



LARISSA TAYNA SILVA MARTINS

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES FONTES E NÍVEIS DE
METIONINA EM DIETAS PARA SUÍNOS EM
CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO DURANTE O VERÃO**

LAVRAS – MG

2025

LARISSA TAYNA SILVA MARTINS

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES FONTES E NÍVEIS DE
METIONINA EM DIETAS PARA SUÍNOS EM
CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO DURANTE O VERÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição e Produção de Não-Ruminantes, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Alexander Nunes Silva

Coorientador: Prof. Dr. Márvio Lobão Teixeira de Abreu

LAVRAS – MG

2025

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Martins, Larissa Tayna Silva.

Avaliação de diferentes fontes e níveis de metionina em dietas para suínos em crescimento e terminação durante o verão/ Larissa Tayna Silva Martins. - 2025.
60 p. : il.

Orientador: Bruno Alexander Nunes Silva Coorientador:
Márvio Lobão Teixeira de Abreu

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.
Bibliografia.

1. Carcaça. 2. desempenho. 3. DL-metionina. 4. HMTBa. 5. Status antioxidante. I.
Alexander Nunes Silva, Bruno . II. Lobão Teixeira de Abreu, Márvio. III. Universidade
Federal de Lavras. IV. Título.

LARISSA TAYNA SILVA MARTINS

**AVALIAÇÃO DE DIFERENTES FONTES E NÍVEIS DE METIONINA EM DIETAS
PARA SUÍNOS EM CRESCIMENTO E TERMINAÇÃO DURANTE O VERÃO**

**EVALUATION OF DIFFERENT SOURCES AND LEVELS OF METHIONINE IN
DIETS FOR GROWING AND FINISHING PIGS DURING THE SUMMER**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Zootecnia, área de concentração em Nutrição e Produção de Não-Ruminantes, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 18 de novembro de 2025.

Dr. Bruno Alexander Nunes Silva - UFMG

Dr. Márvio Lobão Teixeira de Abreu - UFLA

Dra. Luciana de Paula Naves - UFLA

Dr. Wagner Azis Garcia de Araújo - IFNMG

Orientador: Prof. Dr. Bruno Alexander Nunes Silva

Coorientador: Prof. Dr. Márvio Lobão Teixeira de Abreu

LAVRAS – MG

2025

Dedico este trabalho
ao meu orientador, pelo
comprometimento com minha
formação acadêmica, confiança
e, acima de tudo, incentivo para
início desta trajetória. A minha
irmã que me apoiou e foi
meu suporte
emocional para que eu
permanecesse nessa caminhada.

Esta conquista se tornou
possível com o apoio de vocês!

Meus sinceros agradecimentos
e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por se fazer presente, permitindo que meu sonho tornasse realidade e que eu percorresse este caminho com equilíbrio, fé e perseverança.

Manifesto meu reconhecimento à Universidade Federal de Lavras - UFLA, ao Departamento de Zootecnia - DZO e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Ufla – PPGZ/UFLA, pelas condições estruturais, pedagógicas e científicas oferecidas ao longo do percurso que permitiram que eu concluísse o mestrado com êxito.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos, essencial para execução deste trabalho e continuidade acadêmica.

À minha família, expresso meu profundo reconhecimento por todo suporte emocional, incentivo e confiança depositada em mim. Aos meus pais, Wilton Gonçalves Martins e Alair Candido da Silva Martins, as minhas irmãs, Layane Silva Martins e Ana Paula Caroline e em especial, ao meu irmão, Marlon Cilfarney, que mesmo não estando mais aqui no final da caminhada, enquanto se fez presente, me apoiou nas minhas escolhas. Vocês são meu exemplo de lealdade, valores e determinação!

Aos amigos, gratidão por compartilharem essa trajetória comigo, sempre me apoiando e confiantes na conclusão de cada passo. De maneira especial, às minhas amigas Sara Kauane de Brito e Raíne Mantovani Gomes, meus sinceros agradecimentos pelo companheirismo, incentivo e lealdade, que foram fundamentais para que eu seguisse com perseverança para execução deste trabalho.

Ao meu amigo Lucas Justino, agradeço todo apoio e contribuição nesse processo.

Ao professor e orientador Prof. Dr. Bruno Alexander Nunes Silva, agradeço pela orientação responsável e confiança depositada em mim. Sem dúvidas, foi determinante para minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço ao Núcleo de Estudos em Produção de Suínos - NEPSUI, por todo aprendizado e experiências vivenciadas durante essa jornada, especialmente aos que contribuíram de forma direta e indiretamente na execução do projeto.

Por fim, deixo meu reconhecimento aos servidores terceirizados da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, que, durante a condução do experimento, demonstraram apoio, respeito e humanidade, em especial ao Sr. Elton, pelos ensinamentos e pela convivência acolhedora.

Muito Obrigada!

RESUMO

Objetivou-se com este estudo comparar os efeitos de diferentes fontes (DL-Met ou DL-HMTBa) e níveis de metionina digestível sobre o desempenho, o status metabólico e as características de carcaça de suínos na fase de crescimento e terminação durante o verão. Foram utilizados 44 suínos (machos castrados e fêmeas; genética TN70® * Duroc®), distribuídos em 4 tratamentos, em esquema fatorial 2x2, com duas fontes e dois níveis de metionina, sendo eles: HMTBa (84%) vs. DL-Metionina (DL-Met); 100 vs. 120% na relação com lisina preconizado pelo manual de alimentação da linhagem. Os animais foram distribuídos em blocos casualizados (de acordo o sexo, peso e origem de leitegada), sendo que cada tratamento consistiu em 11 repetições, onde o suíno foi considerado a unidade experimental. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o procedimento PROC MIXED no SAS. O modelo considerou efeitos fixos das fontes, níveis e a interação entre os fatores. Valor $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto valores $0,05 \geq P \leq 0,10$ foram considerados tendência. Na fase três os animais que receberam a fonte HMTBa apresentaram maiores valores para ganho médio diário (GMD) e ganho de peso total (GPT) ($p < 0,05$), comparados aos que receberam DL-Met. Já na fase 4 e no período total houve melhora para GPT, GMD e do peso final (PF) ($p < 0,05$) para os animais que receberam HMTBa. Foi observado um maior valor para o comprimento de carcaça ($p < 0,05$) para o uso da fonte HMTBa. O nível dentro da exigência (100%), resultou nos melhores valores para conversão alimentar (CA), consumo total de ração (CRT), GMD, GPT e PF ($p < 0,05$), quando comparados com o tratamento do nível 20% superior. O mesmo efeito foi observado para características de carcaça, onde melhores valores foram apresentados sobre peso de paleta (PPAle), rendimento de carne na carcaça (RendCC), quantidade de carne na carcaça (QCC), quantidade de carne magra na carcaça (QCMC), porcentagem de carne magra na carcaça (PORCCMC), peso de lombo (Plombo), peso de pernil (PPER) e menor espessura de toucinho da última costela ETUC ($p < 0,05$). Para o status redox, níveis dentro da exigência proporcionaram maiores concentrações plasmáticas para glutathiona-S-Transferase e vitamina E ($p < 0,05$). Uma interação significativa foi observada entre fontes e níveis ($p < 0,05$), onde a fonte HMTBa apresentou melhores índices de GPT e GMD, independentemente dos níveis, enquanto a DL-Metionina demonstrou piora para tais variáveis quando a suplementação excedeu as exigências. Esse efeito de interação também ocorreu da mesma forma para o peso de pernil ($p < 0,05$). Os resultados indicam que o uso da HMTBa proporciona melhores resultados do que o uso da DL-Met para o desempenho e

as características de carcaça dos suínos no verão, enquanto níveis elevados de DL-Met comprometem o desempenho. A diferença na eficiência de uso das duas fontes parece estar relacionada às suas propriedades químicas e metabólicas.

Palavras chave: Carcaça; desempenho; DL-Metionina; HMTBa; metionina; status antioxidante; verão.

ABSTRACT

The aim of this study was to compare the effects of different sources (DL-Met or DL-HMTBA) and levels of methionine on the performance, metabolic status, and carcass characteristics of growing and finishing pigs during the summer. Forty-four pigs (castrated males and females; TN70® * Duroc® genetics) were used, distributed into 4 treatments in a 2x2 factorial design, with two sources and two levels of methionine: HMTBA (84%) vs. DL-Methionine (DL-Met); 100% vs. 120% in the lysine ratio recommended by the breed's feeding manual. The animals were distributed in randomized blocks (according to sex, weight, and litter origin), with each treatment consisting of 11 replicates, where the pig was considered the experimental unit. The data were subjected to analysis of variance using the PROC MIXED procedure in SAS. The model considered fixed effects of sources, levels, and the interaction between factors. A p-value < 0.05 was considered significant, while values $0.05 \geq p \leq 0.10$ were considered a trend. In phase 3, animals that received the HMTBa source showed higher values for average daily gain (ADG) and total weight gain (TWG) ($p < 0.05$) compared to those that received DL-Met. In phase 4 and over the entire period, there was an improvement in TWG, ADG, and final weight (FW) ($p < 0.05$) for animals that received HMTBa. A higher value for carcass length ($p < 0.05$) was observed for the use of the HMTBa source. The level within the requirement (100%) resulted in the best values for feed conversion (FC), total feed intake (TFI), ADG, TWG, and FW ($p < 0.05$) when compared to the treatment at the 20% higher level. The same effect was observed for carcass characteristics, where better values were presented for shoulder weight (PPAle), carcass meat yield (RendCC), carcass meat quantity (QCC), carcass lean meat quantity (QCMC), carcass lean meat percentage (PORCCMC), loin weight (Plombo), ham weight (PPER), and lower backfat thickness of the last rib ETUC ($p < 0.05$). For redox status, levels within the requirement provided higher plasma concentrations for glutathione-S-transferase and vitamin E ($p < 0.05$). A significant interaction was observed between sources and levels ($p < 0.05$), where the HMTBa source showed better GPT and GMD indices, regardless of the levels, while DL-Methionine showed a worsening for these variables when supplementation exceeded requirements. This interaction effect also occurred for ham weight ($p < 0.05$). The results indicate that the use of HMTBa provided better results than the use of DL-Met for the performance and carcass characteristics of pigs in the summer, while high levels of DL-Met compromised performance. The difference in the efficiency of use of the two sources seems to be related to their chemical and metabolic properties.

Keywords: Carcass; performance; DL-Methionine; HMTBa; methionine; antioxidant status; summer.

INDICADORES DE IMPACTO

Objetivou-se com este trabalho avaliar diferentes fontes e níveis de metionina na alimentação de suínos em crescimento e terminação, com foco na eficiência nutricional, no desempenho zootécnico e na otimização dos sistemas produtivos. Os resultados obtidos geram impactos diretos nos âmbitos tecnológico e econômico, ao gerar conhecimento para formulação de dietas mais precisas, eficientes e tecnicamente fundamentadas, com reflexos na melhoria de utilização de nutrientes em clima tropical, com contribuição direta no ganho de peso e eficiência produtiva dos animais. O estudo apresenta impacto científico ao fornecer subsídios técnicos para melhoria na composição corporal, evidenciados pelo aumento do cumprimento de carcaça de fonte alternativa e estratégias nutricionais para redução da deposição tecidual, bem como aumento de rendimento de carne magra em níveis nutricionais ótimos. Dessa forma, pela valorização do produto final, há evidente potencial de expansão do mercado suinícola, garantindo estabilidade da produção de proteína animal, à segurança alimentar e à qualificação técnica. Ao produzir conhecimento técnico-científico, o trabalho demonstra um caráter extensionista em potencial, podendo expandir para o setor produtivo, por meio da integração universidade-sociedade. Os impactos encontram-se alinhados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, especialmente ao ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e ao ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 17 (Parcerias e meios de implementação), contribuindo para a agenda 2030.

IMPACTO IMPACT INDICATORS

This study aimed to evaluate different sources and levels of methionine in the diet of growing and finishing pigs, focusing on nutritional efficiency, zootechnical performance, and optimization of production systems. The results obtained have direct impacts on the technological and economic fields, generating knowledge for the formulation of more precise, efficient, and technically sound diets, reflecting in the improved utilization of nutrients in tropical climates, with a direct contribution to weight gain and productive efficiency of the animals. This study demonstrates scientific impact by providing technical support for improving body composition, evidenced by increased carcass length from alternative sources and nutritional strategies to reduce tissue deposition, as well as increased lean meat yield at optimal nutritional levels. Therefore, by adding value to the final product, there is clear potential for expansion of the swine market, ensuring stability in animal protein production, food safety, and technical qualification. By producing technical and scientific knowledge, the work demonstrates a potential for extension, and can expand to the productive sector through university-society integration. The impacts are aligned with the Sustainable Development Goals of the United Nations, especially SDG 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture), SDG 12 (Responsible Consumption and Production), and SDG 17 (Partnerships for the Goals), contributing to the 2030 Agenda.

LISTA DE TABELAS

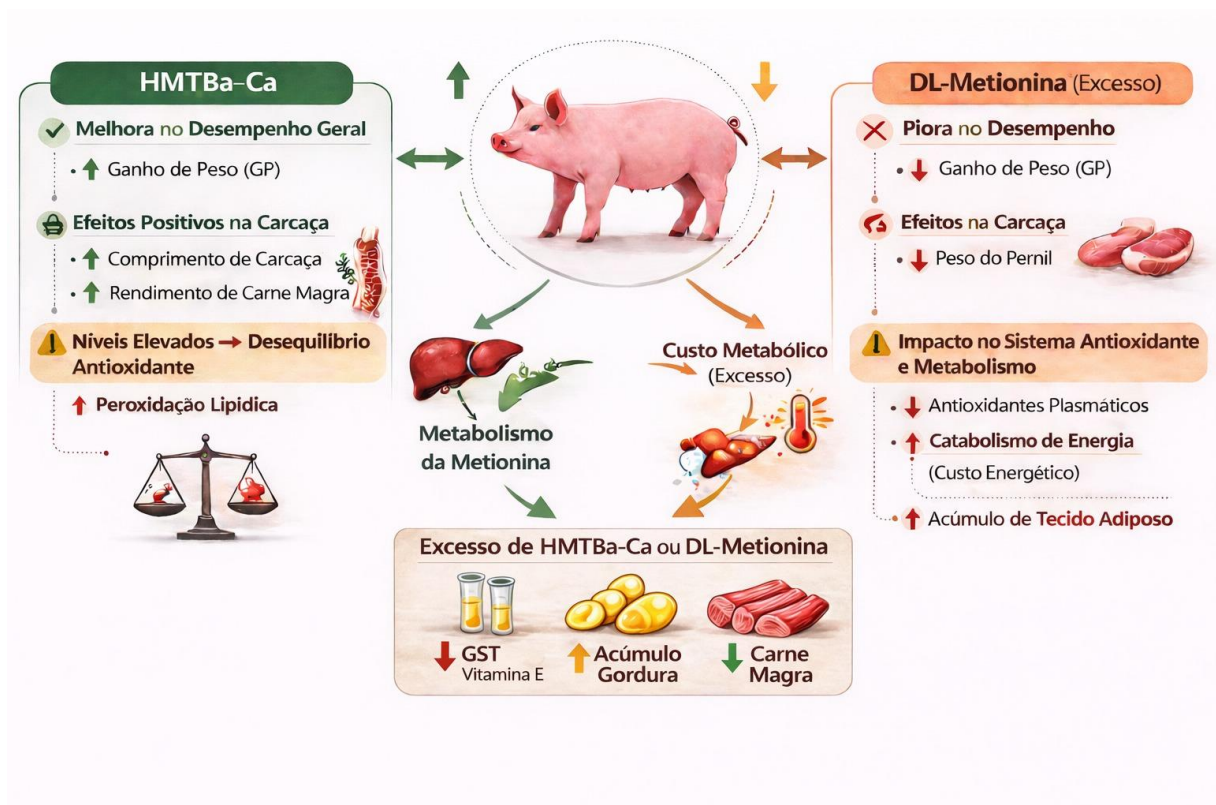
CAPÍTULO 2

Tabela 1- Ingredientes e composição nutricional das dietas na fase I.....	37
Tabela 2 - Ingredientes e composição nutricional das dietas na fase II	38
Tabela 3 - Ingredientes e composição nutricional das dietas na fase III.....	39
Tabela 4 - Ingredientes e composição nutricional das dietas na fase IV.....	40
Tabela 5 - Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho em suínos de 70 a 90 dias de idade durante a fase I.....	42
Tabela 6 - Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho em suínos de 91 a 113 dias de idade durante a fase II	42
Tabela 7 - Efeitos de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o desempenho geral de suínos na fase II.....	43
Tabela 8 - Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho em suínos de 114 a 128 dias de idade durante a fase III.....	43
Tabela 9 - Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho em suínos de 129 a 160 dias de idade durante a fase IV	44
Tabela 10 - Efeitos de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o desempenho geral de suínos de 129 a 160 dias de idade durante a fase IV	44
Tabela 11 - Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho em suínos dos 70 aos 160 dias de idade	45
Tabela 12 - Efeitos de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o desempenho geral de suínos dos 70 aos 160 dias de idade	45
Tabela 13 - Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de características de carcaça em suínos aos 160 dias de idade.....	46
Tabela 14 - Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de características de carcaça em suínos aos 160 dias de idade.....	47
Tabela 15 - Efeito de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação sobre as características de carcaça de suínos aos 160 dias de idade	47
Tabela 16 - Efeito dos tratamentos sobre pH e temperatura em suínos aos 160 dias de idade	47
Tabela 17 - Efeito dos tratamentos sobre a concentração plasmática de antioxidantes em suínos em crescimento.....	48
Tabela 18 - Efeito de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o status redox de suínos em crescimento	48

Resumo interpretativo e resumo gráfico

Elaborado por **Larissa Tayna Silva Martins** e orientado por **Bruno Alexander Nunes Silva**

A metionina é um aminoácido essencial envolvido em vários processos biológicos, fundamentais para a promoção do crescimento e desenvolvimento dos animais. Visto que a suplementação dietética é necessária, a resposta frente esses eventos podem apresentar respostas distintas conforme a forma química, nível de suplementação e a condição ambiental. Este estudo avaliou os efeitos de diferentes fontes (DL-Metionina e HMTBa) e níveis de suplementação (100% vs. 120%) sobre o desempenho, características de carcaça e status antioxidante de suínos em crescimento e terminação durante o verão. Foi observado nesse estudo que o uso do HMTBa promoveu melhor desempenho e comprimento de carcaça, mas induziu desequilíbrio no sistema antioxidante, enquanto que a DL-Metionina apresentou piora no desempenho e características de carcaça em níveis excedentes a exigência. De modo geral, a suplementação em 100% proporciona melhor impacto no desenvolvimento dos suínos. Conclui-se com este trabalho que o uso da HMTBa promoveu melhores resultados do que o uso da DL-Met para o desempenho e as características de carcaça dos suínos no verão, enquanto níveis elevados de DL-Met comprometeram o desempenho. A diferença na eficiência de uso das duas fontes parece estar relacionada às suas propriedades químicas e metabólicas frente a condição térmica.



