

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE ZOOTECNIA

ARIANE MIRANDA DA SILVA

**EXIGÊNCIAS DE FÓSFORO DISPONÍVEL PARA FRANGOS DE CORTE:
UMA ABORDAGEM META-ANALÍTICA**

Porto Alegre

2024

ARIANE MIRANDA DA SILVA

**EXIGÊNCIAS DE FÓSFORO DISPONÍVEL PARA FRANGOS DE CORTE:
UMA ABORDAGEM META-ANALÍTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Zootecnista, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador (a): Ines Andretta

Coorientador (a): Carolina Haubert Franceschi

**Porto Alegre
2024**

ARIANE MIRANDA DA SILVA

**EXIGÊNCIAS DE FÓSFORO DISPONÍVEL PARA FRANGOS DE CORTE:
UMA ABORDAGEM META-ANALÍTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Zootecnista, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Data de aprovação: 09/02/2024.

Prof^a. Dr^a. Ines Andretta - UFRGS
Orientadora

MSc. Carolina Haubert Franceschi - UFRGS
Coorientadora

Dr^a. Alicia Zem Fraga – UNESP / UFMG
Membro da Banca

MSc. Roberto Yamawaki – UFPR
Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, Lurdes Miranda, por todo apoio dedicado a mim. Pela sua presença constante durante toda a graduação, seja para escutar minhas reclamações ou realizações. Deixo registrado todo o teu incentivo para dar seguimento nos estudos, mesmo em meio a diversas dificuldades. Dona Lu, tu é dez! Muita obrigada!

Não posso deixar de agradecer a todos os meus familiares por todo apoio durante esses 5 anos, mas em especial ao meu pai, José Reni, à minha vó, dona Araci, à minha madrasta, Elisete Morais, e ao meu padrasto, Antônio Medeiros. Ao meu avô, Primório Miranda (*in memoriam*), que não pode estar presente e comemorar essa conquista, mas com certeza está festejando onde quer que esteja.

A minhas amigas e futuras colegas de profissão: Eduarda Trindade, Laura Oliveira e Vanessa Bastianello. O companheirismo de vocês tornou os perrengues da faculdade mais leves e contribuiu para muitas risadas. A todos os meus colegas e amigos do Laboratório de Ensino de Zootécnico (LEZO) por todo apoio e incentivo. Em especial, agradeço ao pimpolho, Matheus Nunes, que além de colega de laboratório, é meu amigo e futuro colega de profissão. Muito obrigada por todo carinho, compreensão e conversas.

Dedico um agradecimento especial pela amizade e auxílio em todos os trabalhos aos meus colegas e amigos, Jéssica Pereira, Danrlei Nogueira, Gabriel Martins, Alexandra Moller, Júlio Vieira, Aires Santos e Nathalia Camargo. Agradeço ao Alexandre Mariani, que “dividiu” a coorientação e ajudou imensamente na construção deste trabalho. À minha coorientadora, colega e principalmente amiga, Carolina Franceschi, te agradeço por todo apoio e incentivo desde o momento que entrei no LEZO. Muito do que eu sei e aprendi durante esses anos, eu devo a ti. Te agradeço por tudo e por ser a pessoa especial que tu és!

À minha orientadora, Ines Andretta, por todo apoio e confiança. Sou muito grata por trabalhar contigo e fico muito feliz de ter “renovado contrato” agora para o mestrado. Fico muito agradecida por todas as oportunidades e ensinamentos passados. Tu és excelente! Por fim, agradeço à Alicia e ao Roberto, que constituíram a banca avaliadora, por contribuir com seus conhecimentos para este trabalho. Muito obrigada!

RESUMO

O fósforo (P) é essencial para as aves, participando de processos metabólicos e de absorção de nutrientes, além de ser crucial para a formação óssea. Porém, há diversas recomendações de P na literatura, o que muitas vezes dificulta a decisão dos nutricionistas. Com isso, objetivou-se com o presente trabalho avaliar, por meio de uma revisão sistemática e meta-análise, um dos principais modelos para estimar as exigências de P disponível para frangos de corte. A pesquisa dos estudos foi realizada em bases indexadoras (PubMed, Scopus e Web of Science) utilizando a metodologia PICo. A base de dados foi composta por 90 estudos publicados entre os anos de 1997 e 2023. As variáveis-resposta presentes nos estudos incluíram indicadores de desempenho (ganho de peso médio diário e eficiência alimentar, GMD e EA; respectivamente), características ósseas (P, cinzas e força de cisalhamento da tíbia). Essas variáveis foram expressas relativas à melhor resposta presente em cada estudo e a concentração de P disponível foi comparada às recomendações de nutrientes das Tabelas Brasileiras de Aves e Suínos (TB), ou seja, os valores foram considerados 100% se estivessem totalmente de acordo com as recomendações das tabelas. Regressões não lineares (exponenciais) foram ajustadas para entender o comportamento das respostas nas diferentes fases produtivas (inicial, crescimento e final). Na fase inicial, a ingestão relativa de P necessária para maximizar o GMD e EA foi de 99% das recomendações das TB. O mesmo comportamento ocorreu para a EA na fase de crescimento (99%). Esses resultados indicam uma leve superestimação das TB, uma vez que seria possível atender às necessidades nutricionais dos animais com uma quantidade menor desse mineral sem comprometer o desempenho. Por outro lado, houve leve subestimação das exigências para GMD nas fases de crescimento e final (ambos 102%). Isso indica que, embora os valores obtidos tenham se aproximado das recomendações atuais, seria necessário incluir quantidades mais elevadas de P na dieta para maximizar o crescimento dos animais. O consumo relativo de P que maximizou a EA na fase final correspondeu a 100% da recomendação do modelo em avaliação. O consumo relativo de P necessário para maximizar cinzas, P e força de cisalhamento da tíbia foi levemente superior a 100% da recomendação proposta pelas TB em todas as fases. As equações obtidas indicam que o modelo utilizado nas TB apresenta ótimo ajuste para as variáveis de desempenho. Porém, níveis suplementares de P disponível seriam necessários para maximizar características associadas com a mineralização óssea dos frangos de corte.

Palavras-chave: Avicultura. Meta-análise. Minerais. Nutrição Animal. Revisão Sistemática.

ABSTRACT

Phosphorus (P) is essential for birds, participating in metabolic processes and nutrient absorption, besides being crucial for bone formation. However, there are several recommendations for P in the literature, which often complicate the decision-making process for nutritionists. Therefore, this study aimed to evaluate, through a systematic review and meta-analysis, one of the main models to estimate available P (aP) requirements for broiler chickens. Indexing databases (PubMed, Scopus, and Web of Science) were searched for studies using PICO methodology. The database included 90 studies published between 1997 and 2023. Response-variables in the study included performance indicators (average daily weight gain and feed efficiency, ADG and FE, respectively) and bone characteristics (Tibia P, ash and shear force). These variables were expressed relative to the greatest response observed in each study. The concentration of aP was compared to the nutrient recommendations of the Brazilian Tables for Poultry and Swine (BT), which means, values were considered 100% when in complete accordance with the table recommendations. Nonlinear (exponential) regressions were adjusted to understand the behavior of the response in the different phases of production (initial, growth, and final). In the initial phase, the relative P intake required to maximize ADG and FE was 99% of the BT recommendations. The same pattern was observed for FE in the growth phase (99%). These results indicate a slight overestimation of TB, as it would be possible to meet the nutritional needs of the animal with a smaller amount of the mineral without compromising its performance. However, there was a slight underestimation of requirements for ADG in the growth and final phases (both 102%). In this case, although the obtained values approached the current recommendations, higher amounts of P in the diet would be necessary to maximize animal growth. The relative P intake that maximized FE in the final phase corresponded to 100% of the recommendation of the model under evaluation. The relative P intake required to maximize ash, P content, and shear force of the tibia was slightly higher than 100% of the recommendation proposed by the BT in all phases. The obtained equations indicate that the model used in BT provides an excellent fit for the performance variables. However, additional supplementation with available P is necessary to maximize the characteristics associated with bone mineralization in broiler chickens.

Keywords: Animal nutrition. Meta-analysis. Minerals. Poultry farming. Systematic review.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Tabela 1. Equações utilizadas para estimar a exigência de P disponível e digestível	17
Tabela 2. Exigências de P para frangos de corte machos e fêmeas com desempenho regular-médio	17
Tabela 3. Exigências de P para frangos de corte machos e fêmeas com desempenho médio-superior	17
Tabela 4. Descrição da base de dados	26
Figura 1. Metabolismo do Fósforo	15
Figura 2. As principais etapas de uma meta-análise	19
Figura 3. Diagrama de fluxo PRISMA	24
Figura 4. Origem dos estudos que serviram para construção do banco de dados	25
Figura 5. Distribuição dos estudos por ano	25
Figura 6. Consumo relativo de fósforo sobre o ganho de peso diário (GMD) de frangos de corte	28
Figura 7. Consumo relativo de fósforo sobre a eficiência alimentar (EA) de frangos de corte	29
Figura 8. Consumo relativo de fósforo sobre o fósforo da tíbia de frangos de corte	30
Figura 9. Consumo relativo de fósforo sobre as cinzas da tíbia em frangos de corte	30
Figura 10. Consumo relativo de fósforo sobre a força de cisalhamento em frangos de corte	31

SUMÁRIO

1. Introdução	09
2. Revisão Bibliográfica	11
2.1 Fósforo na Nutrição de Frangos de Corte	11
2.2 Fontes e Biodisponibilidade de Fósforo	12
2.3 Metabolismo do Fósforo	14
2.4 Deficiência e Exigências de Fósforo	15
2.5 Revisão Sistemática e Meta-análise na Produção Animal	18
3. Objetivo	20
4. Material e Métodos	21
4.1 Busca e Seleção de Artigos	21
4.2 Construção da Base de Dados	21
4.3 Análise Estatística	22
5. Resultados	24
5.1 Revisão Sistemática	24
5.2 Meta-Análise	28
5.2.1 Exigências de Fósforo Disponível - Desempenho	28
5.2.2 Exigências de Fósforo Disponível - Características ósseas	29
6. Discussão	32
7. Considerações Finais	36
8. Referências Bibliográficas	37

1. Introdução

De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2023), o Brasil é o segundo maior produtor de carne de frango do mundo, sendo que 33% dessa produção é destinada ao mercado externo, o que faz do Brasil o maior exportador a nível mundial. Esse crescimento do setor foi possível devido as constantes e rápidas evoluções genéticas que ocorreram em frangos de corte, além de pesquisas para determinar as exigências nutricionais a fim de obter o máximo potencial genético e conseqüentemente um melhor desempenho (Marangoni, 2017). Logo, pode-se inferir que a cadeia produtiva da avicultura de corte do Brasil é, provavelmente, uma das cadeias produtivas com maior nível de coordenação, conferindo-lhe grande competitividade no mercado mundial (Giarola & Júnior, 2020).

A avicultura de corte é uma das atividades agropecuárias mais desenvolvidas no território nacional e, conseqüentemente, envolve diversos setores desde o produtor de grãos, fábricas de rações, transportadores, abatedouros, frigoríficos, medicamentos, equipamentos, distribuição e por fim, o consumidor final. Dentre os setores envolvidos, o que mais ganha representatividade econômica no sistema produtivo é a alimentação das aves, uma vez que gastos com essa categoria representam em torno de 70% do custo de produção (Embrapa Suínos e Aves, 2023). Com isso, a alimentação é um dos fatores que mais onera os custos, fazendo com que produtores procurem por rações que proporcionem melhor relação custo-benefício. Portanto, conhecer as exigências nutricionais das aves é importante para maximizar o desempenho, além de contribuir para a sustentabilidade ambiental do setor.

De modo geral, as exigências nutricionais dos animais são estimadas de acordo com a quantidade de nutrientes requeridas para realizar as funções básicas do organismo (manutenção) e também as funções produtivas de forma mais eficiente (Cavalcante, 2017). Todavia, as exigências não são constantes, podendo ter variações devido à idade, sexo, níveis de energia e aminoácidos da dieta, ambiente e outros fatores (Costa et al., 2004). Os animais têm exigências por água, energia, proteínas, minerais, vitaminas, carboidratos e outros compostos, podendo haver ainda exigências específicas em determinadas fases produtivas (Cosmo & Galeriani, 2020). Especificamente, os minerais são considerados de grande importância na alimentação

das aves, uma vez que participam de diversos processos bioquímicos e metabólicos (Sechinato, 2006; Silva, 2012).

A classificação dos minerais é variada e leva em consideração seus requerimentos e suas funções, mas de modo geral os minerais são classificados em macrominerais (necessários em grandes quantidades, tais como: cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cloro (Cl), magnésio (Mg) e enxofre (S); e em microminerais (necessários em menor quantidade) como ferro (Fe), zinco (Zn), flúor (F), molibdênio (Mo), cobre (Cu), iodo (I), silício (Si) e manganês (Mn) (Silva & Pascoal, 2014). Dentre os minerais citados, P e Ca são considerados nutrientes essenciais envolvidos em muitos processos biológicos, uma vez que ambos são os elementos mais abundantes no corpo e desempenham papel importante no desenvolvimento e mineralização óssea (Proszkowiec-Weglarz & Angel, 2013).

