

peso médio diário (ADG) do que os animais que receberam a dieta BLEND (0,70 vs. 0,65; p = 0,097), enquanto o consumo de ração médio diário (ADFI), eficiência alimentar (G:F) e a deposição de proteína e gordura não foram afetadas pelos tratamentos. Na fase 2, não foram observadas diferenças no desempenho, composição corporal e deposição de tecido entre os tratamentos (p > 0,05). Durante o período geral, os suínos que receberam a dieta BLEND apresentaram tendência de menor deposição de lipídios em comparação ao grupo CON (121,3 vs. 148,3 g/d; p = 0,094), contudo não houve efeito dos tratamentos no ADG, ADFI, G:F e deposição de proteína (p > 0,05). Não houve interação entre dieta e dia de medição para os parâmetros sanguíneos como também e não houve efeito do aditivo (p > 0,05) exceto para os níveis de LDH e creatinina. Em comparação com os suínos do grupo CON, o grupo BLEND apresentou maior concentração de creatinina, e houve uma tendência de maior concentração de LDH (p = 0,032 e p = 0,075, respectivamente). No entanto, a condição de HS resultou em alterações em todos os biomarcadores inflamatórios (proteínas de fase aguda) e metabólitos bioquímicos séricos e plasmáticos (p < 0,001). Em resumo, HS causou alterações fisiológicas e metabólicas, bem como resultou em ativação do sistema imunológico. A inclusão do aditivo não melhorou o desempenho dos animais e resultou em uma tendência de menor deposição de gordura em suínos expostos ao HS.

Palavras-chave: estratégias nutricionais, estresse térmico, metabolismo, suinocultura.

ABSTRACT – Global climate change is occurring and will be one of the main challenges facing animal production in the coming decades. Associated with the growing demand for animal products and the expansion of pig production systems, located mainly in warm climate regions, animals will be increasingly exposed to heat stress (HS) conditions, which compromises their welfare, health and performance. In this context, the use of feed additives is an important tool for mitigating the negative effects of HS. The aim of this study was to evaluate the effect of an additive composed of capsaicin, sugar cane yeast metabolites and essential oils (carvacrol, eugenol and cinnamaldehyde) on the performance, body composition, physiology and metabolism of growing and finishing pigs submitted to heat stress. Were used 24 gilts, with an average body weight of 50 ± 3.98 kg. The animals were divided into blocks according to initial weight and randomly assigned to two treatments: CON - diet without the inclusion of the additive and BLEND - diet with the inclusion of the additive (inclusion level: 2.5 g/kg). The animals were housed in a collective stall equipped with an automated feeding system (Automated Intelligent Precision Feeder - AIPF) and nipple drinkers. The experimental period lasted 56 days divided into two phases: phase 1 (0-28 days) and phase 2 (29-56 days), in which the ambient temperature was kept constant at 35ºC. During the experimental period, rectal temperature (RT) was measured daily from day 0 to 14 and once a week thereafter. The animals were weighed individually on days 0, 28 and 56 and consumption data was obtained from the AIPF. Body composition was measured using dual X-ray absorptiometry (DXA) equipment on days 0, 28 and 56 and blood samples were taken on the same days to measure inflammatory response markers and for biochemical. The animals exposed to HS had an increase in RT from day 1 ($p < 0.01$), followed by a gradual reduction in RT over time. From day 10 onwards, there was no difference according to the day of measurement ($p > 0.05$). In phase 1, animals in the CON diet tended to have a higher average daily weight gain (ADG) than animals receiving the BLEND diet (0.70 vs. 0.65; $p = 0.097$), while average daily feed intake (ADFI), gain:feed ratio (G:F) and protein and fat deposition were not affected by the experimental treatments. In phase 2, there were no significant differences in performance, body composition and tissue deposition between the CON and BLEND diets ($p > 0.05$). During the overall period, the pigs in the BLEND diet tended to have lower lipid deposition compared to the CON group

