

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA - FMVZ

GABRIELE JARDIM KINCHIN

**ABORDAGEM META-ANALÍTICA PARA IDENTIFICAR OS MELHORES
PROTOCOLOS PUBLICADOS PARA ENRIQUECIMENTO DE OVOS COM
ÔMEGA-3**

Uberlândia - MG

2025

GABRIELE JARDIM KINCHIN

**ABORDAGEM META-ANALÍTICA PARA IDENTIFICAR OS MELHORES
PROTOCOLOS PUBLICADOS PARA ENRIQUECIMENTO DE OVOS COM
ÔMEGA-3**

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.

Área de concentração: Nutrição e Produção
Animal

Orientador: Prof. Bruno Serpa Vieira

Uberlândia - MG

2025

GABRIELE JARDIM KINCHIN

**ABORDAGEM META-ANALÍTICA PARA IDENTIFICAR OS MELHORES
PROTOCOLOS PUBLICADOS PARA ENRIQUECIMENTO DE OVOS COM
ÔMEGA-3**

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.

Área de concentração: Nutrição e Produção
Animal

Uberlândia, 17 de abril de 2025

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Bruno Serpa Vieira – FMVZ

Prof. Dra. Belchiolina Beatriz Fonseca – FMVZ

Lindomar Pereira da Silva Filho – FMVZ

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por colocar sonhos em meu coração, me capacitar para realizá-los e me amparar por todo o percurso.

Agradeço aos meus pais, Mauro e Renata, que me ensinaram o verdadeiro valor da educação e por todo sacrifício diário para me proporcionar a oportunidade que um dia não tiveram.

Agradeço aos meus avós, Flávio e Marli, e minhas tias, Raquel e Flávia, por orarem por mim todos os dias e me ensinarem desde criança os caminhos de Deus.

Agradeço ao meu namorado, Matheus Augusto, por sonhar junto comigo, pela cumplicidade e por ser meu confidente em tudo, e aos meus sogros, Hamilton e Franciele, minha “família mineira”.

Agradeço aos amigos de infância e aos que conheci na universidade, que mesmo com a distância não deixaram de torcer e vibrar por mim.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Bruno Serpa, que me orientou não só na universidade, mas também na vida. Que confiou em mim desde o primeiro momento e que mostrou um potencial em mim que eu não sabia que existia. Obrigada por me ajudar a crescer!

Por fim, agradeço a todos os professores da FMVZ em que tive a oportunidade de cruzar o caminho e adquirir um pouco dos sábios ensinamentos.

RESUMO

Ovos enriquecidos com ômega-3 vêm ganhando relevância por serem uma fonte de fácil acesso desse ácido graxo essencial, por serem livres de restrições religiosas ou culturais ao seu consumo, por estarem presentes em inúmeras receitas e, principalmente, por terem um preço de mercado acessível. Entretanto, o impacto do protocolo de enriquecimento nas características internas e externas dos ovos ainda requer investigações mais objetivas. Assim, o objetivo deste estudo foi responder, a partir de uma revisão sistemática e meta-análise, se a suplementação da ração de poedeiras comerciais com ômega-3 modifica não somente o perfil de ácidos graxos dos ovos, mas também o peso e a produção de ovos e a conversão alimentar da ave. Foi realizada uma revisão sistemática da literatura em diversas bases de dados na data de referência de 07/12/23. Dos 1.835 artigos recuperados, 17 atenderam totalmente aos critérios de elegibilidade e foram incluídos na meta-análise. Tais estudos trouxeram uma população de 3423 galinhas, composta majoritariamente aves marrons (n=1758), com início de suplementação entre 19 e 22 semanas (n=1384), avaliadas por mais de 8 semanas (n=1891) e suplementadas com fonte mista animal e vegetal (n=944), seguida por microalga (n=794) e óleo de peixe (n=588). No geral, a suplementação alimentar com ômega-3 aumentou significativamente a concentração de ômega-3 no ovo ($p<0,001$) mas diminuiu tanto o peso do ovo ($p=0,007$) quanto a produção de ovos ($p=0,040$). A conversão alimentar das galinhas não foi afetada ($p=0,075$). A heterogeneidade entre os estudos foi significativa ($p<0,004$) para todas as variáveis, exceto o peso do ovo ($p=0,211$). A meta-regressão e a análise de subgrupos foram feitas para identificar causas significativas de heterogeneidade. A intensidade da resposta do peso e da produção de ovos quanto a suplementação foi moderada pela genética das aves e pela fonte e concentração de ômega-3 na ração. Já a concentração de ômega-3 no ovo foi moderada pela fonte e concentração de ômega-3 na ração. Conclui-se que há evidências na literatura de que alimentar galinhas com fontes de ômega-3 resulta em maior concentração de ômega-3 nos ovos, porém diminui o peso e a produção de ovos.

Palavras-chave: ácido graxo essencial, alimento enriquecido, medicina veterinária baseada em evidência, ômega-3, qualidade do ovo, semente de linhaça

ABSTRACT

Eggs enriched with omega-3 have been gaining relevance because they are an easily accessible source of this essential fatty acid, because they are free from religious or cultural restrictions on their consumption, because they are present in numerous recipes and, mainly, because they have an affordable market price. However, the impact of the enrichment protocol on the internal and external characteristics of eggs still requires more objective investigations. Thus, the objective of this study was to answer, based on a systematic review and meta-analysis, whether supplementing the diet of commercial laying hens with omega-3 modifies not only the fatty acid profile of eggs, but also the weight and production of eggs and the feed conversion of the bird. A systematic review of the literature was carried out in several databases on the reference date of 12/07/23. Of the 1,835 articles retrieved, 17 fully met the eligibility criteria and were included in the meta-analysis. These studies included a population of 3,423 hens, mostly brown birds ($n=1,758$), with supplementation starting between 19 and 22 weeks ($n=1,384$), evaluated for more than 8 weeks ($n=1,891$) and supplemented with a mixed animal and vegetable source ($n=944$), followed by microalgae ($n=794$) and fish oil ($n=588$). Overall, dietary supplementation with omega-3 significantly increased the omega-3 concentration in the egg ($p<0.001$) but decreased both egg weight ($p=0.007$) and egg production ($p=0.040$). The feed conversion of the hens was not affected ($p=0.075$). Heterogeneity between studies was significant ($p<0.004$) for all variables, except egg weight ($p=0.211$). Meta-regression and subgroup analysis were performed to identify significant causes of heterogeneity. The intensity of the response of weight and egg production to supplementation was moderated by the genetics of the hens and by the source and concentration of omega-3 in the diet. The concentration of omega-3 in the egg was moderated by the source and concentration of omega-3 in the diet. It is concluded that there is evidence in the literature that feeding hens with omega-3 sources results in higher concentration of omega-3 in the eggs, but decreases weight and egg production.

Keywords: essential fatty acid, enriched food, egg quality, evidence-based veterinary medicine, flaxseed, omega-3

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Ômega-3.....	10
2.2 Ovos enriquecidos com ômega-3.....	11
2.3 Revisão sistemática e meta-análise.....	12
3 METODOLOGIA.....	14
3.1 Revisão sistemática.....	14
3.2 Extração de dados e meta-análise.....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1 Revisão sistemática.....	17
4.2 Meta-análise.....	21
4.3 Análise de sensibilidade.....	32
5 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

O ômega-3, como um grupo essencial de ácidos graxos, deve estar presente na nutrição humana. Muitos estudos já demonstraram o papel do ômega-3 na redução do risco de doenças cardiovasculares (Elagizi *et al.*, 2021), na prevenção e tratamento de distúrbios inflamatórios (Simopoulos, 2002), na formação adequada da retina e do tecido neural durante o desenvolvimento embrionário e na primeira infância (Lauritzen *et al.*, 2016; SanGiovanni; Chew, 2005) e em diversas outras vias metabólicas (Albracht-Schulte *et al.*, 2018; Djuricic; Calder, 2021; Shahidi; Ambigaipalan, 2018). Mais do que isso, já se sabe que não apenas a ingestão de ômega-3, mas principalmente a proporção ômega-6:ômega-3 na dieta é um dos principais determinantes para a manifestação dos efeitos benéficos desses ácidos graxos na saúde humana (Simopoulos, 2002). Proporções mais baixas, próximas a 1, são atualmente as mais recomendadas, mas são raramente encontradas na dieta ocidental convencional, que geralmente é rica em ômega-6 e pobre em ácidos graxos ômega-3 (Simopoulos, 2000). Portanto, alimentos enriquecidos com ômega-3 vêm ganhando destaque no mercado americano e europeu, especialmente por meio dos ovos, um produto geralmente acessível e amplamente disponível, usado em muitas receitas e considerado livre de restrições culturais ou religiosas relevantes que limitem seu consumo.

A composição lipídica do ovo pode ser significativamente alterada pela manipulação nutricional da dieta da galinha (Lewis; Seburg; Flanagan, 2000). Os ácidos graxos da dieta, em aves, são absorvidos diretamente pelo sistema porta hepático e então liberados pelo fígado na circulação sistêmica como lipoproteínas VLDL, que são transportadas em grandes quantidades para o ovário da galinha (Alvarenga *et al.*, 2011). Com base na alta similaridade na composição de ácidos graxos entre VLDL hepático e a gema do ovo, parece que a gema do ovo não adquire lipídios de outra fonte (Burley; Sleight; Shenstone, 1984). Assim, por algum tempo, o raciocínio predominante foi que quanto maior a concentração de ômega-3 na dieta, maior a quantidade de ômega-3 que chega ao ovário para deposição da gema. No entanto, Elkin; Harvatine, (2023) reuniram informações demonstrando que, aparentemente, o tipo de ácido graxo ômega-3 absorvido afeta a taxa de síntese de VLDL pelo fígado, o que impacta a eficácia de sua translocação da ração para a gema do ovo. Isso aumenta a necessidade de mais investigações sobre o impacto do uso de diferentes fontes de ômega-3 em protocolos de enriquecimento de ovos. Atualmente, as principais fontes de ômega-3 em dietas de aves incluem organismos marinhos (peixes e microalgas) e produtos de origem vegetal, como semente de linhaça, chia,

canola e cânhamo, cada um com sua própria composição característica de ácidos graxos ômega-3.

Além disso, embora a literatura seja consistente em demonstrar o aumento da concentração de ômega-3 nos ovos após a suplementação alimentar, há resultados discrepantes quanto ao impacto dessa estratégia no desempenho produtivo das galinhas e na qualidade dos ovos (Fraeye *et al.*, 2012). Resumindo as informações da literatura em uma meta-análise, Irawan *et al.*, (2022) encontraram uma “tendência” ($p < 0,10$) de diminuição da produção de ovos após a suplementação com ômega-3. Embora ainda não haja consenso sobre os mecanismos que levam a esse efeito, especula-se que altas concentrações de ácidos graxos poli-insaturados na dieta, como ômega-3, diminuem a síntese hepática total de VLDL, o que pode reduzir não apenas o peso dos ovos, mas também afeta negativamente a foliculogênese, prejudicando assim a produção de ovos (Dong; Liu; Tong, 2018; Elkin; Harvatine, 2023). Se esse for realmente o caso, essas perdas de produção precisam ser cuidadosamente consideradas ao definir protocolos de enriquecimento de ovos.

Em vista do exposto, o objetivo deste estudo foi sumarizar as informações da literatura por meio de uma revisão sistemática e meta-análise, a fim de quantificar, com maior precisão e acurácia, o tamanho do efeito da suplementação de ômega-3 na ração sobre a concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo, produção de ovos e conversão alimentar das galinhas. Além disso, usando meta-regressão e análise de subgrupos, este estudo teve como objetivo identificar e analisar características das galinhas, sua ração e as fontes de ômega-3 que poderiam influenciar as respostas das aves aos protocolos de enriquecimento de ômega-3 nos ovos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ômega-3

O ômega-3 é um ácido graxo essencial para a homeostase do organismo humano, entretanto ele não é sintetizado pelo corpo humano, devendo estar presente na nutrição humana (Cholewski; Tomczykowa; Tomczyk, 2018). A família do Omega-3 é formada pelos ácidos α -linolênico (ALA), ácido eicosapentaenóico (EPA) e o ácido docosahexaenóico (DHA). O DHA e o EPA são amplamente estudados quanto aos benefícios que promovem a saúde humana. Há evidências de que o DHA e o EPA contribuem para o desenvolvimento do tecido nervoso, retina e cérebro em fetos e crianças, previne e controla doenças cardiovasculares, modula respostas imunes e antiinflamatórias e atua em doenças relacionadas à saúde mental, câncer e artrite reumatoide (Fraeye *et al.*, 2012; Shahidi; Ambigaipalan, 2018). É recomendado pelo Dietary Guidelines for Americans (USDA, 2020) o consumo de aproximadamente 227 g/semana de frutos do mar pela população geral, o que ofereceria em média uma ingestão diária de 250 mg de EPA e DHA. Mais do que isso, sabe-se que não só a concentração de ômega-3 na dieta é importante, mas em especial a relação ômega-6:ômega-3, sendo esse um dos principais determinantes para a manifestação dos efeitos benéficos desses ácidos graxos sobre a saúde (Simopoulos, 2002).

O complexo enzimático responsável por atuar na conversão de ALA em EPA e DHA, também atua no metabolismo do ácido linoleico (LA) (ômega-6), gerando ácido araquidônico (AA). Em momentos em que a relação LA/ALA estiver alta, as enzimas responsáveis pela conversão desses ácidos irão competir por seus substratos, diminuindo a eficiência de formação de EPA e DHA, ácidos considerados benéficos para a saúde (Fraeye *et al.*, 2012). Sendo assim, quanto mais alta a inclusão de LA na dieta, menor a conversão de ALA em EPA e DHA, logo se recomenda relações de LA/ALA mais próximas de 1 (Simopoulos, 2000).

Os alimentos mais bem classificados como fontes de ômega-3 para a dieta humana são os óleos de canola e linhaça e os peixes e frutos do mar, sendo o peixe considerado uma fonte primária de omega-3. Certos locais do mundo, em priori o Ocidente, os peixes não são acessados de maneira fácil pela maior parte da população, fazendo com que as razões de LA/ALA possam chegar em até 15-20/1, indicando que as dietas ocidentais são deficientes em omega-3 (Lewis; Seburg; Flanagan, 2000). Desta forma, pesquisas para desenvolver alimentos enriquecidos com ômega-3 vêm ganhando destaque a fim de facilitarem a ingestão de ômega-3 (Simopoulos, 2002).

2.2 Ovos enriquecidos com ômega-3

Os ovos, amplamente consumidos em todo o mundo, sem restrições religiosas ou culturais e com preço acessível, têm se destacado nas pesquisas como uma alternativa promissora para o enriquecimento com ômega-3, devido ao seu potencial de agregar valor nutricional à dieta. (Fraeye *et al.*, 2012). Já se sabe que a composição do ovo pode ser alterada a partir de mudanças nutricionais na ração das aves de postura (Palmieri *et al.*, 2022). Os ácidos graxos incluídos na dieta das aves são absorvidos pelo sistema porta hepático, metabolizados e liberados pelo fígado na circulação sistêmica, para então serem incorporados nas lipoproteínas que serão transportadas até o oócito, onde se integram na gema durante a formação do ovo (Alvarenga *et al.*, 2011; Carvalho *et al.*, 2009).