Recomendações de minerais para atender às exigências das aves são fornecidas por diversas tabelas de exigências nutricionais, como as descritas nas Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos (TB) de Rostagno et al. (2017). Isso resulta em diversas recomendações de P disponível na literatura, o que dificulta a tomada de decisão sobre qual recomendação seguir. Em vista disso, esse estudo propõe avaliar um dos principais modelos para estimação das exigências de P disponível para desempenho e características ósseas de frangos de corte.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Fósforo na Nutrição de Frangos de Corte

O P é considerado um elemento essencial para todas as formas de vida, desde organismos únicos até multicelulares, sendo necessário para o crescimento muscular normal e a formação de óvulos, além de ser um componente importante dos ácidos nucléicos, do código genético e dos fosfolipídios e um cofator de muitos sistemas enzimáticos (Li et al.; 2016^a). O P participa de processos metabólicos e de absorção de nutrientes, além de ser considerado essencial para formação da estrutura óssea, utilização e transferência de energia (na forma de ATP), bem como participa da formação de membranas celulares, no controle de apetite e no equilíbrio acidobásico intracelular (Runho et al., 2001; González & Silva, 2003; Gomes et al., 2004).

Devido a busca por aves de corte de rápido crescimento e altos índices de rendimentos e desempenho, a atenção para formação esquelética é vital. Para esses animais, possivelmente há aumento da exigência de P visando o estabelecimento de uma estrutura óssea e articulações bem desenvolvidas. Em virtude disso, a mineralização adequada dos ossos desempenha um papel fundamental na avicultura de corte, visto que o desenvolvimento muscular depende de um suporte ósseo sólido e é essencial para o adequado funcionamento do sistema locomotor. Aves que apresentam deficiências no desenvolvimento ósseo correm o risco de sofrer fraturas durante as operações de captura, transporte e abate resultando em significativas perdas devido à condenação de carcaças no abatedouro (Schoulten et al., 2003; Gomes et al., 2004).

Isso é um tópico importante tendo em vista que afeta diretamente bem-estar dos animais, uma vez que garantir o bem-estar não só é importante para o tratamento ético dos animais, mas também tem implicações significativas na qualidade do produto, na saúde dos animais, na eficiência produtiva e na sustentabilidade da indústria avícola. É crucial identificar e reconhecer possíveis limitações e deficiências nos frangos, visando aprimorar o gerenciamento e reduzir tanto o estresse animal quanto as perdas de produção (Benincasa et al., 2020). Ademais, reduzir as perdas durante a produção e o processamento é importante, sendo que uma parte significativa dessas perdas ocorre no abatedouro, principalmente devido às condenações parciais e totais das carcaças (Maschio & Raszl, 2012).

A exigência de P é de fato, uma temática importante nas pesquisas globais e isso se deve não apenas à sua relevância econômica, mas também ao seu significativo impacto ambiental. Normalmente, diretrizes como as TB estabelecem as exigências de minerais para as aves, porém no contexto prático de formulação de dietas, é comum incorporar um acréscimo como margem de segurança. Sabendo que a maior parte da fração de P é excretada (fitato; *ver no próximo tópico*), o excesso de P eliminado no meio ambiente pode resultar na contaminação do solo e da água, contribuindo para uma crescente preocupação do acúmulo desse mineral no ambiente (Runho et al., 2001; Munir & Maqsood, 2013).

2.2 Fonte e biodisponibilidade de Fósforo

As fontes de P nas dietas de aves incluem ingredientes alimentares de origem vegetal e animal, bem como formas inorgânicas do mineral. Porém, as fontes inorgânicas possuem alto custo e são de fontes finitas (recursos naturais não renováveis) (Broch, 2019). Todas essas fontes apresentam variações importantes na biodisponibilidade de P.

A alimentação de aves é composta principalmente por produtos de origem vegetal, principalmente milho e farelo de soja (no cenário brasileiro), onde grande parte do P presente na ração proveniente desses ingredientes está na forma de ácido fítico (Casey & Walsh, 2004). O ácido fítico ou fitato, é um composto complexado indigestível, já que passa pelo trato digestivo sem ser digerido, pois animais não ruminantes possuem quantidades insuficientes de enzima fitase endógena (enzima responsável pela hidrólise de uma molécula de fitato em inositol e seis moléculas de fosfato inorgânico) resultando em pouca disponibilidade de P (Costa et al., 2007; Yao et al., 2012).

A concentração de fitato pode variar consideravelmente no mesmo ingrediente, e isso pode ser atribuído à fertilidade do solo, à variedade da planta e ao estágio de maturidade na colheita (Barrier-Guillot et al., 1996). O fitato pode atuar como fator antinutricional, uma vez que tem a capacidade de complexar-se com nutrientes da dieta formando complexos insolúveis, resultando na diminuição da biodisponibilidade desses nutrientes (Ravindran, 1999). Em resumo, a biodisponibilidade do P depende da dieta, idade das aves e adaptação metabólica; e seu aproveitamento pelas aves está amplamente condicionado a sua hidrólise no trato gastrointestinal.

Uma alternativa para aumentar a disponibilidade de P no lúmen intestinal consiste em adicionar fitase exógena às dietas, proporcionando aumento no ganho de peso médio diário (GMD) e no teor de cinzas da tíbia, contribuindo para redução da conversão alimentar (Jendza et al., 2006; Kermani et al., 2023; Cowieson & Parsons, 2024). Por proporcionar aumento da utilização do P, a fitase diminui o custo da alimentação ao reduzir a inclusão de fosfato inorgânico, além de reduzir a excreção de P, diminuindo, assim, a poluição ambiental causada pelo P não digerido (Selle e Ravindran, 2007; Dersjant-Li et al., 2020).

Ademais, diversos fatores impactam a utilização de P, como a atividade da fitase nos ingredientes da dieta, as concentrações dietéticas de fibra, Ca, P e vitamina D3, a idade da ave e o genótipo (Wise, 1983; Groote et al., 1997). Assim, a quantidade de P presente nos alimentos comumente utilizados nas dietas geralmente não é suficiente para suprir as necessidades. Portanto, torna-se essencial recorrer a fontes inorgânicas em rações à base de cereais para suprir as demandas de P não-fítico (NPP) (Garcia et al., 2006).

Diversos alimentos de origem animal, como farinha de peixe, farinha de carne e farinha de carne e ossos, são incorporados nas dietas de aves, principalmente como suplementos proteicos. Especificamente, a farinha de carne também representa uma potencial fonte de P, dependendo do seu conteúdo ósseo, possuindo teor de P biodisponível relativamente elevado. O acréscimo de P inorgânico para alcançar as exigências de P dos frangos, faz com que aumente os custos da dieta. Consequentemente, o P é o terceiro componente mais caro em rações para animais não ruminantes, atrás somente da energia e proteína, este especificamente aminoácidos sulfurados e lisina (Bolling et al., 2000; Li et al., 2016^b).

Fontes inorgânicas de P são frequentemente obtidas a partir de fosfatos naturais, uma vez que o P não é encontrado na natureza em sua forma pura devido à sua extrema instabilidade e reatividade (Vitti & Kebreab, 2010). Os fosfatos de rocha passam por transformações para originar diversas formas de ortofosfato, incluindo fosfato monocalcico, fosfato dicalcico, fosfato monodicalcico, fosfato de rocha desfluorado e fosfato monossódico (Payne, 2005). Conforme destacado por Viana (1985), ao selecionar uma fonte suplementar de P, é crucial considerar o custo por unidade do elemento, a forma química em que o elemento está presente, a granulometria, a solubilidade e o teor de impurezas.

2.3 Metabolismo do Fósforo

O P possui uma estreita relação com o metabolismo de outros dois nutrientes: o Ca e a vitamina D. O esqueleto representa o principal reservatório de Ca e P, onde as formas catiônica e aniônica, respectivamente, desses minerais se unem para criar a hidroxiapatita, que confere rigidez à matriz óssea (Van der Klis & Versteegh, 1999).

Segundo Li et al. (2016^a), a colaboração entre três sistemas orgânicos (intestino, rins e ossos), desempenha um papel crucial na manutenção da homeostase dos níveis de Ca e P. Por exemplo, baixas concentrações circulantes de Ca resultam no aumento da secreção do hormônio da paratireóide (PTH) pelas glândulas paratireoides, que por sua vez, estimula a reabsorção de Ca nos ossos e nos rins, mas aumenta a excreção renal de P. Nos rins, o PTH também estimula a produção da forma hormonal da vitamina D3 (1,25 diidroxicalciferol/calcitriol), aumentando, assim, a absorção intestinal de Ca e, em menor medida, a absorção de P.

Logo, o aumento das concentrações sanguíneas de Ca resultantes desses processos estabelece um ciclo de *feedback* negativo para assegurar a homeostase (Figura 1). E em casos de hipocalcemia, a glândula tireóide secreta calcitonina inibindo a reabsorção óssea. A quantidade relativa de Ca e P presente na dieta modula a utilização desses minerais, porém a quantidade disponível de cada um para desempenhar suas respectivas funções metabólicas são influenciadas por inúmeros outros fatores (eficiências de absorção intestinal, filtração glomerular, reabsorção tubular renal, taxas de transferência sanguínea para os ossos e perdas intestinais endógenas; Klasing, 1998).

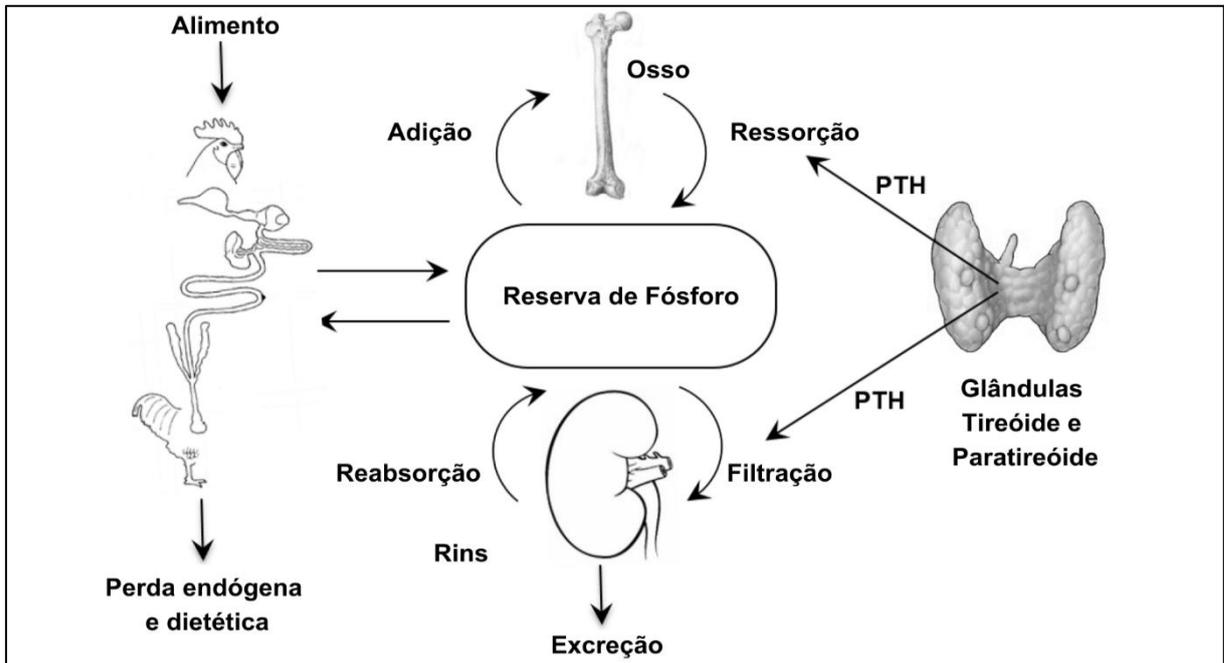


Figura 1. Metabolismo do Fósforo.
 Fonte: Adaptado de Li et al. (2016^a).

2.4 Deficiência e Exigência de Fósforo

Pesquisas sobre os efeitos dos níveis de P da dieta no crescimento animal e no desenvolvimento ósseo indicaram que uma ingestão elevada de P tem efeitos negativos no metabolismo do Ca e nas propriedades ósseas e que dietas com baixo teor de P limitarão o crescimento dos animais (Roman-Garcia et al., 2010). Deficiências dietéticas de P em aves estão ligadas a redução do apetite, desenvolvimento de raquitismo e falha no crescimento (Scott et al., 1982). Além disso, a deficiência em P pode ocasionar fraturas ou irregularidades nos ossos levando à desqualificação da carcaça (Brenes et al., 2003). A claudicação (causada pela degeneração e submineralização dos condrocitos hipertróficos dentro do disco de crescimento) é um dos sinais de deficiência de P em aves na fase de crescimento e que afeta negativamente o bem-estar e desempenho animal (Shirley, 2003).

Inclusão de concentrações elevadas de Ca na dieta intensifica a necessidade por P em frangos de corte, em função do Ca interferir na absorção do P, complexando-o e tornando-o menos disponível, ao mesmo tempo em que dificulta a absorção de P fítico pela ave (Dale, 1983). No que convém esses dois minerais, a deficiência ou excesso de um deles interfere na homeostase do outro, o que resulta na redução da

taxa de crescimento e mineralização óssea (Shafey et al., 1990; Hurwitz et al., 1995; Kebreab & Vitti, 2005). Por fim, a redução da quantidade de P na dieta pode ser alcançada sem impactos prejudiciais no desempenho e na mineralização óssea, desde que haja uma redução simultânea no teor de Ca (Driver et al., 2005; Rama Rao et al., 2006; Létourneau-Montminy et al., 2008).