(121.3 vs. 148.3 g/d; p = 0.094) and no effect was observed on ADG, ADFI, G:F and protein deposition between the experimental treatments (p > 0.05). There was no interaction between diet and measurement day for blood parameters and no additive effect was observed (p > 0.05), except for LDH and creatinine levels. Compared to pigs in the group CON, the BLEND group presented higher creatinine concentration, and LDH concentration tended to be higher (*p* = 0.032 and *p* = 0.075, respectively). However, the HS condition resulted in changes in all inflammatory biomarkers (acute phase proteins) and serum and plasma biochemical metabolites (p < 0.001). In summary, HS caused physiological and metabolic changes, as well as activation of the immune system. The blend inclusion did not improve the animal performance and resulted in a tendency of lower fat deposition in pigs exposed to thermal challenge.

Key-words: nutritional strategies, heat stress, metabolism, pig production.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 Introdução

O aquecimento global está provocando condições de estresse por calor (HS) que estão se tornando mais frequentes e intensas em muitas regiões tropicais e subtropicais do mundo (Kjellstrom *et al.,* 2018). De acordo com análises divulgadas pela *World Meteorological Organizantion* (WNO), 2024 foi o ano mais quente registrado, 1,55ºC acima do período pré-industrial, seguido dos anos 2020 e 2016 (WNO, 2025). Em adição, as previsões indicam aumento na temperatura global de 1,5 a 2,0°C até 2050 e 1,4 a 5,7°C até 2100, conjuntamente com maior amplitude e frequência de ondas de calor durante o verão (IPCC, 2023).

Associando isto à crescente demanda por produtos de origem animal e à expansão dos sistemas de produção de suínos, localizados sobretudo em regiões de clima quente, o HS será um dos principais desafios da produção animal nas próximas décadas. Ao serem cada vez mais expostos a condições de estresse térmico, os animais terão seu metabolismo, saúde e bem-estar comprometidos, resultando em menor desempenho e prejuízos econômicos para o setor suinícola (Poullet et al., 2022).

A produção de suínos será afetada devido à alta sensibilidade dos animais a altas temperaturas ambientais como consequência da capacidade limitada que o suíno possui em dissipar calor. Suínos são mais susceptíveis ao HS devido a sua alta produção de calor metabólico, rápida deposição de gordura e glândulas sudoríparas afuncionais (Ross *et al.,* 2015). Além disso, o intenso trabalho desenvolvido no melhoramento genético de suínos, contribuiu significantemente para melhoria dos índices de produtividade por meio de intensa seleção para características de crescimento (ganho de peso, deposição de proteína, eficiência alimentar) e reprodutivas (tamanho de leitegada, número de tetos, longevidade). No entanto, suínos modernos possuem maior termogênese associada aos processos de mantença e produção, dessa forma, tendem a ser mais susceptíveis ao HS (Gaughan *et al*., 2009).

Identificar soluções que contribuam para a manutenção da resposta animal mesmo em condições de altas temperaturas ambientais são de grande importância

para a produção de suínos. Uma das ferramentas eficazes e sustentáveis para mitigar os efeitos negativos do HS são as estratégias nutricionais (Cottrell et al., 2015). Dentre essas, destaca-se a inclusão de aditivos na dieta de suínos, como por exemplo, a capsaicina, óleos essenciais e metabólitos de leveduras, que podem melhorar a função imune, digestiva e absortiva e, consequentemente, o desempenho dos animais. Dessa forma, a utilização desse composto pode minimizar os impactos negativos do estresse por calor nos sistemas de produção, sobretudo, em regiões de clima quente.

Conclusions

Although the blend did not ameliorate any of the other performance, metabolic and physiological responses of growing and finishing pigs. Given the potential benefits of the natural compounds evaluated, further studies on their individual and combined mechanisms of action are needed to better understand how this inclusion of the feed additive can help pigs cope

with HS and reduce the negative effects of thermal challenge. In conclusion, regardless of the experimental diets, HS caused physiological and metabolic changes as well as the activation of the immune system. The blend inclusion during 56 days did not improve the animal performance and resulted in a tendency of lower fat deposition in pigs exposed to thermal challenge.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest.

