

**NUTRIÇÃO EM AVES: REVISÃO DE LITERATURA*****POULTRY NUTRITION: LITERATURE REVIEW***

¹Alicia de Abreu Papale; ¹Emily Goulart Teixeira; ¹Jamily Reis Vicente; ¹Kayani Beltrão Ferreira Costa; ¹Maria Fernanda de Oliveira; ¹Marina Tristão Carvalho Martins; ²Sávio Tadeu Almeida Júnior

RESUMO

A avicultura é um dos setores que mais se destaca na produção animal, principalmente por sua alta eficiência, com elevada importância global econômica e produtiva. No Brasil, é um setor que ocupa posição importante tanto na produção quanto na exportação de carne, refletindo avanços realizados na área de genética, manejo, sanidade e nutrição animal. A alimentação das aves deve considerar suas exigências nutricionais específicas, que variam de acordo com a fase de desenvolvimento, potencial genético e condições ambientais. Devido seu metabolismo acelerado e elevada taxa de crescimento, as aves precisam de dietas balanceadas capazes de fornecer energia, proteínas, aminoácidos, vitaminas e minerais em proporções adequadas para sua finalidade produtiva. Nesse sentido, a formulação de rações exige conhecimento específico sobre os processos digestivos e metabólicos, assim como sobre a composição e digestibilidade dos ingredientes utilizados. É um fator importante na nutrição de aves a busca por maior eficiência na utilização de nutrientes, visando reduzir custos de produção e minimizar os impactos ambientais. Diante disto, este artigo tem como objetivo abordar os principais aspectos relacionados à nutrição de aves, incluindo a fisiologia do trato gastrointestinal, metabolismo de nutrientes, importância de vitaminas e minerais, uso de aditivos e as exigências nutricionais nas diferentes fases e finalidades produtivas.

Palavras-chave: Avicultura, alimentação, produção.

ABSTRACT

Poultry farming is a standout sector in animal production, primarily due to its high efficiency and significant global economic and productive importance. In Brazil, the sector holds a key position in both meat production and exports, reflecting advancements in genetics, management, health, and animal nutrition. Poultry diets must account for specific nutritional requirements, which vary according to the stage of development, genetic potential, and environmental conditions. Due to their rapid metabolism and high growth rates, birds require balanced diets capable of providing energy, proteins, amino acids, vitamins, and minerals in

¹ Graduandos do curso de Medicina Veterinária do Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS MG);

² Professor e Coordenador do curso de Medicina Veterinária do Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS MG). savio.junior@unis.edu.br. <https://orcid.org/0000-0002-1037-4765>

proportions suited to their production goals. Consequently, feed formulation requires specialized knowledge of digestive and metabolic processes, as well as the composition and digestibility of the ingredients used. A key factor in poultry nutrition is the pursuit of greater nutrient utilization efficiency, aiming to reduce production costs and minimize environmental impacts. Against this backdrop, this article aims to address key aspects of poultry nutrition, including gastrointestinal tract physiology, nutrient metabolism, the importance of vitamins and minerals, the use of additives, and nutritional requirements across different production stages and objectives.

Keywords: Poultry farming, nutrition, production.

1 INTRODUÇÃO

A avicultura é um dos setores que mais se destaca na produção animal, principalmente por sua alta eficiência, com elevada importância global econômica e produtiva. No Brasil, é um setor que ocupa posição importante tanto na produção quanto na exportação de carne, refletindo avanços realizados na área de genética, manejo, sanidade e nutrição animal (Barbosa *et al.*, 2021). A nutrição de aves assume então um papel fundamental para o desempenho produtivo, qualidade e viabilidade econômica da atividade (Garcia; Gomes, 2019).

A alimentação das aves deve considerar suas exigências nutricionais específicas, que variam de acordo com a fase de desenvolvimento, potencial genético e condições ambientais. Devido seu metabolismo acelerado e elevada taxa de crescimento, as aves precisam de dietas balanceadas capazes de fornecer energia, proteínas, aminoácidos, vitaminas e minerais em proporções adequadas para sua finalidade produtiva (Riveros Lizana, 2024). Nesse sentido, a formulação de rações exige conhecimento específico sobre os processos digestivos e metabólicos, assim como sobre a composição e digestibilidade dos ingredientes utilizados (Nunes *et al.*, 2013).