A necessidade mínima de P ainda não foi definitivamente estabelecida, pois os resultados publicados são variáveis devido à utilização de diferentes genéticas de aves, idades, composições de rações (com ou sem suplementação de fitase), bem como diferentes fontes de Ca e P em diversos estudos (Li et al., 2016^b). Conforme o avanço da idade do animal, a exigência de P diminui, uma vez que as demandas são mais elevadas no início, quando a formação esquelética é maior. Rousseau et al. (2016) concluíram que as aves possuem capacidade de se ajustar frente a deficiência dietética de P e Ca, apresentando melhoria na mineralização dos ossos e ganho compensatório, a depender dos níveis de P e Ca .

Conforme destacado por Sakomura et al. (2014), Ca e P são os minerais com as maiores exigências dietéticas e exercem uma influência significativa no desempenho dos animais; além disso, estão intrinsecamente ligados ao metabolismo, tornando desafiador manipular exclusivamente um deles sem considerar a presença do outro. As exigências nutricionais de P podem ser apresentadas como P digestível (porção do P total da dieta que não é recuperada nas fezes), P retido (proporção do P total da dieta que é retido no corpo e pode ser determinado quantitativamente após a medição da ingestão de P e da excreção de P nas fezes) e P disponível (quantidade de P que é absorvida da dieta pelo animal); (Rodehutscord, 2019).

As TB, atualmente na 4^a edição, são a referência mais amplamente utilizada na formulação de rações para aves e suínos. Assim como as TB, *National Research Council* (NRC) apresenta recomendações nutricionais para frangos de corte, porém é importante destacar que sua edição mais recente é de 1994, oportunizando uma defasagem de informações de 30 anos. Ademais, há tabelas de exigências nutricionais específicas para determinadas linhagens de aves, tais como Cobb, Ross e Hubbard.

Todavia, é importante destacar que as tabelas apresentam divergências entre si, devido a diferenças nas linhagens genéticas, programas de alimentação e ambiente. Logo, as TB representam uma opção mais atualizada, resultante de

diversos testes biológicos realizados ao longo das diferentes fases de criação com variadas condições ambientais e de temperatura para determinação dos níveis de exigência nutricional de frangos de corte. Essas tabelas apresentam exigências de P disponível e P digestível, tanto para machos quanto para fêmeas, calculadas por modelos matemáticos (Tabela 1). A partir dessas equações junto com variáveis de consumo diário, peso médio e ganho de peso médio, é obtido a recomendação média de P disponível e P digestível para as aves (Tabela 2 e 3).

Tabela 1. Modelos utilizados para estimar a exigência de P disponível e digestível.

Fósforo Disponível (g Pd/dia)		Fósforo Digestível (g Pd/dia)	
1-21 d	$Y = 0,026 P^{0,75} + 5,2 G$	8-21 d	$Y = 0,026 P^{0,75} + 4,53 G$
22-56 d	$Y = 0,026 P^{0,75} + 5,5 G$	22-56 d	$Y = 0,026 P^{0,75} + 5,0 G$
Relação Ca Total:P Disponível Recomendada: 2,13		Relação Ca Total:P Digestível Recomendada: 2,35	

Legenda: Pd: P disponível; P = Peso Corporal médio (kg); 4,53; 5,0; 5,2 e 5,5= grama fósforo disponível / kg ganho; G = Ganho diário (kg).

Fonte: Adaptado de TB (2017).

Tabela 2. Exigências de P para frangos de corte machos e fêmeas com desempenho regular-médio.

%/Dias	1-7	8-21	22-33	34-42	43-46
Machos					
Fósforo disponível	0,463	0,419	0,374	0,296	0,271
Fósforo digestível	0,407	0,368	0,324	0,271	0,249
Fêmeas					
Fósforo disponível	0,438	0,380	0,317	0,256	0,228
Fósforo digestível	0,384	0,334	0,290	0,235	0,210

Fonte: Adaptado de TB (2017).

Tabela 3. Exigências de P para frangos de corte machos e fêmeas com desempenho médio-superior.

%/Dias	1-7	8-21	22-33	34-42	43-46
Machos					
Fósforo disponível	0,482	0,432	0,384	0,309	0,272
Fósforo digestível	0,424	0,380	0,351	0,283	0,250
Fêmeas					
Fósforo disponível	0,491	0,435	0,354	0,283	0,251
Fósforo digestível	0,431	0,382	0,324	0,259	0,231

Fonte: Adaptado de TB (2017).

2.5 Revisão sistemática e meta-análise na produção animal

Revisões sistemáticas e meta-análises têm se tornado cada vez mais importantes, uma vez que o grande volume e diversificação de informações encontradas na literatura dificulta a contextualização dos problemas e interpretações de resultados. A meta-análise combina resultados de vários estudos para fazer uma síntese reproduzível e quantificável dos dados, possibilita estimar com maior precisão o efeito dos tratamentos, além de aumentar o tamanho amostral e poder estatístico (Lovatto et al., 2007). Portanto, pode-se afirmar que a meta-análise é um estudo observacional da evidência e que se baseia na aplicação do método estatístico a um estudo de revisão sistemática, de modo que os resultados encontrados são resumidos através de análise estatística com o propósito de diminuir a subjetividade dos métodos tradicionais de revisão narrativa (Ramalho, 2005; Santos & Cunha, 2013).

Na produção animal, o uso de meta-análises tem sido cada vez mais observado, mas o seu emprego requer disciplina nos processos, os quais devem seguir e aplicar rigorosamente etapas metodológicas pré-estabelecidas (Santos et al., 2020). Essas etapas constituem as boas práticas e compõe a engenharia da meta-análise, sendo que as principais etapas podem ser observadas na Figura 2 (Sauvant et al., 2005). De modo geral, é necessário definir os objetivos do estudo, identificar os critérios de seleção a serem utilizados na construção da base de dados, selecionar os artigos quanto a sua elegibilidade e qualidade, examinar o comportamento dos dados para obtenção de uma visão global do sistema, elaborar hipóteses a serem investigadas e, por fim, estudar os dados através da aplicação de técnicas estatísticas apropriadas (St-Pierre, 2007).

As meta-análises proporcionam a sumarização dos resultados de estudos primários, orientar desenhos experimentais futuros e facilitar tomadas de decisão, contribuindo para o avanço das pesquisas na produção animal. Dessa forma, ao tratar das exigências de P, as meta-análises proporcionam uma síntese abrangente de dados provenientes de diversos estudos sobre essas necessidades, conferindo uma visão mais abrangente e precisa das necessidades nutricionais desse mineral. Além disso, possibilitam a avaliação dos diferentes modelos existentes para estimar as necessidades de P em frangos de corte, permitindo verificar se a quantidade de P estimada e/ou oferecida está adequada ou não para determinada característica.

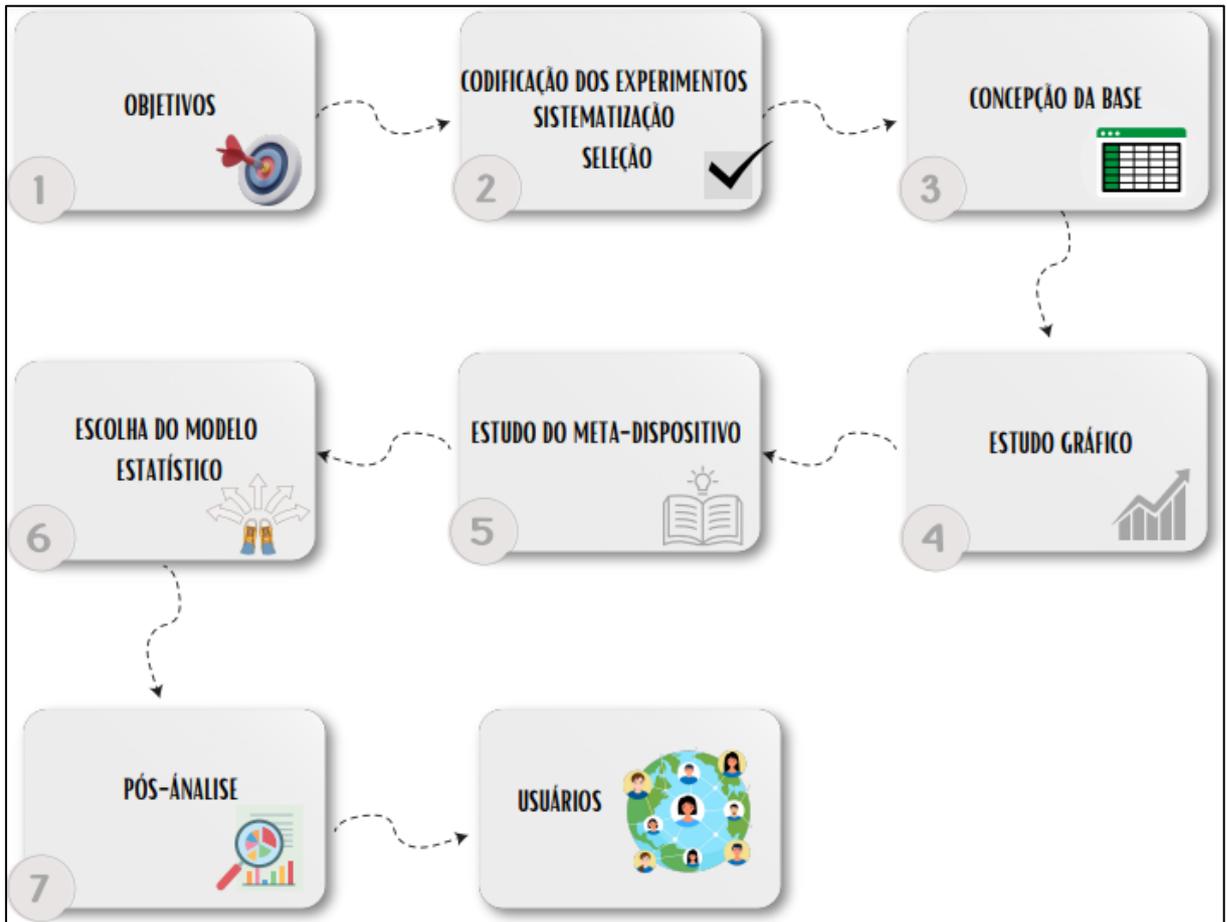


Figura 2. As principais etapas de uma meta-análise.
Fonte: Adaptado de Sauvnt et al. (2005).

3. Objetivo

Diversas informações na literatura relatam respostas de frangos de corte a diferentes níveis de P disponível e conduzidos de maneiras distintas, sendo difícil obter conclusões gerais dos resultados encontrados. Além da constante busca por animais altamente produtivos, a qual contribuiu para o crescimento da avicultura nacional, resultou em animais mais exigentes nutricionalmente. Portanto, este estudo procura realizar uma revisão sistemática para oferecer um resumo abrangente da literatura existente sobre as necessidades de P. Além disso, pretende-se utilizar os dados disponíveis na literatura para conduzir uma meta-análise, avaliando um dos principais modelos para estimação das exigências de P em relação ao desempenho e às características ósseas em frangos de corte.

4. Material e Métodos

4.1 Busca e Seleção de Artigos

A revisão sistemática do presente trabalho foi realizada em pares a partir de uma busca *online* de estudos científicos em bases indexadoras (Pub Med, Scopus e Web of Science) com aplicação de uma chave de busca utilizando a metodologia PICo, que indica a População, o Interesse e o Contexto da pesquisa (Schardt et al., 2007). Assim, a chave de busca aplicada utilizou uma combinação de palavras em inglês para definir a população (“*broiler**”, “*chick**”, “*chicken**”, “*poultry*”), interesse (“*phosphorus*”, “*P level*”, “*phosphorus level*”) e contexto (“*performance*”, “*body weight*”, “*average daily gain*”, “*weight gain*”, “*average daily feed intake*”, “*feed intake*”, “*feed consumption*”, “*feed conversion*”, “*feed to gain*”, “*feed:gain*”, “*feed efficiency*”, “*gain to feed*”, “*bone quality*”, “*bone characteristics*”, “*tibia weight*”, “*tibia ash*”, “*sheer force*”). A busca foi realizada em dezembro de 2023.

Todos os artigos encontrados obtidos em cada base de dados foram exportados para o *software* EndNote X9, o que permitiu organizar as referências bibliográficas obtidas nas bases indexadoras. O fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) foi seguido para realização da seleção dos artigos (Moher et al. 2009). Título e resumo de cada estudo foram revisados e avaliados seguindo os seguintes critérios de seleção: 1) artigos em inglês com experimentos realizados em frango de corte; 2) presença de pelo menos três níveis (tratamentos) diferentes de P disponível nas dietas; 3) apresentar resultados de desempenho (ganho de peso, consumo médio diário, conversão e eficiência alimentar) de acordo com a fase da dieta e/ou características ósseas (P e cinzas da tíbia, força de cisalhamento).