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Impactos do estresse térmico por calor em suínos.....	17
2.2	Estresse oxidativo e equilíbrio redox	18
2.3	Fatores que impactam na qualidade de carne e nas características de carcaça	19
2.4	Fontes de metionina	21
3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
4.	REFERÊNCIAS	22
	CAPÍTULO 2 – ARTIGO	28
1.	INTRODUÇÃO	33
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.1	Comissão de ética no uso dos animais	34
2.2	Animais, instalações e tratamentos	34
2.3	Procedimentos experimentais	35
2.3.1	Colheita de sangue e parâmetro de estresse oxidativo	35
2.3.2	Abate e procedimentos para determinação das características de carcaça.....	36
3.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	41
4.	RESULTADOS	41
4.1	Efeito das fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o desempenho de suínos	41
4.2	Efeito das fontes de metionina e níveis de suplementação sobre as características de carcaça de suínos	46
4.3	Efeito das fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o status redox de suínos	48
5.	DISCUSSÃO	49
5.1	Efeitos das fontes de metionina	49
5.2	Efeitos dos níveis de suplementação de metionina.....	51
5.3	Efeitos de interação das fontes de metionina e níveis de suplementação	53
6.	CONCLUSÃO.....	56
7.	REFERÊNCIAS	56

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva de suínos tem apresentado crescimento expressivo nas últimas décadas, consolidando-se como uma das principais fornecedoras de proteína animal no mundo. Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA (2024), a produção mundial de carne suína atingiu 116,3 milhões de toneladas em 2024, o que corresponde a um crescimento médio de 0,35% nos últimos 10 anos. O Brasil contribui diretamente nesse aumento, com uma produção estimada em 5,156 milhões de toneladas, onde 1,3 milhão de toneladas são destinadas à exportação, de acordo os dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2024). Esse cenário evidencia a importância da suinocultura para a segurança alimentar, especialmente diante do aumento populacional e da elevação na demanda por proteínas de qualidade.

Neste contexto, a nutrição dos animais assume papel estratégico, sendo uma aliada essencial na promoção da saúde e da eficiência produtiva na suinocultura, sobretudo em regiões de clima tropical, o que impõe desafios no alcance da eficiência produtiva. As altas temperaturas podem comprometer o desempenho dos animais e consequentemente reduzir a qualidade do produto final, tornando o mercado menos competitivo e até ocioso. Intervenções nutricionais visando a redução do efeito termogênico das dietas associado como à suplementação de aminoácidos industriais podem ser uma estratégia para amenizar esses desafios.

A metionina destaca-se como um aminoácido sulfurado essencial, cuja importância se deve às suas múltiplas funções no organismo. A metionina atua na síntese de proteínas, transferência de grupos metila, além de participar na formação de metabólitos como taurina, creatina, poliaminas e fornece suporte ao sistema antioxidante. No entanto, em dietas à base de milho e farelo de soja para suínos em crescimento e terminação, é um aminoácido limitante, sendo necessária à sua suplementação dietética.

As fontes comerciais disponíveis são a DL-Metionina e seus análogos, como o sal de cálcio do ácido 2-hidroxi-4-(metiltio) butanóico (HMTBa-Ca). Embora essas fontes forneçam L-Metionina, tratam-se de moléculas quimicamente distintas. A DL-Metionina é uma mistura racêmica das formas D e L, enquanto o hidróxi análogo da metionina é um ácido orgânico, caracterizado pela presença de um grupo hidroxila em sua estrutura, substituindo o grupo amino. Na literatura são apresentadas diferenças nas estruturas químicas influenciam a forma como essas moléculas são absorvidas, transportadas e metabolizadas pelos animais. Essas

particularidades podem ser determinantes na eficiência de aproveitamento pelo organismo, especialmente em regiões tropicais onde as necessidades metabólicas são alteradas. Apesar disso, a maioria dos estudos disponíveis apresentam resultados conflitantes e, em grande parte, concentra-se seus efeitos em aves, o que enfatiza a necessidade de mais pesquisas acerca da relação dessas fontes, bem como o entendimento das concentrações em função da demanda metabólica. Diante do exposto, o objetivo com este estudo foi comparar a eficiência de utilização das diferentes fontes de metionina e os níveis de suplementação sobre o desempenho, características de carcaça e status redox de suínos em crescimento e terminação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Impactos do estresse térmico por calor em suínos

O estresse por calor é amplamente associado a perdas econômicas na indústria pecuária, uma vez que compromete a produtividade, a qualidade dos produtos e o bem-estar animal. O Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC, 2018) projeta que a temperatura global poderá aumentar em mais de 4,8°C nos próximos 100 anos, cenário que representa um desafio crescente para os sistemas de produção animal, especialmente em regiões tropicais.

Dentre os animais de produção, os suínos destacam-se por serem altamente sensíveis às altas temperaturas. Isso se deve a baixa capacidade de dissipação de calor, em razão da ausência de glândulas sudoríparas funcionais (Gonzales-Rivas et al., 2020). A medida que esses animais são expostos a temperaturas elevadas e ultrapassam a termoneutralidade, ocorrem alterações fisiológicas, metabólicas e comportamentais que comprometem o desempenho produtivo (Gonzales-Rivas et al., 2020).

A intensidade e a duração dessas alterações dependem tanto da magnitude da elevação térmica quanto do tempo de exposição. O estresse por calor pode ser classificado como agudo, quando ocorre em curto prazo, ou crônico, quando os animais são submetidos a longos períodos de calor (Huau et al., 2024; De Oliveira et al., 2024). De acordo com Vásquez et al. (2022), suínos em crescimento expostos a temperaturas flutuantes entre 28,1°C a 34,4°C, reduziram cerca de 42% da ingestão voluntária de ração durante os primeiros dois dias de exposição, o que comprometeu 57% no ganho de peso em comparação aos animais do tratamento termoneutro (23°C). Ainda no mesmo estudo, os autores observaram uma recuperação parcial da ingestão de ração de 11% dos animais após 7 dias em condição de estresse (Vásquez et al., 2022).

A redução no consumo voluntário de ração é uma resposta adaptativa na tentativa de diminuir a produção de calor gerado, provenientes dos processos digestivos, absorptivos e

metabólicos (Lee et al., 2025). Além dessa resposta, outros mecanismos termorregulatórios são ativados, como a redução na atividade e o aumento da frequência respiratória, estratégias que visam maximizar a dissipação do excesso de calor corporal (De Oliveira et al., 2024).

Contudo, temperaturas elevadas induzem a vasoconstrição no trato gastrointestinal e redirecionamento do fluxo sanguíneo para a circulação periférica. Devido ao baixo suprimento sanguíneo, há diminuição do fluxo de oxigênio e nutrientes para os tecidos intestinais, o que pode comprometer o desenvolvimento intestinal (Feng et al., 2024; Prates, 2025). Como resultado, o baixo aporte de oxigênio aos tecidos pode resultar em uma inflamação na mucosa intestinal e danos a integridade intestinal (Liu et al., 2024).

A barreira do epitélio intestinal é regulada por proteínas estruturais e funcionais, e sob altas temperaturas podem sofrer alterações, aumentando a permeabilidade e, consequentemente, a translocação de endotoxinas e antígenos (Choi et al., 2024). Intestino permeável está potencialmente associado a ocorrência de disbiose na microbiota e à ativação de respostas inflamatórias sistêmicas, que agravam o desequilíbrio metabólico e oxidativo dos animais (Tang et al., 2022).

2.2 Estresse oxidativo e equilíbrio redox

O organismo está constantemente produzindo espécies reativas de oxigênio (ROS), originadas principalmente no metabolismo aeróbio. Em concentrações fisiológicas, essas moléculas são benéficas às células, desempenhando funções importantes na sinalização celular (Pamplona e Costantini, 2011). Porém, quando há uma desordem no equilíbrio desse sistema, leva ao estresse oxidativo, caracterizado pelo desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio em relação a capacidade antioxidante do organismo. Esse desequilíbrio pode resultar em danos em proteínas, lipídeos e DNA (Yoshikawa e You, 2024).

Os radicais livres são compostos químicos que contêm um elétron desemparelhado, o que permite uma alta reatividade. Dentre as moléculas oxidativas, a ROS é uma das principais e o peróxido de hidrogênio, ânion radical superóxido e radicais peroxila contemplam esse grupo. Além destas, as espécies reativas de nitrogênio (RNS) também são consideradas substâncias com potencial oxidativo e causam danos a biomoléculas como DNA e proteínas (Jamova et al., 2023).

Em animais de produção, diversos fatores podem desencadear esse desequilíbrio redox. Nos suínos, por exemplo, condições ambientais adversas, desafios sociais e falhas no manejo alimentar favorecem o desenvolvimento do estresse oxidativo (Hao, Xing, Gu, 2021; Changming et al., 2024; Tang et al., 2025). Leitões, em especial, são altamente vulneráveis a

esse desafio. De acordo com Cao et al. (2018), o desmame ocasiona aumento na permeabilidade intestinal, disfunção mitocondrial e mitofagia. O estudo demonstrou que durante uma semana após o desmame, o decréscimo da capacidade antioxidante combinadas ao aumento da produção de ROS foram determinantes para tais prejuízos. Por consequência, isso pode afetar negativamente as fases subsequentes na produção.

O sistema antioxidante é composto por um conjunto de componentes com funções enzimáticas e não enzimáticas, responsáveis pela homeostase redox. Entre as enzimas antioxidantes, estão incluídas a glutathione peroxidase (Gpx), catalase (CAT) e a superóxido dismutase (SOD). A SOD converte o radical superóxido em oxigênio molecular e peróxido de hidrogênio. Este, por sua vez é decomposto pela CAT, que atua em conjunto com a Gpx (Pamplona e Costantini, 2011).

Dentre os mecanismos antioxidantes não enzimáticos, destaca-se a glutathione um tripeptídeo (glutamina, cisteína, glicina) endógeno não enzimático que exerce papel central na manutenção da homeostase redox (Shcherbatykh e Chernov'yants, 2021). Para reduzir compostos tóxicos, como o peróxido de hidrogênio, a glutathione passa da sua forma reduzida (GSH) para oxidada (GSSH), por meio da doação de elétrons do grupo tiol, em reação catalisada pela Gpx (Lyu et al., 2020; Chang et al., 2021; Flohé et al., 2022). Os resíduos gerados dessa reação podem ser conjugados, via Glutathione-S-transferase, que atua no processo de desintoxicação (Tossounian et al., 2024).

A eficácia antioxidante da GSH, está relacionada a presença de grupo tiol, originado da cisteína, um dos aminoácidos que compõe sua estrutura. Neste contexto, a metionina também influencia no equilíbrio redox, onde exerce uma função essencial como precursora da cisteína, pela via da transulfuração (Wu, 2022). Além disso, resíduos de metionina em superfície proteica podem reagir com ROS, sendo oxidados a sulfóxidos, os quais são posteriormente reduzidos novamente a metionina pela enzima sulfóxido redutase (Moskovitz e Smith, 2021). Em condições de desafio, o organismo animal pode demandar uma alta exigência de aminoácidos sulfurados (SAA) (da Silva et al., 2022; Koo et al., 2022; Morales et al., 2022).

2.3 Fatores que impactam na qualidade de carne e nas características de carcaça

A busca por carne de melhor qualidade e melhores características de carcaça é uma constante na produção animal, impulsionada por um mercado cada vez mais exigente, que prioriza segurança alimentar e satisfação do consumidor. Esses atributos, contudo, são frequentemente influenciados por uma intensa pressão seletiva voltada à obtenção de animais com maior eficiência produtiva, altas taxas de crescimento e carcaças com maior rendimento

de carne magra. Embora essa evolução tenha alcançado avanços na produtividade, eles também podem afetar a qualidade da carne, especialmente quando somados a outros fatores como sexo, transporte, condições climáticas e manejo pré-abate (Gonzalez-Rivas et al., 2020; Mashood et al., 2025).

O parâmetro de qualidade da carne compreende um conjunto de aspectos importantes (Yan et al., 2023). Dentre eles, as características sensoriais envolvem coloração, textura, maciez, sabor e odor (Matarneh, Silva e Guerrard, 2021), enquanto as características tecnológicas abrangem aspectos como pH, capacidade de retenção de água, perda por gotejamento (Jankoviak et al., 2021). Além disso, as propriedades nutricionais também contemplam esse conjunto, juntamente com a segurança do produto, que está relacionada com a integridade da carne. De modo geral, todos esses fatores são indicadores relevantes de qualidade e assumem um papel determinante na aceitação do consumidor.

Portanto, a compreensão dos processos post-mortem é essencial para entender como os diferentes parâmetros influenciam diretamente a qualidade final da carne. O processo de conversão de músculo em carne envolve intensas mudanças metabólicas. Logo após a exsanguinação o suprimento de oxigênio é interrompido, o que demanda as células musculares utilizarem a glicólise anaeróbica como a principal via de produção de energia. Como resultado, o lactato é acumulado, levando a queda no pH. Ao esgotar as reservas de ATP, o rigor mortis é então estabelecido, onde as pontes cruzadas de actomiosina não podem ser quebradas e o músculo fica inextensível (Scheffler e Gerrard., 2007).

No entanto, a taxa e a extensão do declínio do pH podem afetar de forma significativa a qualidade da carne (Scheffler e Gerrard, 2007). E essa atividade por sua vez é intimamente relacionada à velocidade e extensão de glicogênio (Smulders, Hofbauer, e Geesink, 2014). Geralmente, o pH se encontra em torno de 7,2 em animal vivo e o declínio acontece gradualmente após a sangria (Jankoviak et al., 2021). Mas o músculo em alta atividade glicolítica, pode levar a queda abrupta de pH, atingindo valores abaixo de 6 na primeira hora. Essa acidificação precoce, somada à temperatura ainda elevada da carcaça favorece a desnaturação de proteínas sarcoplasmáticas e miofibrilares (Honikel, 1998; Wang et al., 2021). Esse cenário é típico da carne PSE (pálida, macia e exsudativa), que apresenta textura macia em excesso, cor desagradável e perda por gotejamento (Yin et al., 2024). Por outro lado, o alto pH final induz a carne DFD (Escura, firme e seca).

Essas alterações estão entre os principais desafios na indústria de carnes. Entre os animais de produção, suínos possuem uma alta sensibilidade, sobretudo a carne PSE. Essa condição é

observada principalmente quando os animais estão sob altas temperaturas no pré-abate (Jaewoo et al., 2023) e demanda atenção.

2.4 Fontes de metionina

As principais fontes sintéticas de metionina encontradas em escala industrial incluem DL-Metionina (DL-Met) e o sal de cálcio do ácido 2-hidroxi-4-(metiltio) butanóico (HMTBa-Ca). A L-metionina foi incluída recentemente, mas o alto custo para purificação se torna um fator limitante para uso (Willke, 2014). A DL-Met comumente disponível na forma de pó, é obtida por síntese química e apresenta 99% de atividade de metionina. Essa molécula consiste em uma mistura racêmica de 50:50 de isômeros D e L (Bertechini, 2021). O HMTBa é comercializado na forma de pó, como sal de cálcio, com 84% de substância ativa ou como ácido livre na forma líquida, com 88% de pureza (Morales et al., 2022; Oladejo et al., 2024). Ambas as formas são utilizadas há décadas na nutrição de monogástricos para suprir as exigências nutricionais de metionina.

Apesar de fornecerem a metionina biologicamente ativa (L-Met), essas moléculas se diferem em suas estruturas químicas. O hidroxianálogo da metionina não é um aminoácido, mas sim um precursor da metionina. Sua estrutura molecular se distingue da DL-Met por possuir um grupo hidroxila no lugar do grupamento amina, localizado no carbono alfa (Bertechini, 2021). Isso indica que esses compostos possam ser absorvidos, transportados e metabolizados de maneira diferente ao longo do trato gastrointestinal de suínos (Zang et al., 2017; Romanet et al., 2020; 2021).