O trato gastrointestinal das aves apresenta características específicas que influenciam na digestão e absorção de nutrientes, sendo altamente eficiente na utilização dos alimentos (Artifon Junior, 2023). Sua microbiota intestinal desempenha um papel essencial na saúde digestiva, contribuindo para o aproveitamento de nutrientes e atuando como uma barreira contra microrganismos patogênicos (Nascimento *et al.*, 2024).

É um fator importante na nutrição de aves a busca por maior eficiência na utilização de nutrientes, visando reduzir custos de produção e minimizar os impactos ambientais. É utilizado conceitos como proteína ideal, suplementação com aminoácidos sintéticos e melhor aproveitamento energético das dietas, permitindo maior precisão nutricional e reduzindo a

excreção de compostos nitrogenados, o que contribui para a sustentabilidade da produção (Moura, 2004; Rodrigues *et al.*, 2008).

Os minerais e vitaminas também desempenham funções importantes no metabolismo das aves, atuando como componentes estruturais e cofatores enzimáticos, são indispensáveis para o crescimento, imunidade, desenvolvimento ósseo e manutenção das funções fisiológicas (Rostagno *et al.*, 2017). A deficiência ou desequilíbrio desses nutrientes pode comprometer o desempenho produtivo e saúde desses animais.

Diante disto, este artigo tem como objetivo abordar os principais aspectos relacionados à nutrição de aves, incluindo a fisiologia do trato gastrointestinal, metabolismo de nutrientes, importância de vitaminas e minerais, uso de aditivos e as exigências nutricionais nas diferentes fases e finalidades produtivas. A compreensão desses fatores é essencial para o desenvolvimento de estratégias nutricionais, capazes de atender as demandas da avicultura moderna e promover uma produção sustentável e de alta qualidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FISIOLOGIA E ANATOMIA DO TRATO GASTROINTESTINAL DE AVES

O trato gastrointestinal das aves é um sistema especializado, constituído por um tubo oco e fibromuscular revestido por epitélios que desempenham funções relacionadas à ingestão, digestão, absorção e excreção de nutrientes, também atua como barreira imunológica. A organização estrutural garante alta eficiência digestiva, com o intestino delgado sendo o principal local de digestão e absorção, enquanto o intestino grosso e os cecos possuem funções complementares relacionadas à atividade microbiana e absorção de água (Artifon Junior, 2023).

A digestão se inicia na cavidade oral, com o bico exercendo um papel fundamental na captura do alimento, já que não possuem dentes e não realizam mastigação (Silva, 2021). A língua atua na condução do alimento ao esôfago, enquanto as glândulas salivares secretam substâncias principalmente para a lubrificação do alimento, já que nas galinhas possuem pouca ou nenhuma atividade amilásica. Dessa forma, o processamento inicial do alimento é mais limitado, sendo a digestão mais efetiva quando o alimento é deslocado para os demais segmentos do trato digestório (Nascimento *et al.*, 2023).

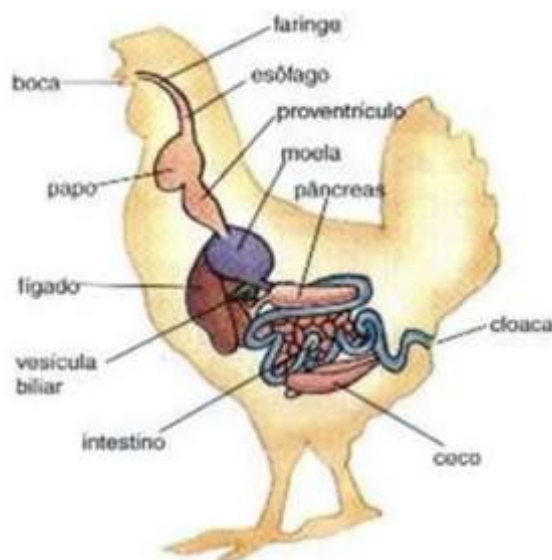
O esôfago é responsável pelo transporte do alimento da cavidade oral até os demais segmentos do trato digestório, apresentando alta capacidade de distensão (Silva, 2021). Em muitas aves há presença do papo, uma dilatação esofágica que realiza função de armazenamento

temporário, amolecendo o alimento e regulando a sua passagem ao restante do trato digestório. Nesse compartimento é onde ocorre principalmente a hidratação digestiva, com pouquíssima atividade enzimática (Nascimento *et al.*, 2023).

O proventrículo, que é considerado o estômago glandular das aves, é responsável pela secreção de enzimas digestivas, como a pepsina, que é essencial para a digestão de proteínas, e de ácido clorídrico. Apesar de apresentar atividade secretora, o alimento não passa muito tempo nesse compartimento sendo rapidamente direcionado à moela. A moela então realiza a digestão mecânica do alimento, triturando o alimento por meio de contrações musculares intensas, o que compensa a ausência de mastigação (Silva, 2021).