4.2 Construção da base de dados

A versão completa dos estudos selecionados foi avaliada criticamente quanto a sua qualidade e relevância considerando o objetivo da presente revisão sistemática. Referências bibliográficas listadas nos artigos selecionados foram também revisadas, a fim de buscar estudos que não estavam presentes nas pesquisas nas bases indexadoras. Após a seleção final, os dados dos artigos foram transferidos para uma

planilha Microsoft Excel[®], onde cada linha da planilha representava um tratamento e cada coluna representava uma variável.

Para cada artigo/tratamento foram aplicados dois códigos moderadores: a) código geral (efeito do estudo), onde cada estudo dose-resposta recebeu um número sequencial e b) código-inter, composto pelo número do código geral mais um número sequencial representando o tratamento (por exemplo: artigo 1, tratamento 01 – 1+01 = 101). Os resultados de desempenho como, ganho de peso médio diário (GMD), consumo médio diário de ração (CMR), conversão (CA) e eficiência alimentar (EA) foram coletados nos artigos como dado bruto e foram posteriormente utilizados como informação relativizada.

Para esta abordagem, as respostas de cada tratamento foram relativizadas ao tratamento com resposta máxima no ensaio e expressas como a variação (porcentagem) entre os resultados (exemplo, o tratamento com maior GMD em cada estudo foi considerado 100%). Esse procedimento foi adotado para reduzir a variabilidade entre os estudos da base de dados. O consumo de P disponível foi relativizado às recomendações das TB (ou seja, os valores foram considerados 100% se estivessem totalmente de acordo com as recomendações das tabelas). O banco de dados foi dividido em três fases: inicial (1 a 10d), crescimento (11 a 21d) e final (> 22d). Os estudos foram designados para cada fase através da idade inicial e final dos animais em experimento. Estudos que compreendiam idades pertencentes a duas das fases anteriormente descritas foram designados para aquela em que a maior parte do período estudado pertencia (ou seja: se um estudo foi realizado com animais de 1 a 15 dias, esse estudo foi considerado na fase inicial (10 dias) e não a fase de crescimento (apenas 5 dias)).

4.3 Análise Estatística

Características como informações bibliográficas, linhagem genética e sexo foram utilizadas para realizar uma análise descritiva e gráfica dos estudos presentes no banco de dados a fim de verificar a coerência dos dados.

Na etapa de modelagem, o consumo de P disponível foi considerado a variável independente em uma série de análises sequenciais realizadas individualmente para cada variável dependente (desempenho ou características de mineralização óssea)

com boa disponibilidade de dados. Foram considerados para a modelagem apenas estudos com pelo menos um nível inferior e pelo menos um nível superior à recomendação de P digestível estimada nas TB. Além disso, também foram removidos tratamentos cuja oferta de P digestível fosse superior a 140% das recomendações do modelo em teste. Regressões exponenciais foram ajustadas primeiramente pelo procedimento NLIN utilizando subgrupos de dados (uma equação para cada artigo).

Os dados obtidos foram explorados por estatística descritiva e utilizados como pontos iniciais no procedimento seguinte. Nesta etapa, novos modelos foram ajustados através do procedimento NLMIXED com intuito de combinar os modelos gerados por cada tratamento de dose-resposta presente no banco de dados considerando o efeito aleatório dos estudos que compuseram a base de dados. Com isso, obteve-se um modelo geral para cada variável dependente que considerava a variabilidade entre os estudos. Por fim, uma nova análise foi realizada utilizando a opção 'by' para gerar equações específicas para cada fase produtiva (inicial, crescimento e final). Todas as análises foram realizadas utilizando o software estatístico SAS (SAS Institute, v. 9.3).

A equação de regressão assintótica de platô comum não linear ajustada foi:

$$y = b_0 + b_1 \times (1 - \exp(-b_2(x - b_3)))$$

Após, o nível ótimo de P relativo foi obtido pela seguinte equação:

$$\text{Nível ótimo} = (\ln(0.05) / -b_2) + b_3$$

onde: y é a variável dependente; x é a relação entre a ingestão e a necessidade atual de P disponível; b_0 a resposta da variável dependente estimada para a ração com o menor nível de x ; b_1 é a diferença estimada entre a resposta mínima e máxima obtida pelo aumento de x ; b_2 é a inclinação da curva exponencial; b_3 é o x no nível mais baixo.

5. Resultados

5.1 Revisão Sistemática

O diagrama PRISMA que descreve os estudos encontrados e selecionados durante cada etapa da busca bibliográfica é apresentado na Figura 3. Após a busca nas bases indexadoras, 1934 referências foram identificadas e importadas das bases de dados. Com o auxílio do gerenciador de referências, 748 referências duplicadas foram removidas.

Na etapa de exclusão baseada no título e resumo dos estudos, 1.002 estudos foram removidos por não se enquadrarem no escopo estabelecido. Destes, muitos estudos foram excluídos pois apresentaram menos de três níveis de P disponível, não apresentaram respostas de desempenho ou apresentaram respostas de desempenho diferentes da fase da dieta. Após avaliação dos artigos completos e de suas referências, 90 estudos foram selecionados e incluídos na presente meta-análise.

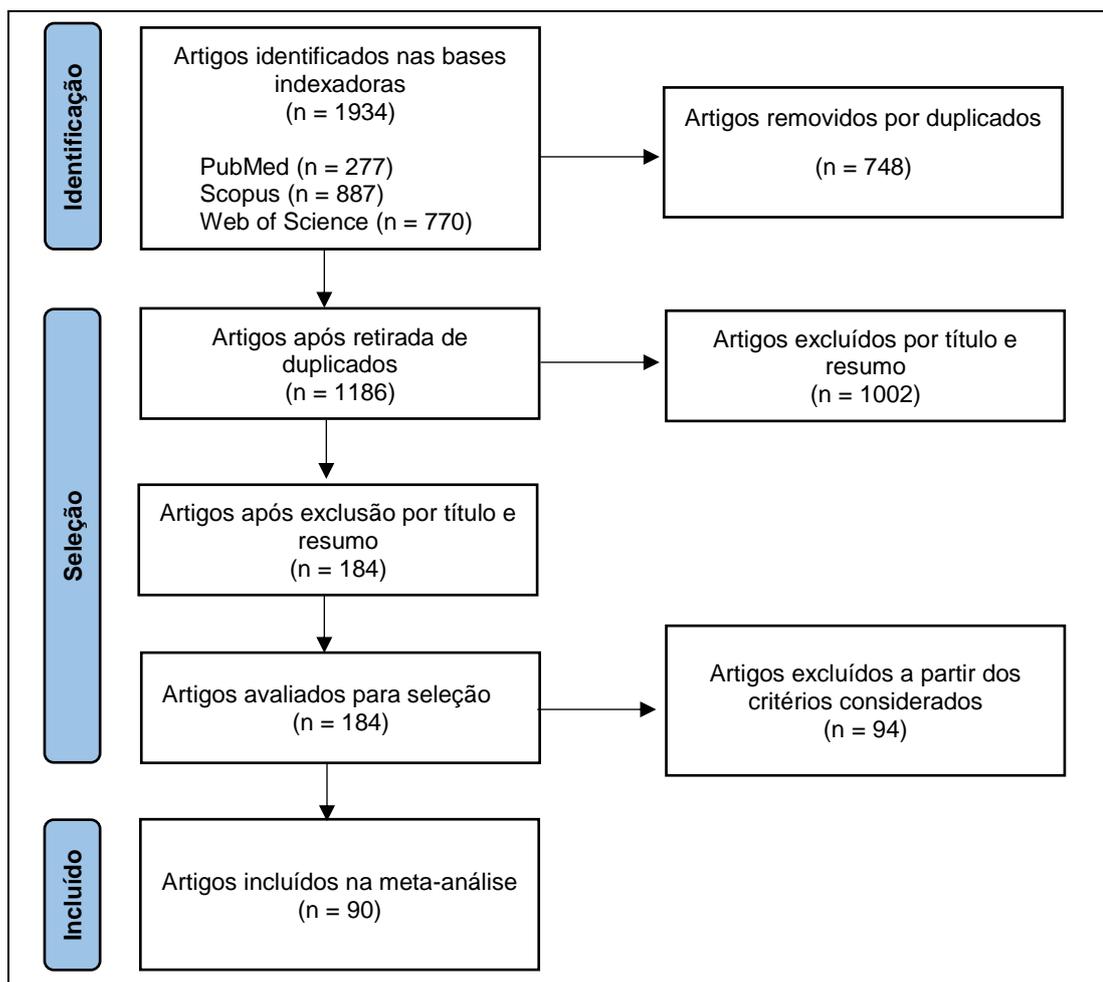


Figura 3. Diagrama de fluxo PRISMA.

Fonte: Adaptado de Page M. J. et al. (2020).

A base de dados final ocupou 1.196 linhas na planilha, onde cada linha referia-se a um tratamento das publicações originais. No entanto, alguns tratamentos ocuparam mais de uma linha quando as medidas foram tomadas repetidamente ao longo do tempo (fases).

A maioria dos estudos foi realizada nos Estados Unidos e no Brasil com 19 e 16 artigos, respectivamente (Figura 4). Os estudos selecionados incluíram 74.519 aves, sendo 6% de grupos mistos (fêmeas e machos), 71% machos, 8% fêmeas e 15% não foram descritos. Uma grande diversidade de linhagens genéticas foi descrita nos artigos. Destes, os principais citados foram Ross e Cobb.

Os estudos que compuseram a base de dados foram publicados entre 1997 e 2023 (Tabela 4; Figura 5). Somente 3 estudos não apresentaram os níveis de P disponível e 43% dos estudos apresentaram tratamentos com fitase.

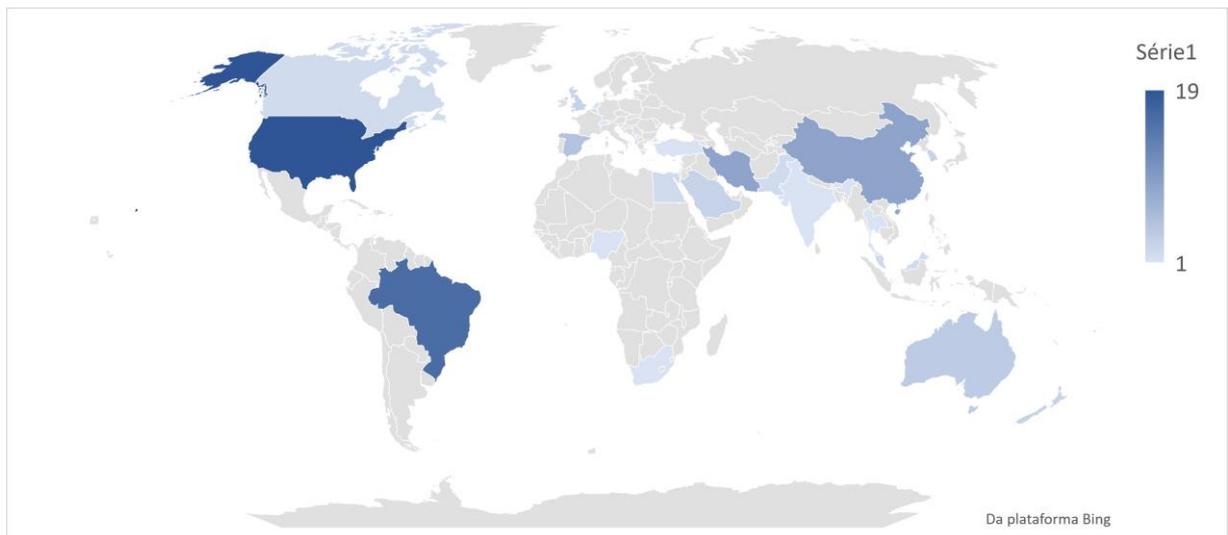


Figura 4. Origem dos estudos que serviram para construção do banco de dados.

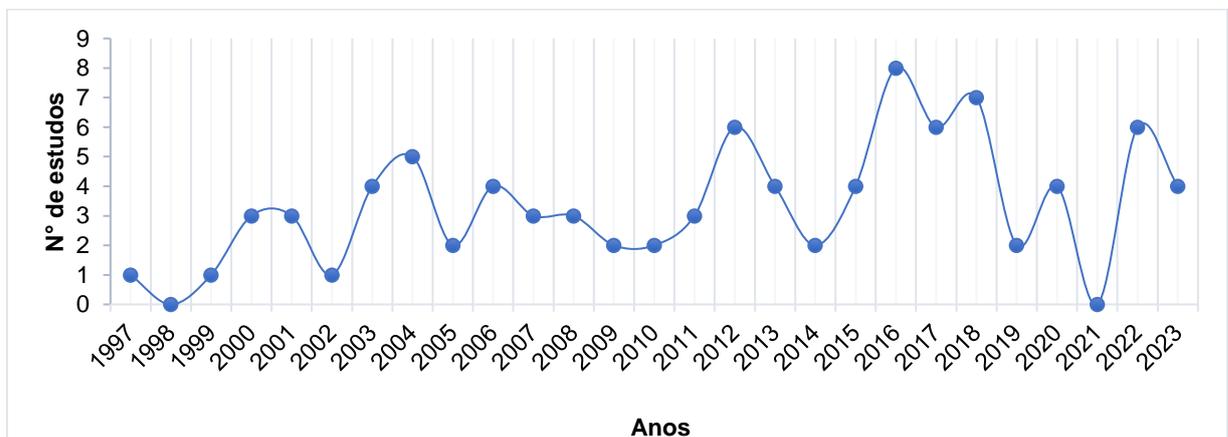


Figura 5. Distribuição dos estudos por ano.