De acordo com Dibner e Buttin (2002), até que seja convertido em L-Met, o HMTBa é um ácido monocarboxílico de cadeia curta, com estrutura semelhante ao ácido láctico. Sua absorção ocorre principalmente por difusão, entretanto, parte dessa molécula do HMTBa também pode ser mediada por transportadores de ácidos monocarboxílicos, como o MCT1, dependente de H^+ (Martin-Venegas et al., 2007; 2014). Em contraste, a DL-Met utiliza os transportadores B^0 dependente (Na^+), $B^{0,+}$ dependente (Na^+ e Cl^-) e $b^{0,+}$ independente de Na^+ (Zang et al., 2017), sendo que os dois últimos transportadores também compartilham com aminoácidos catiônicos, como a lisina (Broer, 2008).

Tanto a DL-Met quanto o HMTBa são misturas racêmicas de enantiômeros D e L, que precisam ser convertidos em cetometionina e, posteriormente, transaminados para se tornarem disponíveis (Romanet et al., 2021). A conversão é mediada por ação enzimática. Enquanto a L-hidroxiácido oxidase (L-HAOX) e D-aminoácido oxidase (D-AAOX) convertem os isômeros L-HMTBa e D-metionina nos peroxissomos, respectivamente, o D-hidroxiácido desidrogenase

(D-HADH) converte o isômero D do HMTBa nas mitocôndrias. Segundo Fang et al. (2010) os principais locais dessas enzimas são no fígado e rins, mas também podem ser encontradas em outros tecidos dependendo da fonte de metionina (Zang et al., 2017).

A discussão sobre a eficiência das diferentes fontes na nutrição animal tem ganhado destaque. Embora ambas forneçam L-Met, o hidroxianálogo da metionina apresenta bioeficácia menor que a DL-Metionina (Opapeju et al., 2012; Wang et al., 2020). Ainda assim, o uso de HMTBa é tão eficiente, quanto a DL-metionina sobre o desempenho de crescimento em suínos (Remole et al., 2024) e frangos de corte (Maynard et al., 2023) quando seu teor de metionina é considerado em equivalência molar.

Ademais, foi demonstrado efeitos adicionais relacionado ao seu uso. Estudo com frango de corte encontraram resultados positivos para expressão gênica da cistationina β -sintase, o que demonstra um potencial para via da transulfuração (Gong et al., 2024). De acordo com da Silva et al. (2022) seu uso pode promover melhora na qualidade da carne e o fornecimento pode se diferir da DL-Metionina na ativação de vias de sinalização central em relação ao consumo (Maynard et al., 2023). Como um ácido orgânico, o HMTBa também atua na modulação da microbiota e na saúde intestinal (Gong et al., 2023).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suplementação da metionina é frequentemente utilizada na produção de suínos, em razão da sua limitação em dietas convencionais para esta espécie. Por essa razão, fontes de metionina estão disponíveis em larga escala industrial, a exemplo da DL-Metionina e seus análogos como HMTBa. Entretanto, se diferem estruturalmente, o que faz com que seus mecanismos de utilização sejam alterados no âmbito fisiológico e metabólico, e em última análise, pode influenciar no equilíbrio redox, desempenho e características de carcaça, sobretudo sob condições climáticas adversas.

4. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira Proteína Animal / ABPA.** Relatório Anual - Disponível em: <<https://abpa-br.org/>>. Acesso em: 20 fev. 2025
- BERTECHINI, A. G. *Nutrição de monogástricos*. 3. Ed. Lavras: Editora UFLA, 2021
- BROER, S. Amino acid transport across mammalian intestinal and renal epithelia. **Physiological Reviews**, v. 88, n. 1, p. 249-286, 1 jan. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/physrev.00018.2006>. Acesso em: 01 abr. 2025
- CAO, S. T. *et al.* Weanig disrupts intestinal antioxidant status, impairs intestinal barrier and mitochondrial function, and triggers mitophagy in piglets. **Journal of Animal Science**, v. 96, n. 0,

p. 1073-1083, 12 marc. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skx062>. Acesso em: 20 mar. 2025

CHANG, L. *et al.* Study on antioxidante effect of recombinant glutathione peroxidase 1. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 170, n. 0, p. 503-5013, 15 fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.183>. Acesso em: 13 mar. 2025

CHANGMING, H. *et al.* Accurate models and nutritional strategies for specific oxidative stress factors: Does the dose matter in swine production? **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 15, n. 11, 26 jan. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00964-8>. Acesso em: 6 mar. 2025

CHOI, Y. *et al.* Heat stress induces alterations in gene expression of actin cytoskeleton and filament of cellular components causing gut disruption in growing–finishing pigs. **Animals**, v. 14, n. 2476, 26 ago. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani14172476>. Acesso em: 1 mar. 2025

Comissão de Ética / UFMG – Disponível em: <<https://www2.ufmg.br/comissaoetica>>. Acesso em: 15 fev. 2025

DA SILVA, C. A. *et al.* Increased sulphur amino acids consumption as OH-Methionine or DL-Methionine improves growth performance and carcass traits of growing-finishing pigs feed under hot conditions. **Animals**, v. 12, n. 17, p. 2159, 23 ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12172159>. Acesso em: 9 mar. 2025

DE OLIVEIRA, M. J. K. *et al.* 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**, v. 309, n. 0, p. 115-904, 1 fev. 2022a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115904>. Acesso em: 5 mar. 2025

DE OLIVEIRA, M. J. K. *et al.* Effects of lowering dietary protein contente without or with increased protein-bound and feed-grade amino acids supply on growth performance, body composition, metabolismo, and acute-phase protein of finishing pigs under daily cyclic heat stress. **Journal of Animal Science**, v. 101, n. 0, p. Skac 387, 24 nov. 2022b. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skac387>. Acesso em: 5 mar. 2025

DIBNER, J. J; BUTTIN, P. Use of organic acids as a model to study the impacto of gut microflora on nutrition and metabolism. **Poultry Science Association**, v. 0, n. 0, p. 453-453, 1 dez. 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/japr/11.4.453>. Acesso em: 2 mar. 2025

FANG, Z. *et al.* Methionine metabolism in piglets fed dl-Methionine or Its hydroxy analogue was affected by distribution of enzymes oxidizing these sources to keto-methionine. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n.0, p. 2008-2014, 14 jan. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/jf903317x>. Acesso em: 8 abr. 2025

FLOHÉ, L.; TOPPO, S.; ORIAN, L. The glutathione peroxidase family: Discoveries and mechanism. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 187, n. 0, p. 113-122, 1 jun, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2022.05.003>. Acesso em: 7 mar. 2025

GONG, L. *et al.* Methionine source and level modulate gut pH, amino acid transportes and metabolismo related genes in broiler chickens. **Journal of Agricultural and food chemistry**, v. 72, n. 0, p. 156615671, 8 jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c01020>. Acesso em: 15. Abr. 2025

- GONG, L. *et al.* Dietary Methionine sources and levels modulate the intestinal health status of broiler chickens. **Animal Nutrition**, v. 15, n. 0, p. 242-255, 16 nov. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.07.004>. Acesso em: 10 abr. 2025
- GONZALES-RIVAS, P. A. *et al.* Effects of heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. **Meat Science**, v. 162, n. 0, p. 108-025, 13 dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108025>. Acesso em: 29 fev. 2025
- HAO, Y. XING, M. GU, X. Research progress on oxidative stress and its nutritional regulation strategies in pigs. **Animals**, v. 11, n. 0, p. 1384-1390, 13 mai. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani11051384>. Acesso em: 1 abr. 2025
- HONG-SEOK, M. *et al.* Effect of ambient temperature on growth performances, carcass traits and meat quality of pigs. **Journal of Applied Animal Research**, v. 50, n.0, p. 103-108, 10 fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2032084>. Acesso em: 5 mar. 2025
- HONIKEL, K. O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. **Meat Science**, v. 49, n. 4, p. 447-457, 22 mar. 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5). Acesso em: 26 fev. 2025
- HUAU, G. *et al.* Multi-tissue metabolic and transcriptomic responses to a short-term heat stress in swine. **BMC Genomics**, v. 25, n. 99, 23 jan. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12864-024-09999-1>. Acesso em: 5 mar. 2025
- JAEWOO, A. *et al.* Effect of loading density and weather conditions on animal welfare and meat quality of slaughter pigs. **Journal of Animal Science and Technology**, v. 65, n. 6, p. 1323-1340. Disponível em: <https://doi.org/10.5187/jast.2023>. Acesso em: 27 mar. 2025
- JANKOVIK, H.; CEBULSKA, A.; BOCIAN, M. The relationship between acidification (pH) and meat quality traits of Polish White breed pigs. **European Food Research and Technology**, v. 247, n. 0, p. 2813-2820, 31 jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03837-4>. Acesso em: 12 abr. 2025
- KOO, B. *et al.* Comparative effects of dietary methionine and cysteine supplementation on redox status and intestinal integrity in immunologically challenged-weaned pigs. **Amino Acids**, v. 55, n. 0, p. 139-152, 13 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00726-022-03213-w>. Acesso em: 28 mar. 2025
- LYU, M. *et al.* Inhibition effect of thiol-type antioxidants on protein oxidative aggregation caused by free radicals. **Biophysical Chemistry**, v. 260, n. 0, p. 106-367, 19 mar. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bpc.2020.106367>. Acesso em: 6 mar. 2025
- LIU, Y. *et al.* Heat shock protein 90 and prolyl hydroxylase 2 co-regulate hypoxia-inducible factor-1 α expression in porcine small intestinal epithelial cells under heat stress. **Journal of Thermal Biology**, v. 122, mai. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103881>. Acesso em: 7 mar. 2025
- LEE, J. *et al.* Heat Stress in growing–finishing pigs: effects of low protein with increased crystalline amino acids on growth, gut health, antioxidant status and microbiome. **Animals**, v. 15, n. 848, 15 mar. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani15060848>. Acesso em: 15 mar. 2025
- MARTIN-VENEGAS, M. *et al.* Monocarboxylate transporter 1 mediates DL-2-hydroxy-(4-Methylthio) butanoic acid transport across the apical membrane of Caco-2 cell monolayers. **The**

Journal of Animal Nutrition, v. 137, n. 0, p. 49-54, 1 jan. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jn/137.1.49>. Acesso em: 3 abr. 2025

MARTIN-VENEGAS, R. *et al.* Monocarboxylate transporter 1 is up-regulated in Caco-2 cells by the methionine precursor DL-2hydroxy-(4-methylthio) butanoic acid. **The Veterinary Journal**, v. 202, n. 3, p. 555-560, 28 set. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.09.019>. Acesso em: 1 mar. 2025

MASHOOD, Q. *et al.* Prevalence and severity of pale, soft, and exudative (PSE)-like zones in crossbred pigs (Yorkshire x Hampshire): Insights into season, gender, slaughter weight and technological meat traits. **Livestock Science**, v. 295, n. 0, p. 105-690, 8 abr. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2025.105690>. Acesso em: 10 abr. 2025

MATARNEH, S. K; SILVA, S. L; GERRARD, D. E. New insights in muscle biology that alter meat quality. **Annual review of animal biosciences**, v. 9, n. 0, p. 355-377, fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083902>. Acesso: 20 abr. 2025

MORALES, A. *et al.* Effect of DL-methionine supplementation above requerimento on performance; intestinal morphology, antioxidante activity, and gene expression., and sérum concentration of amino acids in heat stressed pigs. **Journal of Animal Science**, v. 101, n. 0, p. Skac379, 16 nov. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skac379>. Acesso em: 2 mar. 2025

MOSKOVITZ, J. SMITH, A. Methionine sulfóxide and the methionine sulfóxide reductase system as modulators of signal transduction pathways: a review. **Amino Acids**, v. 53, n. 0, p. 1011-1012, 10 jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00726-021-03020-9>. Acesso em: 10 abr. 2025

MAYNARD, C. W. *et al.* Peripheral and central impact of methionine source and level on growth performance, circulating methionine levels and metabolism in broiler chickens. **Animals**, v. 13, n. 1961, 12 jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani13121961>. Acesso em: 10 abr. 2025

OLADEJO, E. O. *et al.* Effects of dietary supplementation of DL-Methionine or DL-Methionine hydroxyl analogue (MHA-Ca) on growth performance and blood and liver redox status in growing pigs. **Animals**, v. 14, n. 23, p. 3397, 25 nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani14233397>. Acesso em: 11 mar. 2025

OPAPEJU, F. O. *et al.* Bioavailability of methionine hydroxy analog-calcium salt relative to DL-methionine to support nitrogen retention and growth in starter pigs. **Animal**, v. 6, n. 11, p. 1750-1756, 27 abr. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731112000869>. Acesso em: 8 mar. 2025

PAMPLONA, R.; COSTANTINI, D. Molecular and structural antioxidante defenses against oxidative stress in animals. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 301, n. 4, p. 843-863, 1 out. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00034.2011>. Acesso em: 10 mar. 2025

PRATES, J. A. M. Heat Stress Effects on Animal Health and Performance in Monogastric Livestock: Physiological Responses, Molecular Mechanisms, and Management Interventions. **Veterinary Sciences**, v. 12, n. 429, 30 abr. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/vetsci12050429>. Acesso em: 10 mar. 2025

REMOLE, H. M. *et al.* Effects of supplemental methionine sources in finishing pig diets on growth performance, carcass characteristics, cutting yields, and meat quality. **Translation Animal Science**, v. 8, n. 0, p. txae088, 27 mai. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/tas/txae088>. Acesso em: 2 mar. 2025

ROMANET, S. *et al.* Dietary supplementation of DL-Methionine potentially induces sodium-dependent L-Methionine absorption in porcine jejunum ex vivo. **The Journal of Nutrition**, v. 150, n. 7, p. 1782-1789, 2 mai. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa115>. Acesso em: 25 fev. 2025

ROMANET, S. *et al.* Expression of proposed methionine transporters along the gastrointestinal tract of pigs and their regulation by dietary methionine sources. **Genes e Nutrition**, v. 16, n. 14, 6 set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12263-021-00694-4>. Acesso em: 28 fev. 2025

SCHEFFLER, T. L.; GERRARD, D. E. Mechanisms controlling pork quality development: The biochemistry controlling post-mortem energy metabolism. **Meat Science**, v. 77, n. 1, p. 7-16, 10 mai. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.04.024>. Acesso em: 14 abr. 2025

SHCHERBATYKH, A. A.; CHERNOV'YANTS, M. S. Study of antithyroid and antioxidant properties of cysteine, glutathione, and methionine by spectrophotometry and high performance liquid chromatography. **Journal of Analytical Chemistry**, v. 76, n. 0, p. 476-485, 14 abr. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/S1061934821040109>. Acesso em: 2 mar. 2025

SMULDERS, F.; HOFBAUER, P.; GEESINK, G. H. The conversion of muscle to meat. In: SMULDERS, F.; DIEMER, G. (Ed.). **Meat inspection and control in the slaughterhouse**. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2014. cap. 15, p. 399-421. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118525821.ch15>. Acesso em: 10 abr. 2025

TANG, M. Effects of peroxidized lipids on intestinal morphology, antioxidant capacity and gut microbiome in piglets. **Animal Nutrition**, v. 20, n. 0, p. 430-443, 13 fev. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.11.015>. Acesso em: 12 mar. 2025

TOSSOUNIAN, M. A. *et al.* Low-molecular-weight thiol transferases in redox regulation and antioxidant defence. **Redox Biology**, v. 71, n. 0, p. 103-094, 10 mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2024.103094>. Acesso em: 13 mar. 2025

TANG, S. *et al.* Chronic heat stress induces the disorder of gut transport and immune function associated with endoplasmic reticulum stress in growing pigs. **Animal Nutrition**, v. 11, p. 228-241, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.08.008>. Acesso em: 6 mar. 2025

United States Department of Agriculture / USDA – Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity-group/meat>>. Acesso em: 20 fev. 2025

WANG, C. *et al.* Modelling of energy metabolism and analysis of pH variations in post-mortem muscle. **Meat Science**, v. 182, n. 0, p. 108-634, 17 jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108634>. Acesso em: 8 mar. 2025

WANG, M. Q. *et al.* Bioavailability of the calcium salt of DL-methionine hydroxanalog compared with DL-methionine for nitrogen retention and the preference of nursery pigs for diets based on the 2 forms of methionine. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 0, p. Skaa349, 28 out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/skaa349>. Acesso em: 10 mar. 2025

WILLKE, T. Methionine production-A critical review. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 98, n. 0, p. 9893-9914, 8 nov. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00253-014-6156-y>. Acesso em: 29 fev. 2025

WU, Guoyao. **Amino acids: biochemistry and nutrition**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781003092742>. Acesso em: 2 abr. 2025.

YIN, C. *et al.* Number of denatured rigor cross-bridges determines the intracellular volume shrinkage in porcine muscle fibre under PSE-inducing condition. **Meat Science**, v. 212, n. 0, p. 109-473, 29 fev. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109473>. Acesso em: 12 abr. 2025

YOSHIKAWA, T. YOU, F. Oxidative stress and bio-regulation. *Internation Journal of Molecular Science*, v. 25, n. 0, p. 3690, 15 mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms25063360>. Acesso em: 21 marc. 2025.

