

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

ANA PAULA BORGES FIDELIS

**Efeitos da suplementação de leucina sobre a conversão alimentar em frangos de corte:
Uma revisão sistemática e meta-análise**

Uberlândia

2026

ANA PAULA BORGES FIDELIS

Efeitos da suplementação de leucina sobre a conversão alimentar em frangos de corte
Uma revisão sistemática e meta-análise

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
da Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Medicina Veterinária.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Serpa Vieira

Coorientador: Guilherme Franco Rocha

Uberlândia

2026

ANA PAULA BORGES FIDELIS

Efeitos da suplementação de leucina sobre a conversão alimentar em frangos de corte
Uma revisão sistemática e meta-análise

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia
da Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Medicina Veterinária.

Uberlândia, 31 de julho de 2026

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Bruno Serpa Vieira - FMVZ

Profa. Dra. Eliane Pereira Mendonça - FMVZ

Lindomar Pereira da Silva Filho - FMVZ

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter sido meu refúgio e minha força nos momentos em que pensei que não conseguiria seguir em frente. Não foi fácil chegar até aqui, e sei que, sem a Sua presença, esta conquista não teria sido possível. A Ele, toda a minha gratidão por me sustentar, renovar minhas forças e colocar pessoas em meu caminho quando eu mesma pensei que não seria capaz.

Aos meus pais, meus maiores exemplos de amor e dedicação, agradeço por cada palavra de incentivo, por cada sacrifício e por nunca deixarem de acreditar em mim, mesmo quando eu duvidei de mim mesma. Tudo o que sou hoje devo a vocês. Ao meu irmão, agradeço pelo carinho, pela presença constante e pelo apoio que me deram forças para continuar, mesmo nos dias mais difíceis.

Ao meu orientador, Professor Doutor Bruno Serpa Vieira, deixo minha profunda gratidão pelos ensinamentos compartilhados, pela confiança, pela paciência e pelas oportunidades concedidas ao longo desta caminhada. Sua orientação foi essencial para que este sonho se tornasse realidade.

Ao meu coorientador, Guilherme Franco Rocha, agradeço por toda a dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho. Além da orientação, você me apoiou, aconselhou e incentivou em cada etapa. Muito obrigada pela paciência e por toda a disponibilidade.

Por fim, agradeço aos meus amigos, em especial a Ellen, que se tornou parte da minha família ao longo desta jornada. Vocês estiveram ao meu lado nos dias mais difíceis, quando tudo parecia pesado demais para carregar sozinha, e me lembraram, por meio de gestos simples e palavras sinceras, que eu nunca estive sozinha. Sem vocês, tenho certeza de que esta caminhada teria sido muito mais difícil. A todos que, de alguma forma, fizeram parte desta trajetória, deixo a minha mais sincera gratidão.

Encerro este ciclo com o coração grato e a certeza de que Deus esteve presente em cada passo desta caminhada. Que eu possa honrar tudo o que vivi exercendo a Medicina Veterinária com ética, dedicação, compaixão e amor, levando comigo os aprendizados, os valores e a gratidão por todos que fizeram parte dessa trajetória.

“Entregue o seu caminho ao Senhor;
confie nele, e ele agirá.”

(Salmos 37:5)

RESUMO

A nutrição de precisão e o balanceamento adequado de aminoácidos essenciais na ração são fundamentais para maximizar a eficiência alimentar das linhagens de frango de corte. Dentre os aminoácidos essenciais, aqueles de cadeia ramificada, como a leucina, tem grande relevância metabólica devido ao seu papel estrutural e regulatório na síntese proteica muscular. Porém, os benefícios de sua suplementação para frangos permanecem ainda inconsistentes na literatura, especialmente quanto à conversão alimentar. Assim, o presente estudo teve como objetivo quantificar, por meio de revisão sistemática e meta-análise, o tamanho do efeito da suplementação de leucina sobre a conversão alimentar de frangos de corte. A busca por estudos foi conduzida nas bases PubMed, Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science, sendo selecionados aqueles que compararam aves suplementadas e não suplementadas com leucina, por meio de formulações isonutritivas e com descrição completa das dietas. De 2.957 estudos recuperados, 6 atenderam integralmente aos critérios de elegibilidade e foram incluídos na meta-análise, compondo um banco de dados de $k = 31$ comparações independentes e $n = 7.424$ frangos de corte. Os dados de conversão alimentar foram submetidos à meta-análise por modelo de efeitos aleatórios, utilizando a diferença média bruta entre os grupos como medida do tamanho de efeito da leucina. Heterogeneidade significativa foi explicada por metarregressão e análise de subgrupos. No geral, a suplementação de leucina não afetou significativamente a conversão alimentar dos animais ($RMD = 0,002$; $p = 0,761$), porém heterogeneidade significativa foi detectada entre os estudos ($I^2 = 60,97\%$; $p < 0,001$). A meta-regressão identificou nove moderadores significativos, que quando submetidos à análise de subgrupos evidenciaram que a suplementação de leucina melhorou a conversão alimentar em fêmeas, na fase inicial (antes dos 21 dias) e em dietas com relação leucina:lisina entre 0,91 e 1,23, em dietas com teor proteico acima de 190 g/kg. Em contrapartida, a suplementação de leucina piorou a conversão em machos, na fase de crescimento (21 a 35 dias) e quando a relação leucina:lisina excedeu 115% do valor recomendado. Concluimos, assim, que os efeitos da suplementação da leucina sobre a conversão alimentar são altamente dependentes do contexto nutricional e do sexo dos animais.

Palavras-chave: BCAA, desempenho zootécnico; eficiência produtiva; nutrição animal; produção avícola

ABSTRACT

Precision nutrition and the proper balancing of essential amino acids in feed are fundamental to maximizing the feed efficiency of modern broiler strains. Among the essential amino acids, branched-chain amino acids, particularly leucine, play an important metabolic role due to their structural and regulatory functions in skeletal muscle protein synthesis. However, the benefits of leucine supplementation in broilers remain inconsistent in the literature, particularly regarding feed conversion ratio (FCR). Therefore, this study aimed to quantify, through a systematic review and meta-analysis, the effect size of leucine supplementation on the feed conversion ratio of broiler chickens.

A systematic search was conducted in the PubMed, SciELO, ScienceDirect, Scopus, and Web of Science databases. Studies comparing broilers fed leucine-supplemented and non-supplemented isonutritive diets with complete dietary descriptions were included. Of the 2,957 studies identified, six met all eligibility criteria and were included in the meta-analysis, comprising a dataset of $k = 31$ independent comparisons and $n = 7,424$ broiler chickens.

Feed conversion ratio data were analyzed using a random-effects meta-analysis, with the raw mean difference (RMD) between treatment groups used as the effect size measure. Significant heterogeneity was further investigated through meta-regression and subgroup analyses.

Overall, leucine supplementation did not significantly affect feed conversion ratio (RMD = 0.002; $p = 0.761$). However, substantial heterogeneity was detected among studies ($I^2 = 60.97\%$; $p < 0.001$). Meta-regression identified nine significant moderators. Subgroup analyses showed that leucine supplementation improved feed conversion ratio in female broilers, during the starter phase (up to 21 days of age), in diets with a leucine-to-lysine ratio ranging from 0.91 to 1.23, and in diets containing more than 190 g/kg of crude protein. Conversely, leucine supplementation impaired feed conversion ratio in male broilers, during the grower phase (21–35 days of age), and when the dietary leucine-to-lysine ratio exceeded 115% of the recommended level.

In conclusion, the effects of leucine supplementation on feed conversion ratio are highly dependent on the nutritional context and the sex of the birds.