Tabela 4. Descrição da base de dados.

Co	Referência		Pd ¹ %	Variáveis Analisadas ²						
	Primeiro Autor	Ano		GMD	CMR	CA	EF	CT	PT	FC
1	Abdulla	2016	0,35 - 0,68	+	+	+	+	-	-	-
2	Abdulla	2017	0,35 - 0,68	+	+	+	+	+	+	-
3	Abudabos	2012	0,14 - 0,29	+	+	+	+	+	+	-
4	Abudabos	2012	0,13 - 0,40	+	+	+	+	-	-	-
5	Abudabos	2012	0,13 - 0,40	+	+	+	+	+	-	-
6	Adeola	2004	0,40 - 0,55	+	+	+	+	+	-	-
7	Adeola	2013	0,12 - 0,34	+	+	+	+	+	-	-
8	Akter	2016	0,30 - 0,40	+	+	+	+	+	+	-
9	Baradaran	2014	0,15 - 0,40	+	+	+	+	-	-	-
10	Beyranvand	2018	0,39 - 0,49	+	+	+	+	+	+	+
11	Cabahug	1999	0,23 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
12	Cardoso	2010	0,27 - 0,42	+	+	+	+	+	-	-
13	Catalá-Gregori	2007	0,16 - 0,50	+	+	+	+	-	-	-
14	Cavalcanti	2004	0,35 - 0,50	+	+	+	+	-	-	-
15	Coon	2007	0,14 - 0,85	+	+	+	+	-	-	-
16	Coto	2008	0,35 - 0,50	+	+	+	+	-	-	-
17	Coto	2008	0,35 - 0,50	+	+	+	+	-	-	-
18	Dhandu	2003	0,10 - 0,31	+	+	+	+	+	-	+
19	Driver	2005	0,20 - 0,50	+	+	+	+	+	-	-
20	El-Sherbiny	2010	0,13 - 0,40	+	+	+	+	+	+	-
21	Garcia	2006	0,22 - 0,40	+	+	+	+	+	-	-
22	Gautier	2017	0,20 - 0,80	+	+	+	+	+	-	+
23	Gautier	2018	0,29 - 0,50	+	+	+	+	-	+	-
24	Gomes	2004	0,15 - 0,60	+	+	+	+	+	+	+
25	Gürbüz	2009	0,13 - 0,49	+	+	+	+	+	-	-
26	Hamdi	2015	0,25 - 0,45	+	+	+	+	+	-	-
27	Hamdi	2015	0,30 - 0,45	+	+	+	+	+	-	-
28	Hamdi	2017	0,27 - 0,42	+	+	+	+	+	-	-
29	Han	2015	0,20 - 0,45	+	+	+	+	+	+	+
30	Han	2016	0,35	+	+	+	+	+	+	+
31	Han	2018	0,25 - 0,65	+	+	+	+	+	+	-
32	Hassan	2016	0,21 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
33	Iyayi	2013	0,14 - 0,23	+	+	+	+	+	-	-
34	Jiang	2013	0,15 - 0,45	+	+	+	+	+	+	+
35	Kahindi	2017	0,25 - 0,45	+	+	+	+	+	-	-
36	Karimi	2005	0,29 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
37	Karimi	2013	0,15 - 0,45	+	+	+	+	+	-	-
38	Laurentiz	2009	0,17 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
39	Lee	2017	0,22 - 0,60	+	+	+	+	+	+	+
40	Leytem	2008	0,26 - 0,51	+	+	+	+	-	-	-
41	Li	2016	0,27 - 1,13	+	+	+	+	-	-	-
42	Li	2000	0,20 - 0,45	+	+	+	+	+	-	-
43	Lim	2001	0,15 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
44	Lima	1997	0,15 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
45	Liu	2016	0,18 - 0,57	+	+	+	+	+	+	+
46	Mello	2012	0,17 - 0,55	+	+	+	+	+	+	-
47	Mello	2012	0,17 - 0,55	+	+	+	+	+	+	-
48	Miao	2017	0,23 - 0,68	+	+	+	+	-	-	-
49	Moghadam	2006	0,20 - 0,30	+	+	+	+	+	+	-

50	Namini	2012	0,14 - 0,33	+	+	+	+	-	-	-
51	Nardelli	2018	0,11 - 0,34	+	+	+	+	+	+	-
52	Onyango	2003	0,13 - 0,50	+	+	+	+	+	-	+
53	Panda	2007	0,30 - 0,45	+	+	+	+	+	-	+
54	Peng	2003	0,29 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
55	Pereira	2016	0,12 - 0,35	+	+	+	+	-	-	-
56	Persia	2006	0,13 - 0,53	+	+	+	+	+	-	-
57	Powell	2011	0,40	+	+	+	+	-	-	-
58	Ribeiro	2003	0,16 - 0,36	+	+	+	+	+	-	+
59	Ribeiro	2016	0,18 - 0,45	+	+	+	+	+	+	-
60	Runho	2001	0,15 - 0,65	+	+	+	+	+	+	+
61	Santos	2011	0,29 - 0,47	+	+	+	+	+	-	-
62	Santos	2019	0,18 - 0,45	+	+	+	+	+	-	-
63	Sharma	2018	0,30 - 0,50	+	+	+	+	-	-	-
64	Shaw	2011	0,22 - 0,38	+	+	+	+	+	-	+
65	Silva	2006	0,25 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
66	Sun	2018	0,28 - 0,36	+	+	+	+	-	-	-
67	Tay-Zar	2019	0,23 - 0,53	+	+	+	+	+	-	+
68	Um	2000	0,12 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
69	Valable	2018	0,26 - 0,40	+	+	+	+	-	-	-
70	Vieira	2015	0,14 - 0,42	+	+	+	+	+	+	-
71	Viveros	2002	0,14 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
72	Waldroup	2000	0,10 - 0,50	+	+	+	+	+	-	-
73	Wilkinson	2014	0,25 - 0,55	+	+	+	+	+	-	-
74	Wu	2004	0,20 - 0,48	+	+	+	+	-	-	-
75	Yan	2001	0,10 - 0,45	+	+	+	+	+	-	-
76	Yan	2004	0,20 - 0,50	+	+	+	+	+	-	-
77	Aderibigbe	2022	0,12 - 0,44	+	+	+	+	-	-	-
78	Ahmad	2023	0,25 - 0,45	+	+	+	+	-	-	-
79	Bertechini	2022	0,20 - 0,40	+	+	+	+	+	+	-
80	David	2022	-	+	+	+	+	+	+	-
81	David	2023	-	+	+	+	+	+	+	-
82	Imari	2020	0,28 - 0,48	+	+	+	+	+	+	-
83	Iqbal	2023	0,20 - 0,50	+	+	+	+	-	-	-
84	Solomon	2022	0,23 - 0,43	+	+	+	+	+	+	-
85	Wang	2020	0,20 - 0,44	+	+	+	+	+	-	-
86	Moradi	2023	0,33 - 0,48	+	+	+	+	-	-	-
87	Cowieson	2020	0,35 - 0,48	+	+	+	+	-	-	-
88	Hu	2020	0,32	+	+	+	+	-	-	-
89	Kiani	2022	-	+	+	+	+	-	-	-
90	Kwon	2022	0,10 - 0,40	+	+	+	+	+	-	-

Legenda: Co: código, Pd.: fósforo disponível, GMD: ganho de peso médio diário, CRD: consumo de ração médio diário, CA: conversão alimentar, EA: eficiência alimentar, CT: cinzas na tibia, PT: fósforo na tibia e FC: força de cisalhamento.

¹ Variação (mínima e máximo) de P disponível em cada estudo.

² Presença (+) ou ausência (-) da variável em cada estudo.

5.2 Meta-Análise

5.2.1 Exigência de Fósforo Disponível - Desempenho

Além da idade, o nível de P disponível recomendado para otimizar o desempenho de frangos de corte diferiu de acordo com a variável avaliada. Ao utilizar o modelo exponencial, a ingestão relativa de P necessária para maximizar o GMD foi de 99% das recomendações das TB na fase inicial, indicando uma leve superestimação (Figura 6). Ou seja, é possível atender às necessidades nutricionais dos animais com uma quantidade menor desse mineral sem comprometer o crescimento. Por outro lado, a fase de crescimento (102%) e final (102%) demonstraram uma estimativa de ingestão relativa de P mais elevada. Isso sugere que um acréscimo de P na dieta dos animais além das recomendações atuais do modelo poderiam otimizar ainda mais o ganho de peso dos animais.

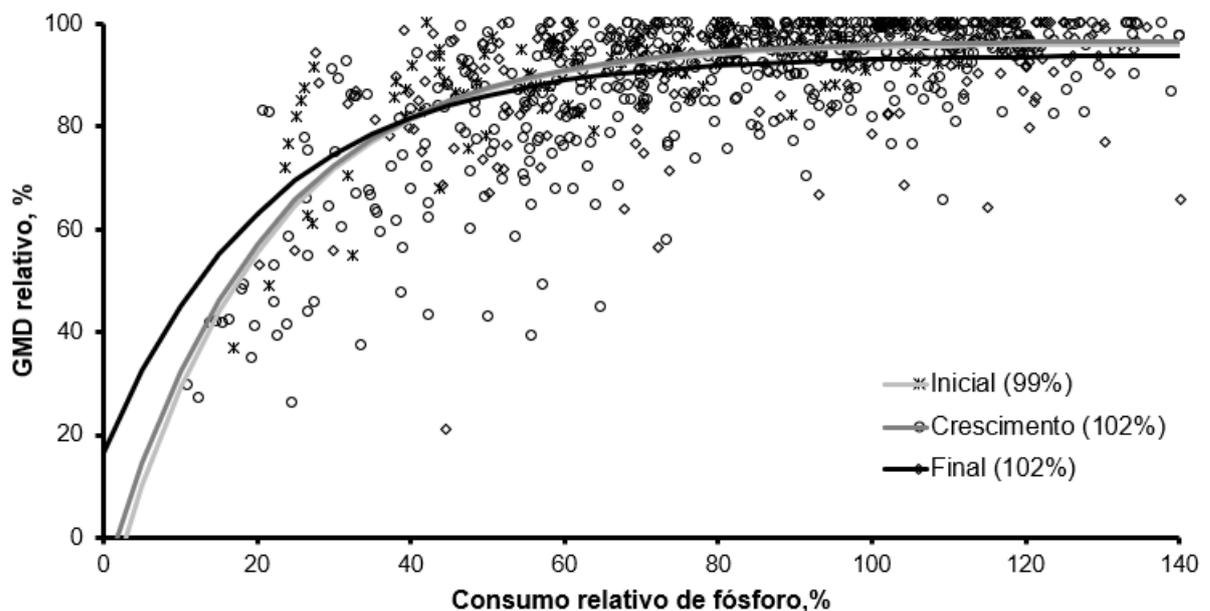


Figura 6. Consumo relativo de fósforo sobre o ganho de peso diário (GMD) de frangos de corte¹.

¹ Os requisitos estimados obtidos de cada fase são apresentados entre parênteses.

Uma leve superestimação das TB foi identificada para EA, uma vez que o consumo relativo de P ficou em 99% das recomendações para as fases inicial e de crescimento (Figura 7). Contudo, na fase final, a estimativa de consumo relativo de P alcançou exatamente (100%) a recomendação sugerida pelas TB.

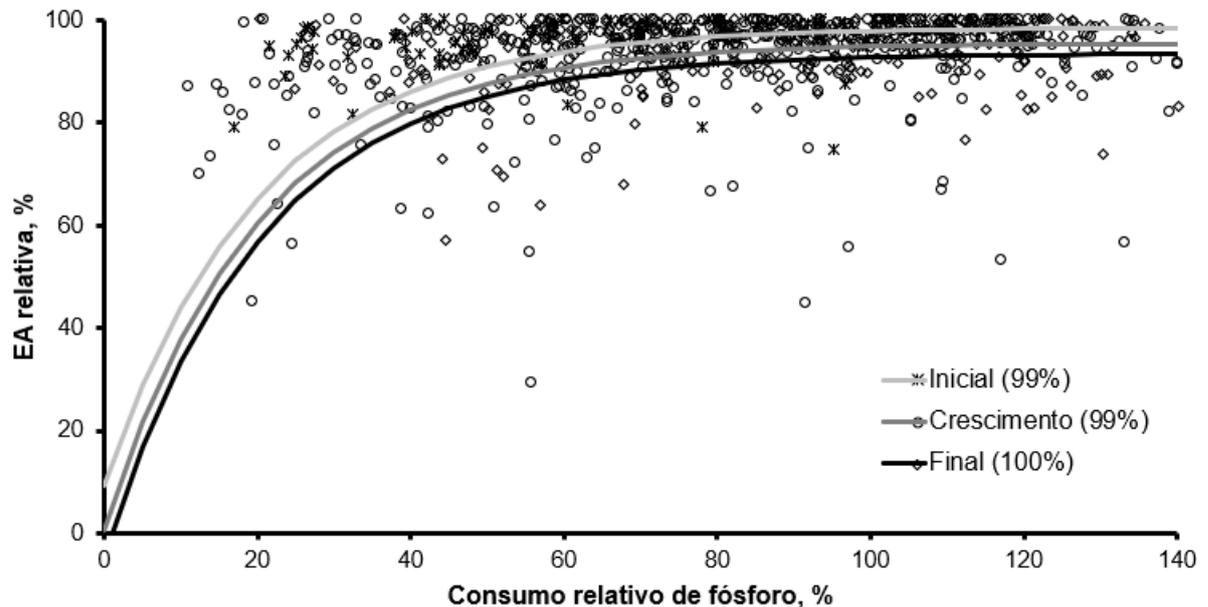


Figura 7. Consumo relativo de fósforo sobre a eficiência alimentar (EA) de frangos de corte¹.