YUAN, P. Q. *et al.* Effects of dietary methionine supplementation from diferente sources on growth performance and meat quality of barrows and gilts. **Animal**, v. 17, n. 0, p 100986, 10 out. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100986>. Acesso em: 29 mar. 2025

VÁSQUEZ, N. *et al.* Short- and long-term exposure to heat stress differently affect performance, blood parameters, and integrity of intestinal epithelia of growing pigs. **Animals**, v. 12, n. 2529, 22 set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12192529>. Acesso em: 8 mar. 2025

ZANG, S. *et al.* Physiological and biochemical aspects of methionine isomers and a methionine analogue in broilers. **Poultry Science**, v. 96, n. 0, p. 425-439, 1 fev. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps/pew253>. Acesso em: 3 mar. 2025

ZANG, Y. *et al.* mTORC1 signaling-associated protein synthesis in porcine mamary glands was regulated by the local available methionine depending on methionine sources. **Amino Acids**, v. 50, n. 0, p. 105-115, 5 out. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00726-017-2496-0>. Acesso em: 24 fev. 2025

CAPÍTULO 2 – ARTIGO

(NORMAS NBR 6022 (ABNT 2033))

**Diferentes fontes e níveis de metionina em dietas para suínos em
crescimento e terminação durante o verão**

RESUMO

Objetivou-se com este estudo comparar os efeitos de diferentes fontes (DL-Met ou DL-HMTBa) e níveis de metionina digestível sobre o desempenho, o status metabólico e as características de carcaça de suínos na fase de crescimento e terminação durante o verão. Foram utilizados 44 suínos (machos castrados e fêmeas; genética TN70® * Duroc®), distribuídos em 4 tratamentos, em esquema fatorial 2x2, com duas fontes e dois níveis de metionina, sendo eles: HMTBa (84%) vs. DL-Metionina (DL-Met); 100 vs. 120% na relação com lisina preconizado pelo manual de alimentação da linhagem. Os animais foram distribuídos em blocos casualizados (de acordo o sexo, peso e origem de leitegada), sendo que cada tratamento consistiu em 11 repetições, onde o suíno foi considerado a unidade experimental. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o procedimento PROC MIXED no SAS. O modelo considerou efeitos fixos das fontes, níveis e a interação entre os fatores. Valor $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto valores $0,05 \geq P \leq 0,10$ foram considerados tendência. Na fase três os animais que receberam a fonte HMTBa apresentaram maiores valores para ganho médio diário (GMD) e ganho de peso total (GPT) ($p < 0,05$), comparados aos que receberam DL-Met. Já na fase 4 e no período total houve melhora para GPT, GMD e do peso final (PF) ($p < 0,05$) para os animais que receberam HMTBa. Foi observado um maior valor para o comprimento de carcaça ($p < 0,05$) para o uso da fonte HMTBa. O nível dentro da exigência (100%), resultou nos melhores valores para conversão alimentar (CA), consumo total de ração (CRT), GMD, GPT e PF ($p < 0,05$), quando comparados com o tratamento do nível 20% superior. O mesmo efeito foi observado para características de carcaça, onde melhores valores foram apresentados sobre peso de paleta (PPAle), rendimento de carne na carcaça (RendCC), quantidade de carne na carcaça (QCC), quantidade de carne magra na carcaça (QCMC), porcentagem de carne magra na carcaça (PORCCMC), peso de lombo (Plombo), peso de pernil (PPER) e menor espessura de toucinho da última costela ETUC ($p < 0,05$). Para o status redox, níveis dentro da exigência proporcionaram maiores concentrações plasmáticas para glutathiona-S-Transferase e vitamina E ($p < 0,05$). Uma interação significativa foi observada entre fontes e níveis ($p < 0,05$), onde a fonte HMTBa apresentou melhores índices de GPT e GMD, independentemente dos níveis, enquanto a DL-Metionina demonstrou piora para tais variáveis quando a suplementação excedeu as exigências. Esse efeito de interação também ocorreu da mesma forma para o peso de pernil ($p < 0,05$). Os resultados indicam que o uso da HMTBa proporciona melhores resultados do que o uso da DL-Met para o desempenho e as características de carcaça dos suínos no verão, enquanto níveis elevados de DL-Met

comprometem o desempenho. A diferença na eficiência de uso das duas fontes parece estar relacionada às suas propriedades químicas e metabólicas.

Palavras chave: Carcaça; desempenho; DL-Metionina; HMTBa; metionina; status antioxidante; verão.

ABSTRACT

The aim of this study was to compare the effects of different sources (DL-Met or DL-HMTBA) and levels of methionine on the performance, metabolic status, and carcass characteristics of growing and finishing pigs during the summer. Forty-four pigs (castrated males and females; TN70® * Duroc® genetics) were used, distributed into 4 treatments in a 2x2 factorial design, with two sources and two levels of methionine: HMTBA (84%) vs. DL-Methionine (DL-Met); 100% vs. 120% in the lysine ratio recommended by the breed's feeding manual. The animals were distributed in randomized blocks (according to sex, weight, and litter origin), with each treatment consisting of 11 replicates, where the pig was considered the experimental unit. The data were subjected to analysis of variance using the PROC MIXED procedure in SAS. The model considered fixed effects of sources, levels, and the interaction between factors. A p-value < 0.05 was considered significant, while values $0.05 \geq p \leq 0.10$ were considered a trend. In phase 3, animals that received the HMTBa source showed higher values for average daily gain (ADG) and total weight gain (TWG) ($p < 0.05$) compared to those that received DL-Met. In phase 4 and over the entire period, there was an improvement in TWG, ADG, and final weight (FW) ($p < 0.05$) for animals that received HMTBa. A higher value for carcass length ($p < 0.05$) was observed for the use of the HMTBa source. The level within the requirement (100%) resulted in the best values for feed conversion (FC), total feed intake (TFI), ADG, TWG, and FW ($p < 0.05$) when compared to the treatment at the 20% higher level. The same effect was observed for carcass characteristics, where better values were presented for shoulder weight (PPAle), carcass meat yield (RendCC), carcass meat quantity (QCC), carcass lean meat quantity (QCMC), carcass lean meat percentage (PORCCMC), loin weight (Plombo), ham weight (PPER), and lower backfat thickness of the last rib ETUC ($p < 0.05$). For redox status, levels within the requirement provided higher plasma concentrations for glutathione-S-transferase and vitamin E ($p < 0.05$). A significant interaction was observed between sources and levels ($p < 0.05$), where the HMTBa source showed better GPT and GMD indices, regardless of the levels, while DL-Methionine showed a worsening for these variables when supplementation exceeded requirements. This interaction effect also occurred for ham weight ($p < 0.05$). The results indicate that the use of HMTBa provided better results than the use of DL-Met for the performance and carcass characteristics of pigs in the summer, while high levels of DL-Met compromised performance. The difference in the efficiency of use of the two sources seems to be related to their chemical and metabolic properties.

Keywords: Carcass; performance; DL-Methionine; HMTBa; methionine; antioxidant status; summer.

1. INTRODUÇÃO

A metionina é um aminoácido essencial que tem um importante papel no organismo dos suínos. Dada a sua importância, a metionina proveniente das fontes naturais é insuficiente para atender à demanda dos animais, sendo necessária a suplementação desse aminoácido (Zuo et al., 2019). Apontado como um dos primeiros aminoácidos limitantes para suínos, seu aporte no organismo animal vai além da síntese proteica, participante também em eventos biológicos, onde atua na promoção do crescimento e desenvolvimento dos animais (Wan et al., 2025). Para tal, é exigida no processo de transmetilação e influencia no dinamismo da metilação e remetilação (Liu et al., 2025). Por outro lado, também influencia no equilíbrio redox, através da participação na via da transsulfuração, que possibilita a formação de compostos como cisteína e taurina, importantes antioxidantes (Zhou et al., 2025b).

As principais fontes de metionina utilizadas comercialmente são a DL-Metionina e seus análogos, disponíveis tanto na forma líquida (HMTBa), quanto na forma em pó como sais de cálcio (HMTBa-Ca) (Zuo et al., 2022; Zhou et al., 2025a). Apesar da L-Metionina também ser disponível industrialmente, seu uso está em menor escala, o que potencializa a utilização da DL-Metionina e seus análogos. De modo geral, todas as fontes são capazes de fornecer L-Metionina, forma biologicamente ativa que inicia a síntese de proteínas (Wu, 2022). Embora essas fontes possam suprir as exigências da metionina nos animais, apresentam estruturas químicas que as diferem nos mecanismos absorptivos, de transporte e a forma como são metabolizados pelo organismo animal (Fang et al., 2010; Zhou et al., 2025a).

A suinocultura moderna tem buscado cada vez mais aprimorar a eficiência produtiva em determinadas condições ambientais. Os suínos além de possuírem uma capacidade de termoregulação ineficiente, uma vez que não transpiram, o intenso melhoramento genético resultou em animais que alcançam altas taxas de crescimento e que geram mais calor metabólico, dificultando a manutenção da homeotermia em condições climáticas desafiadoras (Katiyar et al., 2025). Altas temperaturas podem afetar a morfologia intestinal, e com consequente diminuição da absorção de nutrientes, a partição de nutrientes pode ser alterada (Tang et al., 2022). Assim sendo, poderão ocorrer limitações nas taxas de crescimento, na capacidade antioxidante e perdas nas características de carcaças. Estas perdas levam à redução da eficiência produtiva com prejuízos econômicos e queda na rentabilidade para o produtor.

Apesar de existirem estudos comparativos entre as fontes, a literatura apresenta resultados divergentes, muitas vezes dependentes de fase produtiva, formulação basal da dieta, condição ambiental e espécie (Zhong et al., 2016; Zang et al., 2019; da Silva et al., 2022; Maynard et al.,

2023). Ainda assim, há poucos estudos sobre fontes e níveis de metionina em suínos na fase de crescimento e terminação, sobretudo sob condições climáticas quentes. Desta forma, torna-se importante a investigação da influência dessas fontes e o nível de inclusão nos parâmetros de desempenho, estresse oxidativo e características de carcaça em suínos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Comissão de ética no uso dos animais

Todas as práticas de manejo animal foram aprovadas pelo Comitê Institucional de Bem-Estar e Ética/Proteção Animal (CEUA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) sob o protocolo de nº 229 / 2024.

2.2 Animais, instalações e tratamentos

O estudo foi conduzido durante no período de verão, dezembro 2024 a março de 2025, nas instalações do Núcleo de Estudos em Produção de Suínos do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (NEPSUI – ICA/UFMG). Foram utilizados 44 suínos recém descrechados (sexo misto), de linhagem comercial (TN70 * TN Duroc), onde iniciaram o período experimental com 70 dias de idade e peso corporal médio de 32,83 kg. Os animais foram divididos entre quatro tratamentos em esquema fatorial 2x2. Foi utilizado o delineamento em blocos casualizados com critérios para formação dos blocos sendo o peso corporal inicial, o sexo e a origem da leitegada. Cada tratamento consistiu de 11 repetições (5 machos e 6 fêmeas), sendo o leitão considerado a unidade experimental. Os tratamentos consistiram de duas fontes de metionina HMTBa-Ca (Sal de cálcio do ácido 2-hidroxi-4-(metiltio) butanoico 84%) e DL-Metionina (99%); e dois níveis de metionina (considerando a exigência e 20% acima da exigência de acordo o manual da linhagem (Topigs Norsvin Feed Manual Duroc progeny 2023). A porcentagem proposta acima da exigência seguiu de acordo com o estudo de (da Silva et al., 2022).

As dietas experimentais foram formuladas para atender ou exceder as exigências nutricionais para castrados e fêmeas de acordo com as recomendações da Topigs Norsvin Feed Manual Duroc progeny (2023), exceto para a relação de lisina: metionina que foi ajustada de acordo com (Peet-Schwering e Bikker, 2018). Os tratamentos experimentais foram assim constituídos: T1: HMTBa (84%); T2: HMTBa (84%) adicionado 20%; T3: DL-Metionina; T4: DL-Metionina adicionado 20%. Os suínos foram alimentados com um programa de alimentação padrão multifásico (Tabela 1 a 4). Os programas nutricionais foram divididos da

seguinte forma: Fase I: 20 dias (70-90 d de idade); Fase II: 23 dias (91-113 d de idade), Fase III: 15 dias (114 a 128); Fase IV: 32 dias (129 a 160 d de idade).

Os animais foram alojados em baias coletivas (3,5 x 12,0 m;) com piso parcialmente ripado (2/3), dotadas de estações de alimentação automatizados e bebedouros tipo taça, localizadas em prédio com as laterais controladas por cortinas. A temperatura e umidade seguiram a flutuação externa ao galpão. Durante o dia os animais foram expostos à luz natural e durante o período noturno seguiram um programa de luz artificial. A temperatura ambiente e a umidade relativa foram registradas a cada 5 minutos, utilizando um datalogger disposto no centro do galpão à meia altura do corpo dos suínos. Os dados foram utilizados para caracterizar o ambiente térmico em que os animais estavam expostos.

2.3 Procedimentos experimentais

Foi utilizado durante todo o período experimental em cada baia um Alimentador Inteligente Automatizado (AIF; GESTAL Select® Individual Pig Performance Testing – Jyga Technology, Canadá) para alimentação e monitoramento do consumo alimentar. A cada entrada individual do suíno, o alimentador foi ativado pelo sensor localizado na parte interna do comedouro. Para evitar desperdício de ração, o alimentador foi programado para que os suínos repetissem essa ativação somente a cada dois minutos e após a passagem de dois novos animais pela estação. Todas as informações como horário, quantidade de ração, frequência e tamanho das refeições de cada animal foram registrados pelo sistema a cada visita. As sobras de ração, quando disponíveis, foram coletadas de forma mecânica por aspiração e pesadas sempre no mesmo horário, entre 11h e 11:30. O valor das sobras, quando presentes, era dividido pelo número total de animais presentes na baia dentro do período de 24 h. A diferença entre a oferta de ração e as sobras coletadas foram utilizadas para determinar o consumo diário de ração e a conversão alimentar.

Todos os suínos foram pesados individualmente no início do período experimental, e ao final de cada fase experimental. Para cada fase de crescimento foi calculado o consumo médio diário (CMD), ganho médio diário (GMD), ganho de peso total (GPT) e conversão alimentar (CA) de forma individual.

2.3.1 Colheita de sangue e parâmetro de estresse oxidativo

Para análises de parâmetros de estresse oxidativo, foram selecionados seis suínos (sexo misto) por tratamento, com o peso vivo mais próximo da média da baia para colheita de sangue. Nos dias 70, 120 e 159, aproximadamente 10 ml de sangue foram coletados através da punção da veia jugular utilizando agulhas de 0,9 mm de diâmetro e seringas heparinizadas, e depois

destinadas a tubos vacutainer contendo anticoagulante EDTA. Após o procedimento, as amostras foram submetidas a centrifugação na velocidade de 2.000 x g por 10 minutos para obtenção do plasma. Posteriormente, parte das amostras de plasma foram distribuídos em tubos criogênicos e armazenados a -80 °C e parte alocados em microtúbulos de 1,5 ml e então armazenados a -20 °C de forma imediata. Todas as amostras bioquímicas foram enviadas ao laboratório Imunova (Curitiba/ PR, Brasil) para a determinação das seguintes análises: Atividade volumétrica plasmática da superóxido dismutase (SOD) determinada por espectrofotometria de acordo com a metodologia de (Gao et al., 1998); Glutathiona reduzida (GSH) determinada por fluorimetria, segundo (Hissin, P. J e Hilf, R, 1976); Glutathiona-s-transferase (GST) determinada por espectrofotometria segundo (Habig et al., 1974); Lipoperoxidação (LPO) determinados por espectrofotometria segundo metodologia de (Jiang et al., 1992); Glutathiona peroxidase (GPx) determinada por colorimetria de acordo (Lawrence, R.A e Burk, R.F, 1976); Espécies reativas ao oxigênio (EROS) determinada por fluorimetria segundo metodologia de (Keston e Brandt, 1965) e acetato de tocoferol (vitamina E) determinado por HPLC de acordo (Nierenberg, D.W e Lester, D.C, 1985).

2.3.2 Abate e procedimentos para determinação das características de carcaça

No final do experimento, ou seja, com 160 dias de idade, seis fêmeas de cada tratamento foram abatidas para avaliação das características de carcaça. Para isso, as fêmeas foram selecionadas de acordo com o peso médio de cada tratamento e então submetidas ao jejum de ração 12 horas antes do abate. O transporte foi realizado cuidadosamente para um frigorífico comercial. Após o abate e evisceração, as carcaças foram cortadas longitudinalmente para realização das análises. O comprimento de carcaça foi determinado logo após a pesagem da carcaça fria, com auxílio de fita métrica, posicionada ao longo da linha média da ponta do osso púbico até a extremidade cranial do atlas, sendo o lado esquerdo da carcaça. Utilizando um paquímetro milimétrico, três pontos foram utilizados para mensurar a espessura de toucinho. Os pontos anatômicos foram a primeira costela, última costela e última vertebra lombar, conforme estudo realizado por (Zhang et al., 2024). A paleta, lombo e pernil foram pesados de forma individual em balança eletrônica e expresso em (Kg). Um medidor de pH (AKSO Modelo pH Classic, Brasil) foi utilizado para determinar os valores de pH no músculo semimembranoso em tempos de 30, 60, 90 minutos e 24 após o abate. Seguindo o mesmo padrão, foram determinados os valores de temperatura. Todas as amostras dos tratamentos foram submetidas a mesma temperatura de armazenamento (2 a 4°C). A perda por gotejamento foi determinada de acordo a metodologia proposta por (Honikel, 1998). Para essa análise, foram coletados 50

gramas de *longissimus dorsi* e realizados três amostragens para cada carcaça. Posteriormente as amostras foram armazenadas e identificadas individualmente em sacos de material de prolipropileno, envoltos por saco plástico transparente e então alocadas em câmara fria na temperatura de 4°C. O peso inicial e o peso final (24 horas após o abate) foram utilizados para determinar a diferença entre os tratamentos para a perda por gotejamento.