As fontes mais comumente utilizadas na dieta de poedeiras para enriquecer os ovos com ômega-3 são os organismos marinhos, como peixes, óleo de peixe e microalgas, e fontes vegetais como semente de linhaça, canola, chia e semente de girassol (Irawan *et al.*, 2022). Entretanto, há estudos científicos que demonstram que a fonte e o nível de inclusão de ômega-3 na dieta também afetam a quantidade de ômega-3 no ovo produzido. Huang; Baurhoo; Mustafa, (2020) incluiu linhaça na dieta na concentração de até 9% e obteve ovos variando de 530 a 670 mg/kg de concentração de ômega-3 no ovo. Já Moran *et al.*, (2019a) incluiu 1% de microalga na dieta e obteve ovos com 626 mg/kg de concentração de ômega-3 no ovo. Isso demonstra que não necessariamente a maior inclusão de uma fonte de ômega-3 na dieta vai resultar em maior deposição de ômega-3 na gema, fato que pode ser explicado pela relação de LA/ALA do alimento (Irawan *et al.*, 2022). Além disso, não há clareza na literatura quanto as alterações que ocorrem no desempenho produtivo das aves e na qualidade dos ovos após a suplementação com ômega-3. Enquanto estudos demonstraram aumento no peso do ovo (Aguillón-Páez; Romero; Diaz, 2020, p. 201; Kralik *et al.*, 2021) e na produção de ovos (Duarte *et al.*, 2014; Huang; Baurhoo; Mustafa, 2020), outros demonstraram diminuição do peso (Cedro *et al.*, 2010) e da produção de ovos (Jing; Zhao; House, 2017).

Na produção avícola, a inclusão de óleos na dieta oferece diversas vantagens, como o auxílio na absorção de vitaminas lipossolúveis, melhoria na palatabilidade da ração e atuam como principal fonte de energia para as aves, possuindo o maior valor calórico entre todos os nutrientes da dieta. Além disso, os lipídios dietéticos podem diminuir a velocidade de passagem do alimento pelo trato gastrointestinal, resultando em uma melhor absorção dos nutrientes. A inclusão de ácidos graxos poli-insaturados (PUFAs), especialmente os ômega-3 e ômega-6, traz benefícios importantes para a saúde da ave, como a redução do colesterol e do teor total de lipídios no sangue e na gema dos ovos, além de influenciar positivamente o status imunológico

e oxidativo das aves. Esses ácidos graxos modulam as respostas imunes celulares e humorais, afetando a atividade dos linfócitos e a produção de anticorpos. No entanto, a suplementação lipídica também pode interferir no metabolismo mineral, especialmente de cálcio, zinco e magnésio, devido à formação de sais insolúveis durante a digestão, o que pode afetar a retenção de minerais e comprometer a qualidade óssea e da casca dos ovos (Alagawany *et al.*, 2019).

2.3 Revisão sistemática e meta-análise

Já se sabe que a tomada de decisões na prática clínica e saúde pública veterinária se baseia em evidências científicas, sendo essas derivadas de estudos científicos. Entretanto, ao realizar um estudo científico, os critérios de inclusão e recrutamento e a amostra escolhida da população-alvo podem diferir entre os estudos, fazendo com que os resultados de um único estudo representem um resultado aleatório de uma distribuição de possíveis resultados de ensaios, tornando possível diferentes resultados em estudos de um mesmo tema. Desse modo, o processo de identificar, avaliar e aplicar a literatura disponível sobre um determinado tópico é demorado, sendo essencial um meio de sintetizar os resultados de vários estudos que abordem a mesma questão (Sargeant; O'Connor, 2020).

A revisão sistemática é um dos métodos que pode ser utilizado para compilar os resultados de vários estudos que abordem a mesma questão de pesquisa e responder a uma pergunta específica, geralmente associada a uma tomada de decisão. Para realizá-la, um protocolo pré-definido deve ser descrito e seguido, e quando houver desvios, estes devem ser relatados e justificados na publicação final a fim de evitar vieses e permitir com que o leitor entenda as decisões tomadas. A revisão sistemática deve iniciar com a criação de uma pergunta que possa ser respondida por um estudo primário e posteriormente uma estratégia de busca deve ser desenvolvida para recuperar estudos das bases de dados. Para isso, o uso do anagrama PICO (*Population, Intervention, Comparison and Outcomes*) é interessante, pois facilita a combinação de descritores e palavras-chave utilizando os operadores booleanos “AND” ou “OR” para desenvolver uma estratégia de busca eficaz, aplicada em diversas bases de dados. Após a recuperação dos estudos, estes devem passar por um processo de triagem de elegibilidade, no qual é fundamental explicitar os motivos para a exclusão de artigos. Dessa forma, a revisão sistemática é concluída, podendo, dependendo dos dados disponíveis, seguir para a realização de uma metanálise (Sargeant; O'Connor, 2020).

A metanálise é o componente analítico da revisão sistemática, ou seja, ela tem a função de reanalisar estatisticamente os resultados de vários estudos, aumentando assim o tamanho amostral e o poder estatístico para detecção de efeitos reais entre tratamentos (Sargeant;

O'Connor, 2020; Sauvant *et al.*, 2020). Ao identificar e analisar as fontes de variação significativas entre estudos, a metanálise permite maior generalização das respostas, fundamentando a implementação de intervenções eficazes ou identificando a necessidade de mais pesquisas acima do tema dos estudos primários. Na área de ciência animal, a metanálise é principalmente utilizada para prever respostas médias de uma variável dependente e estudar sua relação com variáveis quantitativas e qualitativas (Sauvant *et al.*, 2020).

3 METODOLOGIA

3.1 Revisão sistemática

A literatura foi revisada em busca de estudos publicados desenvolvidos com galinhas poedeiras suplementadas com ômega-3. Para isso, foi montada uma estratégia de busca de acordo com a sigla PICO (population, intervention, comparison and outcomes) usando uma combinação de descritores MeSH e palavras-chave usuais. Após testar uma série de estratégias de busca no banco de dados PubMed, a seguinte foi definida como o algoritmo final com base na quantidade (abrangente da varredura da literatura) e qualidade (alinhamento dos resultados com o objetivo desta meta-análise) dos resultados recuperados: “(hen OR chickens OR breeder) AND (food, fortified OR "enriched food" OR fatty acids, omega-3 OR omega) AND (egg OR yolk OR inflammation mediators OR inflammation)”. Esta estratégia de busca foi aplicada, na data de referência de 07 de dezembro de 2023, nas bases de dados PubMed, Scielo, Science Direct, Scopus e Web of Science, usando exclusivamente o filtro automático 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 restantes foram 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) estudos primários (ensaios randomizados), desenvolvidos com galinhas poedeiras comerciais e disponíveis em qualquer formato eletrônico; ii) que distribuíram as galinhas em pelo menos dois tratamentos distintos: aves suplementadas e não suplementadas com fonte de ômega-3 na ração; iii) que demonstraram o efeito da suplementação de ômega-3 na ração apresentando concentração de ômega-3 no ovo; iv) que avaliaram o efeito isolado da suplementação de ômega-3, por pelo menos 5 semanas consecutivas; v) que apresentaram composição completa da ração, descrevendo principais fontes de ômega-3 e concentrações dietéticas finais de ômega-3 em cada tratamento. 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) das seguintes variáveis dependentes: concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo, produção de ovos e

conversão alimentar das galinhas. Essas variáveis foram organizadas principalmente em uma planilha eletrônica de acordo com o tratamento ao qual pertenciam (aves suplementadas ou não com ômega-3) e, em seguida, separadas pelas seguintes variáveis qualitativas: i) local do ensaio (país e continente); ii) genética das aves (linhagem genética e cor das penas); iii) início da suplementação (idade da ave no início da suplementação); iv) período de suplementação (período total de suplementação); v) fonte de ômega-3 (principal ingrediente utilizado como fonte de ômega-3); vi) concentração de ômega-3 (concentração calculada de ômega-3 na ração). Essas variáveis qualitativas foram assumidas como possíveis influenciadoras (moderadoras) do efeito da suplementação de ômega-3 nas variáveis quantitativas, o que foi formalmente testado durante os procedimentos de meta-análise. Além disso, como em alguns estudos diferentes concentrações de ômega-3 na ração e fontes de ômega-3 foram testadas, múltiplas comparações entre aves suplementadas e não suplementadas puderam ser obtidas para um único estudo.

A diferença média bruta (RMD) entre aves suplementadas com ômega-3 (grupo de intervenção) e aves não suplementadas com ômega-3 (grupo de comparação) foi adotada como o tamanho do efeito da suplementação de ômega-3 em cada variável quantitativa ($RMD = [média_{suplementada}] - [média_{não\ suplementada}]$). No entanto, se uma variável quantitativa foi medida de forma tão diferente entre os estudos que não pôde ser transformada em uma escala ou unidade singular em todo o conjunto de dados, a diferença média padronizada (SMD) foi adotada em vez de RMD ($SMD = [média_{suplementada}] - [média_{não\ suplementada}] / [desvio\ padrão\ agrupado]$). Em ambos os casos, a significância da suplementação de ômega-3 foi testada pelo teste Z, usando um modelo de efeitos aleatórios (máxima verossimilhança restrita). A heterogeneidade total (Tau^2) e metodológica (I^2) entre os estudos foi estimada e testada pelo teste Q de Cochran. Em caso de heterogeneidade significativa, a meta-regressão foi usada para identificar, entre as variáveis qualitativas (moderadores), aquelas que influenciaram significativamente o tamanho do efeito do ômega-3. A quantidade de heterogeneidade explicada por cada moderador foi estimada por seu coeficiente de determinação (R^2). Além disso, para explicar melhor a heterogeneidade entre os estudos, a análise de subgrupos foi realizada para cada um dos moderadores significativos. Para meta-regressão e análise de subgrupos, os dados dentro de cada moderador foram agrupados em classes por similaridade.

Finalmente, a presença de viés de publicação no conjunto de dados e a robustez dos resultados meta-analíticos foram testados por meio de análise de sensibilidade, que consistiu em investigação visual e formal (regressão de Egger) de possíveis assimetrias nos gráficos de funil de cada variável quantitativa. Os outliers foram identificados calculando e analisando os resíduos estudentizados das diferenças médias. Os resíduos estudentizados com um valor

absoluto maior que 3,5 classificaram automaticamente as diferenças médias como outliers, levando à sua exclusão do conjunto de dados. Valores absolutos entre 3 e 3,5 definiram diferenças médias como outliers potenciais, levando à sua exclusão temporária do conjunto de dados para verificar seu impacto real no resultado geral da meta-análise. Os outliers potenciais que alteraram significativamente o resultado geral foram considerados outliers verdadeiros, sendo, portanto, excluídos permanentemente do conjunto de dados. Caso contrário, eles foram mantidos no 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

Do total de 1835 estudos recuperados em todos os bancos de dados, 17 atenderam totalmente aos critérios de elegibilidade e foram incluídos nesta meta-análise. Um fluxograma ilustrando todo o processo de seleção e triagem de estudos, bem como as principais causas de exclusão, é apresentado na Figura 1. Esses 17 estudos compreenderam uma população de amostragem total de 3423 galinhas poedeiras comerciais ou ovos, que compuseram nosso conjunto de dados completo. A maioria desses estudos foi conduzida na América do Norte, incluindo Canadá (Gakhar *et al.*, 2012; Huang; Baurhoo; Mustafa, 2020; Jing; Zhao; House, 2017) e Estados Unidos (Kakani *et al.*, 2012; Manor *et al.*, 2019; Moghadam; Aziza; Cherian, 2021). No entanto, a maioria das amostras (n=1254) foi avaliada em ensaios sul-americanos (Aguillón-Páez; Romero; Diaz, 2020; Cedro *et al.*, 2010; Duarte *et al.*, 2014). Oito estudos usaram aves de plumagem branca (Duarte *et al.*, 2014; Gakhar *et al.*, 2012; Hosseini-Vashan *et al.*, 2011; Huang; Baurhoo; Mustafa, 2020; Jing; Zhao; House, 2017; Kakani *et al.*, 2012; Manor *et al.*, 2019; Moghadam; Aziza; Cherian, 2021), mas a maioria das aves e ovos em nosso conjunto de dados eram marrons (n=1758). Cinco estudos (Kralik *et al.*, 2021, p. 20, 2022; Mattioli *et al.*, 2017; Panaite *et al.*, 2022; Shafey; Al-Batshan; Farhan, 2015) não forneceram informações sobre a cor da plumagem das aves (n= 876). As linhagens genéticas mais utilizadas nos estudos primários foram Isa (n=1248), Hy Line (n=880) e Tetra (n=788).

A idade das galinhas no início da suplementação de ômega-3 variou de 19 (Gakhar *et al.*, 2012) a 65 semanas (Panaite *et al.*, 2022), enquanto a maioria das aves (n=1384) começou a ser suplementada entre 19 e 22 semanas (Cedro *et al.*, 2010; Gakhar *et al.*, 2012; Jing; Zhao; House, 2017; Keegan *et al.*, 2019; Shafey; Al-Batshan; Farhan, 2015). Independentemente da idade da galinha, o período total de suplementação variou de 5 (Kralik *et al.*, 2021, 2022) a 24 semanas (Keegan *et al.*, 2019), com a maioria das aves (n=1891) sendo avaliadas por mais de 8 semanas.