¹ Os requisitos estimados obtidos de cada fase são apresentados entre parênteses.

5.2.2 Exigência de Fósforo Disponível – Características Ósseas

O consumo relativo de P que maximizaram as características de mineralização óssea das aves foi superior às recomendações estabelecidas nas TB em todas as respostas e nas três fases estudadas, sugerindo uma subestimação especialmente nas fases finais. Os valores obtidos para máxima deposição de P na tíbia variaram entre 105 (inicial) e 109% (crescimento e final) das recomendações das TB (Figura 8). Comportamento semelhante foi observado para a característica de cinzas ósseas, com valores de ajuste entre 101 (inicial) e 111% (final) da recomendação dos modelos propostos nas TB (Figura 9). Por fim, a força de cisalhamento foi maximizada em níveis entre 101 (inicial) e 112% (final) das recomendações atuais dos modelos em teste (Figura 10).

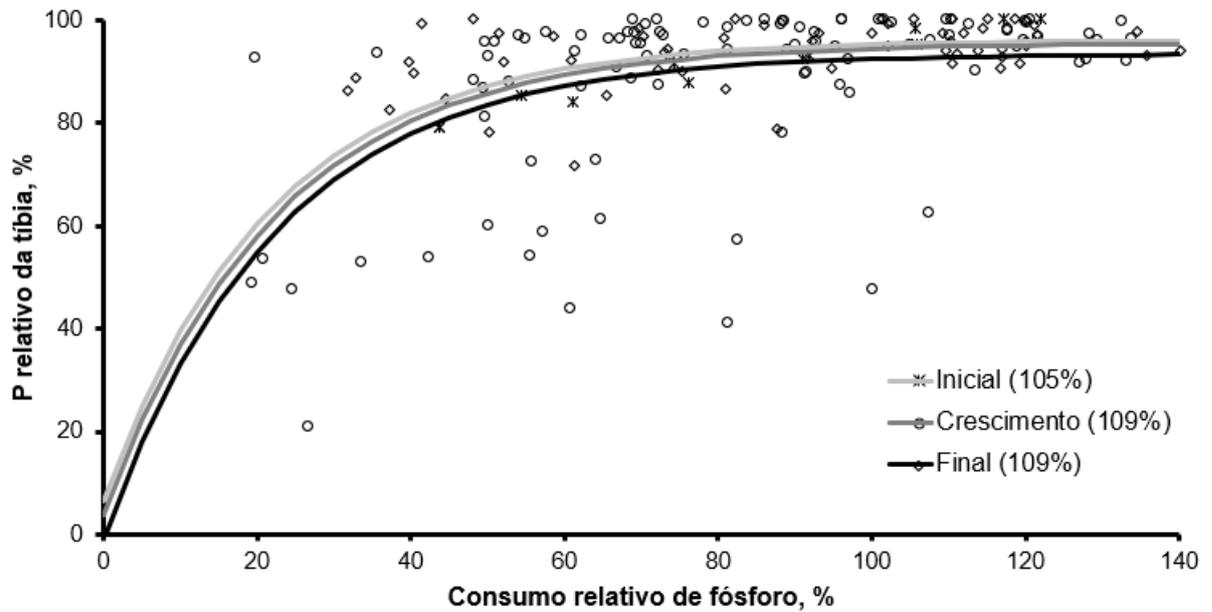


Figura 8. Consumo relativo de fósforo sobre o fósforo da tíbia de frangos de corte¹.

¹ Os requisitos estimados obtidos de cada fase são apresentados entre parênteses.

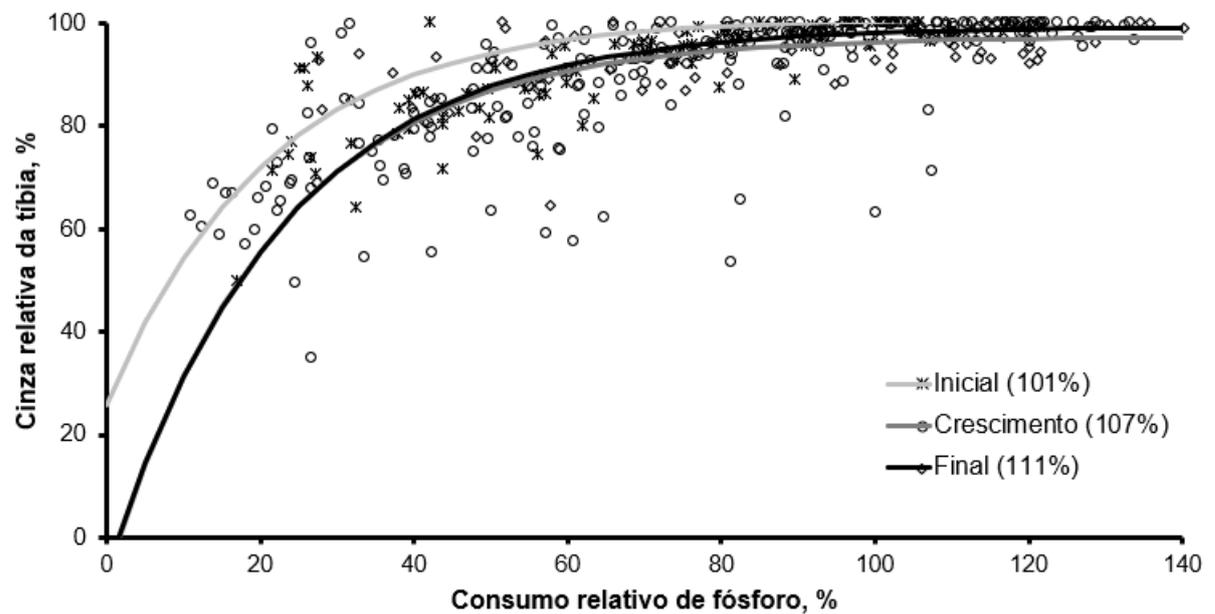


Figura 9. Consumo relativo de fósforo sobre as cinzas da tíbia em frangos de corte¹.

¹ Os requisitos estimados obtidos de cada fase são apresentados entre parênteses.

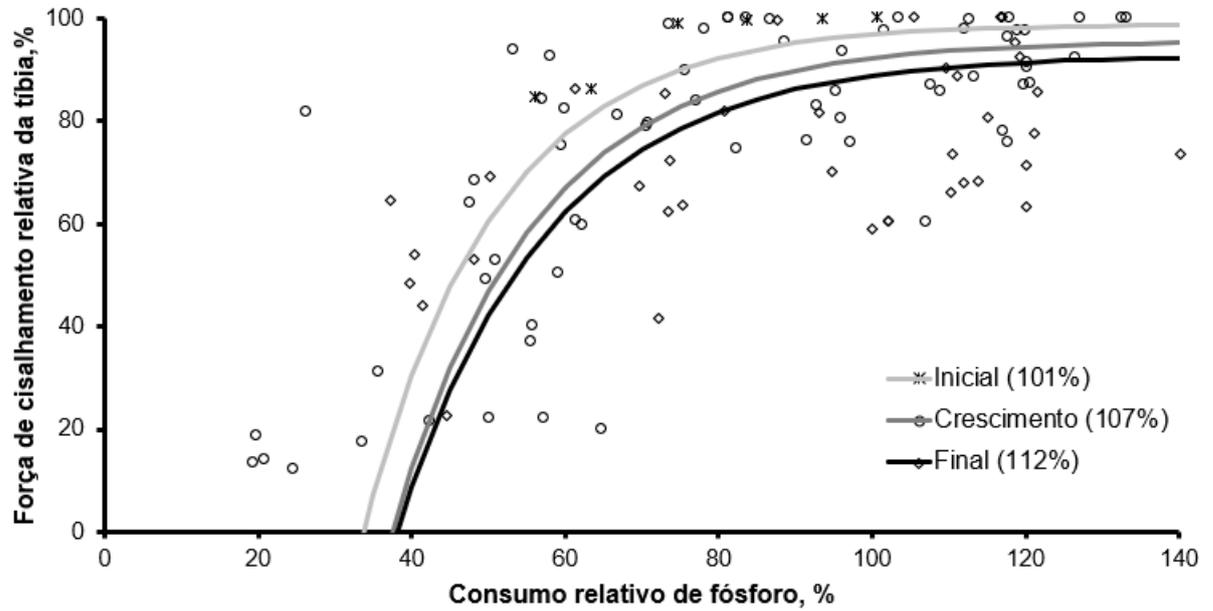


Figura 10. Consumo relativo de fósforo sobre a força de cisalhamento em frangos de corte¹.

¹ Os requisitos estimados obtidos de cada fase são apresentados entre parênteses

6. Discussão

A leve superestimação encontrada na fase inicial para o GMD é uma condição relevante no contexto de sustentabilidade, uma vez que minerais suplementados em excesso (além do limite fisiológico necessário para a retenção máxima) são excretados gerando preocupações tanto ambientais quanto econômicas (Manangi & Coon 2007). De modo geral, há diversos fatores que podem influenciar a absorção de P e, conseqüentemente, o desempenho dos animais. Por exemplo, proporções mais elevadas de Ca e NPP (esses dois elementos têm a propensão de formar fosfato de Ca, um complexo insolúvel no intestino das aves), pode reduzir a absorção dos nutrientes o que afeta negativamente o GMD e o CRD dos animais (Underwood, 1981; Georgievskii et al., 1982; Rama Rao et al., 2006). Por conta disso, apenas níveis inferiores a 140% das recomendações das TB foram utilizados nesta etapa de modelagem.

Em um estudo conduzido por Van Krimpen et al. (2013), uma dieta foi fornecida com elevada concentração de P resultou em melhorias no GMD e CA, porém reduziu a digestibilidade ileal de Ca e P e aumentou a excreção fecal de fosfato. Estudos voltados para avaliar a relação entre Ca e P na dieta focam frequentemente na proporção Ca:P e não nas concentrações dietéticas específicas de ambos os minerais. De acordo com Létourneau-Montminy et al. (2010), para cada nível de NPP dietético considerado, o Ca deve ser ajustado ao nível que otimiza a utilização de P, de modo que exista um equilíbrio apropriado entre o desempenho de crescimento e a mineralização óssea.

Embora os valores do consumo relativo de P tenham se aproximado das recomendações atuais para todas as fases, seria necessário incluir quantidades mais elevadas de P na dieta a fim de garantir uma ingestão adequada de P e assegurar um teor adequado desse mineral na tíbia. De modo geral, alterações na dieta afetam de forma distinta o ganho de peso corporal e a mineralização óssea, possivelmente devido ao fato de que aproximadamente 80% do P total no corpo está presente no esqueleto das aves (Yi et al., 1996; Waldroup et al., 2000).

A análise da concentração de cinzas na tíbia fornece informações importantes sobre a absorção e incorporação de minerais, como o P, no tecido ósseo. O aumento ou a diminuição dessa concentração pode indicar eficiência ou deficiência na

utilização de P presente na dieta dos frangos, sendo um importante parâmetro para avaliar a qualidade nutricional e a eficácia das formulações alimentares para aves de corte. Em outras palavras, a cinza óssea é uma medida crítica de quão mineralizado é o osso, onde aves com distúrbios ósseos geralmente apresentam uma porcentagem menor de cinzas ósseas do que aves saudáveis (Shem et al., 2012).

No presente estudo, pode-se observar o mesmo comportamento do P relativo na tíbia no conteúdo de cinzas. Isso pode estar associado com o fato de que, para alcançar o máximo teor de cinzas ósseas, é necessário um fornecimento de P superior à exigência (Driver et al., 2005; Abudabos, 2012). Em estudos prévios, foi observado que à medida que a inclusão de Ca e P aumenta, aumenta a força de ruptura da tíbia e nas cinzas (Brugalli et al., 1999; Onyango et al., 2003).

O aumento da ingestão de Ca e NPP é destinado à síntese e deposição de hidroxiapatita no osso, resultando no aumento da mineralização óssea. Esse resultado, aliado ao fato de o ganho de peso corporal não ser tão sensível como medida de avaliação das necessidades de Ca e NPP, sugere que as concentrações necessárias para maximizar a mineralização óssea são provavelmente superiores às concentrações requeridas para maximizar o desempenho de crescimento (Waldroup et al., 2000; Dhandu & Angel 2003; Gautier et al., 2017).