Foi realizado um corte vertical no *longissimus dorsi*, e então utilizado para mensurar a profundidade do lombo da meia carcaça esquerda. Aproximadamente entre a 10° e a 11° costela, a área foi delimitada na superfície exposta com auxílio de um paquímetro. Posteriormente a mesma foi utilizada para determinar a área de olho de lombo em cm² com auxílio de um papel quadriculado. A determinação do rendimento e porcentagem de carne magra, seguiram de acordo o método USDA, sendo a quantidade de carne magra (lb) = 8,588 + (0,465 x peso da carcaça quente (lb)) + (3,005 x área do lombo (pol)) – (21,896 x AM (pol.)). A muscularidade ou pontuação muscular do USDA foi calculada como a profundidade do músculo em relação à dimensão total do esqueleto, gordura da carcaça e conteúdo muscular (Deboer et al., 1974).

Tabela 1 – Composição da dieta experimental para **Fase I**

(Continua)

Ingredientes	Fase I			
	T1 HMTBa	T2 HMTBa20	T3 DL-Met	T4 DL-Met20
Milho	59,109	59,109	59,109	59,109
Farelo de soja 46%	32,800	32,800	32,800	32,800
Óleo de soja	3,300	3,300	3,300	3,300
Fosfato bicálcico	1,995	1,995	1,995	1,995
Calcário	0,650	0,650	0,650	0,650
Cloreto de sódio	0,400	0,400	0,400	0,400
Premix Vitamínico	0,050	0,050	0,050	0,050
Premix Mineral	0,100	0,100	0,100	0,100
L-Lisina HCL	0,477	0,477	0,477	0,477
HMTBa OH-Met sais de cálcio 84% Metionina	0,236	0,427	0,000	0,000
DL-Metionina Rhodimet® NP99	0,000	0,000	0,200	0,362
L-Treonina	0,223	0,223	0,223	0,223
L-Triptofano	0,068	0,068	0,068	0,068
L-Valina	0,048	0,048	0,048	0,048
Ácido graxo	0,100	0,100	0,100	0,100
Adsorvente de micotoxina, 2 kg/ton	0,200	0,200	0,200	0,200
Palatabilizante, 150g/ton	0,015	0,015	0,015	0,015
Selênio orgânico, 0.1% Se (300 gr/ton)	0,030	0,030	0,030	0,030
Inerte (amido)	0,200	0,008	0,235	0,073

(Conclusão)

Níveis nutricionais				
PB, %	19,85	19,97	19,87	19,97
EM, Mcal/kg	3,32	3,33	3,32	3,33
CF, %	3,28	3,28	3,28	3,28
FDN, %	10,23	10,22	10,23	10,22
FDA, %	3,98	3,98	3,98	3,98
Amido, %	38,02	37,94	38,02	37,94
Açúcar, %	3,76	3,76	3,76	3,76
Ca, %	0,900	0,900	0,900	0,900
F. Dig, %	0,361	0,361	0,361	0,361
SID Lisina, %	1,28	1,28	1,28	1,28
SID Treonina, %	0,85	0,85	0,85	0,85
SID Triptofano, %	0,26	0,26	0,26	0,26
SID Valina, %	0,86	0,86	0,86	0,86
SID Metionina + Cisteína %	0,76	0,92	0,76	0,92

Premix mineral: Sulfato de cobre, sulfato de ferro, monóxido de manganês, Selênio de sódio, sulfato de zinco, iodo de cálcio. Premix vitamínico: Vitamina A (30,00000 UI/kg), Vitamina D3 (7800,000 UI/kg), Vitamina E (200,000 UI/kg), Vitamina K3 (10,000 mg/kg), Biotina (1,000 mg/kg), Ácido fólico (9,000 mg/kg), Ácido nicotínico (120.000 mg/kg), ácido pantotênico (60.000 mg/kg), vitamina B2 (20.000 mg/kg), vitamina B1 (8.000 mg/kg), vitamina B6 (12.000 mg/kg), e vitamina B12 (100.000 mcg/kg).

Tabela 2 – Composição da dieta experimental para Fase II

(Continua)

Ingredientes	Fase II			
	T1 HMTBa	T2 HMTBa20	T3 DL-Met	T4 DL-Met20
Milho	60,218	60,218	60,218	60,218
Farelo de soja 46%	32,800	32,800	32,800	32,800
Óleo de soja	3,000	3,000	3,000	3,000
Fosfato bicálcico	1,772	1,772	1,772	1,772
Calcário	0,703	0,703	0,703	0,703
Cloreto de sódio	0,400	0,400	0,400	0,400
Premix Vitamínico	0,050	0,050	0,050	0,050
Premix Mineral	0,100	0,100	0,100	0,100
L-Lisina HCL	0,229	0,229	0,229	0,229
HMTBa OH-Met Sais de cálcio 84% Metionina	0,104	0,259	0,000	0,000
DL-Metionina Rhodimet® NP99	0,000	0,000	0,088	0,219
L-Treonina	0,097	0,097	0,097	0,097
L-Triptofano	0,024	0,024	0,024	0,024
Ácido graxo	0,100	0,100	0,100	0,100
Adsorvente de micotoxina, 2 kg/ton	0,200	0,200	0,200	0,200
Palatabilizante, 150g/ton	0,015	0,015	0,015	0,015
Selênio orgânico, 0.1% Se (300 gr/ton)	0,030	0,030	0,030	0,030
Inerte (amido)	0,160	0,005	0,176	0,045

(Conclusão)

Níveis Nutricionais				
PB, %	19,47	19,54	19,48	19,56
EM, Mcal/kg	3,30	3,10	3,30	3,30
CF, %	3,30	3,30	3,30	3,30
FDN, %	10,34	10,33	10,34	10,33
FDA, %	4,01	4,00	4,01	4,00
Amido, %	38,71	38,64	38,71	38,64
Açúcar, %	3,78	3,78	3,78	3,78
Ca, %	0,850	0,850	0,850	0,850
F. Dig, %	0,331	0,330	0,331	0,330
SID Lisina, %	1,08	1,08	1,08	1,08
SID Treonina, %	0,72	0,72	0,72	0,72
SID Triptofano, %	0,21	0,21	0,21	0,21
SID Valina, %	0,82	0,81	0,82	0,81
SID Metionina + Cisteína %	0,66	0,79	0,66	0,79

Premix mineral: Sulfato de cobre, sulfato de ferro, monóxido de manganês, Selênio de sódio, sulfato de zinco, iodo de cálcio. Premix vitamínico: Vitamina A (30,00000 UI/kg), Vitamina D3 (7800,000 UI/kg), Vitamina E (200,000 UI/kg), Vitamina K3 (10,000 mg/kg), Biotina (1,000 mg/kg), Ácido fólico (9,000 mg/kg), Ácido nicotínico (120.000 mg/kg), ácido pantotênico (60.000 mg/kg), vitamina B2 (20.000 mg/kg), vitamina B1 (8.000 mg/kg), vitamina B6 (12.000 mg/kg), e vitamina B12 (100.000 mcg/kg).

Tabela 3 – Composição da dieta experimental para **Fase III**

(Continua)

Ingredientes	Fase III			
	T1 HMTBa	T2 HMTBa20	T3 DL-Met	T4 DL-Met20
Milho	65,593	65,593	65,593	65,593
Farelo de soja 46%	29,000	29,000	29,000	29,000
Óleo de soja	2,000	2,000	2,000	2,000
Fosfato bicálcico	1,419	1,419	1,419	1,419
Calcário	0,716	0,716	0,716	0,716
Cloreto de sódio	0,400	0,400	0,400	0,400
Premix Vitamínico	0,050	0,050	0,050	0,050
Premix Mineral	0,100	0,100	0,100	0,100
L-Lisina HCL	0,128	0,128	0,128	0,128
HMTBa OH-Met Sais de cálcio 84% Metionina	0,033	0,169	0,000	0,000
DL-Metionina Rhodimet® NP99	0,000	0,000	0,028	0,143
L-Treonina	0,040	0,040	0,040	0,040
L-Triptofano	0,015	0,015	0,015	0,015
Ácido graxo	0,100	0,100	0,100	0,100
Adsorvente de micotoxina, 2 kg/ton	0,200	0,200	0,200	0,200
Palatabilizante, 150g/ton	0,015	0,015	0,015	0,015
Selênio orgânico, 0.1% Se (300 gr/ton)	0,030	0,030	0,030	0,030
Inerte (amido)	0,160	0,024	0,165	0,051
Níveis Nutricionais				
PB, %	18,08	18,14	18,09	18,16

(Conclusão)

Níveis Nutricionais				
EM, Mcal/kg	3,27	3,27	3,27	3,27
CF, %	3,19	3,19	3,19	3,19
FDN, %	10,42	10,41	10,42	10,41
FDA, %	3,86	3,86	3,86	3,86
Amido, %	42,15	42,09	42,15	42,09
Açúcar, %	3,54	3,54	3,54	3,54
Ca, %	0,750	0,750	0,750	0,750
F. Dig, %	0,281	0,281	0,281	0,281
SID Lisina, %	0,92	0,92	0,92	0,92
SID Treonina, %	0,63	0,63	0,63	0,63
SID Triptofano, %	0,19	0,19	0,19	0,19
SID Valina, %	0,76	0,76	0,76	0,76
SID Metionina + Cisteína %	0,57	0,69	0,57	0,69

Premix mineral: Sulfato de cobre, sulfato de ferro, monóxido de manganês, Selênio de sódio, sulfato de zinco, iodo de cálcio. Premix vitamínico: Vitamina A (30,00000 UI/kg), Vitamina D3 (7800,000 UI/kg), Vitamina E (200,000 UI/kg), Vitamina K3 (10,000 mg/kg), Biotina (1,000 mg/kg), Ácido fólico (9,000 mg/kg), Ácido nicotínico (120.000 mg/kg), ácido pantotênico (60.000 mg/kg), vitamina B2 (20.000 mg/kg), vitamina B1 (8.000 mg/kg), vitamina B6 (12.000 mg/kg), e vitamina B12 (100.000 mcg/kg).

Tabela 4 – Composição da dieta experimental para **Fase IV**

(Continua)

Ingredientes	Fase IV			
	T1 HMTBa	T2 HMTBa20	T3 DL-Met	T4 DL-Met20
Milho	71,508	71,508	71,508	71,508
Farelo de soja 46%	24,000	24,000	24,000	24,000
Óleo de soja	1,200	1,200	1,200	1,200
Fosfato bicálcico	1,289	1,289	1,289	1,289
Calcário	0,652	0,652	0,652	0,652
Cloreto de sódio	0,400	0,400	0,400	0,400
Premix Vitamínico	0,050	0,050	0,050	0,050
Premix Mineral	0,100	0,100	0,100	0,100
L-Lisina HCL	0,188	0,188	0,188	0,188
HMTBa OH-Met Sais de cálcio 84% Metionina	0,040	0,174	0,000	0,000
DL-Metionina Rhodimet® NP99	0,000	0,000	0,034	0,148
L-Treonina	0,056	0,056	0,056	0,056
L-Triptofano	0,022	0,022	0,022	0,022
Ácido graxo	0,100	0,100	0,100	0,100
Adsorvente de micotoxina, 2 kg/ton	0,200	0,200	0,200	0,200
Palatabilizante, 150g/ton	0,015	0,015	0,015	0,015
Selênio orgânico, 0.1% Se (300 gr/ton)	0,030	0,030	0,030	0,030
Inerte (amido)	0,150	0,016	0,156	0,042
Níveis Nutricionais				
PB, %	16,48	16,54	16,48	16,55
EM, Mcal/kg	3,24	3,24	3,24	3,24
CF, %	3,01	3,01	3,01	3,01

(Conclusão)

Níveis Nutricionais				
FDN, %	10,41	10,41	10,41	10,41
FDA, %	3,64	3,64	3,64	3,64
Amido, %	45,94	45,88	45,94	45,88
Açúcar, %	3,22	3,21	3,22	3,21
Ca, %	0,680	0,680	0,680	0,680
F. Dig, %	0,261	0,261	0,261	0,261
SID Lisina, %	0,86	0,86	0,86	0,86
SID Treonina, %	0,58	0,58	0,58	0,58
SID Triptofano, %	0,17	0,17	0,17	0,17
SID Valina, %	0,69	0,69	0,69	0,69
SID Metionina + Cisteína %	0,54	0,65	0,54	0,65

Premix mineral: Sulfato de cobre, sulfato de ferro, monóxido de manganês, Selênio de sódio, sulfato de zinco, iodo de cálcio. Premix vitamínico: Vitamina A (30,00000 UI/kg), Vitamina D3 (7800,000 UI/kg), Vitamina E (200,000 UI/kg), Vitamina K3 (10,000 mg/kg), Biotina (1,000 mg/kg), Ácido fólico (9,000 mg/kg), Ácido nicotínico (120.000 mg/kg), ácido pantotênico (60.000 mg/kg), vitamina B2 (20.000 mg/kg), vitamina B1 (8.000 mg/kg), vitamina B6 (12.000 mg/kg), e vitamina B12 (100.000 mcg/kg).

3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram avaliados quanto à presença de outliers, sendo removidos os valores que ultrapassaram dois desvios-padrão, para cima e para baixo, pelo método 2SD. Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o procedimento PROC MIXED (SAS Inst., Inc, Cary, NC; versão 9.2). O modelo integrou como efeitos fixos as fontes e níveis de metionina e as interações entre eles e o efeito aleatório dos blocos. Valor $P < 0,05$ foi considerando diferença significativa, enquanto valores $0,05 \geq P \leq 0,10$ foram considerados tendência.

4. RESULTADOS

Durante o período experimental as temperaturas máxima, mínima e média foram de 37,8°C, 20,1°C e $27,0 \pm 2,07^\circ\text{C}$, respectivamente. Já a umidade relativa máxima, mínima e média foi de 99,4%, 19,5% e $76,3 \pm 12,6\%$, respectivamente. Durante o período experimental os suínos foram submetidos a temperaturas acima da crítica máxima ($>25^\circ\text{C}$) durante 62,6% do tempo e acima da crítica máxima limitante ($>30^\circ\text{C}$) 23,4% do tempo. Ficando apenas 14% do tempo sob condições climáticas dentro dos limites da zona termoneutra para esta categoria ($18 - 25^\circ\text{C}$).

4.1 Efeito das fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o desempenho de suínos

Durante a fase I, os níveis de suplementação influenciaram ($P < 0,01$) as variáveis de desempenho para níveis de suplementação. Animais suplementados em 100%, apresentaram

menor CRT (31,64 vs. 37,86 kg) e melhor CA (1,59 vs. 2,13), melhor GMD (1,070 vs. 0,949 kg) e consequentemente maior GPT (20,34 vs. 18,04 kg).

Tabela 5: Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho em suínos durante a fase I (70 a 90 dias de idade)

Tratamentos		Pinicial, kg	PF, kg	CA	CRT, kg	GPT, kg	GMD, kg
Met	OH	33,27	52,58	1,893	35,14	19,31	1,016
	DL	33,40	52,47	1,835	34,37	19,07	1,004
Níveis	100	33,31	53,65	1,590b	31,64b	20,34a	1,070a
	120	33,36	51,40	2,138a	37,86a	18,04b	0,949b
CV, %		12,89	10,12	23,88	16,72	13,43	13,43
Pvalor	Met	0,9241	0,9484	0,6803	0,6772	0,7701	0,7701
	Níveis	0,9688	0,1890	0,0004	0,0017	0,0077	0,0077
	FxN	0,5700	0,9155	0,2980	0,4050	0,4664	0,4664

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). FxN: (Fontes; Níveis). Variáveis: Peso inicial; peso final, conversão alimentar, consumo ração total, ganho de peso total, ganho médio diário. CV: Coeficiente de variação. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

Na fase II, não foi observado efeito das fontes e níveis de suplementação, no entanto houve efeito de interação ($p < 0,05$). A DL-Met apresentou piora para GPT (24,76 vs. 22,65 kg) e GMD (1,077 vs. 0,985 kg) com níveis de suplementação em 120% em comparação ao 100% ($P < 0,0170$). Enquanto que a OH não diferiu entre os níveis de suplementação ($P > 0,05$).