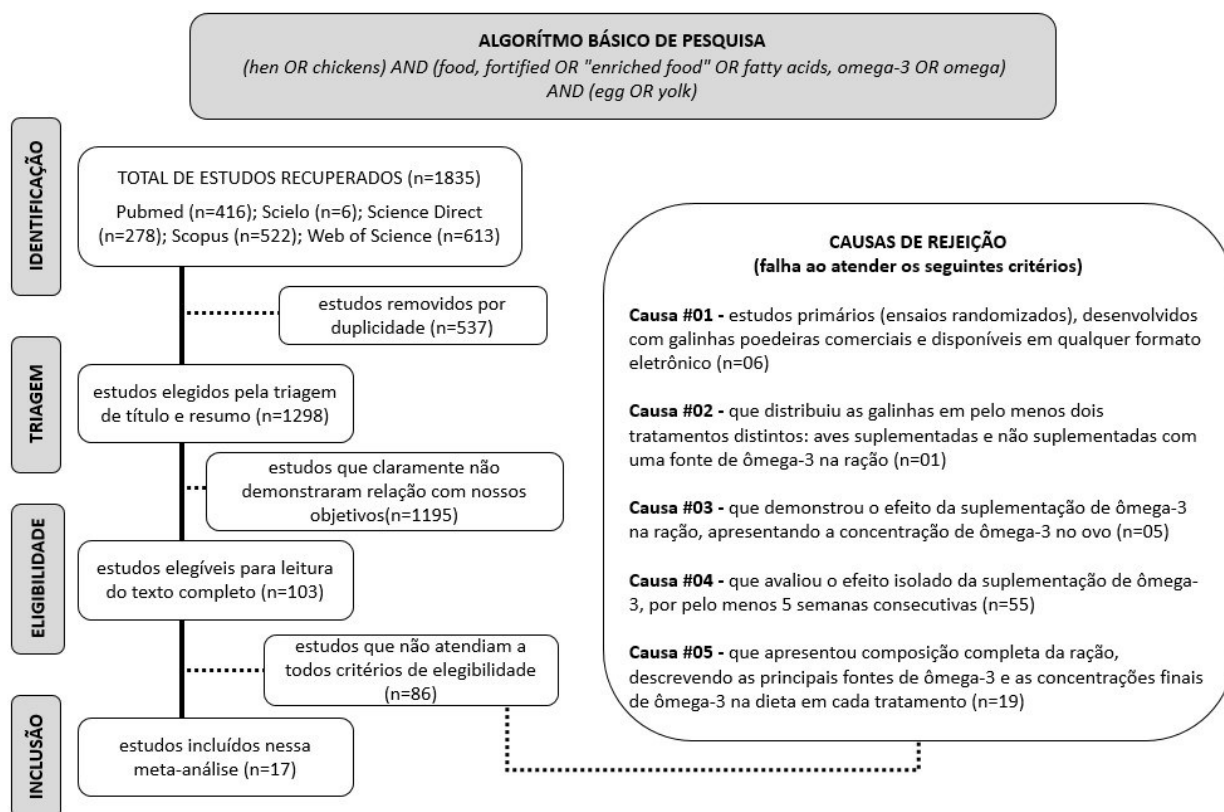


Figura 1 - Fluxograma descrevendo o processo de revisão sistemática. Estudos rejeitados durante a fase de elegibilidade (depois da leitura do texto completo): **Causa #01** (Evaris *et al.*, 2015; Hajra *et al.*, 2019; Magnuson *et al.*, 2018; Shahid *et al.*, 2015; Sultan *et al.*, 2015; Valavan *et al.*, 2013); **Causa #02** (Li *et al.*, 2023); **Causa #03** (Elkin *et al.*, 2018; Hosseini *et al.*, 2022; Imran *et al.*, 2015; Kianfar *et al.*, 2023; Maina; Lewis; Kiarie, 2023); **Causa #04** (Antruejo *et al.*, 2011; Aro *et al.*, 2011; Baeza *et al.*, 2015; Batkowska *et al.*, 2021; Bruneel *et al.*, 2013; Chatzidimitriou *et al.*, 2022; Corrales-Retana *et al.*, 2021; Dai *et al.*, 2016; Dauksiene *et al.*, 2020; de Carvalho *et al.*, 2011; de Oliveira *et al.*, 2011; Díaz; Cortés; Cepeda, 2011; Dots *et al.*, 2023; Elkin *et al.*, 2023; El-Zenary; Elkin; Harvatine, 2023; Feng *et al.*, 2020; Goldberg *et al.*, 2012, 2016; Jiru *et al.*, 2021; Kralik *et al.*, 2023; Lawlor *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2021; Lemahieu *et al.*, 2013, 2014, 2015, 2016; Mattioli *et al.*, 2016; Mens *et al.*, 2022; Moran *et al.*, 2020; Nain *et al.*, 2012b, 2012a; Neijat *et al.*, 2016; Neijat; Ojekudo; House, 2016; Neves *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2010; Omri *et al.*, 2019; Panaite *et al.*, 2016, 2020, 2019; Peric; Drinic, 2021; Petrović *et al.*, 2012; Raza *et al.*, 2016; Spasevski *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2018; Toyas-Vargas *et al.*, 2018; Vlaicu *et al.*, 2023; Vlaicu; Panaite; Turcu, 2021; Wang *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2019; Yalçin; Ünal, 2010; Yi *et al.*, 2014; Yonke; Cherian, 2019; Zhang *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2021; Zotte; Pranzo, 2022); **Causa #05** (Coorey *et al.*, 2015; Ehr; Persia; Bobeck, 2017; Gladkowski *et al.*, 2011; Goldberg *et al.*, 2013; Karaffová *et al.*, 2022; Kartikasari *et al.*, 2021; Kirubakarn; Bama; Thavasiappan, 2023; Kopacz *et al.*, 2021; Kowalska *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2016; Michalak *et al.*, 2020; Moran *et al.*, 2019b; Nanjappan *et al.*, 2013; Njembe *et al.*, 2021; Omid; Rahimi; Karimi Torshizi, 2015; Timová *et al.*, 2020; Wen *et al.*, 2019; Westbrook; Cherian, 2019; Yalçin *et al.*, 2020)

A linhaça foi a fonte de ômega-3 mais utilizada entre os estudos (Aguillón-Páez; Romero; Diaz, 2020; Huang; Baurhoo; Mustafa, 2020; Mattioli *et al.*, 2017; Moghadam; Aziza; Cherian, 2021; Panaite *et al.*, 2022; Shafey; Al-Batshan; Farhan, 2015), mas o número total de aves alimentadas com linhaça (n=548) foi inferior ao daqueles alimentados com óleo de peixe (n=588), microalgas (n=794) e fontes mistas de animais e vegetais (n=944). Outras fontes de ômega-3 utilizadas nos estudos incluídos compreenderam semente de girassol (n=50), farinha

de camelina (n=75), óleo de cânhamo (n=88), óleo de palma (n=96) e óleo de soja (n=240). A concentração de ômega-3 na ração variou de 0,04% (Hosseini-Vashan *et al.*, 2011) a 7,81% (Aguillón-Páez; Romero; Diaz, 2020), mas a maioria das aves (n=1399) foi suplementada com até 0,5% de ômega-3 na dieta (Aguillón-Páez; Romero; Diaz, 2020; Duarte *et al.*, 2014, p. 2; Hosseini-Vashan *et al.*, 2011; Kakani *et al.*, 2012; Kralik *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2020; Manor *et al.*, 2019; Panaite *et al.*, 2022). A descrição abrangente dos tamanhos de amostragem usados nesta meta-análise (aves, ovos e replicações de tratamentos), juntamente com as principais características de cada estudo incluído, estão disponíveis nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Tamanho total da amostra (n = galinhas ou ovos) e replicações dos tratamentos (rep) que compuseram o conjunto de dados para esta meta-análise, separados por variáveis e possíveis causas de heterogeneidade entre os estudos (moderadores)

moderador	subgrupo	concentração de omega-3 no ovo		peso do ovo		produção de ovo		conversão alimentar	
		n	rep	n	rep	n	rep	n	rep
local do ensaio	Asia	552	90	-	-	360	24	360	24
	Europa	1212	230	748	124	208	64	208	64
	America do Norte	405	213	405	213	405	213	307	151
	America do Sul	1254	276	1254	276	390	60	390	60
genética da ave	marrom	1758	366	1014	246	510	54	510	54
	branca	789	261	645	243	645	243	547	181
	não descrita	876	182	748	124	208	64	208	64
início da suplementação	até 25 semanas	1384	448	952	304	88	88	88	88
	25 a 40 semanas	1137	179	553	127	913	151	865	139
	> 40 semanas	902	182	902	182	362	122	312	72
período de suplementação	até 8 semanas	1532	286	1092	252	912	216	862	166
	> 8 semanas	1891	523	1315	361	451	145	403	133
fonte de omega-3	produtos de cânhamo	88	88	88	88	88	88	88	88
	linhaca	548	192	500	144	500	144	452	132
	microalga	794	170	50	50	410	74	360	24
	óleo de peixe	588	66	540	60	-	-	-	-
	outras fontes vegetais ¹	461	67	365	55	365	55	365	55
	fontes misturadas ²	944	226	864	216	-	-	-	-
concentração de omega-3	até 0.5%	1399	205	943	169	943	153	893	103
	0.5 a 1.27%	848	294	448	180	268	160	220	148
	> 1.27%	1176	310	1016	264	152	48	152	48
total (meta-análise geral)		3423	809	2407	613	1363	361	1265	299

¹ semente de girassol, óleo de soja, óleo de palma, farinha de camelina. ² combinações de microalgas, óleo de peixe, óleo de colza ou óleo de linhaça

Tabela 2 – Resumo das principais características dos estudos incluídos nesta meta-análise

estudo	local do ensaio	população	intervenção	comparação	variáveis analisadas
Aguillón-Páez et al. (2020)	Colômbia	galinhas brown babbcock (n=150; 27-35 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e farelo de soja, distribuídas em 3 tratamentos com 10 repetições cada	2 tratamentos com 13,5% de inclusão de semente de linhaça ou semente de girassol como fontes de ômega-3 (ômega-3 na ração = 7,81 e 0,05%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,05%)	concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo, produção de ovos e conversão alimentar
Cedro et al. (2010)	Brasil	galinhas isa brown (n=864; 22-35 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e farelo de soja, distribuídas em 2 tratamentos com 108 repetições cada	1 tratamento com 1,5% de inclusão de linhaça mais 1,8% de óleo de peixe como fontes de ômega-3 (ômega-3 na ração = 2,05%)	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0%)	concentração de ômega-3 no ovo e peso do ovo
Duarte et al. (2014)	Brasil	galinhas hy-line w36 (n=240; 39-55 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e farelo de soja, distribuídas em 6 tratamentos com 5 repetições cada	5 tratamentos com 1,5, 3, 4,5, 6 ou 7,5% de inclusão de óleo de soja como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,06, 0,12, 0,18, 0,24 e 0,30%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,2%)	concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo, produção de ovos e conversão alimentar
Gakhar et al. (2012)	Canadá	galinhas bovans white (n=48; 19-31 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de soja, cevada e milho, distribuídas em 6 tratamentos com 8 repetições cada	5 tratamentos com 4, 8, 10, 12 e 20% de inclusão de óleo de semente de cânhamo como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,65, 1,15, 0,53, 1,58, 0,97%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,17%)	concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo, produção de ovos e conversão alimentar
Hosseini-Vashan et al. (2011)	Irã	galinhas hy-line w36 (n=144; 26-38 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e farelo de soja, distribuídas em 6 tratamentos com 3 repetições cada	3 tratamentos com 1,5, 3 e 4,5% de inclusão de óleo de palma e 2 tratamentos com 2 e 4% de inclusão de óleo de peixe como fontes de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,09, 0,06, 0,04, 4,5 e 6,47%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,18%)	concentração de ômega-3 no ovo
Huang et al. (2020)	Canadá	galinhas leghorn white (n=144; 58-66 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e soja, distribuídas em 8 tratamentos com 6 repetições cada	3 tratamentos com 3, 6 e 9% de inclusão de linhaça como fonte de ômega-3 alimentados por 6 semanas e 3 tratamentos com 3, 6 e 9% de inclusão de linhaça alimentados por 8 semanas (ração com ômega-3 em ambos os períodos de suplementação = 0,72, 1,19, 1,80%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,25%)	concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo, produção de ovos e conversão alimentar
Jing et al. (2017)	Canadá	galinhas lohman white (n=40; 21-27 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de cevada e mela de soja, distribuídas em 5 tratamentos com 8 repetições cada	2 tratamentos com 4 e 8% de inclusão de óleo de semente de cânhamo e 2 tratamentos com 4 e 8% de inclusão de óleo de semente de cânhamo em pó como fontes de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,6, 1,06, 0,65 e 1,38%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,1%)	concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo, produção de ovos e conversão alimentar
Kakani et al. (2012)	Estados Unidos	galinhas lohman white (n=75; 29-41 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e farelo de soja, distribuídas em 3 tratamentos com 5 repetições cada	2 tratamentos com 5 e 10% de inclusão de farinha de camelinha como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,23 e 0,41%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,06%)	concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo, produção de ovos e conversão alimentar
Keegan et al. (2019)	Reino Unido	galinhas isa brown (n=384; 20-44 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de trigo e farelo de soja, distribuídas em 4 tratamentos com 24 repetições cada	3 tratamentos com 0,25, 0,5 e 1% de inclusão do microrganismo (<i>auranochytrium limacinum</i>) como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,64, 1,10 e 1,92%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,20%)	concentração de ômega-3 no ovo
Kralik et al. (2022)	Croácia	galinhas tetra-sl (n=80; 31-36 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e farelo de soja, distribuídas em 2 tratamentos com 5 repetições cada	1 tratamento com inclusões de 1,5% de óleo de peixe, 1,5% de óleo de colza e 2% de óleo de linhaça como fontes de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,75%)	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,30%)	concentração de ômega-3 no ovo
Kralik et al. (2021)	Croácia	galinhas tetra-sl (n=540; 47-52 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e torta de soja, distribuídas em 6 tratamentos com 10 repetições cada	5 tratamentos com 0,3, 0,6, 0,9, 1,2 e 1,5% de inclusão de óleo de peixe como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,34, 0,4, 0,43, 0,57 e 0,69%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,29%)	concentração de ômega-3 no ovo e peso do ovo
Liu et al. (2020)	China	galinhas hy-line brown (n=360; 26-34 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e soja, distribuídas em 3 tratamentos com 8 repetições cada	2 tratamentos com 0,5 e 1% de inclusão de microrganismo (<i>aurantiochytrium</i> sp) como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,2 e 0,29%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,1%)	concentração de ômega-3 no ovo, produção de ovos e conversão alimentar
Manor et al. (2019)	Estados Unidos	galinhas shaver white (n=50; 46-52 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e soja, distribuídas em 5 tratamentos com 10 repetições cada	4 tratamentos com 2,86, 5,75, 11,5 e 23% de inclusão de microrganismo como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,13, 0,16, 0,22, 0,35%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,08%)	concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo e produção de ovos
Mattioli et al. (2017)	Italia	galinhas hy-line (n=40; 40-63 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e soja, distribuídas em 2 tratamentos com 20 repetições cada	1 tratamento com 10% de inclusão de linhaça como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,54%)	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,06%)	concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo, produção de ovos e conversão alimentar
Moghadam et al. (2021)	Estados Unidos	galinhas hy-line w36 (n=48; 40-57 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e soja, distribuídas em 2 tratamentos com 6 repetições cada	1 tratamento com 15% de inclusão de linhaça como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 1,19%)	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,09%)	concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo e produção de ovos
Panaite et al. (2022)	Romênia	galinhas tetra-sl (n=168; 65-71 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e trigo, distribuídas em 4 tratamentos com 6 repetições cada	1 tratamento com 3% de linhaça e outros 2 com 3% de linhaça mais 10% de ervilha ou 10% de colza como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,26, 0,28 e 0,28%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,05 %)	concentração de ômega-3 no ovo, peso do ovo, produção de ovos e conversão alimentar
Shafey et al. 2015	Arabia Saudita	galinhas hy-line (n=48; 22-34 semanas de idade), criadas em gaiolas, alimentadas com ração farelada à base de milho e soja, distribuídas em 3 tratamentos com 16 repetições cada	2 tratamentos com 5 e 10% de inclusão de linhaça como fonte de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,97 e 1,81%), respectivamente	tratamento controle sem suplementação de ômega-3 (ômega-3 na ração = 0,12%)	concentração de ômega-3 no ovo

4.2 Meta-análise

No geral, a suplementação alimentar com ômega-3 aumentou significativamente a concentração de ômega-3 no ovo ($p < 0,001$; Figura 2), mas diminuiu tanto o peso do ovo ($p = 0,007$; Figura 3) quanto a produção de ovos ($p = 0,040$; Figura 4). A conversão alimentar das galinhas não foi afetada ($p = 0,075$; Figura 5) pela suplementação de ômega-3. A heterogeneidade entre os estudos, no entanto, foi significativa ($p < 0,004$) para todas as variáveis, exceto o peso do ovo ($p = 0,211$). Portanto, a meta-regressão e a análise de subgrupos foram importantes para identificar causas significativas de heterogeneidade (moderadores) e para explorar ainda mais o impacto desses moderadores no tamanho do efeito da suplementação de ômega-3.