A digestão nas aves ocorre então por meio de processos mecânicos e enzimáticos. A digestão mecânica é realizada principalmente na moela, onde o alimento é triturado por contrações musculares intensas. Já a forma enzimática ocorrendo ao longo do TGI, principalmente no proventrículo e no intestino delgado, por meio da secreção e ação de enzimas como a pepsina, lipase e proteases, responsáveis pela degradação de proteínas, carboidratos e lipídios em moléculas que possam ser absorvidas pelo organismo (Silva, 2021; Nascimento *et al.*, 2023).

Figura 1 – Esquema do trato gastrointestinal de aves.



Fonte: Adaptado de Artifon Junior (2023).

O fígado é o maior órgão interno das aves, produzindo a bile que é um fluido alcalino que fica armazenado na vesícula biliar, sendo posteriormente liberada no duodeno para auxiliar

na emulsificação de lipídios, facilitando a ação da lipase pancreática. O pâncreas secreta amilase, lipase e proteases (tripsinogênio, quimotripsinogênio) diretamente no duodeno para realizar a digestão (Nascimento *et al.*, 2023).

O intestino delgado atua como principal local de digestão enzimática e de absorção de nutrientes, sendo dividido em duodeno, jejuno e íleo. No duodeno ocorre a liberação de secreções pancreáticas contendo enzimas digestivas como a amilase, lipase e proteases, além disso, também está presente a bile produzida pelo fígado. Esses processos garantem a quebra de macromoléculas em partículas menores, que podem ser absorvidas pelas células intestinais (Artifon Junior, 2023).

A absorção de nutrientes ocorre ao longo do jejuno e do íleo, favorecida pela presença de vilosidades e microvilosidades que ampliam a área de absorção. Os enterócitos são as principais células a realizar a absorção, enquanto as células calciformes produzem mucina, que forma uma camada protetora sobre o epitélio intestinal. Essa camada protetora é formada de muco, atuando como barreira contra agentes patogênicos e contribuindo para a manutenção da integridade intestinal (Artifon Junior, 2023).

Os cecos estão localizados na junção entre o intestino grosso e o intestino delgado, desempenhando um papel fundamental para a fermentação microbiana de componentes que não foram previamente digeridos, resultando então na produção de ácidos graxos voláteis que podem ser absorvidos e utilizados como fonte de energia (Nascimento *et al.*, 2023). Além da fermentação microbiana, os cecos também participam da absorção de eletrólitos, contribuindo para o equilíbrio hídrico do organismo, sendo porções importantes para manutenção da microbiota intestinal, fator essencial para a saúde das aves (Artifon Junior, 2023).

O intestino grosso das aves é relativamente curto quando comparado a outras espécies, atua principalmente na reabsorção de água e na formação das excretas. Esse segmento se conecta a cloaca, estrutura comum aos sistemas digestório, urinário e reprodutivo, responsável pela eliminação de resíduos metabólicos. A eficiência desse sistema está diretamente relacionada à manutenção do equilíbrio hídrico do organismo (Silva, 2021).

Quando falamos sobre a microbiota intestinal, essa exerce papel fundamental na fisiologia digestiva das aves, influenciando diretamente na digestão, absorção de nutrientes e proteção contra microrganismos patogênicos. A interação entre a microbiota, mucosa intestinal e dieta é de suma importância para a manutenção da saúde intestinal, sendo as alterações neste equilíbrio capazes de comprometer o desempenho produtivo. Além disso, o TGI apresenta alta atividade metabólica, requerendo grande quantidade de energia e nutrientes para realizar

processos como a renovação celular, secreção de enzimas e produção de mucina. Essa alta demanda de renovação celular evidencia a importância da integridade estrutural do intestino, uma vez que alterações podem impactar diretamente na digestão e absorção de nutrientes (Artifon Junior, 2023).

Está diretamente relacionado então à anatomia e fisiologia do TGI das aves com sua capacidade e eficiência alimentar, saúde intestinal e desempenho produtivo, sendo fundamentais para o desenvolvimento de estratégias nutricionais adequadas (Artifon Junior, 2023).