Tabela 6: Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho em suínos durante a fase II (91 a 113 dias de idade)

Tratamentos		PF, kg	CA	CRT, kg	GPT, kg	GMD, kg
Met	OH	77,16	2,054	50,02	24,58	1,069
	DL	76,18	2,237	52,47	23,71	1,031
Níveis	100	78,00	2,011b	48,73	24,35	1,059
	120	75,34	2,280a	53,76	23,94	1,041
CV, %		7,54	23,39	21,99	7,83	7,83
Pvalor	Met	0,5927	0,2577	0,4958	0,1507	0,1507
	Níveis	0,1550	0,0988	0,1670	0,4994	0,4994
	FxN	0,3091	0,2155	0,7081	0,0071	0,0071

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). FxN: (Fontes; Níveis). Variáveis: Peso inicial; peso final, conversão alimentar, consumo ração total, ganho de peso total, ganho médio diário. CV: Coeficiente de variação. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

Tabela 7: Efeitos de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o desempenho geral de suínos na fase II

Níveis	GPT, kg			GMD, kg		
	Met		Pvalor	Met		Pvalor
	OH	DL		OH	DL	
100	23,93	24,76	0,3328	1,041	1,077	0,3328
120	25,23	22,65	0,0042	1,097	0,985	0,0042
Pvalor	0,1329	0,0170		0,1329	0,0170	

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). Variáveis: ganho de peso total, ganho médio diário. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

Na fase III, observou-se diferença significativa das fontes de metionina sobre o ganho de peso e ganho de peso médio diário ($P < 0,01$), sendo que os animais suplementados com OH-Met apresentaram maior GPT (15,79 vs. 14,35 kg) e GMD (1,053 vs. 0,957 kg) em comparação aos suplementados com DL-Met. Esse efeito também foi observado para os níveis de suplementação ($P < 0,05$) sobre as mesmas variáveis, onde animais suplementados em 100% obtiveram maior GPT (15,61 vs. 14,53 kg) e GMD (1,041 vs. 0,967 kg) em comparação a suplementação em 120%. Para CA, foi observado tendência de diferença entre as fontes de metionina ($P = 0,0546$) e os níveis de suplementação ($P = 0,0864$), com valores superiores para OH-Met e para 100% de exigência, respectivamente. Os níveis também tenderam influenciar o ganho de peso final ($P = 0,0743$), onde a suplementação em 100% foi superior ao de 120% (93,61 vs. 89,87 kg). Não foi observado efeito de interação para nenhuma das variáveis de desempenho.

Tabela 8: Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho em suínos durante a fase III (114 a 128 dias de idade)

Tratamentos		PF, kg	CA	CRT, kg	GPT, kg	GMD, kg
Met	OH	92,96	2,406b	37,82	15,79a	1,053a
	DL	90,53	2,731a	38,88	14,35b	0,957b
Níveis	100	93,61a	2,424b	37,82	15,61a	1,041a
	120	89,87b	2,713a	28,88	14,53b	0,967b
CV, %		7,00	20,16	20,91	10,77	10,77
Pvalor	Met	0,2404	0,0546	0,6777	0,0080	0,0080
	Níveis	0,0743	0,0864	0,6777	0,0423	0,0423
	FxN	0,2609	0,1858	0,4830	0,4022	0,4022

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). FxN: (Fontes; Níveis). Variáveis: Peso inicial; peso final, conversão alimentar, consumo ração total, ganho de peso total, ganho médio diário. CV: Coeficiente de variação. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

Na fase IV, houve efeito significativo das fontes de metionina sobre o PF ($P = 0,0459$), GPT ($P = 0,0242$) e GMD ($P = 0,0242$), onde os animais suplementados com OH-Met foram superiores em relação a DL-Met. Também foi observado efeito significativo dos níveis de suplementação sobre o PF ($P = 0,0174$), em que animais suplementados em 100% (125,7 vs. 120,1 kg) foram superiores aos de 120%. Os níveis tenderam influenciar ($P = 0,0582$) o GPT (32,06 vs. 30,26) e GMD (1,002 vs. 0,946), onde 100% demonstrou maiores valores em comparação ao 120%. Para as mesmas variáveis, notou-se uma tendência para efeito de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação para GPT e GMD ($P = 0,0859$), além de uma tendência ($P = 0,0840$) sobre o PF. Tabela 10.

Tabela 9: Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho em suínos durante a fase IV (129 a 160 dias de idade)

Tratamentos		PF, kg	CA	CRT, kg	GPT, kg	GMD, kg
Met	OH	125,2a	2,836	91,04	32,25a	1,008a
	DL	120,6b	2,932	87,61	30,08b	0,940b
Níveis	100	125,7a	2,754	88,09	32,06a	1,002a
	120	120,1b	3,013	90,57	30,26b	0,946b
CV, %		5,71	18,23	18,94	9,34	9,34
Pvalor	Met	0,0459	0,5681	0,5255	0,0242	0,0242
	Níveis	0,0174	0,1279	0,6449	0,0582	0,0582
	FxN	0,0840	0,1875	0,7094	0,0859	0,0859

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). FxN: (Fontes; Níveis). Variáveis: Peso inicial; peso final, conversão alimentar, consumo ração total, ganho de peso total, ganho médio diário. CV: Coeficiente de variação. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

Na fase IV, foram observados efeito de interação para fontes e níveis de suplementação, onde a DL-Met apresentou piora ($p < 0,05$) para GPT (31,79 vs. 28,37 kg), GMD (0,993 vs. 0,887 kg) e PF (125,3 vs. 115,9 kg) em níveis de 120% em comparação aos 100%, enquanto que OH não diferiu entre os níveis de suplementação ($p > 0,05$).

Tabela 10: Efeitos de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o desempenho geral de suínos na fase IV

Níveis	PF, kg			GPT, kg			GMD, kg		
	Met		Pvalor	Met		Pvalor	Met		Pvalor
	OH	DL		OH	DL		OH	DL	
100	126,0	125,3	0,8385	32,33	31,79	0,6806	1,010	0,993	0,6806
120	124,4	115,9	0,0100	32,16	28,37	0,0061	1,005	0,887	0,0061
Pvalor	0,6159	0,0046		0,8938	0,0124		0,8938	0,0124	

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). Variáveis: peso final, ganho de peso total, ganho médio diário. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

No período total, verificou-se efeito significativo das fontes de metionina ($P < 0,05$). Animais suplementados com OH-Met apresentaram maior GPT (91,93 vs. 87,21 kg), GMD (1,033 vs. 0,980 kg) e PF (125,2 vs. 120,6 kg) quando comparados com animais que receberam DL-Met. Em relação aos níveis de suplementação, o fornecimento em 100% foi significativo ($P < 0,05$) para GPT (92,37 vs. 86,78 kg), GMD (1,037 vs. 0,975 kg) e maior PF (125,7 vs. 120,1 kg), além de melhor CA (2,235 vs. 2,567) quando comparado ao fornecimento de 120%. Foram observados tendência para interação ($P = 0,0959$) para GPT e GMD ($P = 0,0959$) e ganho de PF ($P = 0,0840$). Tabela 12.

Tabela 11: Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho em suínos dos 70 aos 160 dias de idade.

Tratamentos		PF, kg	CA	CRT, kg	GPT, kg	GMD, kg
Met	OH	125,2a	2,342	214,0	91,93a	1,033a
	DL	120,6b	2,460	231,3	87,21b	0,980b
Níveis	100	125,7a	2,235b	206,3	92,37a	1,037a
	120	120,1b	2,567a	221,1	86,78b	0,975b
CV, %		5,71	17,84	17,15	6,54	6,54
Pvalor	Met	0,0459	0,3903	0,9531	0,0152	0,0152
	Níveis	0,0174	0,0195	0,2099	0,0047	0,0047
	FxN	0,0840	0,3669	0,7576	0,0959	0,0959

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). FxN: (Fontes; Níveis). Variáveis: Peso inicial; peso final, conversão alimentar, consumo ração total, ganho de peso total, ganho médio diário. CV: Coeficiente de variação. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

Houve efeito de interação entre fontes e níveis de suplementação no desempenho geral, onde a DL-Met apresentou piora para GPT (91,59 vs. 82, 83 kg), GMD (1,029 vs. 0,931 kg) e PF (125,3 vs. 115,9 kg) em níveis de 120% comparado ao 100% ($p < 0,05$). A fonte OH não diferiu entre os níveis de suplementação ($p > 0,05$).

Tabela 12: Efeitos de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o desempenho geral de suínos dos 70 aos 160 dias de idade

Level	PF, kg			GPT, kg			GMDt, kg		
	Met		Pvalor	Met		Pvalor	Met		Pvalor
	OH	DL		OH	DL		OH	DL	
100	126,0	125,3	0,8385	93,14	91,59	0,5566	1,046	1,029	0,5566
120	124,4	115,9	0,0100	90,72	82,83	0,0047	1,019	0,931	0,0047
Pvalor	0,6159	0,0046		0,3613	0,0019		0,3613	0,0019	

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). MxL: (Fontes; Níveis). Variáveis: peso final, ganho de peso total, ganho médio diário. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

4.2 Efeito das fontes de metionina e níveis de suplementação sobre as características de carcaça de suínos

Para efeito das fontes de metionina, não foram observados efeito significativo para peso vivo (PV), peso de carcaça fria (PCF), espessura de toucinho na primeira costela (ETPC), espessura de toucinho na última costela (ETUC), espessura de toucinho de lombo (ETlombo), profundidade do lombo (Proflombo), peso lombo (Plombo) e peso de pernil (PPER). No entanto, observou-se diferença significativa ($P = 0,0093$) para comprimento de carcaça (COMP) para os animais suplementados com OH-Met em comparação àqueles com DL-Met. Foi observada diferença significativa para níveis de suplementação, com menor ETUC ($P = 0,0176$), maior Plomb ($P = 0,0470$) e maior PPER ($P = 0,0364$) para animais suplementados dentro da exigência. Quanto a interação entre fontes de metionina e níveis, notou-se efeito significativo ($P = 0,0204$) para PPER e uma tendência ($P = 0,0805$) para PCF descrito na Tabela 15.

Tabela 13: Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de características de carcaça em suínos aos 160 dias de idade

Tratamentos		PV	PCF	COMP	MUSC	ETPC	ETUC	ETlombo	Proflombo	Plombo	PPER
Met	OH	124,6	53,58	105,6a	2,417	36,91	25,03	13,70	60,17	3,76	15,00
	DL	121,7	52,75	103,2b	2,417	37,91	21,89	13,10	60,58	3,59	14,87
Níveis	100	125,5a	54,17a	105,1	2,375	35,43	20,77b	12,96	61,33	3,828a	15,26
	120	120,8b	52,17b	103,7	2,458	39,38	26,15 ^a	13,84	59,42	3,523b	14,61
CV		4,69	4,59	1,97	19,07	23,94	21,72	21,55	9,23	9,58	4,61
Pvalor	Met	0,2436	0,4126	0,0093	0,9999	0,7871	0,1472	0,6139	0,8566	0,2447	0,6446
	Níveis	0,0618	0,0583	0,1069	0,6627	0,2930	0,0176	0,4628	0,4096	0,0470	0,0364
	FxN	0,4460	0,0805	0,4950	0,6627	0,2914	0,6950	0,3278	0,1906	0,5019	0,0204

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). FxN: (Fontes; Níveis). Variáveis: Variáveis: Peso vivo, peso carcaça fria, comprimento de carcaça, musculosidade, espessura de toucinho da primeira costela, espessura de toucinho da última costela, espessura de toucinho lombar, profundidade de lombo, peso de lombo, peso de pernil. CV: Coeficiente de variação. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

Para efeito de fontes de metionina, não foi observada diferença ($P > 0,05$) para peso de paleta (PPale), área de olho de lombo (AOL), rendimento de carne (RendC), rendimento de carne na carcaça (RendCC), quantidade de carne na carcaça (QCC), porcentagem de carne magra na carcaça (PORCCMC), e perda por gotejamento (DriplossP1, DLpf, Dperdas). Entretanto, houve uma tendência ($P = 0,0947$) sobre quantidade carne magra na carcaça (QCMC), com a OH-Met sendo superior a DL-Met (26,14 vs. 24,23). Em relação aos níveis, quando suplementados dentro da exigência, demonstrou ser significativo ($P < 0,05$) para PPale, RendCC, QCC, QCMC e PORCCMC. Não foram observados efeito significativo para interação entre as fontes e níveis para nenhuma das variáveis analisadas.

Tabela 14: Efeito dos tratamentos sobre as variáveis de desempenho de carcaça em suínos aos 160 dias de idade

Tratamentos		PPAle	AOL	RendC	RendCC	QCC	QCMC	PORCCMC	DriplossP1	DLpf	Dperdas
Met	OH	8,78	69,15	86,05	53,32	28,58	26,14a	48,78	49,77	46,71	3,592
	DL	8,64	64,69	86,68	51,54	27,20	24,23b	45,91	50,12	46,04	3,449
Níveis	100	9,03a	69,83	86,36	54,09a	29,27a	26,79a	49,54a	48,98	45,30	3,387
	120	8,39b	64,00	86,38	50,77b	26,51b	23,59b	45,15b	50,91	47,44	3,653
CV		5,56	13,17	3,06	5,89	7,37	10,63	9,87	11,26	11,80	46,98
Pvalor	Met	0,4767	0,2297	0,5701	0,1728	0,1174	0,0947	0,1486	0,8804	0,7689	0,8343
	Níveis	0,0039	0,1206	0,9867	0,0161	0,0036	0,0083	0,0326	0,4098	0,3495	0,6985
	FxN	0,6300	0,3367	0,1209	0,5389	0,5819	0,8819	0,3508	0,2346	0,3625	0,3901

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). FxN: (Fontes; Níveis). Variáveis: Variáveis: Peso paleta, área de olho de lombo, rendimento de carcaça, rendimento de carne magra na carcaça, quantidade de carne na carcaça, quantidade de carne magra na carcaça, porcentagem de carne magra na carcaça, perda por gotejamento (Driploss: peso inicial, peso final e média de perda). CV: Coeficiente de variação. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

Foi observada interação significativa entre fontes e níveis de suplementação de metionina para PCF. Animais suplementados com DL-Met em 100% demonstraram maior PCF em comparação aos níveis de suplementação em 120% ($P = 0,0130$). Diferente disso, animais suplementados com OH-Met não diferiram entre níveis de suplementação ($P > 0,05$). Também foi demonstrado uma interação significativa ($P = 0,0037$) para (PPER). Enquanto animais suplementados com DL-Met no nível de 120% apresentaram menor PPER em comparação a 100% ($P = 0,0037$), os animais suplementados com OH-Met não apresentaram diferenças entre níveis ($P > 0,05$).

Tabela 15: Efeito de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação sobre as características de carcaça de suínos aos 160 dias de idade

	PCF, kg			PPER,		
	Met	Pvalor		Met	Pvalor	
Níveis	OH	DL		OH	DL	
100	53,67	54,67	0,4859	14,96	15,54	0,1707
120	53,50	50,83	0,0728	15,04	14,18	0,0427
Pvalor	0,9070	0,0130		0,8422	0,0037	

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). Variáveis: peso de carcaça fria, peso de pernil. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

Tabela 16: Efeito dos tratamentos sobre pH e temperatura em suínos aos 160 dias de idade

(Continua)

Tratamentos		pH30min	pH60min	pH90min	pHPernil24h	Temp30min	Temp60min	Temp90min	Temp120min
Met	OH	5,92	5,91	5,85	5,46	32,0	30,3	28,8	21,5
	DL	6,03	5,78	5,74	5,38	32,7	30,4	29,1	20,1
Níveis	100	5,93	5,76	5,73	5,41	32,2	30,5	28,6	21,9

(Conclusão)									
	120	6,02	5,93	5,86	5,43	32,5	30,3	29,3	19,7
CV		5,70	4,97	6,05	2,04	4,56	5,56	4,80	25,76
Pvalor	Met	0,4181	0,2667	0,4594	0,1272	0,2653	0,8506	0,5351	0,5272
	Níveis	0,5124	0,1700	0,3659	0,5741	0,5418	0,7913	0,2967	0,3250
	MxL	0,2037	0,2157	0,1597	0,4589	0,8008	0,8319	0,8734	0,8598

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). FxN: (Fontes; Níveis). Temp.: (temperatura) P < 0,05 foi considerado significativo, enquanto P > 0,05 e < 0,10 foi considerado tendência.

4.3 Efeito das fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o status redox de suínos

Para as fontes de metionina, foi observada uma tendência (P = 0,0876) para glutathione-S-transferase (GST), onde animais suplementados com OH-Met apresentaram menor concentração em comparação aos animais que receberam à DL-Met. Em relação aos níveis de suplementação, foi observado efeito significativo sobre GST e Vitamina E (P < 0,01) com os níveis de 100% apresentando maior concentração em relação a 120%.

Tabela 17: Efeito dos tratamentos sobre a concentração plasmática de antioxidantes em suínos em crescimento

Tratamentos		GSH	GST	LPO	SOD	ROS	GPx	VitE
Met	OH	91,26	18,21b	10,82	17,45	0,660	378	69,81
	DL	94,86	19,17a	9,89	16,35	0,694	386	71,67
Níveis	100	90,69	19,75	9,64	16,98	0,741	386	78,75
	120	95,43	17,63	11,07	16,82	0,614	378	62,74
CV		16,74	12,59	46,85	22,22	94,65	16,49	34,08
Pvalor	Met	0,3309	0,0876	0,4183	0,2201	0,8226	0,5876	0,7437
	Níveis	0,2013	0,0003	0,2145	0,8599	0,4038	0,5731	0,0063
	FxN	0,8073	0,0652	0,0700	0,2077	0,3296	0,2897	0,1811

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). FxN: (Fontes; Níveis). Variáveis: Glutathione-S-transferase, lipoperoxidação lipídica, superóxido dismutase, espécies reativas de oxigênio, glutathione peroxidase, vitamina E. P < 0,05 foi considerado significativo, enquanto P > 0,05 e < 0,10 foi considerado tendência.