Em relação à concentração de ômega-3 no ovo, diferentes métodos foram descritos nos estudos incluídos para avaliá-la. Alguns autores mediram a concentração de ômega-3 no ovo como uma porcentagem do peso da gema do ovo (Aguillón-Páez; Romero; Diaz, 2020; Cedro *et al.*, 2010; Duarte *et al.*, 2014; Gakhar *et al.*, 2012; Keegan *et al.*, 2019; Manor *et al.*, 2019; Shafey; Al-Batshan; Farhan, 2015), enquanto outros o medem em miligramas por gema de ovo (Jing; Zhao; House, 2017; Kakani *et al.*, 2012), porcentagem do peso total do ovo (Huang; Baurhoo; Mustafa, 2020; Kralik *et al.*, 2021; Mattioli *et al.*, 2017) e até mesmo porcentagem do conteúdo total de ácidos graxos do ovo (Hosseini *et al.*, 2022, p. 202; Hosseini-Vashan *et al.*, 2011; Kralik *et al.*, 2022; Panaite *et al.*, 2022). Devido a essas diferenças, não foi possível transformar os valores dessa variável em uma única unidade de medida em nosso conjunto de dados. Portanto, avaliamos o tamanho do efeito da suplementação de ômega-3 na concentração de ômega-3 no ovo calculando a diferença média padronizada (SMD) entre aves suplementadas e não suplementadas. A SMD expressa o tamanho do efeito da intervenção em relação à variabilidade combinada (desvio padrão) do resultado. Portanto, a SMD é uma medida do tamanho do efeito que não tem unidade ou escala e, consequentemente, não expressa a quantidade absoluta de aumento ou diminuição de ômega-3 nos ovos. Em nosso conjunto de dados, a concentração de ômega-3 no ovo foi a única variável quantitativa para a qual o tamanho do efeito da suplementação de ômega-3 teve que ser estimado pela SMD.

O resultado geral da meta-análise mostrou que, embora a suplementação alimentar com ômega-3 tenha aumentado a concentração de ômega-3 no ovo ($SMD = 3,46$; $p < 0,001$), a heterogeneidade entre os estudos foi alta e significativa ($p < 0,001$; $I^2 = 97,12\%$), o que significa que esse resultado geral não deve ser generalizado (Figura 2). De acordo com Higgins e Green, (2008), valores de I^2 de 30 a 60% podem representar heterogeneidade moderada, enquanto de

50 a 100%, heterogeneidade substancial no conjunto de dados. Em ambos os casos, a meta-regressão e a análise de subgrupos tornam-se essenciais para uma interpretação abrangente dos resultados meta-analíticos. A meta-análise para concentração de ômega-3 no ovo foi obtida de um conjunto de dados composto por 16 estudos primários, que forneceram 51 comparações independentes de aves suplementadas e não suplementadas com uma fonte de ômega-3 na ração. O número total de ovos avaliados para essa variável foi de 3423 (Tabela 2). Originalmente, esta meta-análise foi realizada com 17 estudos e 52 grupos de comparação, mas Moghadam, Aziza e Cherian, (2021) foi excluído do conjunto de dados após ser classificado como um outlier ($SMD = 117,19$; resíduo estudentizado = 3,30).

A meta-regressão permitiu a identificação de dois moderadores que influenciaram significativamente o resultado geral para a concentração de ômega-3 no ovo: fonte de ômega-3 ($p = 0,004$) e concentração de ômega-3 ($p < 0,001$) (Tabela 3). Individualmente, esses moderadores explicaram 20,06 e 23,02% da heterogeneidade metodológica entre os estudos. Esses resultados da meta-regressão apoiam a interpretação de que a concentração de ômega-3 no ovo foi aumentada pela suplementação de ômega-3 na ração, independentemente da localização do ensaio, genética das aves, início da suplementação e período de suplementação.

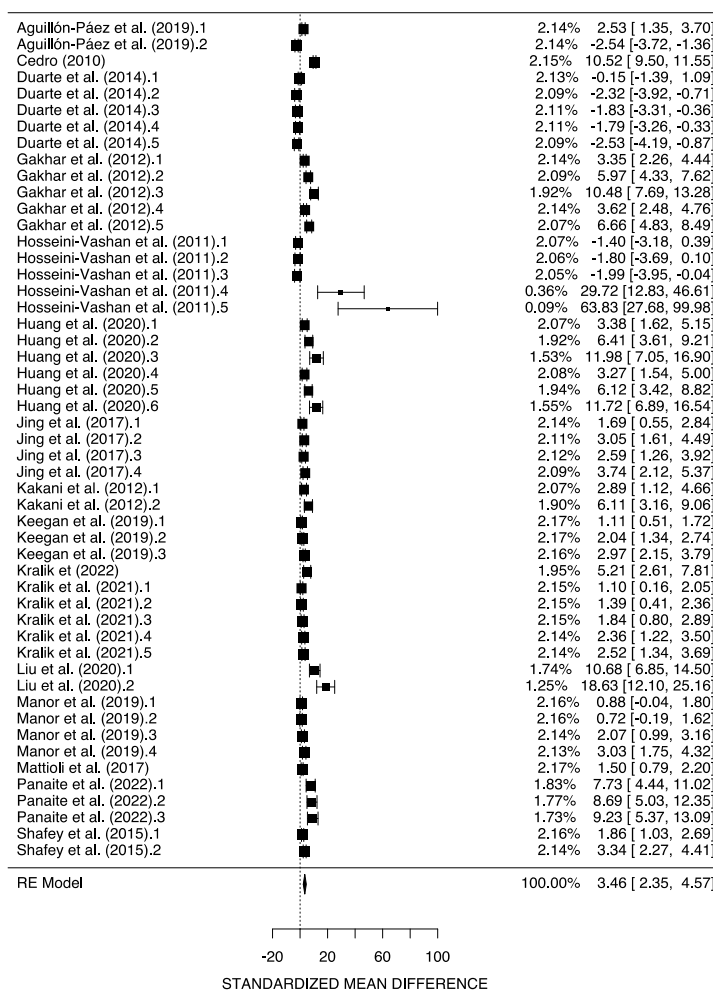


Figura 2 – Meta-análise dos efeitos da suplementação de ômega-3 na ração sobre a concentração de ômega-3 no ovo. Diferença média padronizada = 3,46 ($p < 0,001$); $\text{Tau}^2 = 14,66$ ($p < 0,001$); $I^2 = 97,12\%$

A análise de subgrupos da fonte de ômega-3 revelou que não há evidências na literatura de que outras fontes vegetais (girassol, soja, palmeira ou camélia) aumentem a concentração de ômega-3 no ovo ($\text{SMD} = -0,811$; $p = 0,265$). O valor negativo de SMD para este subgrupo, de fato, implica uma tendência oposta. De todas as fontes de ômega-3 que aumentaram significativamente a concentração de ômega-3 no ovo, o maior tamanho de efeito foi observado na semente de linhaça ($\text{SMD} = 5,418$; $p < 0,001$), enquanto o menor no óleo de peixe ($\text{SMD} = 1,815$; $p < 0,001$). Uma comparação desses dois resultados extremos de SMD sugere uma diferença de 66,5%, a favor da semente de linhaça, na eficácia do aumento da concentração de ômega-3 no ovo, o que deve ser considerado ao estabelecer protocolos para enriquecimento de ovos.

Não apenas a fonte de ômega-3, mas também a concentração de ômega-3 na ração, afetaram o tamanho do efeito da suplementação de ômega-3 na concentração de ômega-3 no

ovo. Nesse sentido, quanto maior a concentração de ômega-3 na ração, maior o aumento obtido na concentração de ômega-3 no ovo. Mesmo concentrações de ração tão baixas quanto 0,5%, o que representa cerca de metade da necessidade das galinhas desse ácido graxo essencial (Rostagno *et al.*, 2024), aumentaram significativamente a concentração de ômega-3 no ovo ($p = 0,026$), apoiando estudos anteriores que sugeriram alta capacidade das galinhas de depositar ômega-3 nos ovos (Fraeye *et al.*, 2012).

Tabela 3 – Meta-regressão e análise de subgrupos dos efeitos da suplementação de ômega-3 na ração sobre a concentração de ômega-3 no ovo

moderador¹	k	diferença média padronizada (ci, 95%)	p-valor	R²
local do ensaio	51	-	0.289	0
genética da ave	51	-	0.625	0
início da suplementação	51	-	0.850	0
período de suplementação	51	-	0.110	3.64
fonte de ômega-3	51	-	0.004	20.06
<i>produtos de cânhamo</i>	09	4.398 (2.804; 5.991)	<0.001	-
<i>linhaça</i>	13	5.418 (3.591; 7.246)	<0.001	-
<i>microalga</i>	09	4.045 (0.881; 7.210)	0.012	-
<i>óleo de peixe</i>	07	1.815 (1.274; 2.355)	<0.001	-
<i>outras fontes vegetais²</i>	11	-0.811 (-2.237; 0.615)	0.265	-
<i>fontes misturadas³</i>	02	* não realizado: apenas duas comparações *	-	-
concentração de ômega-3	51	-	<0.001	23.02
<i>até 0.5%</i>	23	2.143 (0.261; 4.026)	0.026	-
<i>0.5% a 1.27%</i>	18	3.228 (2.462; 3.995)	<0.001	-
<i>> 1.27%</i>	10	8.118 (4.639; 11.597)	<0.001	-

¹ apenas moderadores significativos foram submetidos à análise de subgrupos; ² óleo de girassol, soja, palma ou camélia; ³ combinação de microalgas, óleo de peixe, óleo de colza ou óleo de linhaça

Para a meta-análise do peso do ovo (Figura 3), 12 estudos primários forneceram 38 grupos de comparação. Isso permite a síntese dos resultados obtidos de 2407 ovos, provenientes de galinhas suplementadas e não suplementadas com uma fonte de ômega-3. Originalmente, esta meta-análise foi realizada com 12 estudos e 39 grupos de comparação, mas uma diferença média obtida de Panaite *et al.*, (2022) foi excluída do conjunto de dados após ser classificada como um outlier (RMD = 1,31 g; resíduo estudentizado = 3,22).

No geral, a meta-análise mostrou que há evidências na literatura de que a suplementação de galinhas com ômega-3 reduz ($p = 0,007$) o peso do ovo em 0,45 g (Figura 3). Nenhuma heterogeneidade significativa ($p = 0,211$) foi detectada entre os estudos para esta variável; portanto, esse resultado pode ser generalizado independentemente do local do ensaio, genética

das aves, início da suplementação, período de suplementação, fonte de ômega-3 e concentração de ômega-3.

No entanto, embora a heterogeneidade total entre os estudos não tenha sido significativa, um nível moderado de heterogeneidade metodológica foi detectado pelo modelo ($I^2 = 31,08\%$). Assim, uma investigação mais aprofundada sobre suas causas pode fornecer insights úteis para o estabelecimento de protocolos de enriquecimento de ovos mais assertivos. Foram então realizadas a metarregressão e análise de subgrupo para essa variável também. Entre os moderadores avaliados, a genética das aves ($p = 0,023$; $R^2 = 60,82\%$) e a concentração de ômega-3 na ração ($p < 0,001$; $R^2 = 98,35\%$) influenciaram significativamente o resultado geral (Tabela 4). Com base nos valores de R^2 obtidos, a concentração de ômega-3 na ração sozinha explicou quase toda a heterogeneidade metodológica identificada entre os estudos. Curiosamente, o início da suplementação do moderador gerou um valor de p próximo à significância ($p = 0,084$) e um valor de R^2 relevante ($R^2 = 66,74\%$). Por isso, a análise de subgrupos também foi realizada para esse moderador.

Aves de penas marrons diminuíram mais acentuadamente o peso dos ovos ($RMD = -1,323g$; $p < 0,001$) do que as de penas brancas ($RMD = -0,443g$; $p = 0,043$) quando suplementadas com ômega-3. Pode-se supor que isso seja uma consequência do maior peso dos ovos marrons. Embora isso não tenha sido testado aqui, deve-se notar que apenas 3 grupos de comparação, provenientes de 2 estudos independentes (Aguillón-Páez; Romero; Diaz, 2020; Cedro *et al.*, 2010), compuseram o conjunto de dados total para ovos marrons nessa variável. Isso certamente indica a necessidade de mais publicações sobre esse resultado para melhorar a precisão e a exatidão das estimativas, especialmente porque esses dois estudos juntos contribuíram com apenas 12,13% do peso usado para gerar a média ponderada de RMD usada como resultado geral desta meta-análise. Até onde sabemos, não há informações na literatura para explicar essas diferenças entre aves de penas brancas e marrons em sua intensidade de resposta à suplementação de ômega-3.