Acknowledgements

This study was financed by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brazil (CAPES) – Finance Code 001 and GRASP Ind. e Com. Ltda – Curitiba, Brazil. The scholarship was funded by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brazil (CAPES) – Finance Code 001.

References

Abuajamieh, M., Kvidera, S. K., Mayorga, E. J., Kaiser, A., Lei, S., Seibert, J. T., & Baumgard, L. H. (2018). The effect of recovery from heat stress on circulating bioenergetics and 394 inflammatory biomarkers. Journal of Animal Science, 96(11), 4599-4610.

Adejumo, D. O., & Egbunike, G. N. (1988). Effect of thermal stress and water deprivation on the acetylcholinesterase activity of the pig brain and hypophyses. *International journal of biometeorology*, *32*, 108-111.

Baumgard, L. H., & Rhoads Jr, R. P. (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. Annu. Rev. Anim. Biosci., 1(1), 311-337.

Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2007). Metabolism: basic concepts and design. *Biochemistry (6th ed.), New York: Freeman WH and Co*, 428-429.

Biggs, M. E., Kroscher, K. A., Zhao, L. D., Zhang, Z., Wall, E. H., Bravo, D. M., & Rhoads, R. P. (2020). Dietary supplementation of artificial sweetener and capsicum oleoresin as a strategy to mitigate the negative consequences of heat stress on pig performance. Journal of animal science, 98(5), skaa131.

Brosnan, J. T., Da Silva, R. P., & Brosnan, M. E. (2011). The metabolic burden of creatine synthesis. Amino acids, 40, 1325-1331.

Campos, P. H. R. F., Noblet, J., Jaguelin-Peyraud, Y., Gilbert, H., Mormède, P., de Oliveira Donzele, R. F. M., & Renaudeau, D. (2014). Thermoregulatory responses during thermal acclimation in pigs divergently selected for residual feed intake. International Journal of Biometeorology, 58, 1545-1557.

Cervantes, M., Ibarra, N., Vásquez, N., Reyes, F., Avelar, E., Espinoza, S., & Morales, A. (2017). Serum concentrations of free amino acids in growing pigs exposed to diurnal heat stress fluctuations. *Journal of thermal biology*, *69*, 69-75.

Cottrell, J. J., Furness, J. B., Wijesiriwardana, U. A., Ringuet, M., Liu, F., DiGiacomo, K., & Dunshea, F. R. (2020). The effect of heat stress on respiratory alkalosis and insulin sensitivity in cinnamon supplemented pigs. Animals, 10(4), 690.

Cui, Y., Wang, C., Hao, Y., Gu, X., & Wang, H. (2019). Chronic heat stress induces acute phase responses and serum metabolome changes in finishing pigs. Animals, 9(07), 395.

da Fonseca de Oliveira, A. C., Vanelli, K., Sotomaior, C. S., Weber, S. H., & Costa, L. B. (2019). Impacts on performance of growing-finishing pigs under heat stress conditions: a meta-analysis. Veterinary research communications, 43, 37-43.

Dávila-Ramírez, J. L., Carvajal-Nolazco, M. R., López-Millanes, M. J., González-Ríos, H., Celaya-Michel, H., Sosa-Castañeda, J., & Barrera-Silva, M. A. (2020). Effect of yeast culture (Saccharomyces cerevisiae) supplementation on growth performance, blood metabolites,

carcass traits, quality, and sensorial traits of meat from pigs under heat stress. Animal Feed Science and Technology, 267, 114573.

de Oliveira, M. J. K., Melo B. D. A., Alves Marçal, D., Alves da Cunha Valini, G., Alisson Silva, C., Mari Veira, A., & Hauschild, L. (2023). Effects of lowering dietary protein content without or with increased protein-bound and feed-grade amino acids supply on growth performance, body composition, metabolism, and acute-phase protein of finishing pigs under daily cyclic heat stress. Journal of Animal Science, 101, skac387.

de Oliveira, M. J. K., Polycarpo, G. V., Andretta, I., Melo, A. D. B., Marçal, D. A., Létourneau-Montminy, M. P., & Hauschild, L. (2024). Effect of constant and cyclic heat stress on growth performance, water intake, and physiological responses in pigs: A meta-analysis. Animal Feed Science and Technology, 309, 115904.

dos Santos, L. S., Campos, P. H. R. F., da Silva, W. C., Veira, A. M., Fraga, A. Z., Caetano, R. P., & Hauschild, L. (2021). Corrigendum to: Performance and carcass composition of pigs from two sire lines are affected differently by ambient temperature. Animal Production Science, 61(6), 620-620.