2.2 METABOLISMO ENERGÉTICO E FONTES DE CARBOIDRATOS E LIPÍDIOS NA NUTRIÇÃO DE AVES

A energia é um dos componentes mais importantes nas dietas para aves, essencial para processos de manutenção, crescimento, reprodução e desempenho produtivo. O conteúdo energético da dieta é reconhecido como o principal regulador de consumo voluntário de ração, já que, as aves consomem alimentos para atender suas necessidades energéticas de manutenção e produção (Riveros Lizana, 2024). Dessa forma, os demais nutrientes devem ser ajustados proporcionalmente em relação à energia, principalmente os aminoácidos.

Os carboidratos são a principal fonte de energia para as aves, sendo o amido um polissacarídeo de armazenamento mais importante, presente em altas quantidades em cereais como arroz, sorgo, milho e trigo. Quando ocorre o processo digestivo, os carboidratos são misturados inicialmente à saliva, embora nas aves a amilase salivar tenha pouca contribuição devido ao curto tempo de permanência do alimento na cavidade oral. A digestão acontece predominantemente no intestino delgado, onde a amilase pancreática decompõe os polissacarídeos, produzindo maltose e dextrinas. A hidrólise final é realizada no intestino delgado por enzimas como a maltase, dextrinase, sacarase e isomaltase, resultando em monossacarídeos que são absorvidos posteriormente (Nunes *et al.*, 2013).

O milho é a principal fonte de carboidratos na alimentação de aves no Brasil, isso acontece devido seu alto teor de amido, boa digestibilidade de alta disponibilidade. O milho e o sorgo contém quantidades menores de polissacarídeos não amiláceos em comparação ao trigo, tendo maior teor de energia metabolizável (Mendonça, 2019). A digestibilidade do amido pode ultrapassar 95%, sofrendo influência da idade da ave, relação amilose/amilopectina, forma física, grau de cristalinidade e processamento do ingrediente (Nunes *et al.*, 2013).

Além dos carboidratos, os lipídios representam a fonte mais concentrada de energia, fornecendo cerca de 2,25x mais energia que os carboidratos, se considerado a energia bruta. Na alimentação de aves, é utilizado fontes vegetais como óleo de soja, girassol, linhaça e canola, e também fontes animais como gordura de aves e sebo bovino, com objetivo de aumentar a densidade energética da dieta e fornecer os ácidos graxos essenciais (Garcia; Gomes, 2019). Em estudos realizados com poedeiras foi demonstrado que a adição de óleos vegetais a dieta aumenta o peso dos ovos em aves mais jovens, provavelmente relacionado a redução da taxa de passagem da ingestão e ao consequente melhor aproveitamento dos nutrientes (Oliveira *et al.*, 2010).

A energia metabolizável representa a fração da energia do alimento disponível para a ave após as perdas nas excretas, esse é o sistema energético mais utilizado na formulação de dietas para aves, sendo determinada por meio de ensaios biológicos que mensuram a diferença entre a energia bruta ingerida e a energia bruta excretada (Riveros Lizana, 2024). A energia metabolizável corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAn) é muito utilizada para ajustar as perdas nitrogenadas, já que as aves excretam nitrogênio principalmente na forma de ácido úrico, que contém quantidade significativa de energia.

O incremento calórico, também chamado de efeito dinâmico específico ou calor da digestão, se refere ao calor gerado durante os processos de digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes. Esse calor representa uma fração de energia que não está disponível para ser mantida ou produzida, correspondendo a uma perda energética que acontece em forma de calor. O incremento calórico pode variar de acordo com a composição da dieta, em dietas ricas em proteína bruta apresentaram incremento calórico mais elevado, enquanto dietas com maior inclusão de lipídios produzem menor geração de calor durante a digestão (Riveros Lizana, 2024). Esse efeito é vantajoso em ambientes quentes, já que reduz o estresse térmico e melhora a eficiência energética.

O sistema de energia líquida tem sido proposto como mais preciso em comparação com o sistema de energia metabolizável, isso acontece pois considera as perdas energéticas na forma de calor e expressa a energia efetivamente disponível para ser mantida e produzida. A relação dos dois sistemas em dietas para frangos de corte varia, em média, de 75 a 80%, sendo influenciada positivamente pelo teor de extrato etéreo e negativamente pelo teor de proteína bruta (Riveros Lizana, 2024). O desenvolvimento de equações que permitem a predição da energia líquida a partir da composição bromatológica dos ingredientes permite uma formulação mais precisa e econômica.