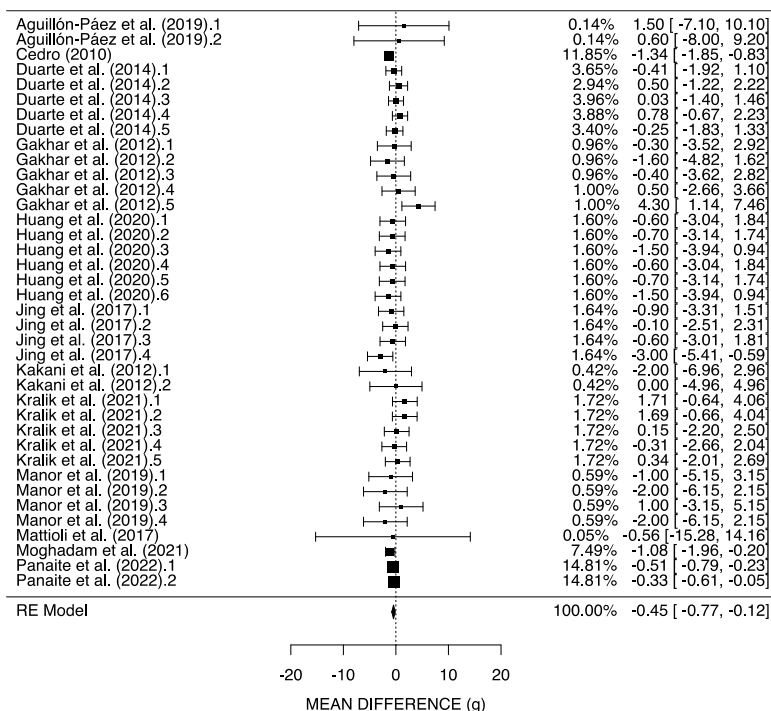


Figura 3 – Meta-análise dos efeitos da suplementação de ômega-3 na ração sobre o peso dos ovos. Diferença média = -0,45 ($p = 0,007$); $\text{Tau}^2 = 0,165$ ($p = 0,211$); $I^2 = 31,08\%$

Em relação à concentração de ômega-3 na ração, as aves suplementadas com concentrações variando de 0,5 a 1,27% não apresentaram redução significativa no peso do ovo ($\text{RMD} = -0,527\text{g}$; $p = 0,074$). Entretanto, o valor de p obtido para este subgrupo foi muito próximo do limite de 0,05 adotado para significância. Dito isto, uma interpretação mais significativa para este subgrupo pode ser que a redução do peso do ovo é diretamente proporcional à concentração de ômega-3 na ração. Alguns autores já discutiram o papel da suplementação de ômega-3 na redução do peso do ovo. Embora aparentemente não haja consenso sobre o assunto, parece que a suplementação excessiva de ômega-3 afeta negativamente a síntese hepática de VLDL em aves (Elkin; Harvatine, 2023), o que reduziria a deposição total de lipídios na gema e, finalmente, o peso do ovo. No entanto, geramos evidências nesta meta-análise de que mesmo níveis muito baixos de suplementação de ômega-3 (até 0,5%), menores até do que as necessidades nutricionais (1,05 a 1,27%) estimadas para as aves (Rostagno *et al.*, 2024), reduzem o peso dos ovos. Nesse sentido, mais investigação sobre as causas desse fenômeno é provavelmente necessária para permitir qualquer conclusão objetiva.

Finalmente, a idade da galinha no início do período de suplementação também influenciou o tamanho do efeito da suplementação de ômega-3. Nesse subgrupo, o peso dos

ovos foi reduzido apenas quando a suplementação começou após 40 semanas de idade (RMD = -0,406g; $p < 0,001$). Este resultado foi gerado pelo resumo de 4 estudos (Huang; Baurhoo; Mustafa, 2020; Kralik *et al.*, 2021; Manor *et al.*, 2019; Panaite *et al.*, 2022) e 17 grupos de comparação, com a idade das galinhas no início da suplementação variando de 46 (Manor *et al.*, 2019) a 65 semanas (Panaite *et al.*, 2022). Em galinhas mais jovens, a suplementação com ômega-3 não alterou significativamente o peso dos ovos ($p > 0,24$).

Tabela 4 – Meta-regressão e análise de subgrupos dos efeitos da suplementação de ômega-3 na ração sobre o peso dos ovos

moderador¹	k	diferença média (ci, 95%)	p-valor	R²
local do ensaio	38	-	0.307	0
genética da ave	38	-	0.023	60.82
<i>branca</i>	27	-0.443 (-0.870; -0.015)	0.043	-
<i>marrom</i>	03	-1.323 (-1.831; -0.816)	<0.001	-
<i>não descrita</i>	08	-0.380 (-0.577; -0.182)	<0.001	-
início da suplementação	38	-	0.084	66.74
até 25 semanas	10	-0.602 (-1.607; 0.403)	0.240	-
25 a 40 semanas	11	-0.238 (-0.876; 0.400)	0.465	-
> 40 semanas	17	-0.406 (-0.599; -0.213)	<0.001	-
período de suplementação	38	-	0.093	0
fonte de ômega-3	38	-	0.727	0
concentração de ômega-3	38	-	<0.001	98.35
<i>até 0.5%</i>	17	-0.343 (-0.546; -0.139)	<0.001	-
<i>0.5% a 1.27%</i>	15	-0.527 (-1.104; 0.050)	0.074	-
<i>> 1.27%</i>	06	-1.387 (-1.860; -0.914)	<0.001	-

¹ moderadores significativos, e também o moderador “início da suplementação” ($p=0,084$) foram submetidos à análise de subgrupos

Conforme discutido anteriormente, os ovos naturalmente mais pesados de galinhas mais velhas podem facilitar a detecção de diferenças significativas entre os grupos suplementados e não suplementados. No entanto, nenhuma galinha/ovo marrom foi avaliado nos quatro estudos que compuseram o conjunto de dados de galinhas que iniciaram a suplementação após 40 semanas de idade. Às 40 semanas, o pico de produção da galinha geralmente já passou, e a deposição de gordura corporal começou a aumentar. Portanto, o padrão de metabolismo lipídico das galinhas mais velhas pode ajudar a explicar tais descobertas. No entanto, a maioria dos estudos apresentados no subgrupo que iniciou a suplementação entre 25 e 40 semanas avaliou as galinhas por um período que lhes permitiu atingir 41 semanas (Kakani *et al.*, 2012), 55

semanas (Duarte *et al.*, 2014), 57 semanas (Moghadam; Aziza; Cherian, 2021) e 63 semanas (Mattioli *et al.*, 2017) durante o período experimental. Por que essas aves não apresentaram redução do peso de ovos semelhante àquelas que começaram a ser suplementadas após 40 semanas de idade ainda não está claro.

A meta-análise também demonstrou que a suplementação de ômega-3 reduziu a produção de ovos ($p = 0,040$) em 0,88% (Figura 4). Este resultado veio da síntese de 11 estudos primários que forneceram 35 grupos de comparação usando um total de 1363 galinhas. Nenhum outlier foi detectado para esta variável. A heterogeneidade entre os estudos foi significativa ($\text{Tau}^2 = 3,1108$; $p < 0,001$) e alta ($I^2 = 69,27\%$) para esta variável, portanto, meta-regressão e análise de subgrupo foram realizadas.

O local do ensaio ($p = 0,007$; $R^2 = 31,30\%$), a genética das aves ($p < 0,001$; $R^2 = 59,96\%$) e a fonte de ômega-3 ($p = 0,017$; $R^2 = 27,47\%$) afetaram significativamente o resultado geral (Tabela 5). Individualmente, a genética das aves foi o moderador que mais explicou a heterogeneidade metodológica entre os estudos. A análise de subgrupos mostrou que não há evidências na literatura de que a suplementação das aves com ômega-3 afeta a produção de ovos na América do Sul (RMD = 0,554%; $p = 0,318$), mas afeta a América do Norte (RMD = -1,244%; $p = 0,013$) e Europa (MD = -3,576%; $p < 0,001$). Este resultado para a América do Sul veio da síntese de 2 estudos primários realizados na Colômbia (Aguillón-Páez; Romero; Diaz, 2020) e no Brasil (Duarte *et al.*, 2014). O estudo realizado no Brasil, que utilizou concentrações de ômega-3 na ração muito menores (0,18% em média) do que o outro (3,93% em média), foi o único que relatou aumento na produção de ovos após a suplementação com ômega-3.

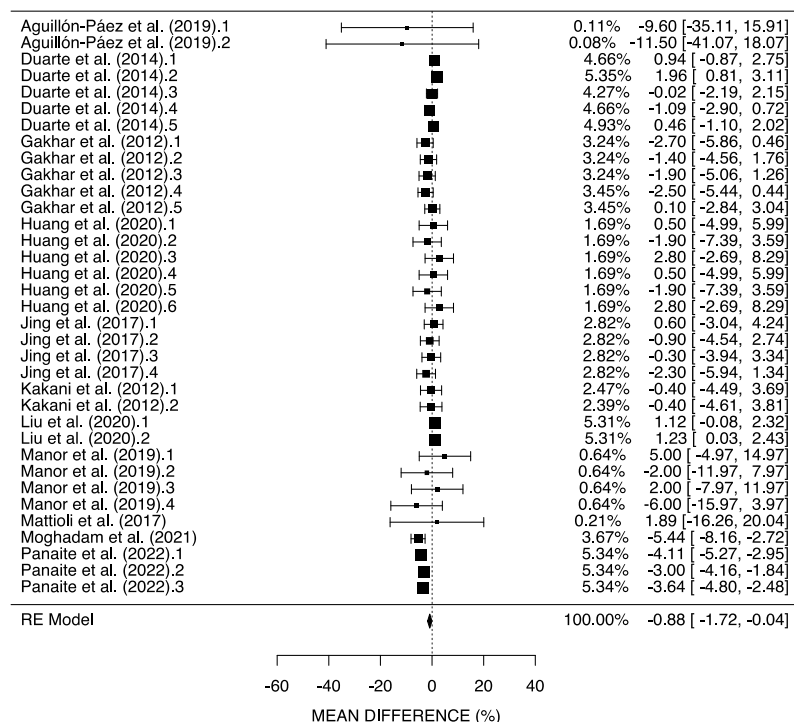


Figura 4 – Meta-análise dos efeitos da suplementação de ômega-3 na ração sobre a produção de ovos (%). Diferença média = -0,88 ($p=0,040$); $\text{Tau}^2 = 3,1108$ ($p<0,001$); $I^2 = 69,27\%$

Em relação à genética das aves, as galinhas de penas brancas não alteraram sua produção de ovos quando suplementadas com ômega-3 (RMD = -0,529%; $p = 0,220$), enquanto as aves de penas marrons melhoraram sua produção de ovos após a suplementação com ômega-3 (RMD = 1,153%; $p = 0,007$). Aparentemente, a RMD no resultado geral foi mais fortemente influenciada pelo resultado obtido nas “aves não descritas” (RMD = -3,576%; $p<0,001$), que foram aquelas apresentadas em estudos sem uma descrição completa da genética populacional. Portanto, embora o resultado geral seja válido e não prejudicado por essa falta de informação populacional, os resultados desse subgrupo merecem uma interpretação mais cuidadosa, especialmente a que mostra maior produção de ovos em galinhas de penas marrons suplementadas com ômega-3. Aparentemente, isso está no raciocínio oposto fornecido pela literatura sobre as causas da redução do peso dos ovos após a suplementação com ômega-3, o que provavelmente induziria a redução da produção de ovos também. Conforme discutido anteriormente, no subgrupo de local do ensaio, o aumento observado aqui na produção de ovos de galinhas de penas marrons também foi derivado de um único estudo (Liu *et al.*, 2020), que avaliou concentrações de ômega-3 na ração muito menores (0,17% em média) do que o outro (1,58% em média) neste subgrupo (Aguillón-Páez; Romero; Diaz, 2020). Portanto, até o ponto

de precisão e exatidão da estimativa de RMD, o baixo número de estudos e grupos de comparação sintetizados para galinhas de penas marrons na produção de ovos é certamente uma desvantagem da literatura atual.

Analisando os resultados do subgrupo para a fonte de ômega-3, os produtos de cânhamo (RMD = -1,316%; $p = 0,018$) e a semente de linhaça (RMD = -2,534%; $p < 0,001$) continuaram reduzindo significativamente a produção de ovos quando incluídos na dieta das galinhas. Curiosamente, a semente de linhaça reduziu a produção de ovos em quase duas vezes a quantidade reduzida pelos produtos de cânhamo. No entanto, o uso de microalgas como fonte de ômega-3 melhorou a produção de ovos das galinhas (RMD = 1,135%; $p = 0,008$), um resultado que veio de dois estudos primários (Liu *et al.*, 2020; Manor *et al.*, 2019), que forneceram 6 grupos de comparação para análise. Aparentemente, pelo menos essas diferenças no tamanho do efeito entre as fontes de ômega-3 resultaram de sua composição diferente em ômega-3 e níveis de inclusão na ração. Parece que quanto maior a concentração final de ômega-3 na dieta, maior o impacto negativo observado na produção de ovos. Isso é verdade quando comparamos a concentração média de ômega-3 na ração usada em estudos de semente de linhaça (1,48%) com aquelas usadas em produtos de cânhamo (0,95%), microalgas (0,23%) e outras fontes vegetais (0,20%). No entanto, nenhuma explicação razoável foi encontrada para apoiar o fato de que as microalgas foram a única fonte de ômega-3 que aumentou a produção de ovos. Pode-se supor que o conteúdo de proteína das microalgas poderia ser responsável por essa resposta, mas a inclusão do produto na ração parece muito baixa para garantir qualquer melhoria significativa no conteúdo de proteína ou no perfil de aminoácidos da dieta.

Tabela 5 – Meta-regressão e análise de subgrupos dos efeitos da suplementação de ômega-3 na ração na produção de ovos (%)

moderador¹	k	diferença média (ci, 95%)	p-valor	R²
local do ensaio	35	-	0.007	31.3
<i>América do Sul</i>	07	0.554 (-0.534; 1.642)	0.318	-
<i>América do Norte</i>	22	-1.244 (-2.225; -0.262)	0.013	-
<i>Ásia</i>	02	* não realizado: apenas duas comparações *	-	-
<i>Europa</i>	04	-3.576 (-4.246; -2.906)	<0.001	-
genética da ave	35	-	<0.001	59.96
<i>branca</i>	27	-0.529 (-1.375; 0.316)	0.220	-
<i>marrom</i>	04	1.153 (0.308; 1.997)	0.007	-
<i>não descrita</i>	04	-3.576 (-4.246; 2.906)	<0.001	-
início da suplementação	35	-	0.598	1.47
período de suplementação	35	-	0.784	0

fonte de ômega-3	35	-	0.017	27.47
<i>produtos de cânhamo</i>	<i>09</i>	-1.316 (-2.410; -0.222)	<i>0.018</i>	-
<i>linhaça</i>	<i>12</i>	-2.534 (-3.971; -1.097)	<i><0.001</i>	-
<i>microalga</i>	<i>06</i>	1.135 (0.302; 1.969)	<i>0.008</i>	-
<i>outras fontes vegetais</i> ²	<i>08</i>	0.489 (-0.504; 1.483)	<i>0.334</i>	-
concentração de ômega-3	30	-	0.701	0

¹ apenas moderadores significativos foram submetidos à análise de subgrupos; ² óleo de girassol, soja, palma ou camélia

Finalmente, a conversão alimentar das galinhas (Figura 5) não foi significativamente influenciada pela suplementação de ômega-3 (RMD = -0,0189; $p = 0,075$). No entanto, a heterogeneidade significativa entre os estudos ($p = 0,004$) levou à não generalização deste resultado e à necessidade de investigações adicionais sobre as causas da heterogeneidade. Infelizmente, a metarregressão não foi capaz de identificar nenhum moderador significativo para esta variável (Tabela 6). Dos moderadores avaliados aqui, aquele com o menor valor de p na metarregressão foi a genética das aves ($p = 0,125$), que ainda é muito alto para permitir qualquer inferência sobre o tamanho do efeito da suplementação de ômega-3. No entanto, apesar de não ser significativo, a fonte de ômega-3 ($R^2 = 26,62\%$), o período de suplementação ($R^2 = 21,16\%$) e a genética das galinhas ($R^2 = 14,85\%$) poderiam explicar uma quantidade relevante da heterogeneidade entre os estudos em nosso modelo.