Fernandez, M. S., Pearce, S. C., Gabler, N. K., Patience, J. F., Wilson, M. E., Socha, M. T., & Baumgard, L. H. (2014). Effects of supplemental zinc amino acid complex on gut integrity in 443 heat-stressed growing pigs. Animal, 8(1), 43-50.

Gabler, N. K., Koltes, D., Schaumberger, S., Murugesan, G. R., & Reisinger, N. (2018). Diurnal heat stress reduces pig intestinal integrity and increases endotoxin translocation. Translational Animal Science, 2(1), 1-10.

Hall, G. M., Lucke, J. N., Lovell, R., & Lister, D. (1980). Porcine malignant hyperthermia. VII: Hepatic metabolism. *British Journal of Anaesthesia*, *52*(1), 11-17.

Hanczakowska, E., Świątkiewicz, M., & Grela, E. R. (2015). Effect of dietary inclusion of a herbal extract mixture and different oils on pig performance and meat quality. Meat Science, 108, 61-66.

Houstis, N., Rosen, E. D., & Lander, E. S. (2006). Reactive oxygen species have a causal role in multiple forms of insulin resistance. Nature, 440(7086), 944-948.

Isotalo, T., Rotenbiller, L., & Candolin, U. (2022). The importance of considering the duration of extreme temperatures when investigating responses to climate change. Global Change Biology, 28(22), 6577-6585.

James, B. W., Goodband, R. D., Unruh, J. A., Tokach, M. D., Nelssen, J. L., Dritz, S. S., & Andrews, B. S. (2002). Effect of creatine monohydrate on finishing pig growth performance, carcass characteristics and meat quality. Animal Feed Science and Technology, 96(3-4), 135-145.

Keshaviah, P. R., Nolph, K. D., Moore, H. L., Prowant, B., Emerson, P. F., Meyer, M., & Collins, A. (1994). Lean body mass estimation by creatinine kinetics. Journal of the American Society of Nephrology, 4(7), 1475-1485.

Kouba, M., Hermier, D., & Le Dividich, J. (2001). Influence of a high ambient temperature on lipid metabolism in the growing pig. Journal of Animal Science, 79(1), 81-87.

Kroscher, K. A., Fausnacht, D. W., McMillan, R. P., El-Kadi, S. W., Wall, E. H., Bravo, D. M., & Rhoads, R. P. (2022). Supplementation with artificial sweetener and capsaicin alters metabolic flexibility and performance in heat-stressed and feed-restricted pigs. Journal of Animal Science, 100(8), skac195.

Kvidera, S. K., Horst, E. A., Fernandez, M. S., Abuajamieh, M., Ganesan, S., Gorden, P. J., & Baumgard, L. H. (2017). Characterizing effects of feed restriction and glucagon-like peptide 2

administration on biomarkers of inflammation and intestinal morphology. Journal of dairy science, 100(11), 9402-9417.

Labussière, E., Achard, C., Dubois, S., Combes, S., Castex, M., & Renaudeau, D. (2022). Saccharomyces cerevisiae boulardii CNCM I-1079 supplementation in finishing male pigs helps to cope with heat stress through feeding behaviour and gut microbiota modulation. British Journal of Nutrition, 127(3), 353-368.

Lan, R. X., Li, T. S., & Kim, I. H. (2016). Effects of essential oils supplementation in different nutrient densities on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics and fecal microbial shedding in weaning pigs. Animal Feed Science and Technology, 214, 77-85.