Foram observados efeito de interação entre fontes e níveis de suplementação, onde DL-Met apresentou maior valor para GST (p < 0,0001) em 100% em comparação a 120% (20,75 vs. 17,59). A fonte OH não demonstrou diferença entre os níveis de suplementação (p > 0,05). Também foram observados efeito de interação para LPO, onde OH apresentou maior valor (p < 0,05) em 100% em comparação a 120% (9,05 vs. 12,59). A DL-Met não demonstrou diferença entre os níveis de suplementação (p > 0,05).

Tabela 18: Efeito de interação entre fontes de metionina e níveis de suplementação sobre o status redox de suínos em crescimento

Level	GST			LPO		
	Met		Pvalor	Met		Pvalor
	OH	DL		OH	DL	
100	18,75	20,75	0,0130	9,05	10,23	0,4704
120	17,67	17,59	0,9210	12,59	9,56	0,0647
Pvalor	0,1742	0,0001		0,0321	0,6789	

Met: Metionina (OH: HMTBa-Ca; DL-Metionina). Níveis: (100%; 120%). Variáveis: Glutathione-S-transferase, lipoperoxidação lipídica. $P < 0,05$ foi considerado significativo, enquanto $P > 0,05$ e $< 0,10$ foi considerado tendência.

5. DISCUSSÃO

5.1 Efeitos das fontes de metionina

Fontes de metionina são amplamente utilizadas na nutrição de suínos para suprir as necessidades dietéticas desse aminoácido essencial, importante para crescimento e manutenção do metabolismo proteico. No presente estudo, verificou-se que o uso do Sal de cálcio do ácido 2-hidroxi-4-(metiltio) butanoico (HMTBa-Ca) proporcionou melhor desempenho de suínos em fase de crescimento/terminação em clima tropical. Esse efeito foi demonstrado pelo maior GPD, GPT e PF durante o período experimental. Esses achados evidenciam maior eficiência na utilização dessa fonte alternativa de metionina em comparação com a DL-Metionina (DL-Met). Nosso estudo também demonstrou uma tendência para melhor conversão alimentar com o uso dessa fonte. Maynard et al. (2023) avaliando o uso de HMTBa para frangos de corte observaram um menor consumo de ração, melhor conversão alimentar e tendência de melhora para ganho de peso em comparação ao uso da DL-Met. Já Fang et al. (2014), notaram melhora no ganho de peso de leitões ao administrar o HMTBa para porcas. De forma contrária, Remole et al. (2024), avaliando fontes de metionina em dietas para suínos em terminação sobre desempenho de crescimento, verificaram que, considerando a mesma quantidade de metionina biodisponível, ou seja, 65% de bioeficácia para HMTBa, tanto a DL-Met quanto seu análogo sustentam a mesma capacidade de resposta para GMD, GPT e PF dos animais. No entanto, embora isso também tenha sido observado em outro estudo (Opepaju et al., 2012), é importante considerar que, (Remole et al., 2024) avaliaram os suínos em um período entre 56 a 104 dias de idade sob condições climáticas de termo neutralidade, enquanto em nosso estudo os animais foram submetidos ao teste dos 70 aos 160 dias em condições de verão, sendo observado efeito significativo entre as fontes a partir da terceira fase, ou seja, 114 dias. Dito isso, é provável que o efeito do HMTBa esteja relacionado com o tempo de suplementação e a resposta metabólica frente ao ambiente térmico. Alinhado a isso, Lebret et al. (2018) suplementando a curto prazo com hidroximetionina não observaram efeito sobre o desempenho de crescimento de suínos dos 70 aos 105 dias de idade. O HMTBa não é imediatamente convertido e permanece parcialmente

no plasma como HMTBa, o que faz com que seu fornecimento ocorra de forma gradual aos tecidos (Maynard et al., 2023). Além disso, outra diferença considerável entre os estudos é a condição climática. Em nenhum estudo citado os animais estavam em ambiente térmico elevado. Uma possível resposta para o comportamento dessas variáveis é que a condição climática em que esses animais estavam, tenha influenciado na absorção e aproveitamento das fontes. Durante o período experimental, os suínos ficaram 86% do tempo em estresse térmico, sendo 23,4% do tempo acima da crítica máxima limitante ($> 30^{\circ}\text{C}$), permanecendo apenas 14% do tempo sob condições térmicas dentro dos limites da zona termoneutra para a categoria. Segundo Feng et al. (2024), a exposição prolongada a altas temperaturas pode afetar o trato gastrointestinal, comprometendo a eficiência de absorção de nutrientes. Todavia, os mecanismos de transporte de nutrientes são alterados em resposta a essas condições. (Tang et al., 2022) e (Habashy et al., 2017), trabalhando, respectivamente com suínos em crescimento e frangos de corte, demonstraram que expressão de transportadores é modulada sob altas temperaturas, e mesmo que os transportadores de aminoácidos neutros, como a metionina, sejam menos afetados, isso não evita a queda no desempenho, pois outras vias são priorizadas para a manutenção em detrimento da produção. Isso se dá em razão de uma competência sobre adaptação, como aumento de proteínas de choque térmico (Tang et al., 2022) e proliferação celular, sobretudo no intestino, mediada por componentes da qual a metionina se envolve diretamente (Feng et al., 2024). Assim, embora não tenha mensurado variáveis que comprovem essa teoria, podemos hipotetizar que as fontes se comportem de modo distinto nessas condições, visto que diferem nos mecanismos absorptivos. De fato, o HMTBa-Ca não depende apenas de transportador como principal meio de absorção, desse modo, energia é poupada nesse processo (Wang et al., 2019). Portanto, certamente essa fonte apresentou certa vantagem na absorção e aproveitamento, resultando em melhor desempenho, evidenciado pelas maiores taxas de crescimento dos animais que receberam a suplementação. Enquanto isso, foi demonstrado por Romanete et al. (2021) que a DL-Metionina possui afinidade pelo transportador da L-Lisina, o que pode ter induzido a limitação na síntese proteica e queda no desempenho dos suínos.

Também foram observadas respostas positivas para as características de carcaça. Observamos maior comprimento de carcaça e uma tendência de melhora sobre a quantidade de carne magra na carcaça para os animais que receberam HMTBa-Ca. Uma explicação para isso é que o comprimento da carcaça é proporcional ao desenvolvimento do animal e positivamente correlacionado com o aumento do peso (Lei et al., 2023), que por sua vez foi maior com o uso do HMTBa-Ca. Esse crescimento corporal é modulado não só por fatores como potencial genético e sexo, como o aporte adequado de nutrientes. Atrelado a isso, o fornecimento

adequado de aminoácido é fundamental, visto que tais concentrações aumentam no músculo suíno para maior deposição proteica e está positivamente correlacionada com a idade para desenvolvimento do animal (Liu et al., 2015). De forma similar, da Silva et al. (2022), observaram um impacto positivo do HMTBa nas características de carcaça em suínos criados na mesma condição. No estudo em questão, os autores observaram uma maior profundidade de lombo em animais abatidos aos 160 dias em comparação à DL-Metionina. Embora as fontes de metionina não tenham levado a diferença sobre essa variável em nosso estudo, tal achado é coerente, visto que ela é associada a deposição proteica em suínos. De forma semelhante, nossos achados evidenciaram um efeito do HMTBa-Ca sobre a deposição de tecido muscular. A efetividade do HMTBa sobre as características de carcaça e na qualidade de carne suína também foram relatados por Lebret et al. (2018) e Gongret et al. (2021). Essas repostas podem estar ligadas ao fato de que as diferenças principais entre essas fontes podem ter levado ao melhor aproveitamento do HMTBa-Ca, especialmente em ambiente térmico elevado, culminando em melhor desempenho e, conseqüentemente, resultou em melhores características de carcaça.

5.2 Efeitos dos níveis de suplementação de metionina

A comparação dos níveis de metionina (100% e 120%) em nosso estudo, indica que, quando fornecido dentro das exigências nutricionais para suínos em crescimento e terminação no verão, se torna mais eficiente. De modo geral, a suplementação dentro das exigências de metionina, permitiu um maior ganho de peso, resultando na melhora do peso corporal final, além de um menor consumo, sobretudo na primeira fase e uma melhor conversão alimentar dos suínos no geral. Apesar de ter sido demonstrado estatisticamente apenas na fase inicial, o maior consumo dos animais suplementados em níveis elevados de metionina, não resultou no melhor desempenho. Segundo os achados de da Silva et al. (2022), a suplementação da metionina conforme a exigência leva a um menor consumo de ração em comparação aos 20% excedentes para suínos em crescimento e terminação, embora os níveis elevados tenham levado em maior ganho de peso, diferente do que observamos. Os autores seguiram a recomendação das tabelas brasileiras de aves e suínos, 2017, e a melhora no desempenho com 20% a mais de metionina, ainda que abaixo do peso esperado, significa que as exigências nutricionais não foram atendidas, enquanto que no estudo atual, foram seguidas as recomendações preconizadas da linhagem utilizada. Diferente dos achados de da Silva et al. (2022), os resultados observados no estudo atual demonstraram uma piora em condições de níveis elevados. Em concordância, Edmonds e Smith (2021) testando níveis crescentes de metionina na dieta, notaram menor ganho de peso ao longo das fases, além de um peso final abaixo do desejado em suínos em fase de terminação tardia. Elevar a quantidade de aminoácido induz um intenso catabolismo, com

maior degradação de aminoácidos excedentes (Sigolo et al., 2019; Asiriwardhana et al., 2025). De acordo com Montoro et al. (2022), o fornecimento em excesso de aminoácidos para suínos aumentou as concentrações séricas de ureia. Esse efeito também foi observado por Remole et al. (2024), quando excederam as exigências preconizadas de metionina na dieta. Todavia, esse processo requer utilização de energia para sua formação (Marin-Garcia et al., 2022). Assim, é possível que parte da energia dietética tenha sido utilizada nas vias envolvidas na biossíntese de ureia, como resultado do catabolismo do excesso de metionina ingerido. Esse processo de desaminação está associado ao elevado custo energético e à produção de calor endógeno, o que contribui para o aumento do incremento calórico, e consequentemente a limitação no desempenho dos animais. Isso pode ter sido potencializado, principalmente considerando que os suínos estavam em estresse térmico na maior parte do tempo, onde a eficiência para os processos produtivos já se encontra comprometida, pois nessa condição, maior gasto energético é demandado para manutenção (Choi et al., 2024). Dito isso, podemos inferir que esses fatores tenham afetado não somente o desempenho, mas também a eficiência de utilização de aminoácidos para síntese de proteína muscular, alterando as proporções de deposição de tecido magro e de gordura. Seguindo os achados de Edmonds e Smith (2021), suínos em terminação suplementados com alta inclusão de metionina, apresentaram uma menor profundidade de lombo. De acordo com Lei et al. (2023) fêmeas depositam menos tecido adiposo e mais tardiamente que machos castrados. Em contraste, Remole et al. (2024) testando 25% a mais metionina, notaram menor tecido adiposo em fêmeas, independentemente da fonte utilizada. No entanto, o número amostral no presente trabalho foi composto por fêmeas, das quais se diferiram entre os níveis de suplementação. Isso demonstra que, a maior deposição de gordura se deu em detrimento de tecido magro quando fornecido em alta inclusão, podendo ter piorado a eficiência dos animais.

No nosso trabalho foi possível demonstrar que níveis de acordo a exigência de metionina contribuíram para uma melhor homeostase redox, resultando em melhor suporte plasmático para as demandas do sistema antioxidante, evidenciado pelas maiores concentrações plasmáticas de vitamina E e glutathione-S-transferase. De acordo com Zeitz et al. (2017) leitões saudáveis apresentam equilíbrio no sistema antioxidante, dos quais mantém as mesmas concentrações de componentes antioxidantes enzimáticos e vitamina E em relação à capacidade oxidante, e o aumento da suplementação de metionina não modifica o comportamento dessas variáveis. Entretanto, dependendo do estímulo, há desordem nesse sistema e os animais precisam se adaptar. Leitões em crescimento receberam aumento de metionina dietética em 25%, mantiveram o equilíbrio redox, no entanto, quando submetidos ao estresse induzido, não

reduziram as concentrações de malondialdeído, um marcador de peroxidação lipídica (Oladejo et al., 2024). De acordo com Berchieri-Ronchi et al. (2011), animais em estresse oxidativo apresentam redução nas concentrações plasmáticas de vitamina E. Foi demonstrado por Zhang et al. (2023), que a vitamina E atua nas membranas celulares, impedindo dano oxidativo e acúmulo de MDA circulante em leitões. Os achados de Cui et al. (2016), relataram que suínos em fase de terminação submetidos em estresse térmico demandaram maior atividade de GST no fígado em resposta a oxidação de proteínas. É provável que a diminuição dos níveis plasmáticos de GST e vitamina E seja devido à necessidade do requerimento destas a nível celular, e visto que os animais estavam na maior parte do tempo em estresse por calor, a maior suplementação de aminoácido pode ter gerado uma sobrecarga metabólica e induzido maior catabolismo, que por vez demandou maior atividade do sistema antioxidante.

5.3 Efeitos de interação das fontes de metionina e níveis de suplementação

Nosso estudo demonstrou um efeito de interação entre as fontes e os níveis de metionina para desempenho de crescimento de suínos. A suplementação com HMTBa manteve o desempenho dos animais estável, independentemente do nível de inclusão, enquanto que a DL-Met resultou em uma piora no GPT e GMD na fase dois, quando os níveis de suplementação excederam a exigência nutricional em 20%. A DL-Met também tendeu em uma piora no PF na suplementação com 20% acima da exigência, enquanto que a fonte alternativa de metionina mostrou-se estável. De acordo com Zhong et al. (2016), o aumento dos níveis de suplementação de metionina para porcas na lactação na forma de DL-Metionina levou a uma maior perda de peso, diferentemente do tratamento com HMTBa. De modo semelhante, Yuan et al. (2023) observaram um aumento nas concentrações plasmáticas de metionina aos animais que receberam HMTBa, ao contrário da DL-Met que apresentou uma redução significativa nas concentrações de metionina e da lisina quando os níveis excederam a exigência para suínos em fase de crescimento e terminação. Isso, em partes, pode estar relacionado com a diferença na natureza química e absorção das fontes de metionina. Nosso estudo demonstrou que a DL-Met piorou o desempenho dos animais quando a suplementação excedeu 20% da exigência. Esses achados podem estar associados ao fato de que a DL-Met pode reduzir a eficiência no processo de absorção de outros aminoácidos, possivelmente via saturação de transportadores. De acordo com Broer (2008) a L-lisina e a DL-metionina compartilham os sistemas de transporte $B^{0,+}$ e $b^{0,+}$ no intestino de mamíferos. Isso foi confirmado por Romanet et al. (2021), após avaliar a expressão de transportadores de metionina ao longo do trato gastrointestinal de suínos, constatou que esses sistemas são regulados positivamente pelas fontes DL-Met e L-Met. A L-

lisina é um aminoácido básico (catiônico) que utiliza como principal meio de transporte o sistema $b^{0,+}$, no entanto, o fato desse sistema possuir afinidade por aminoácido neutro, como a metionina, faz com que ocorra competição. A competição entre L-lisina e DL-metionina por esse sistema de transporte é um fator importante pois o excesso de um pode afetar a absorção e utilização do outro, o que é relevante para a formulação de dietas e suplementos. Além disso, lisina e metionina são os primeiros aminoácidos limitantes para suínos alimentados com dietas a base de milho e farelo de soja. Considerando que a dieta basal do presente estudo foi composta por esses ingredientes, isso pode ter implicado na piora de desempenho dos animais suplementados com a DL-Metionina. Em contrapartida, o HMTBa por se tratar de um ácido orgânico, se difere em sua forma de absorção, além de não competir com outros transportadores de aminoácidos, o que provavelmente fez com que o desempenho dos animais não fosse afetado, mesmo em altas concentrações. Corroborando com esta hipótese, Lebre et al. (2018) testando níveis de suplementação com HMTBa, sendo 3 a 5 vezes maiores que a exigência para suínos dos 70 a 105 kg, constataram estabilidade no peso dos animais. Um estudo realizado com porcas lactantes por Zhang et al. (2015), observaram que a suplementação de metionina como HMTBa melhorou o desempenho da leitegada, resultado atribuído à maior biodisponibilidade da metionina e à preservação das concentrações plasmáticas de lisina, que foram reduzidas com o uso de DL-Met. Além disso, por se tratar de um aminoácido limitante, o menor nível de lisina plasmática pode ter sido a razão da menor síntese de proteína do leite, o que favoreceu um cenário de piora no desempenho de leitões, quando a suplementação de metionina na forma de DL-Met excedeu as exigências nutricionais. Essa observação reforça que o equilíbrio entre aminoácidos essenciais é determinante para o metabolismo proteico e que o excesso de um aminoácido pode comprometer a absorção de outro, afetando a taxa de crescimento dos animais.