Keywords: animal nutrition; BCAA; poultry production; production efficiency; zootechnical performance

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Produção de frangos de corte e evolução nutricional	14
2.2	Nutrição proteica e importância dos aminoácidos essenciais em frangos de corte..	15
2.3	Aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA): metabolismo, funções e interações	16
2.4	Leucina: funções metabólicas e fisiológicas em frangos de corte.....	17
2.5	Suplementação de leucina e a conversão alimentar em frangos de corte	18
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	Revisão sistemática da literatura	19
3.2	Extração de dados e meta-análise	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1	Revisão sistemática.....	22
4.2	Meta-análise.....	23
4.3	Análise de sensibilidade	28
5	CONCLUSÃO.....	29
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial e a melhoria dos padrões de vida, especialmente em países em desenvolvimento, têm intensificado a demanda por alimentos, com destaque para fontes proteicas de origem animal (Brunetti *et al.*, 2022; Korver, 2023). Nesse contexto, a avicultura se consolidou como uma das principais atividades da área de produção animal na Medicina Veterinária, dada a sua importância econômica e sua capacidade de atender à demanda global por proteína animal.

O Brasil, em particular, ocupa posição de destaque na avicultura mundial, sendo um dos maiores produtores e o maior exportador de carne de frango do mundo, com volume exportado que atingiu cerca de 5,324 milhões de toneladas em 2025, o maior volume anual já registrado pelo setor, 0,6% acima do total exportado em 2024. Além disso, a produção nacional de carne de frango superou 15,3 milhões de toneladas em 2025, representando crescimento contínuo em relação ao ano anterior e consolidando o setor como estratégico para a segurança alimentar e nutricional interna e externa (ABPA, 2026).

Nesse cenário, a avicultura de corte assume papel estratégico, uma vez que o frango apresenta elevada eficiência produtiva, ampla aceitação pelo consumidor e relevante valor nutricional sendo uma importante fonte de proteínas e micronutrientes essenciais (Brunetti *et al.*, 2022).

Nesse contexto, a nutrição de precisão tornou-se um dos principais pilares da produção avícola, sendo necessário ajustar o perfil aminoacídico das dietas de acordo com as exigências das aves em cada fase de crescimento. Dessa forma, o conceito de proteína ideal consolidou-se como estratégia fundamental para maximizar a eficiência alimentar, reduzir desperdícios metabólicos e sustentar o elevado potencial genético das linhagens atuais (Rostagno *et al.*, 2017; Baker, 2018).

O conceito de proteína ideal baseia-se no fornecimento de aminoácidos essenciais em proporções específicas e balanceadas, estabelecidas em relação a um aminoácido de referência, geralmente a lisina, de forma a atender às exigências nutricionais das aves com precisão. Essa abordagem visa garantir que nenhum aminoácido esteja em excesso ou deficiência, otimizando a utilização dos nutrientes, melhorando a conversão alimentar e reduzindo a excreção de nitrogênio no ambiente. Assim, a aplicação da proteína ideal permite formular dietas com menor teor de proteína bruta, sem prejuízo ao desempenho produtivo, representando um avanço significativo na nutrição de precisão em frangos de corte (Baker, 2018; Rostagno *et al.*, 2017).

Entre os aminoácidos essenciais, os aminoácidos de cadeia ramificada (branched-chain amino acids – BCAA), representados pela leucina, valina e isoleucina, destacam-se por sua elevada relevância metabólica, especialmente no tecido muscular. Essa importância decorre do fato de que os BCAA são metabolizados predominantemente nos tecidos periféricos, como o músculo esquelético, e não no fígado, participando ativamente da síntese proteica, do fornecimento energético e da deposição de tecido muscular que estão diretamente relacionados ao desempenho produtivo de frangos de corte.

Dentre esses aminoácidos, a leucina tem recebido atenção crescente por atuar não apenas como substrato estrutural para a síntese de proteínas, mas também como aminoácido funcional, capaz de regular vias metabólicas associadas à síntese proteica e ao crescimento muscular. Entretanto, a leucina compartilha vias metabólicas comuns com os demais BCAA, utilizando os mesmos sistemas enzimáticos para sua degradação, o que pode intensificar o antagonismo nutricional quando fornecida em excesso. Esse efeito é particularmente relevante em dietas formuladas com elevada participação de ingredientes ricos em leucina, nas quais o desequilíbrio entre os aminoácidos de cadeia ramificada pode comprometer o desempenho produtivo e a eficiência alimentar (Liu *et al.*, 2019; Ospina-Rojas *et al.*, 2017).

Diversos estudos têm investigado os efeitos da suplementação de leucina sobre o desempenho produtivo de frangos de corte, avaliando parâmetros como ganho de peso, conversão alimentar e características de carcaça em diferentes contextos nutricionais e delineamentos experimentais (Amirdahri *et al.*, 2023; Kriseldi *et al.*, 2022; Maynard *et al.*, 2020; Ospina-Rojas *et al.*, 2017). Parte da literatura relata resultados positivos, incluindo aumento do ganho de peso corporal, melhora na deposição de tecido muscular, aumento no rendimento de carcaça e de peito, bem como redução da deposição de gordura abdominal em determinadas condições nutricionais. Esses efeitos têm sido associados ao papel funcional da leucina na regulação da síntese proteica e no crescimento muscular.

Entretanto, apesar desses achados favoráveis, os resultados permanecem inconsistentes, especialmente no que se refere à conversão alimentar, parâmetro de elevada relevância econômica na produção avícola. Diferenças nos delineamentos experimentais, nas relações entre aminoácidos de cadeia ramificada, na fase produtiva das aves e na composição nutricional das dietas dificultam a consolidação de conclusões claras sobre o real efeito da suplementação de leucina em dietas comerciais (Amirdahri *et al.*, 2023; Kriseldi *et al.*, 2022; Maynard *et al.*, 2020).

Essa variabilidade observada na literatura reforça a necessidade de avaliações integradas que considerem as interações entre os aminoácidos de cadeia ramificada, a fase

produtiva das aves e as características das dietas utilizadas, justificando a realização de estudos de síntese, como revisões sistemáticas e meta-análises, capazes de fornecer estimativas mais robustas sobre o impacto da suplementação de leucina na produção avícola.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar, por meio de uma revisão sistemática e meta-análise, os efeitos da suplementação de leucina sobre a conversão alimentar em frangos de corte, contribuindo para o esclarecimento de seu papel na nutrição avícola e para o desenvolvimento de estratégias nutricionais mais eficientes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção de frangos de corte e evolução nutricional

A expansão da avicultura de corte está diretamente associada aos avanços no melhoramento genético, no manejo e na nutrição das aves. O desenvolvimento de linhagens comerciais com elevado potencial de crescimento, maior deposição de tecido muscular e melhor eficiência de utilização dos nutrientes permitiu expressivos ganhos em desempenho zootécnico. Estes ganhos são evidenciados pela melhora da conversão alimentar e pela redução do tempo necessário para atingir o peso de abate. Esses avanços consolidaram a avicultura de corte como um dos sistemas de produção animal mais eficientes do ponto de vista biológico e econômico (Brunetti *et al.*, 2022).

Entretanto, esse elevado potencial produtivo aproximou as aves de seus limites fisiológicos, tornando as exigências nutricionais progressivamente mais elevadas e específicas. Nesse contexto, fatores como nutrição, manejo e condições ambientais passaram a exercer papel determinante na manutenção da saúde, do bem-estar animal e da eficiência produtiva, reforçando a necessidade de estratégias nutricionais cada vez mais precisas para sustentar o desempenho das linhagens de frangos de corte (Korver, 2023; National Research Council, 1994).