Persia & Saylor (2006) ressaltam que, embora a concentração de cinzas na tíbia proporcione resultados consistentes e represente uma medida direta do status de P, o GMD e CRD seriam mais aplicáveis para verificar os requerimentos de P. No entanto, Faridi et al. (2015) informa que a quantidade de cinzas na tíbia, especificamente em frangos de corte, é considerada um indicador sensível da utilização de P pelas aves. De acordo, o teor de cinzas da tíbia foi reduzido quando as aves foram alimentadas com uma dieta com baixo teor de P e baixa relação Ca:P, contudo as características de desempenho não foram afetadas (Van Krimpen et al., 2013).

A mineralização afeta a resistência óssea, possibilitando o esqueleto suportar a gravidade e cargas adicionais, sendo crucial para garantir que os ossos sejam fortes o suficiente para suportar o peso do corpo, especialmente porque frangos de corte atuais podem crescer rapidamente em um curto período (Shim et al., 2012). Assim, ruptura óssea, densidade óssea, conteúdo mineral ósseo e cinzas ósseas são utilizados como indicadores do estado ósseo em pesquisas relacionadas à nutrição

mineral de aves (Watkins & Southern, 1992; Onyango et al., 2003; Shim et al., 2008). Especificamente, a força de cisalhamento da tíbia, refere-se à capacidade do osso tibial resistir a forças que agem em direções opostas ou tangenciais, sendo medida através de testes específicos, onde uma força é aplicada para separar ou deslocar as partes do osso.

A quantidade de cinza presente no osso é proporcional ao seu grau de dureza ou resistência à compressão e o componente orgânico do osso é importante para fornecer resistência à tração e flexibilidade, sendo esses dois componentes do osso que contribuem para resistência à ruptura (Rath et al., 1999; Velleman, 2000; Bonser & Casinos, 2003). Do mesmo modo que a quantidade de cinzas presente na tíbia necessita de maiores inclusões de P, o mesmo comportamento pode ser observado para maximizar a força de cisalhamento da tíbia a fim de obter ossos saudáveis e, conseqüentemente, melhor bem-estar dos animais.

Skinner et al. (1992) observaram que aves alimentadas em níveis iguais ou superiores às exigências nutricionais desde o nascimento até os 42 dias, e posteriormente com dietas sem qualquer adição de NPP dos 42 aos 49 dias, o desempenho não foi impactado, mas a resistência à ruptura da tíbia foi afetada, indicando que os ossos estavam sendo desmineralizados. Rodehutsord (2016) observou que a diminuição da proporção de Ca:P na alimentação é um método eficaz para aprimorar a assimilação do P, mas é importante salientar que uma redução excessiva na relação Ca:P na dieta pode comprometer tanto o desempenho no crescimento quanto as características de resistência da tíbia (Van Krimpen et al., 2013).

Um dilema se apresenta em relação aos níveis de Ca e P em frangos de corte, onde busca-se otimizar o desempenho e a mineralização óssea e, por outro lado, visa-se minimizar a excreção de P e reduzir a poluição ambiental (Leeson, 2012). Este dilema se acentua uma vez que a busca por frango de corte com alto rendimento, selecionado para reduzir o tempo necessário para atingir o peso corporal desejado e a EA, ocasionou efeitos adversos no sistema esquelético dos animais (Faridi et al., 2015). Logo, é possível de que exista uma maior incidência de problemas no sistema locomotor em frangos de corte de alto rendimento (Bessi, 2006).

Como já destacado, as tabelas de exigência disponíveis para referência apresentam as exigências de P que variam conforme a idade e a linhagem genética.

Isso, no entanto, pode dificultar a comparação entre tabelas e manuais. As tabelas do NRC (1994) apresentam as necessidades de P expressas em NPP segmentado em três recomendações conforme a idade em semanas: 0,45% de 0 a 3 semanas, 0,35% de 3 a 6 semanas e 0,30% de 6 a 8 semanas para frangos de corte.

As tabelas da linhagem genética Cobb 500 (2022) para frangos médio e grandes, descrevem a necessidade de P disponível de 0,58%, 0,37-0,40% e 0,34-0,36% para a fase inicial (0-12d), crescimento (13-39d) e final (>40d), respectivamente. Ao comparar as TB com as exigências do NRC e da Cobb, observa-se que as exigências de P são menores na fase final das TB. Além disso, as TB descrevem as necessidades de P na forma digestível, a qual leva em conta a digestibilidade do fósforo considerando fontes tanto orgânicas quanto inorgânicas. Essa abordagem é recomendada com o objetivo de padronizar o método de avaliação do teor de fósforo (Junior, 2017).

O fato das TB apresentarem exigência menor de P em comparação com outras tabelas, aliada à carência de artigos conduzidos na fase final no presente estudo, pode justificar a leve superestimação observada em todas as variáveis analisadas, exceto para EA. Isso sugere a importância de realizar mais estudos específicos nessa fase, a fim de assegurar modelos precisos de exigência de fósforo, uma vez que a alimentação de precisão permite ajustar o fornecimento de nutrientes às necessidades específicas de cada animal para cada fase. Isso pode contribuir para redução de custos, minimização da excreção de nutrientes e aumento da eficiência na utilização de recursos (Zuidhof, 2020). Portanto, a avaliação de modelos de estimativa de exigências de P é fundamental para otimizar a produção avícola, contribuindo para uma abordagem mais sustentável e eficiente, levando em consideração aspectos econômicos, ambientais, de saúde animal e nutricionais.

7. Considerações Finais

Este estudo foi desenvolvido para avaliar um modelo para estimação de exigências de P em frangos de corte a partir de uma meta-análise de respostas de desempenho e características ósseas publicadas anteriormente. O P é um nutriente essencial que desempenha um papel importante nas funções biológicas e conhecer com precisão seus requisitos é essencial para melhorar a produtividade na produção de frangos de corte. Logo, reavaliar as recomendações de P ao integrar os resultados disponíveis é uma tarefa crucial para programas de alimentação que buscam maximizar a eficiência na utilização de P em frangos de corte.

Esta tendência é evidenciada no presente estudo, onde se nota que as características de desempenho estão mais ajustadas nas fases iniciais, principalmente. Por outro lado, as características ósseas, utilizadas para determinar a mineralização, apresentam um ajuste menor, sendo perceptível uma sutil subestimação, especialmente nas fases finais. Portanto, otimizar a formulação da dieta é essencial para garantir eficiência no uso de recursos, sem negligenciar os requisitos fundamentais para a saúde e desempenho dos animais. Essa prática visa equilibrar a eficiência econômica e a sustentabilidade com o bem-estar e o desempenho adequado dos animais.

8. Referências Bibliográficas

Abudabos, A. M. **Optimal dietary phosphorus for broiler performance, bone integrity and reduction of phosphorus excretion.** Asian Journal of Animal and Veterinary Advances, v. 7, p. 288-298, 2012.

Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA). **Relatório Anual.** 2023.

Barrier-Guillot, B; Casado, P; Maupetit, P; Jondreville, C; Gatel, F. **Wheat phosphorus availability: 1-In vitro study; Factors affecting endogenous phytasic activity and phytic phosphorus content.** Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 70, p. 62–68, 1996.

Benincasa, N. C; Sakamoto, K. S; Silva, I. J. O; Lobos, C. M. V. **Animal welfare: impacts of pre-slaughter operations on the current poultry industry.** Journal of Animal Behaviour and Biometeorology, p. 104-110, 2020.

Bessi, W. **Welfare of broilers: A review.** Poultry Science, v. 62, p. 455–466, 2006.

Bolling, S. D; Douglas, M. W; Wang, X. **The effects of dietary available phosphorus levels and phytase on performance of young and older laying hens.** Poultry Science, v. 79, p. 224-230, 2000.

Bonser, R. H. C; Casinos, A. **Regional variation in cortical bone properties from broiler fowl—A first look.** Poultry Science, v. 44, p. 350–354, 2003.

Brenes, A; Viveros, A; Arija, I; Centeno, C; Pizarro, M; Bravo, C. **The effect of citric acid and microbial phytase on mineral utilization in broiler chicks.** Animal Feed Science and Technology, v. 110, p. 201-219, 2003.

Broch, J. **Fitase em dietas para frangos de corte.** Tese - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2019.

Brugalli, I; Silva, D. J; Albino, L. F. T; Gomes, P. C; Rostagno, H. S; Silva, A. **Available phosphorus requirement and effect of particle size on phosphorus bioavailability from meat and bone meal for broiler chicks.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 28, p. 1288-1296, 1999.

Casey, A; Walsh, G. **Identification and characterization of a phytase of potential commercial interest.** Journal of Biotechnology, v. 110, p. 313-322, 2004.

Cavalcante, L. E. **Adensamento nutricional em rações de frangas e poedeiras leves.** Dissertação - Universidade Federal da Paraíba, 2017.

Cobb. **Broiler Performance & Nutrition Supplement.** 2022.

Cosmo, B. M. N; Galeriani, T. M. **Minerais na alimentação animal.** Revista Agronomia Brasileira, v. 4, p. 01-09, 2020.

Costa, F. G. P; Brandão, P. A; Brandão, J. S; Silva, J. H.V. **Effect of phytase enzyme in broilers rations, during pre-starter and starter phases.** Ciência e Agrotecnologia, v. 31, p. 865–870, 2007.

Costa, F. G. P; Souza, H. C; Gomes, C. A. V; Barros, L. R; Brandão, P. A; Nascimento, G. A. J; Santos, A. W. R; Amarante Junior, V. S. **Níveis de proteína bruta e energia metabolizável na produção e qualidade dos ovos de poedeiras da linhagem Lohmann Brown.** Ciência e Agrotecnologia, v. 28, p. 1421-1427, 2004.

Cowieson, A. J; Parsons, C. M. **Effect of day-old chick weight on the response of broilers to high doses of exogenous phytase.** Poultry Science, v. 103, 2024.

Dale, N. **Necessidades de fósforos para pollos.** Avicultura Professional p. 80-83, 1983.

Dersjant-Li, Y; Archer, G; Stiewert, A. M; Brown, A. A; Sobotik, E. B; Jasek, A; Marchal, L; Bello, A; Sorg, R. A; Christensen, T; Kim, H; Mejlidal, R; Nikolaev, I; Pricelius, S; Haaning, S; Sørensen, J. F; Kreij, A; Sewalt, V. **Functionality of a next generation biosynthetic bacterial 6-phytase in enhancing phosphorus availability to broilers fed a corn-soybean meal-based diet.** Animal Feed Science and Technology, v. 264, 2020.

Dhandu, A. S; Angel, R. **Broiler non-phytin phosphorus requirement in the finisher and withdrawal phases of a four phase feeding program.** Poultry Science v. 82, p. 1257-1265, 2003.

Driver, J. P; Pesti, G. M; Bakalli, R. I; Edwards, J. H. M. **Effects of calcium and nonphytate phosphorus concentrations on phytase efficacy in broiler chicks.** Poultry Science, v. 84, p. 1406-1417, 2005.

Embrapa Suínos e Aves. **Custos de produção de frangos de corte do RS.** Central de Inteligência de Aves e Suínos - CIAS, 2023.

Faridi, I. A; Gitoe, A. **A meta-analysis of the effects of nonphytate phosphorus on broiler performance and tibia ash concentration.** Poultry Science, v. 94, p. 2753-2762, 2015.

Garcia, A. R; Batal, A. B; Dale, N. M. **Biological availability of phosphorus sources in prestarter and starter diets for broiler chicks.** Journal of Applied Poultry Research, v. 15, p. 518-524, 2006.

Gautier, A. E; Walk, C. L; Dilger, R. N. **Influence of dietary calcium concentrations and the calcium-to-non-phytate phosphorus ratio on growth performance, bone characteristics, and digestibility in broilers.** Poultry Science, v. 96, p. 2795-2803, 2017.

Georgievskii, V. I; Annenkov, B. N; Samokhin, V. I. **Mineral nutrition of animals.** Butterworths, London, 1982.

Giarola, P. C; Júnior, L. C. C. **Um retrato da cadeia produtiva de carne avícola em Santa Catarina e no Brasil no início do século XXI.** Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação, v. 2, 2020.

Gomes, P. C; Runho, R. C; D'agostini, P; Rostagno, H. S; Albino, L. F. T; Lopes, P. S. **Available phosphorus requirement of male and female broilers from 22 to 42 and from 43 to 53 days of age.** Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, p.1734-1746, 2004.

González, F. H. D; Silva, S. C. **Introdução à bioquímica clínica veterinária.** Editora UFRGS, 2017.

Groote, G; Huyghebaert, G. **The bio-availability of phosphorus from feed phosphates for broilers as influenced by bio-assay method, dietary Ca-level and feed form.** Animal Feed Science and Technology, v. 69, p. 329-340, 1997.

Hurwitz, S; Plavnik, I; Shapiro, A; Wax, E; Talpaz, H; Bar, A. **Calcium metabolism and requirements of chickens are affected by growth.** Journal of Nutrition, v. 125, p. 2679-2686, 1995.

Jendza, J. A; Dilger, R. N; Sands, J. S; Adeola, O. **Efficacy and equivalency of an Escherichia coli-derived phytase for replacing inorganic phosphorus in the diets of broiler chickens and young pigs.** Journal of Animal Science, v. 84, p. 3364-3374, 2006.

Junior, M. L. X. **Biodisponibilidade e digestibilidade do fósforo de diferentes fosfatos para frangos de corte.** Dissertação - Universidade Federal de Viçosa. 2017.