Lan, R., & Kim, I. (2018). Effects of feeding diets containing essential oils and betaine to heat-stressed growing-finishing pigs. Archives of animal nutrition, 72(5), 368-378.

Le Bellego, L., Van Milgen, J., & Noblet, J. (2002). Effect of high ambient temperature on protein and lipid deposition and energy utilization in growing pigs. Animal Science, 75(1), 85-96. Liu, F., Celi, P., Cottrell, J. J., Chauhan, S. S., Leury, B. J., & Dunshea, F. R. (2018). Effects of a short-term supranutritional selenium supplementation on redox balance, physiology and insulin-related metabolism in heat-stressed pigs. Journal of animal physiology and animal nutrition, 102(1), 276-285.

Liu, Y., Che, T. M., Song, M., Lee, J. J., Almeida, J. A. S., Bravo, D., & Pettigrew, J. E. (2013). Dietary plant extracts improve immune responses and growth efficiency of pigs experimentally infected with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. Journal of animal science, 91(12), 5668-5679.

Liu, Y., Song, M., Che, T. M., Bravo, D., & Pettigrew, J. E. (2012). Anti-inflammatory effects of several plant extracts on porcine alveolar macrophages in vitro. Journal of Animal Science, 90(8), 2774-2783.

Machado-Neto, R., Graves, C. N., & Curtis, S. E. (1987). Immunoglobulins in piglets from sows' heat-stressed prepartum. *Journal of Animal Science*, *65*(2), 445-455.

Manzanilla, E. G., Perez, J. F., Martin, M., Kamel, C., Baucells, F., & Gasa, J. (2004). Effect of plant extracts and formic acid on the intestinal equilibrium of early-weaned pigs. Journal of animal science, 82(11), 3210-3218.

Mayorga, E. J., Kvidera, S. K., Horst, E. A., Al-Qaisi, M., McCarthy, C. S., Abeyta, M. A., & Baumgard, L. H. (2021). Effects of dietary live yeast supplementation on growth performance and biomarkers of metabolism and inflammation in heat-stressed and nutrient-restricted pigs. Translational Animal Science, 5(2), txab072.

Moraes, D. C. A., Nagi, J. G., Fritzen, J., Vitagliano, L. A., Oliveira, E. R., Oba, A., & Silva, C. A. (2022). Effect of capsaicin on the feed intake and immunoglobin concentration of sows, and performance of piglets. Tropical Animal Health and Production, 54(4), 241.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. Nutrient requirements of swine. 2012.

Pastorelli, H., Van Milgen, J., Lovatto, P., & Montagne, L. (2012). Meta-analysis of feed intake and growth responses of growing pigs after a sanitary challenge. Animal, 6(6), 952-961.

Pearce, S. C., Gabler, N. K., Ross, J. W., Escobar, J., Patience, J. F., Rhoads, R. P., & Baumgard, L. H. (2013). The effects of heat stress and plane of nutrition on metabolism in growing pigs. Journal of animal science, 91(5), 2108-2118.

Pearce, S. C., Mani, V., Boddicker, R. L., Johnson, J. S., Weber, T. E., Ross, J. W., & Gabler, N. K. (2013b). Heat stress reduces intestinal barrier integrity and favors intestinal glucose transport 516 in growing pigs. PloS one, 8(8), e70215.

Pearce, S. C., Mani, V., Boddicker, R. L., Johnson, J. S., Weber, T. E., Ross, J. W., & Gabler, N. K. (2012). Heat stress reduces barrier function and alters intestinal metabolism in growing pigs. Journal of Animal Science, 90(suppl_4), 257-259.

Pomar, C., & Rivest, J. (1996, July). The effect of body position and data analysis on the estimation of body composition of pigs by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). In Proceedings of the 46th Annual Conference of the Canadian Society of Animal Science, Lethbridge, AB, Canada (p. 26).

Pomar, J., López, V., & Pomar, C. (2011). Agent-based simulation framework for virtual prototyping of advanced livestock precision feeding systems. Computers and electronics in agriculture, 78(1), 88-97.