Recomendações clássicas, como as estabelecidas pelo National Research Council (NRC, 1994), foram fundamentais para o desenvolvimento da avicultura moderna, porém não refletem integralmente as exigências nutricionais das linhagens comerciais desenvolvidas nas décadas subsequentes. Em resposta aos avanços no melhoramento genético e às mudanças nos sistemas de produção, tabelas nutricionais publicadas a partir dos anos 2010, como as Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (Rostagno *et al.*, 2017), evidenciam a necessidade de ajustes mais precisos no fornecimento de aminoácidos essenciais, visando sustentar elevadas taxas de deposição proteica e maximizar a eficiência alimentar das aves.

Diante desse cenário, a nutrição de precisão consolidou-se como um dos principais pilares da avicultura, buscando alinhar a formulação das dietas às exigências específicas das aves em cada fase de crescimento. O desenvolvimento de estratégias nutricionais baseadas no conceito de proteína ideal e no adequado fornecimento de aminoácidos, tornou-se essencial para sustentar o desempenho produtivo, reduzir desperdícios metabólicos e garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção de frangos de corte (Korver, 2023; Rostagno *et al.*, 2017).

2.2 Nutrição proteica e importância dos aminoácidos essenciais em frangos de corte

A nutrição proteica exerce papel central no desempenho de frangos de corte, uma vez que a proteína adicionada na dieta fornece os aminoácidos necessários para a manutenção, o crescimento e a deposição de tecidos corporais. Em sistemas de produção, o atendimento das exigências nutricionais não depende apenas do teor de proteína bruta da dieta, mas, sobretudo, da disponibilidade e do balanceamento adequado dos aminoácidos essenciais, definidos como aqueles que não podem ser sintetizados pelo organismo das aves em quantidades suficientes para atender às suas demandas fisiológicas e que, portanto, devem ser obrigatoriamente fornecidos pela alimentação. O adequado suprimento desses aminoácidos é determinante para a eficiência alimentar e para o crescimento muscular dos frangos de corte (National Research Council, 1994; Rostagno *et al.*, 2017; Wu, 2013).

Os aminoácidos exercem funções metabólicas específicas, não apenas como constituintes estruturais das proteínas, mas também como reguladores de processos fisiológicos relacionados ao crescimento e ao metabolismo das aves. Deficiências de aminoácidos essenciais limitam a síntese proteica e comprometem o desempenho zootécnico, enquanto excessos podem resultar em desequilíbrios metabólicos, maior excreção de nitrogênio e redução da eficiência alimentar. Além disso, determinados aminoácidos exercem funções regulatórias, atuando como sinalizadores metabólicos capazes de influenciar vias de sinalização associadas ao crescimento muscular, o que reforça a importância do balanceamento preciso do perfil aminoacídico na nutrição de frangos de corte (Sakomura; Rostagno, 2020; Wu, 2013).

Com o avanço do melhoramento genético e o aumento da taxa de crescimento dos frangos, a importância do balanceamento fino de aminoácidos tornou-se ainda mais evidente. Pequenas variações nas proporções entre aminoácidos essenciais podem resultar em alterações significativas no desempenho produtivo, na deposição de tecido muscular e na eficiência alimentar. Desequilíbrios entre aminoácidos, especialmente aqueles metabolicamente

relacionados, comprometem a utilização dos nutrientes e limitam o potencial produtivo das aves, reforçando a necessidade de estratégias nutricionais baseadas em perfis de aminoácidos precisos (Liu *et al.*, 2019; Sakomura; Rostagno, 2020). Nesse sentido, o estudo individual e das interações entre aminoácidos essenciais específicos torna-se fundamental para compreender seus efeitos sobre o desempenho produtivo e o metabolismo de frangos de corte.

2.3 Aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA): metabolismo, funções e interações

Além de atuarem como substratos para a síntese proteica, os BCAA desempenham funções regulatórias no metabolismo das aves, influenciando vias associadas à síntese e à degradação de proteínas, ao balanço energético e ao crescimento muscular. Nesse contexto, a leucina destaca-se dentre os BCAA por seu papel como sinalizador metabólico, enquanto a valina e a isoleucina contribuem de forma mais direta para o fornecimento energético e para a manutenção do equilíbrio metabólico. Assim, o suprimento adequado e balanceado desses aminoácidos é essencial para sustentar o desempenho produtivo e a eficiência alimentar de frangos de corte (Liu *et al.*, 2019; Ospina-Rojas *et al.*, 2017).

Os BCAA compartilham vias metabólicas comuns, utilizando os mesmos sistemas enzimáticos para sua degradação, com destaque para o complexo da desidrogenase dos α -cetoácidos de cadeia ramificada (BCKD). O aumento da oferta dietética de leucina pode estimular a atividade desse complexo, intensificando a oxidação dos demais BCAA, especialmente da valina, caracterizando o antagonismo metabólico entre esses aminoácidos. Esse desequilíbrio pode comprometer o consumo de ração, o desempenho zootécnico e a eficiência alimentar quando as proporções entre leucina, valina e isoleucina não são ajustadas adequadamente (Kriseldi *et al.*, 2022; Ospina-Rojas *et al.*, 2017).

Do ponto de vista prático, o antagonismo entre os BCAA assume maior relevância nas dietas comerciais modernas, frequentemente formuladas com elevados níveis de milho, resíduos de destilaria (DDGS, do inglês *Distillers Dried Grains with Solubles*) ou outros coprodutos ricos em leucina. Nessas condições, a relação leucina:lisina pode exceder os valores recomendados, aumentando a exigência relativa de valina e isoleucina. Estudos demonstram que relações elevadas de leucina em relação à lisina podem prejudicar o ganho de peso e a conversão alimentar, enquanto ajustes adequados nas proporções de valina e isoleucina são capazes de atenuar esses efeitos negativos (Kriseldi *et al.*, 2022; Maynard *et al.*, 2022). Dessa forma, as interações metabólicas entre leucina, valina e isoleucina constituem um elemento central na nutrição proteica de frangos de corte, devendo ser

consideradas como base conceitual para a interpretação dos efeitos fisiológicos e produtivos associados à suplementação desses aminoácidos.

2.4 Leucina: funções metabólicas e fisiológicas em frangos de corte

Em frangos de corte, os efeitos da suplementação de leucina estão intimamente relacionados ao estado nutricional das aves e à composição global da dieta, especialmente ao teor de proteína bruta e ao balanceamento dos demais aminoácidos essenciais. Evidências experimentais indicam que a leucina exerce maior influência sobre a síntese proteica muscular quando fornecida em dietas com restrição proteica ou em fases de rápido crescimento, caracterizadas por elevada demanda por deposição de tecido magro. Nesses contextos, a suplementação adequada de leucina pode potencializar a eficiência de utilização dos aminoácidos dietéticos. Entretanto, respostas positivas tendem a atingir um platô, acima do qual incrementos adicionais não resultam em benefícios produtivos consistentes (Amirdahri *et al.*, 2023; Ospina-Rojas *et al.*, 2017; Wu, 2013).

Um dos principais mecanismos associados aos efeitos metabólicos da leucina envolve a ativação da via da proteína alvo mecanístico da rapamicina (mTOR, do inglês *Mechanistic Target of Rapamycin*), responsável por estimular a síntese proteica e inibir a degradação muscular. Em frangos de corte, a leucina atua como sinalizador nutricional dessa via, promovendo maior eficiência na tradução de proteínas musculares e favorecendo a deposição de tecido magro. Estudos demonstram que a disponibilidade adequada de leucina é determinante para sustentar o elevado ritmo de crescimento das linhagens modernas, sobretudo em períodos de intensa deposição proteica (Amirdahri *et al.*, 2023; Ospina-Rojas *et al.*, 2017).