2.3 METABOLISMO DE PROTEÍNAS E AMINOÁCIDOS

As proteínas são macromoléculas formadas por aminoácidos que estão unidos por ligações peptídicas, desempenhando funções essenciais na formação e manutenção dos tecidos, síntese de hormônios e enzimas, transporte de nutrientes, função imunológica e reprodução (Garcia; Gomes, 2019). Na nutrição de aves, a proteína é o segundo nutriente mais caro da ração, ficando atrás apenas da energia, seu balanceamento é fundamental para garantir melhor desempenho produtivo e viabilidade econômica da atividade (Moura, 2004).

Dos aminoácidos conhecidos, dez são considerados essenciais para as aves, podendo citar: arginina, fenilalanina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, treonina, triptofano e valina (Garcia; Gomes, 2019). A deficiência desses aminoácidos compromete o desenvolvimento da ave, uma vez que a síntese proteica só acontece quando todos os aminoácidos necessários estão presentes simultaneamente nos sítios de síntese (Moura, 2004).

O conceito de proteína ideal é definido como uma mistura de aminoácidos com disponibilidade total na ingestão e metabolismo, sua composição deveria ser idêntica às exigências do animal para manutenção dos tecidos e crescimento (Moura, 2004). Esse conceito define que todos os aminoácidos essenciais sejam expressos como proporções de um aminoácido-referência, garantindo que as exigências de todos os outros aminoácidos sejam estimadas a partir das exigências deste. A lisina é universalmente utilizada como referência por três motivos, sua análise nos alimentos é simples, existem muitos dados sobre sua digestibilidade e a lisina absorvida é utilizada principalmente para acrescentar proteína corporal, não sendo destinada para outras vias metabólicas (Moura, 2004; Rodrigues *et al.*, 2008).

A digestão de proteínas se inicia no proventrículo, onde o ácido clorhídrico diminui o pH, ativando o pepsinogênio em pepsina, o que quebra as proteínas em peptídeos menores. No intestino delgado as enzimas pancreáticas e as enzimas da borda em escova completam a digestão. Os aminoácidos são então absorvidos por transporte ativo dependente de sódio, por meio de carreadores específicos (Maia *et al.*, 2024)

A temperatura do ambiente exerce influência direta sobre as exigências aminoacídicas. Quando sob estresse por calor, as aves reduzem o consumo de ração para diminuir a produção de calor metabólico, o que resulta na menor ingestão de nutrientes e menor crescimento. Além disso, o estresse térmico eleva os níveis de corticosterona, hormônio que aumenta a degradação

de proteínas nos músculos, gerando calor e prejudicando a deposição de proteínas. As exigências de lisina para frangos de corte são reduzidas quando existe estresse térmico, em ambientes neutros as aves exigem cerca de 1,4% de lisina total, enquanto sob temperaturas elevadas a exigência diminui para 1,285%. O antagonismo entre lisina e arginina também é afetado, com a exigência de arginina reduzindo de 1,26% para 1,15% a 35°C (Teixeira; Baião, 2012).

O farelo de soja é a principal fonte de proteínas utilizada na alimentação de aves no Brasil, sendo rico em aminoácidos essenciais, principalmente lisina. No entanto, contém fatores antinutricionais que dificultam seu uso na alimentação de animais jovens, devendo passar anteriormente por um processamento térmico adequado (Mendonça, 2019). O milho e o farelo de soja, quando combinados, entregam um perfil de aminoácidos que atende a maioria das exigências nutricionais das aves, sendo a metionina o primeiro aminoácido limitante, seguida por lisina, treonina e triptofano (Garcia; Gomes, 2019).

Aplicar o conceito de proteína ideal permite reduzir a proteína bruta das dietas com suplementação de aminoácidos sintéticos (lisina, metionina, treonina e triptofano), sem comprometer o desempenho. Estudos demonstram que o teor de proteína bruta na fase inicial de frangos de corte pode ser reduzido de 21,5 para 18,5% quando as rações são suplementadas com aminoácidos sintéticos, mantendo o desempenho (Rodrigues *et al.*, 2008).

O excesso de proteína na dieta resulta no aumento de excreção de nitrogênio na forma de ácido úrico, já que, as aves não possuem ciclo da ureia funcional completo. O custo metabólico para excretar aminoácidos é alto, representando muito gasto energético que poderia ser direcionado para outras funções, como a deposição de tecidos. Além do impacto ambiental, a excreção excessiva de nitrogênio está associada ao aumento da produção de amônia nos galpões, prejudicando a saúde respiratória das aves e dos trabalhadores (Moura, 2004).