Para identificar causas significativas de heterogeneidade para essa variável, uma descrição mais abrangente da população, tratamentos e outras características associadas a cada estudo primário individual é desejável, juntamente com um esforço da equipe meta-analítica em minerar informações sobre outros possíveis moderadores da literatura. Portanto, essa dificuldade em identificar moderadores significativos para a conversão alimentar das galinhas pode refletir tanto uma falha da literatura quanto uma falta de sensibilidade de nossa equipe meta-analítica em escolher informações relevantes a serem extraídas dos estudos primários.

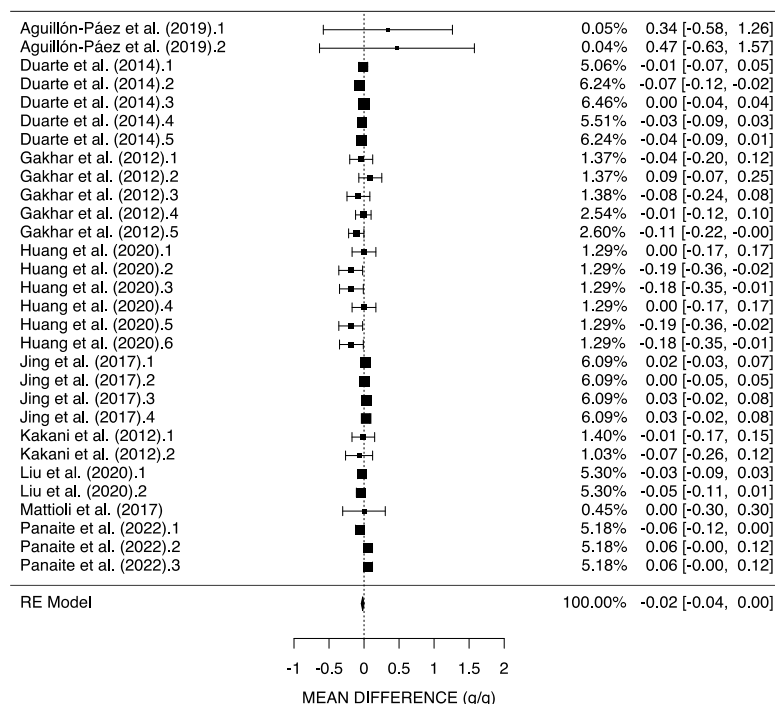


Figura 5 – meta-análise dos efeitos da suplementação de ômega-3 na ração sobre a conversão alimentar de galinhas (g/g). Diferença média = -0,0189 (p=0,075); Tau² = 0,0012 (p=0,004); I² = 46,05%

Tabela 6 – Meta-regressão e análise de subgrupos dos efeitos da suplementação de ômega-3 na conversão alimentar das galinhas (g/g)

moderador ¹	k	diferença média (ci, 95%)	p-value	R ²
local do ensaio	30	-	0.217	4.66
genética da ave	30	-	0.125	14.85
início da suplementação	30	-	0.221	0
período de suplementação	30	-	0.228	21.16
fonte de ômega-3	30	-	0.179	26.62
concentração de ômega-3	30	-	0.599	0

¹ não foram detectados moderadores significativos para realizar a análise de subgrupos

4.3 Análise de sensibilidade

Para verificar a robustez dos resultados meta-analíticos apresentados aqui, uma série de verificações qualitativas foi realizada em nosso conjunto de dados. Primeiro, e também muito relevante neste contexto, é importante lembrar que apenas ensaios randomizados foram incluídos aqui. Esses são o tipo mais robusto de estudo primário devido ao controle mais intenso das intervenções e homogeneidade da população no início do período experimental (Grimes; Schulz, 2002). Essa robustez é muito mais difícil de ser alcançada em um estudo observacional, o que reduz as chances de replicação do efeito observado em toda a população. Dito isso, todos os estudos incluídos passaram sem restrições nas verificações internas recomendadas de

geração de sequência, cegamento de participantes, cancelamento de alocação e apresentação incompleta de dados dos resultados. Segundo, antes da meta-análise ser conduzida, as diferenças médias de todas as variáveis avaliadas foram verificadas quanto à presença de outliers com base em seus valores residuais estudentizados. Conforme descrito anteriormente, dois outliers foram excluídos do nosso conjunto de dados, um proveniente da concentração de ômega-3 no ovo (Moghadam; Aziza; Cherian, 2021) e o outro do peso do ovo (Panaite *et al.*, 2022).

A análise visual dos gráficos de funil, seguida pelo teste de egger, foi realizada para investigar formalmente a assimetria na distribuição das diferenças médias (Figura 6), que é um indicador de potencial viés de publicação no conjunto de dados. De fato, o teste de egger detectou alguma assimetria nas diferenças médias padronizadas da variável concentração de ômega-3 no ovo ($p < 0,001$), mas a verificação visual do gráfico de funil mostrou que essa assimetria foi causada por apenas duas observações na parte inferior direita da pirâmide, ambas de (Hosseini-Vashan *et al.*, 2011). Sua posição na base da pirâmide demonstra o baixo peso dessas observações (0,36 e 0,09%) para o resultado geral da meta-análise, uma vez que as diferenças médias com mais peso, consequência de seu maior tamanho amostral e precisão nas estimativas, estão no topo da pirâmide (método da variância inversa). Para garantir que essas observações não fossem um problema no modelo, elas foram temporariamente excluídas do conjunto de dados e, como o resultado geral não mudou significativamente depois disso, foram reincorporadas ao nosso conjunto de dados, seguindo as recomendações de Higgins; Green, (2008). Para todas as outras variáveis, nenhuma assimetria significativa foi detectada.

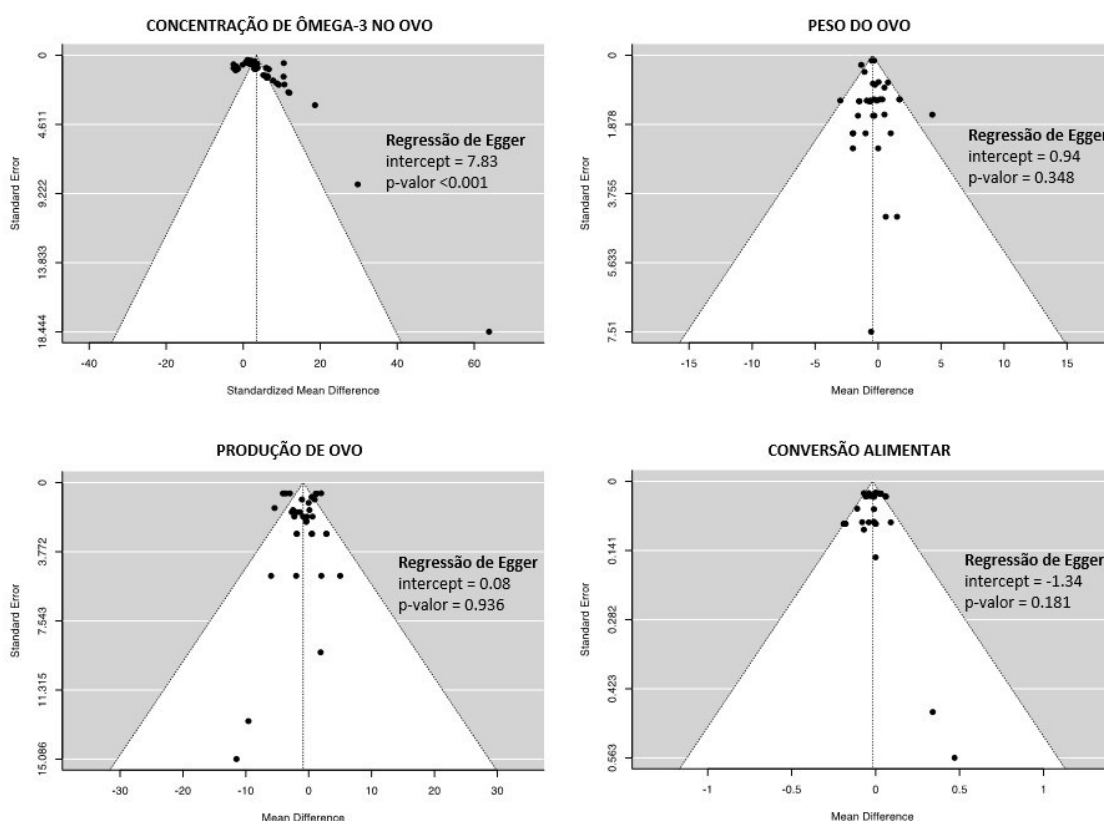


Figura 6 – Análise gráfica e estatística da assimetria das diferenças médias para avaliar possíveis vieses de publicação

Finalmente, aumentando o corpo de resultados que demonstra a robustez da nossa meta-análise, o número total de estudos incluídos em nosso conjunto de dados foi relevante, especialmente considerando o alto rigor adotado na construção de nossos critérios de elegibilidade. Isso se traduz em um conjunto de estudos que compartilham uma grande quantidade de similaridades em seu núcleo, o que é crucial para uma generalização mais ampla dos resultados meta-analíticos. Dito isso, as desvantagens potenciais identificadas nesta meta-análise são específicas e mais associadas ao número reduzido de resultados resumidos de: i) fontes mistas de ômega-3 para a variável concentração de ômega-3 no ovo; ii) galinhas de penas marrons para as variáveis peso do ovo e produção de ovos; iii) ensaios asiáticos e europeus para a variável produção de ovos. Para fornecer informações mais significativas na literatura, sugerimos que os pesquisadores conduzam e publiquem mais estudos primários que preencham essas lacunas. No futuro, esses novos estudos primários podem contribuir para uma melhor estimativa do tamanho do efeito da suplementação de ômega-3 nessas situações específicas.

5 CONCLUSÃO

Há evidências na literatura de que alimentar galinhas com fontes de ômega-3 resulta em maior concentração de ômega-3 nos ovos, uma resposta diretamente proporcional ao nível de ômega-3 na ração. De todas as fontes de ômega-3 avaliadas em ensaios individuais, a meta-análise demonstrou que a semente de linhaça foi a mais eficaz na transferência de ômega-3 da ração para o ovo.

No entanto, a suplementação com ômega-3 reduz significativamente o peso e a produção de ovos, respostas cujas intensidades são moderadas pela genética das aves, pela concentração de ômega-3 na ração e pela principal fonte de ômega-3 na dieta. Portanto, todas essas características devem ser consideradas pelos produtores ao estabelecer um protocolo de enriquecimento de ovos e definir o preço final do produto.

Mesmo com a inclusão de ômega-3 na alimentação das aves resultando em uma redução geral na produção e no peso dos ovos, o enriquecimento dos ovos com ômega-3 continua sendo uma estratégia viável e relevante nutricionalmente. Os ovos enriquecidos facilitam a ingestão desse nutriente essencial pela população mundial e é benéfico para a saúde das aves. Entretanto, vale ressaltar que os efeitos negativos devem ser levados em consideração pelos produtores ao formular dietas enriquecidas, a fim de equilibrar os impactos na produção e os benefícios nutricionais.

REFERÊNCIAS

- AGUILLÓN-PÁEZ, Y.; ROMERO, L.; DIAZ, G. Effect of full-fat sunflower or flaxseed seeds dietary inclusion on performance, egg yolk fatty acid profile and egg quality in laying hens. **ANIMAL NUTRITION**, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 179–184, 2020.
- ALAGAWANY, M. *et al.* Omega-3 and Omega-6 Fatty Acids in Poultry Nutrition: Effect on Production Performance and Health. **Animals**, [s. l.], v. 9, n. 8, p. 573, 2019.
- ALBRACHT-SCHULTE, K. *et al.* Omega-3 fatty acids in obesity and metabolic syndrome: a mechanistic update. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, [s. l.], v. 58, p. 1–16, 2018.
- ALVARENGA, R. R. *et al.* Lipoprotein metabolism in poultry. **World's Poultry Science Journal**, [s. l.], v. 67, n. 3, p. 431–440, 2011.
- ANTRUEJO, A. *et al.* Omega-3 enriched egg production: the effect of α -linolenic ω -3 fatty acid sources on laying hen performance and yolk lipid content and fatty acid composition. **British poultry science**, England, v. 52, n. 6, p. 750–760, 2011.
- ARO, H. *et al.* Functional and sensory properties of hen eggs with modified fatty acid compositions. **FOOD & FUNCTION**, [s. l.], v. 2, n. 11, p. 671–677, 2011.
- BAEZA, E. *et al.* Is it possible to increase the n-3 fatty acid content of eggs without affecting their technological and/or sensorial quality and the laying performance of hens?. **British poultry science**, England, v. 56, n. 6, p. 748–754, 2015.
- BATKOWSKA, J. *et al.* Fatty acids profile, cholesterol level and quality of table eggs from hens fed with the addition of linseed and soybean oil. **Food chemistry**, England, v. 334, p. 127612, 2021.
- BRUNEEL, C. *et al.* Impact of microalgal feed supplementation on omega-3 fatty acid enrichment of hen eggs. **JOURNAL OF FUNCTIONAL FOODS**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 897–904, 2013.
- BURLEY, R. W.; SLEIGH, R. W.; SHENSTONE, F. S. Lipoproteins from the blood and egg yolk of the hen: The transfer of very-low-density lipoprotein to egg yolk and possible changes to apoprotein B. **European Journal of Biochemistry**, [s. l.], v. 142, n. 1, p. 171–176, 1984.
- CARVALHO, P. R. *et al.* Efeito de fontes marinhas ricas em PUFA's na dieta sobre a composição lipídica e percentuais de incorporação de PUFA's n-6 na gema do ovo. **Arquivos do Instituto Biológico**, [s. l.], v. 76, n. 2, p. 173–186, 2009.
- CEDRO, T. *et al.* Fatty acids levels in conventional and designer omega-3 commercial eggs. **REVISTA BRASILEIRA DE ZOOTECNIA-BRAZILIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**, [s. l.], v. 39, n. 8, p. 1733–1739, 2010.
- CHATZIDIMITRIOU, E. *et al.* Egg fatty acid profiles and potential health risk from defatted insect meal in laying hens' diets. **JOURNAL OF INSECTS AS FOOD AND FEED**, [s. l.], v. 8, n. 10, p. 1085–1095, 2022.