Entretanto, níveis elevados de leucina na dieta podem intensificar a oxidação dos demais aminoácidos de cadeia ramificada, em razão da ativação do complexo da desidrogenase dos α -cetoácidos de cadeia ramificada (BCKD), aumentando a exigência relativa de valina e isoleucina. Esse efeito pode resultar em desequilíbrios nutricionais que comprometem parâmetros zootécnicos, sobretudo quando a suplementação de leucina não é acompanhada de ajustes proporcionais nos demais BCAA. Assim, os efeitos fisiológicos da leucina estão condicionados à relação entre os aminoácidos da dieta, e não apenas ao seu nível absoluto de inclusão (Kriseldi *et al.*, 2022; Ospina-Rojas *et al.*, 2017;).

Além dos efeitos sobre o metabolismo proteico, a suplementação de leucina pode influenciar a distribuição energética e a composição corporal das aves. Estudos conduzidos por Amirdahri *et al.* (2023) e Maynard *et al.* (2020) relataram alterações na deposição de

gordura abdominal e em características de carcaça, como rendimento de peito, embora tais respostas tenham se mostrado variáveis e dependentes da fase de crescimento, da genética das aves e do balanço entre os aminoácidos da dieta. Em alguns casos, alterações metabólicas induzidas pela suplementação de leucina não se traduziram em respostas proporcionais nos indicadores de eficiência nutricional, evidenciando a complexidade da relação entre sinalização metabólica e desempenho produtivo.

Dessa forma, embora a leucina desempenhe papel relevante na regulação do crescimento muscular e da síntese proteica em frangos de corte, seus efeitos sobre parâmetros zootécnicos e eficiência alimentar são fortemente dependentes do contexto nutricional.

2.5 Suplementação de leucina e a conversão alimentar em frangos de corte

Estudos experimentais que avaliaram a suplementação de leucina em frangos de corte, como os conduzidos por Amirdahri *et al.* (2023), Maynard *et al.* (2020) e Ospina-Rojas *et al.* (2017), diferem amplamente quanto ao delineamento experimental, aos níveis de inclusão do aminoácido e às condições nutricionais das dietas basais. Parte desses estudos foi conduzida com dietas formuladas com redução do teor de proteína bruta, enquanto outros não. Essas diferenças metodológicas influenciam diretamente a resposta produtiva das aves à suplementação de leucina, dificultando a comparação direta entre os resultados disponíveis na literatura.

A conversão alimentar, variável de elevada relevância econômica na produção avícola, apresenta comportamento particularmente inconsistente nos estudos disponíveis. Maynard *et al.* (2022) avaliaram diferentes níveis de leucina em dietas formuladas com distintas relações leucina:lisina e observaram que a elevação excessiva da concentração de leucina pode comprometer a eficiência alimentar, especialmente quando as exigências relativas de valina e isoleucina não são atendidas. De forma semelhante, Kriseldi *et al.* (2022) relataram que o desequilíbrio entre os aminoácidos de cadeia ramificada, decorrente do aumento da proporção de leucina em relação à lisina, está associado a piora na conversão alimentar. Por outro lado, o adequado ajuste do perfil aminoacídico da dieta pode mitigar esses efeitos negativos e, em situações específicas, promover melhorias pontuais na conversão alimentar.

Parte dessas divergências pode ser atribuída às diferenças nos delineamentos experimentais adotados, incluindo variações na fase de criação avaliada, na genética das aves, na composição da dieta basal e nos níveis absolutos de leucina utilizados. Adicionalmente, as relações estabelecidas entre leucina, valina, isoleucina e lisina exercem influência determinante sobre a resposta produtiva das aves, uma vez que o metabolismo desses

aminoácidos é interdependente. A ausência de um balanceamento adequado entre os aminoácidos de cadeia ramificada compromete a interpretação isolada dos efeitos da leucina, contribuindo para a heterogeneidade dos resultados observados (Maynard *et al.*, 2022; Ospina-Rojas *et al.*, 2017).

Outro aspecto relevante se refere ao foco analítico adotado em parte dos estudos, que frequentemente avaliam variáveis isoladas, como ganho de peso ou características de carcaça, sem considerar de forma integrada a conversão alimentar. Esse parâmetro, por sua vez, representa um dos indicadores mais relevantes do ponto de vista econômico na produção avícola. A ausência de avaliações simultâneas e padronizadas da eficiência alimentar limita a comparação entre os estudos e dificulta a identificação de padrões consistentes de resposta à suplementação de leucina.

Diante da heterogeneidade dos delineamentos experimentais, dos níveis de suplementação e das variáveis analisadas, os efeitos da suplementação de leucina sobre o desempenho produtivo de frangos de corte permanecem inconclusivos. Resultados divergentes relacionados à conversão alimentar dificultam o estabelecimento de recomendações nutricionais consistentes para o uso desse aminoácido em dietas comerciais. Nesse contexto, a realização de revisões sistemáticas associadas à meta-análise torna-se fundamental para integrar quantitativamente as evidências disponíveis, identificar padrões de resposta e esclarecer o real impacto da suplementação de leucina na produção avícola (Amirdahri *et al.*, 2023; Kriseldi *et al.*, 2022; Ospina-Rojas *et al.*, 2017).

3 METODOLOGIA

3.1 Revisão sistemática da literatura

A revisão sistemática foi conduzida para identificar estudos que investigaram os efeitos da suplementação de leucina sobre a conversão alimentar de frangos de corte. A pergunta de pesquisa foi estruturada segundo a estratégia PICO (Population, Intervention, Comparison and Outcome): "Em frangos de corte, a suplementação de leucina, em comparação a dietas sem suplementação, melhora a conversão alimentar?" Com base nessa estratégia, foi elaborado um algoritmo de busca utilizando descritores MeSH (Medical Subject Headings) e palavras-chave. Após testar uma série de combinações de termos de busca na base de dados PubMed, o seguinte algoritmo foi definido como o final, tendo como base a quantidade (varredura abrangente da literatura) e qualidade (alinhamento dos resultados com o objetivo desta meta-análise) dos resultados obtidos: "(chickens OR broiler OR gallus gallus)

AND (valine OR leucine OR isoleucine OR branched chain amino acids OR BCAA)”. Este algoritmo foi então aplicado, na data de referência de 31 de dezembro de 2025, nas bases de dados PubMed, Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science, usando exclusivamente o filtro automático para título-resumo-palavra-chave das bases de dados. Os resultados recuperados foram exportados para um software gerenciador de referências (Zotero), onde duplicatas foram automaticamente excluídas.

Os resultados remanescentes foram então triados individualmente por meio da leitura sequencial de seus títulos, resumos e texto completo. Em cada uma dessas etapas, foram excluídos estudos que claramente não atendiam a um ou mais dos seguintes critérios de elegibilidade: i) ensaios randomizados, publicados em periódico científico, desenvolvidos com frangos de corte das linhagens Cobb e Ross; ii) com distribuição das aves em pelo menos dois tratamentos: aves suplementadas e não suplementadas com leucina; iii) que trouxeram, no artigo ou em material suplementar, a formulação completa das dietas e sua composição nutricional; iv) que compararam tratamentos isonutritivos, com exceção somente da concentração de leucina; v) que realizaram a inclusão de leucina em substituição a algum inerte. Somente estudos que atenderam a todos esses critérios de elegibilidade foram incluídos nesta meta-análise.