Karimi, A; Bedford, M; Sadeghi, G; Ghobadi, Z. **Influence of dietary non-phytate phosphorous levels and phytase supplementation on the performance and bone characteristics of broilers.** Brazilian Journal of Poultry Science, v. 13, p. 43–51, 2011.

Kebreab, E; Vitti, D. M. S. S. **Mineral metabolism.** CAB International, Wallingford, UK, p. 469-486, 2005.

Kermani, A; Taheri, H. R; Faridi, A; Shahir, M. H; Baradaran, N. **Interactive effects of calcium, vitamin D3, and exogenous phytase on phosphorus utilization in male broiler chickens from 1 to 21 days post-hatch: A meta-analysis approach.** Animal Feed Science and Technology, v. 295, 2023.

Klasing, K. C. **Comparative avian nutrition.** CAB International: Wallingford, UK, 1998.

Létourneau-Montminy, M. P; Lescoat, P; Narcy, A; Sauvant, D; Bernier, J. F; Magnin, M; Pomar, C; Nys, Y; Jondreville, C. **Effects of reduced dietary calcium and phytase supplementation on calcium and phosphorus utilization in broilers with modified mineral status.** Poultry Science, v. 49, p. 705-715, 2008.

Létourneau-Montminy, M. P; Narcy, A; Lescoat, P; Bernier, J. F; Magnin, M; Pomar, C; Nys, Y; Sauvant, D; Jondreville, C. **Meta-analysis of phosphorus utilisation by broilers receiving corn-soyabean meal diets: influence of dietary calcium and microbial phytase.** *Animal*, v. 4, p. 1844–185, 2010.

Li, X; Wang, J; Wang, C; Zhang, C; Li, X; Tang, C; Wei, X. **Effect of dietary phosphorus levels on meat quality and lipid metabolism in broiler chickens,** *Food Chemistry*, v. 205, p. 289-296, 2016^b.

Li, X; Zhang, D; Yang, T. Y; Bryden, W. L. **Phosphorus bioavailability: a key aspect for conserving this critical animal feed resource with reference to broiler nutrition.** *Agriculture*, v. 6, 2016^a.

Lovatto, P. A; Lehnen, C. R; Andretta, I; Carvalho, A. D; Hauschild, L. **Meta-analysis in scientific research: a methodological approach.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, p. 285-294, 2007.

Manangi, M. K; Coon C. N. **The effect of calcium carbonate particle size and solubility on the utilization of phosphorus from phytase for broilers.** *Poultry Science*, v. 6, p. 85-90, 2007.

Marangoni, R. S. **Níveis de cálcio e fósforo disponível para frangos de corte alimentados com dietas contendo doses crescentes de fitase.** Dissertação USP, 2017.

Maschio, M. M; Raszl, S. M. **Impacto financeiro das condenações post-mortem parciais e totais em uma empresa de abate de frango.** *Tecnologias para Competitividade Industrial*, p. 26-38, 2012.

Moher D; Liberati A; Tetzlaff J; Altman D. G. **Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA Statement.** *PLoS Medicine*, v. 6, 2009.

Munir, K; Maqsood, S. **A review on role of exogenous enzyme supplementation in poultry production.** *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v. 25, 2013.

NRC. **Nutrient requirements of poultry.** Ninth Revised Edition, National Academy Press, Washington D.C, USA, 1994.

Onyango, E. M; Hester, P. Y; Strohshine, R; Adeola, O. **Bone densitometry as an indicator of percentage tibia ash in broiler chicks fed varying dietary calcium and phosphorus levels.** *Poultry Science*, v. 82, p. 1787-1791, 2003.

Page M. J; McKenzie J. E; Bossuyt P. M; Boutron I; Hoffmann T. C; Mulrow C. D. **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews.** *BMJ*, 2021.

Payne, S. G. **The phosphorus availability of feed phosphates in Broilers.** Thesis, University of Stellenbosh, Stellenbosh, South Africa, 2005.

Persia M. E; Saylor W. W. **Effects of broiler strain, dietary nonphytate phosphorus, and phytase supplementation on chick performance and tibia ash.** Poultry Science v. 15, p. 72-81, 2006.

Proszkowiec-Weglarz, M; Angel, R. **Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility.** Journal of Applied Poultry Research, v. 22, p. 609-627, 2013.

Rama Rao, S. V; Raju, M. V. L. N; Reddy, M. R; Pavani, P. **Interaction between dietary calcium and non-phytate phosphorus levels on growth, bone mineralization and mineral excretion in commercial broilers.** Animal Feed Science and Technology, v. 131, p. 133-148, 2006.

Ramalho, A. **Manual para redacção de estudos e projectos de revisão sistemática com e sem metanálise.** Coimbra: Formasau, 2005.

Rath, N. C; Huff, G. R; Huff, W. E; Kulkarni, G. B; Tierce, J. F. **Comparative difference in the composition on biochemical properties of tibiae of seven- and seventy-two week-old male and female broiler breeder chickens.** Poultry Science, v. 78, p. 1232-1239, 1999.

Ravindran, V. **Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers.** Poultry Science, v.7, p. 699-706, 1999.

Rodehutsord M. **Interactions between minerals and phytate degradation in poultry - Challenges for phosphorus digestibility assays.** Phytate Destruction - Consequences for Precision Animal Nutrition, p. 167 - 1771, 2016.

Rodehutsord, M. **Determination of phosphorus availability in poultry.** Poultry Science, v. 69, p. 687-698, 2013.

Roman-Garcia, P; Carrillo-Lopez, N; Fernandez-Martin, J. L; Naves-Diaz, M; Ruiz-Torres, M. P; Cannata-Andia, J. B. **High phosphorus diet induces vascular calcification, a related decrease in bone mass and changes in the aortic gene expression.** Bone, v. 46, p. 121-128, 2010.

Rostagno H. S; Albino L. F. T; Donzele, J. L. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais.** Universidade Federal de Viçosa, 2017.

Rousseau, X; Valable, A; Létourneau-Montminy, M. P; Mème, N; Godet, E; Magnin, M; Nys, Y; Duclos, M. J; Narcy, A. **Adaptive response of broilers to dietary phosphorus and calcium restrictions.** Poultry Science, v. 95, p. 2849-2860, 2016.

Runho, R. C; Gomes, P. C; Rostagno, H. S; Albino, L. F. T; Lopes, P. S; Pozza, P. C. **Available phosphorus requirement of male and female broilers from 1 to 21 days of age.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 30, p. 187-196, 2001.

Sakomura, N. K; Silva, J. H. V; Costa, F. G. C; Fernandes, J. B. K; Hauschild, L. **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal, FUNEP, 2014.

Santos, E. J. F; Cunha, M. **Critical interpretation of statistical results of a meta-analysis: methodological strategies**. Millenium, v. 44, p. 85-98, 2013.

Santos, G. C. L; Neto, S. G; Bezerra, L. R; Medeiros, A. N. **Análise exploratória, conceitual e metodológica do uso de meta-análise aplicada às ciências animais**. Zootecnia: nutrição e produção animal, p. 11-24, 2020.

Sauvant, D; Schmidely, P; Daudin, J. J. **Les métaanalyses des données expérimentales: Applications en nutrition animale**. INRA Productions Animales, v.8 , n. 1, p. 63–73, 2005.

Schardt, C; Adams, M. B; Owens, T; Keitz, S; Fontelo, P. **Utilization of the PICO framework to improve searching PubMed for clinical questions**. Medical Informatics and Decision Making, v. 7, 2007.

Schoulten, N. A, Teixeira, A. S, Conte, A. J, Silva, H. O, Bertechini, A. G; Fialho, E. T. **Efeito dos níveis de cálcio da ração suplementada com fitase sobre a deposição de minerais na tíbia de frangos de corte de 22 a 42 dias**. Ciência e Agrotecnologia, v. 27, p. 206-210, 2003.

Scott, M; Nesheim, M. C; Young, R. J. **Broiler nutrition**. ML Scott and Associates, 1982.

Sechinato, A.S; Albuquerque, R; Nakada, S. **Efeito da suplementação dietética com micros minerais orgânicos na produção de galinhas poedeiras**. Brazilian Journal Veterinary Research and Animal Science, v. 43, p. 159-166, 2006.

Selle, P. H; Ravindran, V. **Microbial phytase in poultry nutrition**. Animal Feed Science and Technology, v. 135, p. 1-41, 2007.

Shafey, T. M; McDonald, M. W; Pym, R. A. **Effects of dietary calcium, available phosphorus and vitamin D on growth rate, food utilisation, plasma and bone constituents and calcium and phosphorus retention of commercial broiler strains**. Poultry Science, v. 31, p. 587-602, 1990.

Shim, M. Y; Karnuah, A. B; Mitchell, A. D; Anthony, N. B; Pesti, G. M; Aggrey, S. E. **The effects of growth rate on leg morphology and tibia breaking strength, mineral density, mineral content, and bone ash in broilers**. Poultry Science, v. 91, p. 1790-1795, 2012.

Shim, M. Y; Pesti, G. M; Bakalli, R. I; Edwards Jr, H. M. **The effect of breeder age and egg storage time on phosphorus utilization by broiler progeny fed a phosphorus deficiency diet with 1alpha-OH vitamin D3**. Poultry Science, v. 87, p. 1138-1145, 2008.

Shirley, R. B. **Evaluation of phytase, vitamin D3 derivatives, and broiler breed differences on nutrient utilization, broiler performance, leg disorders, and the expression of intestinal calbindin-28 kd mRNA and protein.** Thesis (PhD in Poultry Science) - University of Georgia, Athens, 2003.

Silva, J. H. V; Pascoal, L. A. F. **Função e disponibilidade dos minerais.** In: Sakomura, N. K; Silva, J. H. V; Costa, F. G. P; Fernandes, J. B. K.; Hauschild, L. *Nutrição de Não Ruminantes*, 2014.

Silva, R. G. **Caracterização e utilização de minerais orgânicos na avicultura.** Trabalho de Conclusão de Curso - UFRGS, 2012.

Skinner, J. T; Adams, M. H; Watkins, S. E; Waldroup, P. W. **Effects of calcium and nonphytate phosphorus levels fed during 42 to 56 days of age on performance and bone strength of male broilers.** *Journal of Applied Poultry Research*, v. 1, p. 167-171, 1992.

St-Pierre N. R. **Metanálises de dados experimentais em ciências animais.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, p. 343-358, 2007.

Tay-Zar, A. C; Srichana, P; Sadiq, M. B; Anal, A. K. **Restriction of dietary non-phytate phosphorus on growth performance and expression of intestinal phosphate cotransporter genes in broilers.** *Poultry Science*, v. 98, p. 4685-4693, 2019.

Underwood, E. J. **The Mineral Nutrition of Livestock.** Commonwealth Agricultural Bureaux, 1981.

Van der Klis, J.D; Versteegh, H. A. J. **Phosphorus nutrition of poultry.** In *Recent Developments in Poultry Nutrition 2*; Garnsworthy, P.C., Wiseman, J., Eds.; Nottingham University Press: Nottingham, UK, p. 309-320, 1999.

Van Krimpen, M. M; Van Diepen, J. T. M; Wikselaar, P. G; Bikker, P; Jongbloed, A. W. **Effects of available phosphorus (aP), calcium/aP ratio, and growth rate on P deposition, P digestibility, performance and leg quality in broilers.** *Livestock Research*, 2013.

Velleman, S. G. **The role of the extracellular matrix in skeletal development.** *Poultry Science*, v. 79, p. 985–989, 2000.

Viana, J. A. F. **Fontes de sais minerais para bovinos e o desafio de suplementos de fósforo no Brasil.** In: *Simpósio Sobre Nutrição de Bovinos*; Piracicaba - São Paulo, Brasil, p. 47-66, 1985.

Vitti, D. M. S. S; Kebreab, E. **Phosphorus and calcium utilization and requirements in farm animals.** Wallingford: CABI, 2010.

Waldroup, P. W; Kersey, J. H; Saleh, E. A; Fritts, C.A; Yan, F; Stilborn, H. L; Crum Jr. R.C; Raboy, V. **Nonphytate phosphorus requirement and phosphorus excretion**

of broilers fed diets composed of normal or high available phosphate corn with and without microbial phytase. Poultry Science, v. 79, p. 1451-1459, 2000.

Watkins, K. L; Southern L. L. **Effect of dietary sodium zeolite A and graded levels of calcium and phosphorous on growth, plasma, and tibia characteristics of chicks.** Poultry Science, v. 71, p. 1048-1058, 1992.

Wise, A. **Dietary factors determining the biological activities of phytase.** Nutr. Abs. Rev., v. 53, p. 791-806, 1983.

Yao, M. Z.; Zhang, Y. H; Lu, W. L; Hu, M. Q; Wang, W; Liang, A. H. **Phytases: crystal structures, protein engineering and potential biotechnological applications,** Journal of Applied Microbiology, v. 112, p. 1-14, 2012.

Yi, Z; Kornegay, E. T; Ravindran, V; Denbow, D. M. **Improving phytate phosphorus availability in corn and soybean meal for broilers using microbial phytase and calculation of phosphorus equivalency values for phytase.** Poultry Science, v. 75, p. 240-249, 1996.

Zuidhof, M. J. **Precision livestock feeding: matching nutrient supply with nutrient requirements of individual animals.** Journal of Applied Poultry Research, v. 29, p. 11-14, 2020.