Alinhado a isso, a piora no PPER dos animais com uso da DL-Met em 120% pode ter tido implicações da biodisponibilidade inadequada de aminoácidos essenciais, possivelmente ocasionada pela saturação de transportadores em função do excesso, o que comprometeu a síntese proteica muscular. De acordo com Liu et al. (2015), uma biodisponibilidade adequada de aminoácido é necessária para a síntese e deposição proteica muscular, assegurando um bom desenvolvimento animal. Por outro lado, o fato do tratamento com HMTBa-Ca não diferir entre os níveis de suplementação sobre o peso dos animais, também pode estar relacionado com o potencial genético para deposição muscular. Mesmo o fornecimento adicional de aminoácido, não implica em ganhos extras de peso, uma vez que as exigências nutricionais já foram supridas e o platô de deposição muscular já foi atingido, de modo correspondente a idade dos suínos.

Além disso, a dieta experimental foi formulada conforme o manual da linhagem, o que assegura o atendimento das necessidades nutricionais compatíveis com o potencial de crescimento muscular dos animais. Essas observações também ajudam explicar as características de carcaça, visto que o HMTBa-Ca manteve o mesmo comportamento para peso de pernil. Corroborando com nossos resultados, Lebret et al. (2018) avaliando níveis de inclusão de HMTBa, entre três e cinco vezes acima da exigência, 14 dias antes do abate, não observaram melhorias sobre o desempenho de cortes da carcaça, a exemplo do pernil. De forma semelhante, Gondret et al. (2021) também demonstraram não ter efeito significativo sobre essa variável. Em contrapartida, ambos os estudos observaram que a suplementação excedente a exigência com HMTBa está associada a efeitos adicionais sobre a qualidade da carne, como pH, cor, e menor perda por gotejamento. Esses resultados estão em acordo com Yuan et al. (2023). No entanto, efeito sobre essas variáveis foram observados em níveis acima da dose de suplementação utilizada em nosso estudo, o que explica a falta de resposta sobre tais variáveis. Com isso, é possível que os excessos tenham sido desviados para outras vias. Quando a capacidade de utilização da metionina para síntese proteica e processos metabólicos é excedida, o aminoácido é desviado para vias de oxidação e excreção (Asiriwardhana et al., 2025). Embora no presente estudo, as concentrações plasmáticas de aminoácidos e a expressão de transportadores não tenham sido avaliadas para afirmar essa hipótese, os resultados observados no desempenho e características de carcaça estão alinhados a ela. Coletivamente isso enfatiza a necessidade de estudos com essas categorias que integrem análises de expressão gênica e metabolômica por exemplo, para melhorar o entendimento sobre a relação entre as fontes e níveis sobre o desempenho e eficiência no uso de nutrientes pelos suínos alojados em condições de clima tropical.

Aumentar o fornecimento de metionina na forma HMTBa-Ca além das necessidades metabólicas, pareceu aumentar sutilmente a peroxidação lipídica nos suínos, indicando que níveis mais elevados, pode ter induzido uma leve alteração no equilíbrio antioxidante, ainda que sem significância estatística. A peroxidação lipídica é causada pela oxidação dos lipídeos das membranas celulares, provavelmente resultante de ataque de compostos oxidantes (Zheng et al., 2024). De acordo com Oladejo et al. (2024), suínos em crescimento desafiados aumentam a concentração de malondialdeído (MDA), um biomarcador utilizado para danos resultantes de estresse oxidativo, como a peroxidação. Esses autores também relataram que o fornecimento de metionina em 25% acima da exigência na forma de HMTBa-Ca não atenuou esses efeitos. Um recente trabalho de Zhou et al. (2025) demonstraram que aumentar a suplementação de hidroximetionina causou acúmulo de homocisteína em porcas e gerou um estresse oxidativo. A glutathione-S-transferase está intimamente ligada ao processo de desintoxicação celular, por

meio da biotransformação de compostos tóxicos para sua eliminação (Aloke et al., 2024). Porém, nosso estudo demonstrou uma tendência sobre o comportamento dessa variável ser reduzida na DL-Metionina na suplementação 20% acima da exigência, provavelmente pela menor expressão da peroxidação lipídica. Quanto ao HMTBa-Ca, visto que em nível excedente de 20% da exigência não promoveu aumento no desempenho e características de carcaça, e sim uma estabilidade, é possível que tenha causado uma sobrecarga metabólica, o que tendeu a induzir um aumento na peroxidação lipídica, de modo que o sistema de desintoxicação celular não conseguiu eliminar, demonstrando ser menos eficiente na manutenção do equilíbrio redox que a DL-Metionina.

6. CONCLUSÃO

O fornecimento de HMTBa-Ca melhora o desempenho geral dos animais, e as características de carcaça, sobretudo o comprimento de carcaça. No entanto, em níveis elevados demonstrou tender ao desequilíbrio no sistema antioxidante, com maior peroxidação lipídica e redução de antioxidantes. Enquanto que a DL-Metionina em excesso, refletiu em piora no desempenho e no peso de pernil. Quanto aos níveis, houve um impacto negativo no desempenho geral e características de carcaça, onde demonstrou maior acúmulo de tecido adiposo em detrimento do tecido magro, além de alterar as concentrações plasmáticas de antioxidantes. Provavelmente influenciado pelo custo metabólico no processo de catabolismo da metionina excedente, especialmente em condições térmicas elevadas.

7. REFERÊNCIAS

- ALOKE, C. *et al.* Glutathione S-transferase: A versatile and dynamic enzyme. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 734, 19 nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2024.150774>. Acesso em: 22 out. 2025
- ASIRIWARDHANA, M. U. *et al.* The amount of dietary methionine required to maximize synthesis of transmethyated products is higher than that needed for protein synthesis in neonatal piglets. **The Journal of Nutrition**, v. 155, p. 3896-3907, nov. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2025.09.025>. Acesso em: 15 out. 2025
- BERCHIERI-RONCHI, C. B. *et al.* Oxidative stress status of highly prolific sows during gestation and lactation. **Animal**, v. 5, p. 1774-1779, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731111000772>. Acesso em: 28 set. 2025
- CUI, Y. *et al.* Chronic Heat Stress Induces Immune Response, Oxidative Stress Response, and Apoptosis of Finishing Pig Liver: A Proteomic Approach. **Molecular Sciences**, v. 17, n. 393, p. ijms17050393, 11, mai. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms17050393>. Acesso em: 1 out. 2025

Comissão de Ética / UFMG – Disponível em: <<https://www2.ufmg.br/comissaoetica>>. Acesso em: 15 fev. 2025

DA SILVA, C. A. *et al.* Increased sulphur amino acids consumption as OH-Methionine or DL-Methionine improves growth performance and carcass traits of growing-finishing pigs feed under hot conditions. **Animals**, v. 12, n. 17, p. 2159, 23 ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12172159>. Acesso em: 9 mar. 2025

EDMONDS, M. S; SMITH, J. W. *et al.* Amino acid imbalance with excess methionine in late-finishing pigs: effects on performance and carcass quality. **Translational Animal Science**, v. 5, n. txab197, 5 out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/tas/txab197>. Acesso em: 10 out. 2025

FENG, S. *et al.* Alleviating effect of methionine on intestinal mucosal injury induced by heat stress. **Journal of Thermal Biology**, v. 123, jul. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103935>. Acesso em: 28 set. 2025

GAO, R.; YUAN, *et al.* Mechanism of pyrogallol autoxidation and determination of superoxide dismutase enzyme activity. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 25, n. 3, p. 259–266, 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0302-4598\(98\)00072-5](https://doi.org/10.1016/S0302-4598(98)00072-5). Acesso em: 10 set. 2025

GONDRET, F. *et al.* Flash dietary methionine supply over growth requirements in pigs: Multifaceted effects on skeletal muscle metabolism. **Animal**, v. 15, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100268>. Acesso em: 21 out. 2025

HABIG, W. H. *et al.* Glutathione S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. **Journal of Biological Chemistry**, v. 249, n. 22, p. 7130–7139, 1974. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)42083-8](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)42083-8). Acesso em: 10 set. 2025

HABASHY, W. S. *et al.* Effect of heat stress on amino acid digestibility and transporters in meat-type chickens. **Poultry Science**, v. 96, p. 2312-2319. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps/pex027>. Acesso em: 7 out. 2025

HALLIWELL, B. *et al.* Ferrous ion oxidation in presence of xylenol orange for detection of lipid hydroperoxides in plasma. **Methods in Enzymology**, v. 300, p. 58–62, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(92\)90122-n](https://doi.org/10.1016/0003-2697(92)90122-n). Acesso em: 10 set. 2025

HISSIN, P. J.; HILF, R. A fluorometric method for determination of oxidized and reduced glutathione in tissues. **Analytical Biochemistry**, v. 74, p. 214–226, 1976. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90326-2](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90326-2). Acesso em: 5 set. 2025

HONIKEL, K. O. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. **Meat Science**, v. 49, n. 4, p. 447-457, 22 mar. 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)00034-5). Acesso em: 21 out. 2025

JIANG, Z. Y. *et al.* Ferrous ion oxidation in presence of xylenol orange for detection of lipid hydroperoxides in plasma. **Methods in Enzymology**, v. 300, p. 58–62, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)00113-5](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)00113-5). Acesso em: 28 ago. 2025

KATIYAR, R. *et al.* Effect of heat stress on pig production and its mitigation strategies: a review. **Tropical Animal Health and Production**, v. 57, n. 139, 21 mar. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11250-025-04387-7>. Acesso em: 21 out. 2025

KESTON, A. S.; BRANDT, R. The fluorometric analysis of ultramicro quantities of hydrogen peroxide. **Analytical Biochemistry**, v. 11, p. 1–5, 1965. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(65\)90034-5](https://doi.org/10.1016/0003-2697(65)90034-5). Acesso em: 30 ago. 2025

- LAWRENCE, R. A.; BURK, R. F. Glutathione peroxidase activity in selenium-deficient rat liver. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 71, n. 4, p. 952–958, 1976. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0006-291X\(76\)90747-6](https://doi.org/10.1016/0006-291X(76)90747-6). Acesso em: 27 ago. 2025
- LEBRET, B. *et al.* Improving pork quality traits by a short-term dietary hydroxy methionine supplementation at levels above growth requirements in finisher pigs. **Meat Science**, v. 145, p. 230–237, nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.040>. Acesso em: 15 out. 2025
- LEI, X. *et al.* Effects of carcass weight, sex and breed composition on meat cuts and carcass trait in finishing pigs. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 22, p. 1489–1501. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.122>. Acesso em: 1 out. 2025
- LIU, Q. *et al.* Effects of methionine restriction and methionine hydroxy analogs on intestinal inflammation and physical barrier function in mice. **Journal of Future Foods**, v. 5, p. 68–78, set. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2024.01.006>. Acesso em: 20 out. 2025
- LIU, Y. *et al.* Signaling pathways related to protein synthesis and amino acid concentration in pig skeletal muscles depend on the dietary protein level, genotype and developmental stages. **PloS ONE**, v. 10, p. e0138277, 22 set. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138277>. Acesso em: 25 out. 2025
- MARIN-GARCIA, P. J. *et al.* Urea nitrogen metabolite can contribute to implementing the ideal protein concept in monogastric animals. **Animals**, v. 12, n. 2344, 8 set. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12182344>. Acesso em: 5 out. 2025
- MAYNARD, C. W. *et al.* Peripheral and central impact of methionine source and level on growth performance, circulating methionine levels and metabolism in broiler chickens. **Animals**, v. 13, n. 1961, 12 jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani13121961>. Acesso em: 10 out. 2025
- MONTORO, J. C. *et al.* Blood and faecal biomarkers to assess dietary energy, protein and amino acid efficiency of utilization by growing and finishing pigs. **Porcine Health Management**, n. 32, 2 jul. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40813-022-00273-y>. Acesso em: 8 out. 2025
- NIERENBERG, D. W.; LESTER, D. C. Determination of vitamins A and E in serum and plasma using a simplified clarification method and high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications**, v. 345, p. 275–284, 1985. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0378-4347\(85\)80165-1](https://doi.org/10.1016/0378-4347(85)80165-1). Acesso em: 28 ago. 2025
- OLADEJO, E. O. *et al.* Effects of dietary supplementation of DL-Methionine or DL-Methionine hydroxyl analogue (MHA-Ca) on growth performance and blood and liver redox status in growing pigs. **Animals**, v. 14, n. 23, p. 3397, 25 nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani14233397>. Acesso em: 11 out. 2025
- OPAPEJU, F. O. *et al.* Bioavailability of methionine hydroxy analog-calcium salt relative to DL-methionine to support nitrogen retention and growth in starter pigs. **Animal**, v. 6, n. 11, p. 1750–1756, 27 abr. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731112000869>. Acesso em: 30 set. 2025

PEET-SCHWERING, C. M. C; BIKKER, P. Amino acid requirement of growing and finishing pigs. **Wageningen Livestock Research**, abr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18174/447319>. Acesso em: 1 out. 2023

REMOLE, H. M. *et al.* Effects of supplemental methionine sources in finishing pig diets on growth performance, carcass characteristics, cutting yields, and meat quality. **Translation Animal Science**, v. 8, n. 0, p. txae088, 27 mai. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/tas/txae088>. Acesso em: 5 out. 2025

ROMANET, S. *et al.* Dietary supplementation of DL-Methionine potentially induces sodium-dependent L-Methionine absorption in porcine jejunum ex vivo. **The Journal of Nutrition**, v. 150, n. 7, p. 1782-1789, 2 mai. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa115>. Acesso em: 18 out. 2025

ROMANET, S. *et al.* Expression of proposed methionine transporters along the gastrointestinal tract of pigs and their regulation by dietary methionine sources. **Genes e Nutrition**, v. 16, n. 14, 6 set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12263-021-00694-4>. Acesso em: 19 out. 2025

SCHERMULY, I. *et al.* Dietary methionine source alters the lipidome in the small intestinal epithelium of pigs. **Nature**, 22 mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08933-3>. Acesso em: 2 out. 2025

SIGOLO, S. *et al.* Effects of dietary surpluses of methionine and lysine on growth performance, blood serum parameters, immune responses, and carcass traits of broilers. **Journal of Applied Animal Research**, v. 47, p. 146-153, 22 fev. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09712119.2019.1583571>. Acesso em: 15 out. 2025

TOPIGS NORSVIN. **Nutritional manual** - Duroc Progeny – Disponível em: <https://www.topignorsvin.com/>. Acesso em: 1 nov. 2023

TANG, S. *et al.* Chronic heat stress induces the disorder of gut transport and immune function associated with endoplasmic reticulum stress in growing pigs. **Animal Nutrition**, v. 11, p. 228-241, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2022.08.008>. Acesso em: 6 out. 2025

WAN, M. *et al.* Methionine metabolism, functions, and application in swine. **Animal Nutrition**, v. 22, p. 375-383, set. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2025.06.001>. Acesso em: 20 out. 2025

WU, Guoyao. **Amino acids: biochemistry and nutrition**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9781003092742>. Acesso em: 2 abr. 2025.

YUAN, P. Q. *et al.* Effects of dietary methionine supplementation from different sources on growth performance and meat quality of barrows and gilts. **Animal**, v. 17, nov. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100986>. Acesso em: 16 out. 2025

ZHANG, S. *et al.* Leucine improves the growth performance, carcass traits, and lipid nutritional quality of pork in Shaziling pigs. **Meat Science**, v. 210, p. 109435, abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109435>. Acesso em: 4 set. 2025

ZEITZ, J. *et al.* Antioxidant status and expression of inflammatory genes in gut and liver of piglets fed different dietary methionine concentrations. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 101, p. 1166-1174, 8 jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jpn.12633>. Acesso em: 11 out. 2025

ZHANG, J. *et al.* Vitamin E-inhibited phoxim-induced renal oxidative stress and mitochondrial apoptosis in vivo and in vitro of piglets. **Antioxidants**, v. 12, n. 11, 14 nov. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/antiox12112000>. Acesso em: 30 set. 2025

ZHANG, X. *et al.* Differences in plasma metabolomics between sows fed dl-methionine and its hydroxy analogue reveal a strong association of milk composition and neonatal growth with maternal methionine nutrition. **British Journal of Nutrition**, v. 113, n. 4, p. 585-595, 2 fev. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0007114514004036>.

ZHENG, Y. *et al.* Emerging mechanisms of lipid peroxidation in regulated cell death and its physiological implications. **Cell Death e Disease**, v. 15, n. 859, 26 nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41419-024-07244-x>. Acesso em: 22 out. 2025

ZHONG, H. *et al.* Increased maternal consumption of methionine as its hydroxyl analog promoted neonatal intestinal growth without compromising maternal energy homeostasis. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 7, n. 46, 5 ago. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0103-y>. Acesso em: 15 out. 2025

ZHOU, R. *et al.* Increased maternal consumption of methionine as its hydroxyl analog improves placental angiogenesis and antioxidative capacity in sows. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 16, 9 mar. 2025a. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40104-025-01159-z>. Acesso em: 5 out. 2025

ZHOU, R. *et al.* Serum metabolomics analysis reveals a novel association between maternal metabolism and fetal survival in sows fed diets containing differing methionine levels and sources. **Animal Nutrition**, v. 20, p. 145-157, mar. 2025b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.07.008>. Acesso em: 5 out. 2025

ZUO, F. *et al.* Effects of diferente methionine sources on methionine metabolismo in the IPEC-J2 cells. **Wiley**, v. 2019, 16 jul. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2019/5464906>. Acesso em: 21 out. 2025

ZUO, F. *et al.* Effects on the cell Barrier function of L-Met and DL-HMTBA is related to metabolic characteristics and m6A modification. **Frontiers**, v. 9, 5 abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.836069>. Acesso em: 21 out. 2025