CHOLEWSKI, M.; TOMCZYKOWA, M.; TOMCZYK, M. A comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty acids. **NUTRIENTS**, Switzerland, v. 10, n. 11, 2018.

COOREY, R. *et al.* Omega-3 fatty acid profile of eggs from laying hens fed diets supplemented with chia, fish oil, and flaxseed. **Journal of food science**, United States, v. 80, n. 1, p. S180–187, 2015.

CORRALES-RETANA, L. *et al.* Profile of fatty acid lipid fractions of omega-3 fatty acid-enriched table eggs. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, Germany, v. 105, n. 2, p. 326–335, 2021.

DAI, P. *et al.* Mortierella alpina feed supplementation enriched hen eggs with DHA and AA. **RSC ADVANCES**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 1694–1699, 2016.

DAUKSIENE, A. *et al.* Effects of dietary Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tuber powder and medium/long-chain fatty acids on production performance and fatty acid profile in laying hens. **INDIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCES**, [s. l.], v. 90, n. 3, p. 428–432, 2020.

DE CARVALHO, P. R. *et al.* Lipid profile of the yolk under the influence of supplementaries sources rich in ω -3 PUFAs in the diet of laying hens in the time. **Pakistan Journal of Nutrition**, [s. l.], v. 10, n. 8, p. 760–772, 2011.

DE OLIVEIRA, D. *et al.* EFFECTS OF THE USE OF SOYBEAN OIL AND ANIMAL FAT IN THE DIET OF LAYING HENS ON PRODUCTION PERFORMANCE AND EGG QUALITY. **CIENCIA E AGROTECNOLOGIA**, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 995–1001, 2011.

DÍAZ, G.; CORTÉS, A.; CEPEDA, S. Effect of feeding hens trout by-product meal or tuna fish oil on production parameters and yolk fatty acid profile. **REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS PECUARIAS**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 609–616, 2011.

DJURICIC, I.; CALDER, P. C. Beneficial Outcomes of Omega-6 and Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Human Health: An Update for 2021. **Nutrients**, [s. l.], v. 13, n. 7, p. 2421, 2021.

DONG, X. F.; LIU, S.; TONG, J. M. Comparative Effect of Dietary Soybean Oil, Fish Oil, and Coconut Oil on Performance, Egg Quality and Some Blood Parameters in Laying Hens. **Poultry Science**, [s. l.], v. 97, n. 7, p. 2460–2472, 2018.

DOTAS, V. *et al.* Fatty Acid Profile and Oxidative Stability of Layers' Egg Yolk as Affected by Dietary Supplementation with Fresh Purslane and Addition of Aromatic Plant Essential Oils to Drinking Water. **SUSTAINABILITY**, [s. l.], v. 15, n. 15, 2023.

DUARTE, C. *et al.* Mixed Crude Glycerin in Laying Hen Diets: Live Performance and Egg Quality and Fatty Acid Profile. **BRAZILIAN JOURNAL OF POULTRY SCIENCE**, [s. l.], v. 16, n. 4, p. 351–358, 2014.

EHR, I. J.; PERSIA, M. E.; BOBECK, E. A. Comparative omega-3 fatty acid enrichment of egg yolks from first-cycle laying hens fed flaxseed oil or ground flaxseed. **Poultry science**, England, v. 96, n. 6, p. 1791–1799, 2017.

ELAGIZI, A. *et al.* An Update on Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Cardiovascular Health. **Nutrients**, Switzerland, v. 13, n. 1, 2021.

ELKIN, R. G. *et al.* Dietary High-Oleic Acid Soybean Oil Dose Dependently Attenuates Egg Yolk Content of n-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Laying Hens Fed Supplemental Flaxseed Oil. **Lipids**, United States, v. 53, n. 2, p. 235–249, 2018.

ELKIN, R. G. *et al.* Feeding laying hens docosa hexaenoic acid-rich microalgae oil at 40 g/kg diet causes hypotriglyceridemia, depresses egg production, and attenuates expression of key genes affecting hepatic triglyceride synthesis and secretion, but is rescued by dietary co-supplementation of high-oleic sunflower oil. **Poultry science**, England, v. 102, n. 2, p. 102318, 2023.

ELKIN, R. G.; HARVATINE, K. J. A review of recent studies on the enrichment of eggs and poultry meat with omega-3 polyunsaturated fatty acids: novel findings and unanswered questions. **Poultry science**, England, v. 102, n. 10, p. 102938, 2023.

EL-ZENARY, A. S. A.; ELKIN, R. G.; HARVATINE, K. J. Comparison of Ahiflower oil containing stearidonic acid to a high-alpha-linolenic acid flaxseed oil at two dietary levels on omega-3 enrichment of egg yolk and tissues in laying hens. **Lipids**, United States, v. 58, n. 3, p. 139–155, 2023.

EVARIS, E. *et al.* Effect of dietary inclusion of purslane (*Portulaca oleracea* L.) on yolk omega-3 fatty acids content, egg quality and productive performance of rhode island red hens. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 33–38, 2015.

FENG, J. *et al.* Comparative effects of dietary microalgae oil and fish oil on fatty acid composition and sensory quality of table eggs. **Poultry science**, England, v. 99, n. 3, p. 1734–1743, 2020.

FRAEYE, I. *et al.* Dietary enrichment of eggs with omega-3 fatty acids: A review. **FOOD RESEARCH INTERNATIONAL**, [s. l.], v. 48, n. 2, p. 961–969, 2012.

GAKHAR, N. *et al.* Effect of feeding hemp seed and hemp seed oil on laying hen performance and egg yolk fatty acid content: evidence of their safety and efficacy for laying hen diets. **Poultry science**, England, v. 91, n. 3, p. 701–711, 2012.

GLADKOWSKI, W. *et al.* Fatty acid composition of egg yolk phospholipid fractions following feed supplementation of Lohmann Brown hens with humic-fat preparations. **FOOD CHEMISTRY**, [s. l.], v. 126, n. 3, p. 1013–1018, 2011.

GOLDBERG, E. M. *et al.* Designer laying hen diets to improve egg fatty acid profile and maintain sensory quality. **Food science & nutrition**, United States, v. 1, n. 4, p. 324–335, 2013.

GOLDBERG, E. M. *et al.* Fatty acid profile and sensory characteristics of table eggs from laying hens fed hempseed and hempseed oil. **Journal of food science**, United States, v. 77, n. 4, p. S153-160, 2012.

GOLDBERG, E. M. *et al.* Interactions between canola meal and flaxseed oil in the diets of White Lohmann hens on fatty acid profile and sensory characteristics of table eggs. **Poultry science**, England, v. 95, n. 8, p. 1805–1812, 2016.

GRIMES, D. A.; SCHULZ, K. F. An overview of clinical research: the lay of the land. **The Lancet**, [s. l.], v. 359, n. 9300, p. 57–61, 2002.

HAJRA, D. *et al.* Production of Egg with Low Cholesterol and High Omega-3 Fatty Acid through Dietary Manipulation. **ANIMAL NUTRITION AND FEED TECHNOLOGY**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 37–46, 2019.

HIGGINS, J. P.; GREEN, S. (org.). Front Matter. In: **Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions**. 1. ed. [S. l.]: Wiley, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470712184.fmatter>. Acesso em: 20 mar. 2025.

HOSSEINI, H. *et al.* Egg enrichment with n-3 fatty acids in farmed hens in sub-optimum temperature: A cold-temperament additive mix alleviates adverse effects of stress on performance and health. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, Germany, v. 106, n. 6, p. 1333–1344, 2022.

HOSSEINI-VASHAN, S. *et al.* Comparison of yolk fatty acid content, blood and egg cholesterol of hens fed diets containing palm olein oil and kilka fish oil. **AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY**, [s. l.], v. 10, n. 51, p. 10484–10490, 2011.

HUANG, S.; BAURHOO, B.; MUSTAFA, A. Effects of feeding extruded flaxseed on layer performance, total tract nutrient digestibility, and fatty acid concentrations of egg yolk, plasma and liver. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, Germany, v. 104, n. 5, p. 1365–1374, 2020.

IMRAN, M. *et al.* Production of Bio-omega-3 eggs through the supplementation of extruded flaxseed meal in hen diet. **Lipids in health and disease**, England, v. 14, p. 126, 2015.

IRAWAN, A. *et al.* Supplementary n-3 fatty acids sources on performance and formation of omega-3 in egg of laying hens: a meta-analysis. **Poultry science**, England, v. 101, n. 1, p. 101566, 2022.

JING, M.; ZHAO, S.; HOUSE, J. Performance and tissue fatty acid profile of broiler chickens and laying hens fed hemp oil and HempOmegaTM. **POULTRY SCIENCE**, [s. l.], v. 96, n. 6, p. 1809–1819, 2017.

JIRU, M. *et al.* Potential of microalgae as source of health-beneficial bioactive components in produced eggs. **JOURNAL OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY-MYSORE**, [s. l.], v. 58, n. 11, p. 4225–4234, 2021.

KAKANI, R. *et al.* Camelina meal increases egg n-3 fatty acid content without altering quality or production in laying hens. **Lipids**, United States, v. 47, n. 5, p. 519–526, 2012.

KARAFFOVÁ, V. *et al.* Immune Response and Fatty Acid Profile of Eggs from Laying Hens Fed Fermented Feed Rich in Polyunsaturated Fatty Acids. **FERMENTATION-BASEL**, [s. l.], v. 8, n. 3, 2022.

KARTIKASARI, L. R. *et al.* Omega-3 fatty acid levels and sensory quality of eggs following consumption of alpha-linolenic acid enriched diets. **Food Research**, [s. l.], v. 5, p. 57–64, 2021.

KEEGAN, J. D. *et al.* Heterotrophic *Aurantiochytrium* sp. supplementation to layer diets sustainably increases the omega-3 concentration of eggs. **British poultry science**, England, v. 60, n. 5, p. 570–578, 2019.

KIANFAR, R. *et al.* A Comparison of the Effects of Raw and Processed Amaranth Grain on Laying Hens' Performance, Egg Physicochemical Properties, Blood Biochemistry and Egg Fatty Acids. **ANIMALS**, [s. l.], v. 13, n. 8, 2023.

KIRUBAKARN, A.; BAMA, T.; THAVASIAPPAN. Impact of functional diet and basil leaf (*Ocimum sanctum*) meal on layer egg's fatty acid level and layer's production performance. **INDIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCES**, [s. l.], v. 93, n. 6, p. 626–629, 2023.

KOPACZ, M. *et al.* Performance and egg quality of laying hens fed diets containing raw, hydrobarothermally-treated and fermented rapeseed cake. **Animals**, [s. l.], v. 11, n. 11, 2021. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85117946398&doi=10.3390%2fani11113083&partnerID=40&md5=a7c0fb92ad1cb79eb676dd0dedc54d22>.

KOWALSKA, E. *et al.* Quality of Eggs, Concentration of Lysozyme in Albumen, and Fatty Acids in Yolk in Relation to Blue Lupin-Rich Diet and Production Cycle. **ANIMALS**, [s. l.], v. 10, n. 4, 2020.

KRALIK, G. *et al.* Cholesterol Content and Fatty Acids Profile in Conventional and Omega-3 Enriched Eggs. **BRAZILIAN JOURNAL OF POULTRY SCIENCE**, [s. l.], v. 24, n. 2, 2022.

KRALIK, G. *et al.* Fatty acid profile of eggs produced by laying hens fed diets containing different shares of fish oil. **POULTRY SCIENCE**, [s. l.], v. 100, n. 10, 2021.

KRALIK, Z. *et al.* Natural Multi-Enriched Eggs with n-3 Polyunsaturated Fatty Acids, Selenium, Vitamin E, and Lutein. **ANIMALS**, [s. l.], v. 13, n. 2, 2023.

LAURITZEN, L. *et al.* DHA Effects in Brain Development and Function. **Nutrients**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 6, 2016.

LAWLOR, J. *et al.* Fatty acid profile and sensory characteristics of table eggs from laying hens fed diets containing microencapsulated fish oil. **ANIMAL FEED SCIENCE AND TECHNOLOGY**, [s. l.], v. 156, n. 3–4, p. 97–103, 2010.

LEE, S. H. *et al.* Dietary soluble flaxseed oils as a source of omega-3 polyunsaturated fatty acids for laying hens. **Poultry science**, England, v. 100, n. 8, p. 101276, 2021.

LEE, J.-Y. *et al.* Influence of Flaxseed Oil on Fecal Microbiota, Egg Quality and Fatty Acid Composition of Egg Yolks in Laying Hens. **Current microbiology**, United States, v. 72, n. 3, p. 259–266, 2016.

LEMAHIEU, C. *et al.* Effect of different microalgal n-3 PUFA supplementation doses on yolk color and n-3 LC-PUFA enrichment in the egg. **ALGAL RESEARCH-BIOMASS BIOFUELS AND BIOPRODUCTS**, [s. l.], v. 6, p. 119–123, 2014.

LEMAHIEU, C. *et al.* Impact of different omega-3 polyunsaturated fatty acid (n-3 PUFA) sources (flaxseed, Isochrysis galbana, fish oil and DHA Gold) on n-3 LC-PUFA enrichment (efficiency) in the egg yolk. **JOURNAL OF FUNCTIONAL FOODS**, [s. l.], v. 19, p. 821–827, 2015.

LEMAHIEU, C. *et al.* Impact of feed supplementation with different omega-3 rich microalgae species on enrichment of eggs of laying hens. **Food chemistry**, England, v. 141, n. 4, p. 4051–4059, 2013.

LEMAHIEU, C. *et al.* The cell wall of autotrophic microalgae influences the enrichment of long chain omega-3 fatty acids in the egg. **ALGAL RESEARCH-BIOMASS BIOFUELS AND BIOPRODUCTS**, [s. l.], v. 16, p. 209–215, 2016.

LEWIS, N. M.; SEBURG, S.; FLANAGAN, N. L. Enriched eggs as a source of N-3 polyunsaturated fatty acids for humans. **Poultry science**, England, v. 79, n. 7, p. 971–974, 2000.

LI, S. *et al.* The Effect of Increasing Concentrations of Omega-3 Fatty Acids from either Flaxseed Oil or Preformed Docosahexaenoic Acid on Fatty Acid Composition, Plasma Oxylipin, and Immune Response of Laying Hens. **The Journal of nutrition**, United States, v. 153, n. 7, p. 2105–2116, 2023.

LIU, B. *et al.* Time course of nutritional and functional property changes in egg yolk from laying hens fed docosahexaenoic acid-rich microalgae. **Poultry science**, England, v. 99, n. 9, p. 4616–4625, 2020.

MAGNUSON, A. *et al.* Supplemental dietary microalgal docosahexaenoic acid enriched this fatty acid and improved n-6 to n-3 fatty acid ratios in egg yolks and tissues of laying hens. **JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**, [s. l.], v. 96, p. 297–297, 2018.