3.2 Extração de dados e meta-análise

Dos estudos incluídos na meta-análise, foram extraídos resultados quantitativos (médias dos tratamentos, medidas de dispersão, número de repetições e aves por repetição) da variável conversão alimentar. Essas informações foram organizadas em uma planilha eletrônica de acordo com o tratamento ao qual pertenciam (aves suplementadas ou não suplementadas) e, ainda, separadas pelas seguintes variáveis qualitativas: i) ano de publicação do estudo (2006 a 2024); ii) linhagem dos animais (Cobb, Ross); iii) sexo dos animais (machos ou fêmeas); iv) período de suplementação (até 21 dias, até 35 dias ou acima de 35 dias de vida); v) origem/fornecedor do aminoácido (Ajinomoto, CJ, Evonik ou Metex Noovistago); vi) nível de inclusão da leucina na ração (<1; 1-1,5; 1,5-2,5; >2,5 g/kg); vii) tipo de inerte utilizado (ácido glutâmico, amido ou areia); viii) sistema de criação dos animais (piso ou gaiola); ix) tipo de aviário/ambiência (pressão positiva ou pressão negativa); x) forma física da ração (farelada ou peletizada); xi) relação entre a leucina e a lisina (<85; 85-115 ou >115% da relação recomendada em Rostagno *et al.*, 2017); xii) concentração de proteína bruta da ração (<175; 175-190 ou >190 g/kg). Essas variáveis qualitativas foram assumidas como possíveis influenciadoras (moderadoras) do efeito da suplementação de aminoácidos de cadeia

ramificada sobre as variáveis quantitativas, o que foi formalmente testado durante os procedimentos de meta-análise.

A ausência de descrição de alguma dessas variáveis qualitativas não era causa de exclusão do estudo, mas resultava na criação da categoria “não descrito” para a respectiva variável. Além disso, nos casos em que diferentes sexos, períodos de suplementação e concentrações de aminoácidos foram testadas num mesmo estudo, múltiplas comparações entre aves suplementadas e não suplementadas foram extraídas.

Encerrada a etapa de extração de dados, variáveis quantitativas e qualitativas foram padronizadas em relação às unidades de medida e descrição textual de suas características. Medidas de dispersão foram transformadas em desvio padrão e, em seguida, a diferença média bruta (RMD) entre aves suplementadas e não suplementadas com aminoácidos de cadeia ramificada foi calculada. A RMD foi adotada como medida do tamanho de efeito da suplementação de leucina sobre a conversão alimentar ($RMD = [média_{suplementadas}] - [média_{não\ suplementadas}]$).

Uma média ponderada de RMD, para a variável conversão alimentar, foi calculada por meio do método do inverso da variância, que atribuiu pesos distintos à cada observação com base na precisão de suas estimativas. A significância das RMD foi determinada pelo teste Z. A heterogeneidade total (Tau^2) e metodológica (I^2) entre os estudos foi estimada por meio de um modelo de efeitos aleatórios (máxima verossimilhança restrita), cuja significância foi determinada pelo teste Q de Cochran. Em caso de heterogeneidade significativa, metarregressão foi empregada para identificar, entre as variáveis qualitativas (moderadores), aquelas que influenciaram significativamente o tamanho do efeito da suplementação de leucina. A quantidade de heterogeneidade explicada por cada moderador foi estimada por seu coeficiente de determinação (R^2). Por fim, para melhor compreender a influência dos moderadores significativos, análise de subgrupos foi realizada.

Para investigar a presença de viés de publicação no conjunto de dados e a robustez dos resultados meta-analíticos, análise de sensibilidade foi conduzida por meio da verificação visual e formal (regressão de Egger) de possíveis assimetrias nos gráficos de funil da variável conversão alimentar. Resíduos studentizados com um valor absoluto maior que 3,5 classificaram automaticamente as RMD como outliers, levando à sua exclusão do conjunto de dados. Valores absolutos entre 3 e 3,5 definiram as RMD como outliers potenciais, levando à sua exclusão temporária do conjunto de dados para verificar seu impacto real no resultado geral da meta-análise. Somente outliers potenciais que alteraram significativamente o resultado geral foram considerados outliers verdadeiros, sendo, portanto, excluídos

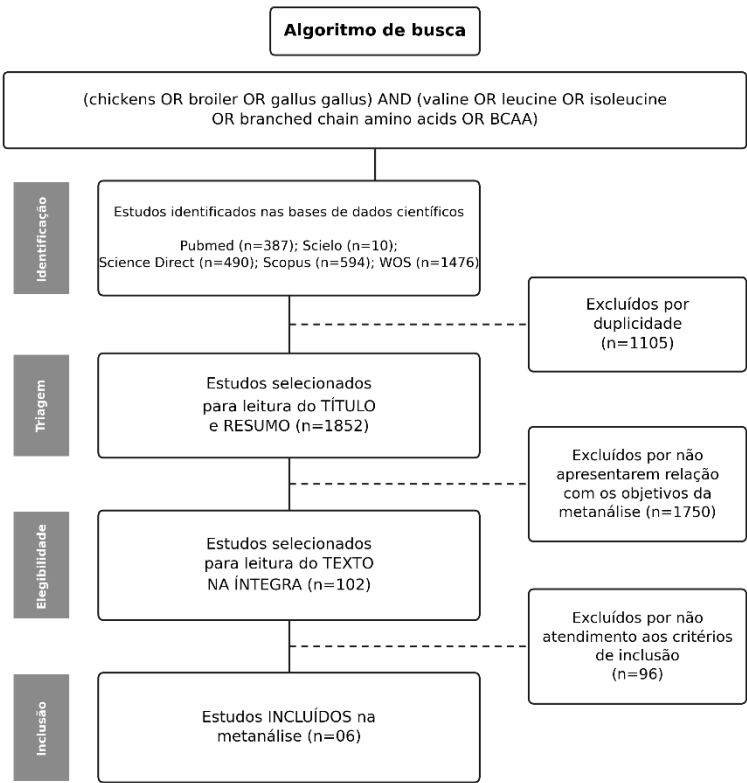
permanentemente do conjunto de dados. Em todas as etapas da análise estatística foi adotado o nível de significância de 5% ($p<0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Revisão sistemática

A busca nas bases de dados PubMed, Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science, realizada em setembro de 2025, resultou na recuperação de 2.957 estudos. Após a remoção de duplicatas e a triagem sequencial por título, resumo e texto completo, com aplicação dos critérios de elegibilidade descritos na metodologia, um total de 6 estudos primários atenderam integralmente aos critérios estabelecidos e foram incluídos nesta meta-análise (Figura 1). As principais causas de exclusão foram: ausência de formulação completa das dietas, ausência de grupo controle não suplementado com leucina, estudo não randomizado e utilização de linhagens diferentes das especificadas nos critérios de elegibilidade.

Figura 1 – Fluxograma descrevendo o processo de revisão sistemática



Os 6 estudos incluídos foram: Amirdahri *et al.* (2023a) e Amirdahri *et al.* (2023b), Kriseldi *et al.* (2022), Maynard *et al.* (2020), Maynard *et al.* (2022) e Ospina-Rojas *et al.* (2017). Em conjunto, esses estudos forneceram $k = 31$ comparações independentes entre aves suplementadas e não suplementadas com leucina, abrangendo um total de $n = 7.424$ frangos de corte. A maioria dos estudos foi conduzida com a linhagem Cobb ($k = 24$), com apenas um estudo utilizando a linhagem Ross ($k = 7$). Os experimentos abrangeram diferentes sexos, fases de criação (do período inicial até o abate) e variações no perfil aminoacídico das dietas basais, refletindo a diversidade de delineamentos experimentais típica da literatura sobre suplementação de leucina em frangos de corte. As características individuais dos estudos incluídos são apresentadas na Tabela 1.