Quiniou, N., Dubois, S., & Noblet, J. (2000). Voluntary feed intake and feeding behaviour of group-housed growing pigs are affected by ambient temperature and body weight. Livestock Production Science, 63(3), 245-253.

Quiniou, N., Noblet, J., Van Milgen, J., Dubois, S., (2001). Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. Br. J. Nutr. 85, 97–106.

Renaudeau, D., Anais, C., Tel, L., & Gourdine, J. L. (2010). Effect of temperature on thermal acclimation in growing pigs estimated using a nonlinear function. Journal of animal science, 88(11), 3715-3724.

Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., De Basilio, V., Gourdine, J. L., & Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. Animal, 6(5), 707-728.

Riesberg, L. A., Weed, S. A., McDonald, T. L., Eckerson, J. M., & Drescher, K. M. (2016). Beyond muscles: The untapped potential of creatine. International immunopharmacology, 37, 31-42. 541

Ross, J. W., Hale, B. J., Gabler, N. K., Rhoads, R. P., Keating, A. F., & Baumgard, L. H. (2015). Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, *55*(12), 1381-1390.

Santos, L. S. D., Pomar, C., Campos, P. H. R. F., da Silva, W. C., Gobi, J. D. P., Veira, A. M., & Hauschild, L. (2018). Precision feeding strategy for growing pigs under heat stress conditions. Journal of animal science, 96(11), 4789-4801.

Sanz Fernandez, M. V., Stoakes, S. K., Abuajamieh, M., Seibert, J. T., Johnson, J. S., Horst, E. A., & Baumgard, L. H. (2015). Heat stress increases insulin sensitivity in pigs. *Physiological Reports*, *3*(8), e12478.

SAS Institute. 1999. Statistical analysis systems user's guide. Version 8. Cary: SAS Institute.

Serviento, A. M., Labussière, E., Castex, M., & Renaudeau, D. (2020). Effect of heat stress and feeding management on growth performance and physiological responses of finishing pigs. Journal of Animal Science, 98(12), skaa387.

Shurson, G. C. (2018). Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. Animal feed science and technology, 235, 60-76.

Slimen, I.B.; Najar, T.; Ghram, A.; Abdrrabba, M (2016). Heat Stress Effects on Livestock: Molecular, Cellular and Metabolic Aspects, a Review. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 100, 401–412.

Szolcsányi, J. (2015). Effect of capsaicin on thermoregulation: an update with new aspects. Temperature, 2(2), 277-296.

Vásquez, N., Cervantes, M., Bernal-Barragán, H., Rodríguez-Tovar, L. E., & Morales, A. (2022). Short-and long-term exposure to heat stress differently affect performance, blood parameters, and integrity of intestinal epithelia of growing pigs. Animals, 12(19), 2529.

Vohra, A., Syal, P., & Madan, A. (2016). Probiotic yeasts in livestock sector. Animal Feed Science and Technology, 219, 31-47.

Yan, L., Meng, Q. W., & Kim, I. H. (2011). The effect of an herb extract mixture on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics and fecal noxious gas content in growing pigs. Livestock Science, 141(2-3), 143-147.

Yaspelkis, B. B., Scroop, G. C., Wilmore, K. M., & Ivy, J. L. (1993). Carbohydrate metabolism during exercise in hot and thermoneutral environments. *International journal of sports medicine*, *14*(01), 13-19.

Yunianto, V. D., Hayashit, K., Kaiwda, S., Ohtsuka, A., & Tomita, Y. (1997). Effect of environmental temperature on muscle protein turnover and heat production in tube-fed broiler

575Zeng, Z., Xu, X., Zhang, Q., Li, P., Zhao, P., Li, Q., & Piao, X. (2015). Effects of essential oil supplementation of a low-energy diet on performance, intestinal morphology and microflora, immune properties and antioxidant activities in weaned pigs. Animal Science Journal, 86(3), 279-285.

Zsila, F. (2010). Chaperone-like activity of the acute-phase component human serum α1-acid glycoprotein: inhibition of thermal-and chemical-induced aggregation of various proteins. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, *20*(3), 1205-1209.