MAINA, A. N.; LEWIS, E.; KIARIE, E. G. Egg production, egg quality, and fatty acids profiles in eggs and tissues in Lohmann LSL lite hens fed algal oils rich in docosahexaenoic acid (DHA). **Poultry science**, England, v. 102, n. 10, p. 102921, 2023.

MANOR, M. L. *et al.* Inclusion of Dietary Defatted Microalgae Dose-Dependently Enriches ω -3 Fatty Acids in Egg Yolk and Tissues of Laying Hens. **The Journal of nutrition**, United States, v. 149, n. 6, p. 942–950, 2019.

MATTIOLI, S. *et al.* Alfalfa and flax sprouts supplementation enriches the content of bioactive compounds and lowers the cholesterol in hen egg. **JOURNAL OF FUNCTIONAL FOODS**, [s. l.], v. 22, p. 454–462, 2016.

MATTIOLI, S. *et al.* Performance and egg quality of laying hens fed flaxseed: highlights on n-3 fatty acids, cholesterol, lignans and isoflavones. **Animal: an international journal of animal bioscience**, England, v. 11, n. 4, p. 705–712, 2017.

MENS, A. J. W. *et al.* Enriching table eggs with n-3 polyunsaturated fatty acids through dietary supplementation with the phototrophically grown green algae *Nannochloropsis limnetica*: effects of microalgae on nutrient retention, performance, egg characteristics and health parameters. **Poultry science**, England, v. 101, n. 6, p. 101869, 2022.

MICHALAK, I. *et al.* Biofortification of Hens Eggs with Polyunsaturated Fatty Acids by New Dietary Formulation: Supercritical Microalgal Extract. **ANIMALS**, [s. l.], v. 10, n. 3, 2020.

MOGHADAM, M.; AZIZA, A.; CHERIAN, G. Choline and methionine supplementation in layer hens fed flaxseed: effects on hen production performance, egg fatty acid composition, tocopherol content, and oxidative stability. **POULTRY SCIENCE**, [s. l.], v. 100, n. 9, 2021.

MORAN, C. *et al.* Docosahexaenoic acid enrichment of layer hen tissues and eggs through dietary supplementation with heterotrophically grown *Aurantiochytrium limacinum*. **JOURNAL OF APPLIED POULTRY RESEARCH**, [s. l.], v. 29, n. 1, p. 152–161, 2020.

MORAN, C. *et al.* Increasing the Omega-3 Content of Hen's Eggs Through Dietary Supplementation with *Aurantiochytrium limacinum* Microalgae: Effect of Inclusion Rate on the Temporal Pattern of Docosahexaenoic Acid Enrichment, Efficiency of Transfer, and Egg Characteristics. **JOURNAL OF APPLIED POULTRY RESEARCH**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 329–338, 2019a.

MORAN, C. *et al.* Increasing the Omega-3 Content of Hen's Eggs Through Dietary Supplementation with *Aurantiochytrium limacinum* Microalgae: Effect of Inclusion Rate on the Temporal Pattern of Docosahexaenoic Acid Enrichment, Efficiency of Transfer, and Egg Characteristics. **JOURNAL OF APPLIED POULTRY RESEARCH**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 329–338, 2019b.

NAIN, S. *et al.* Characterization of the n-3 polyunsaturated fatty acid enrichment in laying hens fed an extruded flax enrichment source. **Poultry science**, England, v. 91, n. 7, p. 1720–1732, 2012a.

NAIN, S. *et al.* Effect of metabolic efficiency and intestinal morphology on variability in n-3 polyunsaturated fatty acid enrichment of eggs. **Poultry science**, England, v. 91, n. 4, p. 888–898, 2012b.

NANJAPPAN, K. *et al.* Enriching chicken eggs with omega-3 fatty acids for improving human health. **INDIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCES**, [s. l.], v. 83, n. 8, p. 825–828, 2013.

NEIJAT, M. *et al.* Hempseed Products Fed to Hens Effectively Increased n-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Total Lipids, Triacylglycerol and Phospholipid of Egg Yolk. **Lipids**, United States, v. 51, n. 5, p. 601–614, 2016.

NEIJAT, M.; OJEKUDO, O.; HOUSE, J. D. Effect of flaxseed oil and microalgae DHA on the production performance, fatty acids and total lipids of egg yolk and plasma in laying hens. **Prostaglandins, leukotrienes, and essential fatty acids**, Scotland, v. 115, p. 77–88, 2016.

NEVES, M. *et al.* Nannochloropsis oceanica as a Sustainable Source of n-3 Polyunsaturated Fatty Acids for Enrichment of Hen Eggs. **APPLIED SCIENCES-BASEL**, [s. l.], v. 11, n. 18, 2021.

NJEMBE, M. *et al.* The Egg Yolk Content in ω -3 and Conjugated Fatty Acids Can Be Sustainably Increased upon Long-Term Feeding of Laying Hens with a Diet Containing Flaxseeds and Pomegranate Seed Oil. **FOODS**, [s. l.], v. 10, n. 5, 2021.

OLIVEIRA, D. *et al.* Effects of lipid sources in the diet of laying hens on the fatty acid profiles of egg yolks. **POULTRY SCIENCE**, [s. l.], v. 89, n. 11, p. 2484–2490, 2010.

OMIDI, M.; RAHIMI, S.; KARIMI TORSHIZI, M. A. Modification of egg yolk fatty acids profile by using different oil sources. **Veterinary research forum: an international quarterly journal**, Iran, v. 6, n. 2, p. 137–141, 2015.

OMRI, B. *et al.* Effect of dietary incorporation of linseed alone or together with tomato-red pepper mix on laying hens' egg yolk fatty acids profile and health lipid indexes. **Nutrients**, [s. l.], v. 11, n. 4, 2019. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85064819325&doi=10.3390%2fnu11040813&partnerID=40&md5=c5994472ff48e12dfb6c4e559db98ce6>.

PALMIERI, N. *et al.* Factors Influencing Italian Consumers' Willingness to Pay for Eggs Enriched with Omega-3-Fatty Acids. **Foods (Basel, Switzerland)**, Switzerland, v. 11, n. 4, 2022.

PANAITE, T. *et al.* Effect of Layer Diets Enriched in Omega-3 Fatty Acids Supplemented with Cu on the Nutritive Value of the Eggs. **ROMANIAN BIOTECHNOLOGICAL LETTERS**, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 11754–11762, 2016.

PANAITE, T. D. *et al.* Flaxseed and dried tomato waste used together in laying hens diet. **Archives of animal nutrition**, England, v. 73, n. 3, p. 222–238, 2019.

PANAITE, T. *et al.* Nutritional parameters of eggs from laying hens fed with flaxseed meal or mixture with rapeseed meal or rice bran. **JOURNAL OF APPLIED ANIMAL RESEARCH**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 566–574, 2020.

PANAITE, T. *et al.* PERFORMANCE AND EGG QUALITY OF LAYING HENS FED WITH DIETARY RAW MATERIALS RICH IN PUFA Ω :3. **SCIENTIFIC PAPERS-SERIES D-ANIMAL SCIENCE**, [s. l.], v. 65, n. 1, p. 188–197, 2022.

PERIC, J.; DRINIC, M. Enriching table eggs with omega-3 fatty acids by using ground flaxseed or a combination of flax cake and flaxseed oil in the diet of laying hens. **VETERINARSKI ARHIV**, [s. l.], v. 91, n. 4, p. 399–409, 2021.

PETROVIĆ, M. *et al.* Enrichment of eggs in n-3 polyunsaturated fatty acids by feeding hens with different amount of linseed oil in diet. **Food chemistry**, England, v. 135, n. 3, p. 1563–1568, 2012.

RAZA, T. *et al.* Improving the fatty acid profile in egg yolk through the use of hempseed (Cannabis sativa), ginger (Zingiber officinale), and turmeric (Curcuma longa) in the diet of Hy-

Line White Leghorns. **ARCHIVES ANIMAL BREEDING**, [s. l.], v. 59, n. 2, p. 183–190, 2016.

ROSTAGNO, H. S. *et al.* Brazilian Tables for Poultry and Swine. Food Composition and Nutritional Requirements. 5th edn. [s. l.], 2024.

SANGIOVANNI, J. P.; CHEW, E. Y. The role of omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in health and disease of the retina. **Progress in Retinal and Eye Research**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 87–138, 2005.

SARGEANT, J. M.; O'CONNOR, A. M. Scoping Reviews, Systematic Reviews, and Meta-Analysis: Applications in Veterinary Medicine. **FRONTIERS IN VETERINARY SCIENCE**, Switzerland, v. 7, p. 11, 2020.

SAUVANT, D. *et al.* Review: Use and misuse of meta-analysis in Animal Science. **ANIMAL: an international journal of animal bioscience**, England, v. 14, n. S2, p. s207–s222, 2020.

SHAFEY, T.; AL-BATSHAN, H.; FARHAN, A. The effect of dietary flaxseed meal on liver and egg yolk fatty acid profiles, immune response and antioxidant status of laying hens. **ITALIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**, [s. l.], v. 14, n. 3, 2015.

SHAHID, S. *et al.* Alternations in Cholesterol and Fatty Acids Composition in Egg Yolk of Rhode Island Red x Fyoumi Hens Fed with Hemp Seeds (*Cannabis sativa* L.). **JOURNAL OF CHEMISTRY**, [s. l.], v. 2015, 2015.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. **ANNUAL REVIEW OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY**, United States, v. 9, p. 345–381, 2018.

SIMOPOULOS, A. P. Human Requirement for N-3 Polyunsaturated Fatty Acids. **Poultry Science**, [s. l.], v. 79, n. 7, p. 961–970, 2000.

SIMOPOULOS, A. P. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. **Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie**, France, v. 56, n. 8, p. 365–379, 2002.

SPASEVSKI, N. *et al.* INFLUENCE OF EXTRUDED CAMELINA SEED AND NATURAL COLOURANTS ADDITION IN LAYING HENS DIET ON EGGS YOLK COLOUR AND FATTY ACID COMPOSITION. **JOURNAL OF ANIMAL AND PLANT SCIENCES-JAPS**, [s. l.], v. 30, n. 6, p. 1347–1356, 2020.

SULTAN, A. *et al.* Nutritional Effect of Flaxseeds on Cholesterol Profile and Fatty Acid Composition in Egg Yolk. **CEREAL CHEMISTRY**, [s. l.], v. 92, n. 1, p. 50–53, 2015.

TANG, X. *et al.* Application of high EPA-producing *Mortierella alpina* in laying hen feed for egg DHA accumulation. **RSC advances**, England, v. 8, n. 68, p. 39005–39012, 2018.

TIMOVÁ, I. *et al.* Impact of feeding mixture containing lupin meal on improvement of polyunsaturated fatty acids in egg yolk. **CZECH JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**, [s. l.], v. 65, n. 8, p. 311–321, 2020.

TOYES-VARGAS, E. *et al.* Effect of marine by-product meals on hen egg production parameters, yolk lipid composition and sensory quality. **JOURNAL OF ANIMAL PHYSIOLOGY AND ANIMAL NUTRITION**, [s. l.], v. 102, n. 2, p. 462–473, 2018.

USDA, U. S. D. of A. **Dietary Guidelines for Americans, 2020-2025**. Washington D.C: USDA, 2020. Disponível em: [dietaryguidelines.gov](https://www.dietaryguidelines.gov). Acesso em: 4 nov. 2024.

VALAVAN, S. *et al.* Production of designer egg: Effects of various n-3 lipid sources on fatty acids composition and sensory characteristics of chicken egg. **INDIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCES**, [s. l.], v. 83, n. 10, p. 1097–1101, 2013.

VLAICU, P. A. *et al.* EGG PHYSICAL CHARACTERISTICS, FATTY ACID PROFILE AND HEALTH LIPID INDEXES OF STORED EGGS FROM HENS FED DIETS SUPPLEMENTED WITH MIXTURES OF FLAXSEED MEAL AND CAROTENOIDS. **Journal of Hygienic Engineering and Design**, [s. l.], v. 42, p. 234–241, 2023.

VLAICU, P. A.; PANAITE, T. D.; TURCU, R. P. Enriching laying hens eggs by feeding diets with different fatty acid composition and antioxidants. **Scientific reports**, England, v. 11, n. 1, p. 20707, 2021.

WANG, H. *et al.* Dietary choline and phospholipid supplementation enhanced docosahexaenoic acid enrichment in egg yolk of laying hens fed a 2% Schizochytrium powder-added diet. **Poultry science**, England, v. 96, n. 8, p. 2786–2794, 2017.

WEN, Z. *et al.* Rubber seed oil supplementation enriches n-3 polyunsaturated fatty acids and reduces cholesterol contents of egg yolks in laying hens. **Food chemistry**, England, v. 301, p. 125198, 2019.

WESTBROOK, L.; CHERIAN, G. Egg quality, fatty-acid composition and gastrointestinal morphology of layer hens fed whole flaxseed with enzyme supplementation. **BRITISH POULTRY SCIENCE**, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 146–153, 2019.

WU, Y. B. *et al.* Dual functions of eicosapentaenoic acid-rich microalgae: enrichment of yolk with n-3 polyunsaturated fatty acids and partial replacement for soybean meal in diet of laying hens. **Poultry science**, England, v. 98, n. 1, p. 350–357, 2019.

YALÇIN, S. *et al.* Effects of dried thyme (*Thymus vulgaris* L.) leaves on performance, some egg quality traits and immunity in laying hens. **ANKARA UNIVERSITESI VETERINER FAKULTESI DERGISI**, [s. l.], v. 67, n. 3, p. 303–311, 2020.

YALÇIN, H.; ÜNAL, M. The Enrichment of Hen Eggs with ω -3 Fatty Acids. **JOURNAL OF MEDICINAL FOOD**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 610–614, 2010.

YI, H. *et al.* Fatty Acid Composition and Sensory Characteristics of Eggs Obtained from Hens Fed Flaxseed Oil, Dried Whitebait and/or Fructo-oligosaccharide. **ASIAN-AUSTRALASIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCES**, [s. l.], v. 27, n. 7, p. 1026–1034, 2014.

YONKE, J. A.; CHERIAN, G. Choline supplementation alters egg production performance and hepatic oxidative status of laying hens fed high-docosahexaenoic acid microalgae. **Poultry science**, England, v. 98, n. 11, p. 5661–5668, 2019.

ZHANG, J. *et al.* Effects of Lard and Vegetable Oils Supplementation Quality and Concentration on Laying Performance, Egg Quality and Liver Antioxidant Genes Expression in Hy-Line Brown. **ANIMALS**, [s. l.], v. 11, n. 3, 2021.

ZHAO, Y.-C. *et al.* The enrichment of eggs with docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid through supplementation of the laying hen diet. **Food chemistry**, England, v. 346, p. 128958, 2021.

ZOTTE, A.; PRANZO, G. Effects of dried *Portulaca oleracea* supplementation to the laying hen diet on productive performance, egg physical traits, fatty acid composition, and cholesterol content. **CZECH JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**, [s. l.], v. 67, n. 3, p. 114–123, 2022.