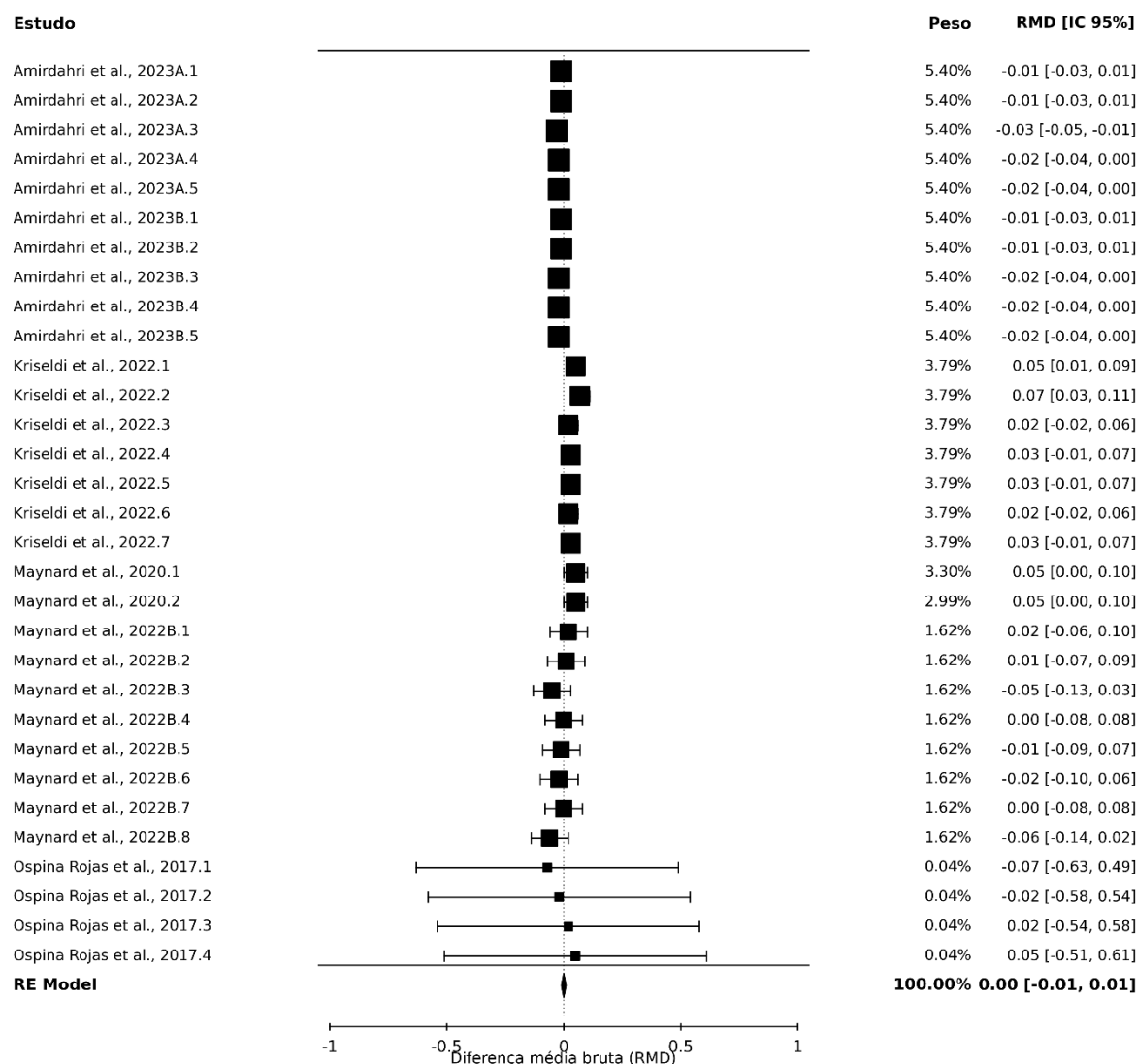
Tabela 1 – Resumo das principais características dos estudos incluídos nesta meta-análise.

Estudo	Linhagem	Sexo	Fase (dias)	Dieta basal (PB g/kg)
Ospina-Rojas et al. (2017)	Cobb	Macho	21–42	> 190
Maynard et al. (2020)	Cobb	Macho e Fêmea	1–42	175–190
Maynard et al. (2022)	Cobb	Macho e Fêmea	1–42	175–190
Kriseldi et al. (2022)	Ross	Macho	1–42	> 190
Amirdahri et al. (2023a)	Cobb	Macho e Fêmea	1–42	175–190
Amirdahri et al. (2023b)	Cobb	Fêmea	1–35	175–190

4.2 Meta-análise

No geral, a suplementação de leucina na ração não influenciou significativamente a conversão alimentar de frangos de corte ($RMD = 0,002$; $p = 0,761$; Figura 2). Entretanto, a heterogeneidade entre os estudos foi significativa ($p < 0,001$) e substancial ($I^2 = 60,97\%$; $Tau^2 = 0,0005$), indicando que o resultado geral não deve ser generalizado de forma irrestrita e que moderadores específicos podem explicar parte importante da variabilidade entre os estudos. Assim, foram realizadas meta-regressões e análises de subgrupos com caráter exploratório, visando investigar possíveis fontes dessa heterogeneidade.

Figura 2 – Meta-análise dos efeitos da suplementação de leucina na ração sobre a conversão alimentar de frangos de corte. Diferença média = 0,002 ($p = 0,761$); $\text{Tau}^2 = 0,0005$ ($p < 0,001$); $I^2 = 60,97\%$



A ausência de efeito significativo da leucina sobre a conversão alimentar como resultado global desta meta-análise está em consonância com parte da literatura disponível, que indica que os efeitos produtivos da suplementação desse aminoácido de cadeia ramificada dependem fortemente das condições nutricionais e experimentais em que é avaliado. Conforme discutido por Amirdahri *et al.* (2023) e Ospina-Rojas *et al.* (2017), a resposta das aves à leucina não é uniforme e pode variar de positiva a neutra ou negativa a depender do balanceamento dos demais aminoácidos de cadeia ramificada, do teor de proteína bruta da dieta e de outros fatores relacionados ao delineamento experimental. O resultado global desta

meta-análise reflete, portanto, essa heterogeneidade intrínseca à literatura, reforçando a necessidade de uma abordagem integrativa como a adotada neste estudo.

A meta-regressão identificou nove moderadores que influenciaram significativamente o tamanho do efeito da suplementação de leucina sobre a conversão alimentar: ano de publicação ($p = 0,019$; $R^2 = 26,13\%$), linhagem dos animais ($p < 0,001$; $R^2 = 100\%$), sexo dos animais ($p < 0,001$; $R^2 = 100\%$), período de suplementação ($p < 0,001$; $R^2 = 100\%$), suplementação conjunta com outros BCAA ($p < 0,001$; $R^2 = 100\%$), origem do aminoácido ($p < 0,001$; $R^2 = 100\%$), tipo de inerte utilizado ($p < 0,001$; $R^2 = 100\%$), relação BCAA:lisina ($p < 0,001$; $R^2 = 77,57\%$) e concentração de proteína bruta da ração ($p < 0,001$; $R^2 = 100\%$). Os moderadores não significativos foram o nível de inclusão de leucina na ração ($p = 0,262$), o tipo de aviário ($p = 0,112$) e a forma física da ração ($p = 0,268$). Os resultados completos da meta-regressão e das análises de subgrupos são apresentados na Tabela 2.

A análise de subgrupos para o sexo dos animais revelou que a suplementação de leucina piorou a conversão alimentar de machos ($RMD = 0,025$; $p < 0,001$), enquanto promoveu melhora significativa em fêmeas ($RMD = -0,015$; $p = 0,003$). Essa diferença pode estar relacionada às distintas taxas de crescimento e exigências proteicas entre sexos em frangos de corte, já que machos apresentam maior potencial de deposição muscular e, consequentemente, maior demanda por aminoácidos essenciais balanceados. Quando a suplementação de leucina não é acompanhada de ajustes proporcionais nos demais BCAA, o antagonismo metabólico tende a ser mais pronunciado em machos, comprometendo a eficiência alimentar (Kriseldi *et al.*, 2022; Maynard *et al.*, 2022). Em fêmeas, que apresentam menor taxa de crescimento muscular, o mesmo nível de suplementação pode resultar em efeito positivo sobre a conversão, pois o antagonismo com valina e isoleucina é menos intenso nesse contexto fisiológico.

Em relação ao período de suplementação, aves suplementadas antes dos 21 dias de vida apresentaram melhora na conversão alimentar ($RMD = -0,017$; $p < 0,001$), enquanto aquelas suplementadas entre 21 e 35 dias exibiram piora ($RMD = 0,038$; $p < 0,001$). Para o período acima de 35 dias, não houve efeito significativo ($RMD = -0,014$; $p = 0,117$). Esses resultados sugerem que os efeitos da leucina sobre a eficiência alimentar variam conforme a fase de crescimento das aves, o que é biologicamente plausível considerando as mudanças nas exigências aminoacídicas ao longo do desenvolvimento. Na fase inicial, a alta demanda por síntese proteica muscular pode tornar as aves mais responsivas à leucina como sinalizador da via mTOR. Na fase de crescimento, entretanto, o desequilíbrio induzido pelo excesso de

leucina em relação a valina e isoleucina pode comprometer a eficiência alimentar, conforme descrito por Ospina-Rojas *et al.* (2017).

Tabela 2 – Meta-regressão e análise de subgrupos dos efeitos da suplementação de leucina na ração sobre a conversão alimentar de frangos de corte

Moderador ¹	k	RMD (IC 95%)	p-valor	R ² (%)
Ano de publicação	31	-	0,019	26,13
2010 a 2020	6	0,049 (0,040; 0,059)	< 0,001	-
> 2020	25	-0,002 (-0,013; 0,009)	0,723	-
Linhagem	31	-	< 0,001	100
Cobb	24	-0,014 (-0,021; -0,007)	< 0,001	-
Ross	7	*** apenas um estudo ***	-	-
Sexo	31	-	< 0,001	100
Macho	20	0,025 (0,011; 0,039)	< 0,001	-
Fêmea	11	-0,015 (-0,024; -0,007)	0,003	-
Período (idade)	31	-	< 0,001	100
< 21 dias	10	-0,017 (-0,022; -0,012)	< 0,001	-
21 a 35 dias	9	0,038 (0,025; 0,051)	< 0,001	-
> 35 dias	12	-0,014 (-0,031; 0,004)	0,117	-
Outros BCAA em conjunto	31	-	< 0,001	100
Não	14	-0,017 (-0,021; -0,013)	< 0,001	-
Sim	17	0,027 (0,013; 0,042)	0,001	-
Origem do aminoácido	31	-	< 0,001	100
Metex Noovistago	10	-0,017 (-0,022; -0,012)	< 0,001	-
Não descrito	21	0,027 (0,014; 0,041)	< 0,001	-
Tipo de inerte	31	-	< 0,001	100
Ácido glutâmico	10	-0,017 (-0,022; -0,012)	< 0,001	-
Areia/caulim	19	0,023 (0,008; 0,037)	0,004	-
Não descrito	2	*** apenas um estudo ***	-	-
Relação LEU:LIS (%)	31	-	< 0,001	77,57
85 – 115%	10	-0,017 (-0,022; -0,012)	< 0,001	-
> 115%	21	0,019 (0,004; 0,034)	0,014	-
PB da ração (g/kg)	31	-	< 0,001	100
< 175	4	*** apenas um estudo ***	-	-
175 – 190	9	0,038 (0,025; 0,051)	< 0,001	-
> 190	18	-0,017 (-0,021; -0,012)	< 0,001	-
Nível de inclusão de leucina (g/kg)	31	-	0,262	2,20
Tipo de aviário	31	-	0,112	4,67
Forma física da ração	31	-	0,268	0

Apenas moderadores significativos foram submetidos à análise de subgrupos. Sistema de criação não foi avaliado pois todos os estudos foram conduzidos em piso.

Um dos moderadores de maior relevância prática identificados neste estudo foi a relação leucina:lisina. A análise de subgrupos demonstrou que, quando essa relação foi mantida entre 85 e 115% do recomendado, correspondendo a uma relação leucina:lisina entre 0,91 e 1,23, a suplementação de leucina melhorou a conversão alimentar ($\text{RMD} = -0,017$; $p < 0,001$). Em contrapartida, quando a relação excedeu 115%, a suplementação resultou em piora da conversão ($\text{RMD} = 0,019$; $p = 0,014$). Esses achados corroboram diretamente o mecanismo de antagonismo entre os aminoácidos de cadeia ramificada: o excesso de leucina na dieta estimula a atividade do complexo BCKD, intensificando a oxidação de valina e isoleucina e criando desequilíbrio nutricional que compromete a síntese proteica e, consequentemente, a eficiência alimentar (Kriseldi *et al.*, 2022; Ospina-Rojas *et al.*, 2017). Esse resultado tem implicação direta para a formulação de rações comerciais, especialmente aquelas com alta participação de milho ou DDGS, ingredientes naturalmente ricos em leucina e que podem elevar a relação BCAA:lisina além dos limites recomendados.

De forma complementar, o teor de proteína bruta da ração também se mostrou um moderador relevante. Dietas com PB entre 175 e 190 g/kg resultaram em piora na conversão alimentar com a suplementação de leucina ($\text{RMD} = 0,038$; $p < 0,001$), ao passo que dietas com PB acima de 190 g/kg resultaram em melhora ($\text{RMD} = -0,017$; $p < 0,001$). Essa interação é coerente com a literatura, que aponta que a resposta produtiva à leucina é condicionada ao estado geral do perfil aminoacídico da dieta. Em dietas com maior teor proteico, o suprimento dos demais aminoácidos essenciais, inclusive valina e isoleucina, tende a ser mais adequado, reduzindo o risco de antagonismo e favorecendo a expressão do efeito regulatório positivo da leucina sobre a síntese proteica via mTOR (Amirdahri *et al.*, 2023a; Wu, 2013). Em dietas com PB mais restrito, o aporte proteico pode ser insuficiente para compensar o desequilíbrio induzido pelo excesso de leucina, resultando em piora da conversão.

A suplementação conjunta de leucina com outros aminoácidos de cadeia ramificada (valina e/ou isoleucina) também exerceu influência significativa sobre o resultado. Quando a leucina foi suplementada isoladamente, houve melhora na conversão alimentar ($\text{RMD} = -0,017$; $p < 0,001$), enquanto a suplementação conjunta com outros BCAA resultou em piora ($\text{RMD} = 0,027$; $p = 0,001$). Esse resultado pode refletir diferenças nos contextos nutricionais em que cada abordagem foi adotada: estudos que suplementam leucina isoladamente tendem a fazê-lo em dietas já balanceadas para valina e isoleucina, enquanto aqueles que incluem múltiplos BCAA frequentemente o fazem em contextos de restrição proteica, onde o balanço entre os aminoácidos é mais complexo e os efeitos sobre a conversão alimentar podem ser negativos (Maynard *et al.*, 2020; Ospina-Rojas *et al.*, 2017).

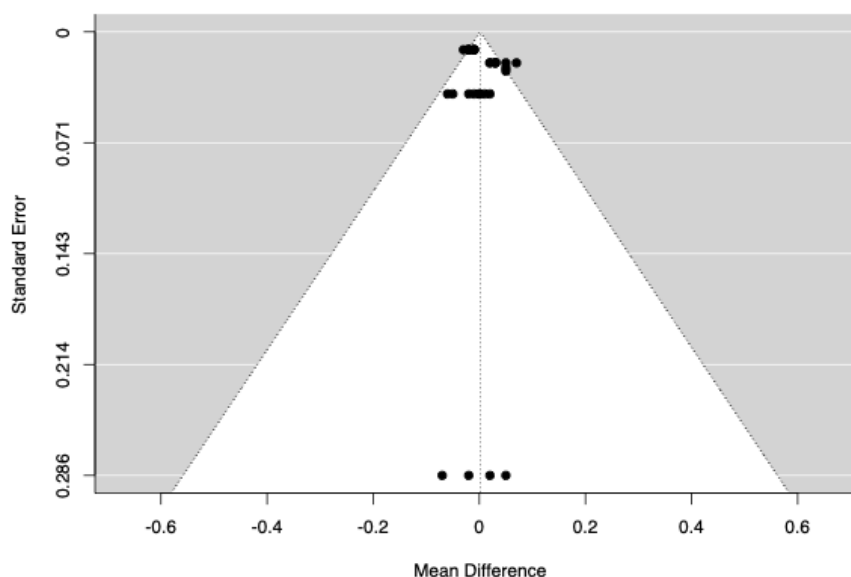
Em relação ao tipo de inerte utilizado como controle nos experimentos, estudos que utilizaram ácido glutâmico como inerte apresentaram melhora na conversão alimentar com a suplementação de leucina (RMD = -0,017; $p < 0,001$), enquanto aqueles que utilizaram areia ou caulim registraram piora (RMD = 0,023; $p = 0,004$). O ácido glutâmico, por não exercer efeito nutritivo relevante para as aves quando substituído em quantidades equivalentes, é considerado um inerte mais adequado para estudos de suplementação de aminoácidos, conferindo maior controle experimental e possivelmente contribuindo para a interpretação mais precisa do efeito isolado da leucina (Ospina-Rojas *et al.*, 2017). As diferenças observadas entre os subgrupos podem, portanto, refletir não apenas o efeito do inerte em si, mas também características distintas dos grupos de estudos que adotaram cada tipo de controle.

Quanto ao ano de publicação, os estudos mais recentes (após 2020) não apresentaram efeito significativo da leucina sobre a conversão alimentar (RMD = -0,002; $p = 0,723$), ao passo que estudos mais antigos (2010 a 2020) registraram piora expressiva (RMD = 0,049; $p < 0,001$). Essa diferença pode refletir a evolução nos padrões de formulação das dietas e no delineamento experimental ao longo dos anos, com estudos mais recentes tendendo a adotar protocolos nutricionais mais controlados e a investigar relações específicas entre os aminoácidos de cadeia ramificada, o que pode ter contribuído para resultados mais neutros da suplementação de leucina sobre a conversão alimentar.

4.3 Análise de sensibilidade

Para verificar a robustez dos resultados meta-analíticos apresentados, análises de viés de publicação foram conduzidas para a variável conversão alimentar. A regressão de Egger não identificou assimetria significativa no gráfico de funil ($p = 0,450$), indicando ausência de viés de publicação relevante nesta meta-análise. O Fail-Safe N estimado foi zero ($p = 0,436$), refletindo que o resultado geral de não significância para a conversão alimentar é robusto e não seria revertido pela inclusão de estudos adicionais não publicados com resultados diferentes. Nenhum outlier verdadeiro foi identificado para esta variável com base nos resíduos studentizados, e nenhuma exclusão permanente foi necessária, o que fortalece a representatividade do conjunto de dados utilizado. Os gráficos de funil para a variável conversão alimentar são apresentados na Figura 3.

Figura 3 – Análise gráfica e estatística da assimetria das diferenças médias para avaliar possível viés de publicação na conversão alimentar



É importante destacar que todos os estudos incluídos nesta meta-análise foram ensaios randomizados, o que confere maior robustez metodológica ao conjunto de evidências sintetizado. A exigência de formulação completa das dietas e de comparações isonutritivas como critérios de elegibilidade garantiu homogeneidade mínima entre os estudos incluídos, permitindo interpretações mais precisas sobre o efeito isolado da leucina sobre a conversão alimentar. Potenciais limitações desta meta-análise incluem o número reduzido de estudos disponíveis na literatura que atendem plenamente aos critérios de elegibilidade adotados, apenas 6 de 2.957 recuperados, a representação restrita da linhagem Ross (apenas um estudo com $k = 7$ comparações) e a ausência de descrição do tipo de inerte e da origem do aminoácido em parte dos estudos primários, criando categorias “não descrito” que limitam a interpretação de alguns subgrupos.

5 CONCLUSÃO

A suplementação de leucina na dieta de frangos de corte não afeta significativamente a conversão alimentar quando os resultados são avaliados de forma global e integrada. Entretanto, os efeitos são altamente dependentes das condições experimentais e nutricionais,

sendo fortemente moderados pela linhagem, sexo, fase de criação, relação Leucina:lisina e concentração de proteína bruta da ração.

Especificamente, a suplementação de leucina melhora a conversão alimentar quando realizada em fêmeas, na fase inicial de criação (antes dos 21 dias), com relação leucina:lisina mantida entre 0,91 e 1,23 e em dietas com maior teor proteico (acima de 190 g/kg). Em contrapartida, a suplementação tende a piorar a conversão alimentar em machos, na fase de crescimento (21 a 35 dias) e quando a relação BCAA:lisina supera 115% do recomendado, condição frequente em dietas comerciais formuladas com elevada participação de milho ou DDGS.

Esses resultados reforçam que os efeitos da leucina sobre a eficiência alimentar não podem ser avaliados de forma genérica, sendo necessário considerar o contexto nutricional da dieta, em especial o balanceamento entre os aminoácidos de cadeia ramificada. Do ponto de vista prático, produtores e nutricionistas devem atentar para a relação leucina:lisina ao formular dietas comerciais, realizando ajustes proporcionais nos níveis de valina e isoleucina quando a inclusão de leucina for elevada, a fim de evitar o antagonismo metabólico que compromete a conversão alimentar e a eficiência produtiva do rebanho.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Relatório Anual 2026**. São Paulo: ABPA, 2026
- AMIRDAHRI, S. *et al.* Effects of dietary leucine supplementation on growth performance and carcass characteristics of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 102, n. 6, e102789, 2023a.
- AMIRDAHRI, S. *et al.* Dietary leucine modulates muscle protein synthesis and intestinal functionality in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 102, n. 9, e103245, 2023b.
- BAKER, D. H. Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. **BioKyoowa Technical Review**, v. 9, p. 1–24, 2018.
- BRUNETTI, A. C. *et al.* Global poultry production and its role in food security. **Animal Frontiers**, v. 12, n. 1, p. 45–53, 2022.
- KORVER, D. R. Challenges and opportunities in poultry nutrition for sustainable production. **Animal Frontiers**, v. 13, n. 1, p. 12–20, 2023.
- KRISELDI, R. *et al.* Understanding the interactive effects of dietary leucine with isoleucine and valine in the modern commercial broiler. **Poultry Science**, v. 101, n. 10, e102110, 2022.
- LIU, Y. *et al.* Branched-chain amino acids in poultry nutrition: metabolism, functions, and interactions. **Animal Nutrition**, v. 5, n. 4, p. 479–487, 2019.
- MAYNARD, C. W. *et al.* Branched-chain amino acid interactions in low crude protein diets for broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 29, n. 3, p. 1–12, 2020.
- MAYNARD, C. W. *et al.* Practical adjustments in valine and isoleucine relative to leucine in broiler diets. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 31, n. 1, e100241, 2022.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). *Nutrient requirements of poultry*. 9. ed. Washington, D.C.: **National Academy Press**, 1994. 176 p.
- OSPINA-ROJAS, I. C. *et al.* Leucine and valine supplementation of low-protein diets for broiler chickens from 21 to 42 days of age. **Poultry Science**, v. 96, n. 4, p. 914–922, 2017.
- ROSTAGNO, H. S. *et al.* **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2017. 488 p.
- SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. **Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos**. 3. ed. Jaboticabal: Funep, 2020.
- WU, G. **Amino acids: biochemistry and nutrition**. Boca Raton: CRC Press, 2013.