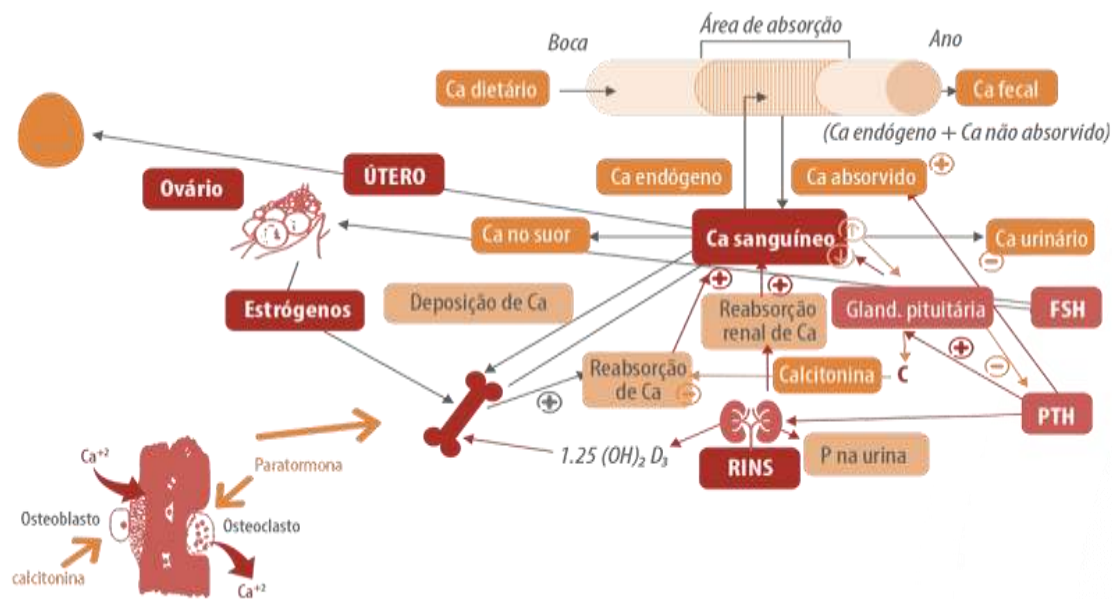
Assim, o metabolismo de proteínas e aminoácidos nas aves é influenciado pela qualidade e digestibilidade das fontes proteicas, pela correta aplicação do conceito de proteína ideal e pelo balanceamento adequado dos aminoácidos essenciais, considerando também as condições ambientais, como o estresse térmico, que altera as exigências nutricionais (Teixeira; Baião, 2012). O farelo de soja destaca-se como a principal fonte proteica, e sua combinação com aminoácidos sintéticos permite reduzir o teor de proteína bruta das dietas, melhorar a eficiência de utilização do nitrogênio e reduzir o impacto ambiental da produção.

2.4 NUTRIÇÃO MINERAL E VITAMÍNICA

A nutrição de aves de alta performance evoluiu drasticamente nas últimas décadas, deixando de ser uma ciência voltada apenas para a prevenção de sinais clínicos de deficiência para se tornar uma ferramenta de precisão que visa maximizar o potencial genético, a imunidade e a saúde esquelética. Nesse cenário, os minerais e as vitaminas, embora constituam uma fração quantitativamente pequena das dietas, desempenham papéis fundamentais como componentes estruturais, reguladores osmóticos e cofatores enzimáticos. Os minerais são classicamente divididos em macrominerais e microminerais. Os macrominerais, como o Cálcio (Ca), Fósforo (P), Magnésio (Mg), Sódio (Na), Potássio (K) e Cloro (Cl), são exigidos em concentrações maiores e estão envolvidos em funções que vão desde a mineralização da matriz óssea até o equilíbrio ácido-base. Já os microminerais, como o Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Iodo (I) e Selênio (Se), atuam predominantemente como centros catalíticos de enzimas vitais para o crescimento e a defesa antioxidante (Rostagno *et al.*, 2017).

Um dos pilares mais críticos da nutrição mineral aviária é a complexa relação entre o Cálcio e o Fósforo disponível. A homeostase desses elementos é regulada por um sistema endócrino refinado que envolve a vitamina D3, o paratormônio (PTH) e a calcitonina. O cálcio é essencial para a coagulação sanguínea, transmissão nervosa e contração muscular, além de ser o principal componente mineral do esqueleto. O fósforo, por sua vez, é componente estrutural de ácidos nucleicos, fosfolípidos de membrana e moléculas de transferência de energia como o ATP. Em aves de corte, a relação dietética recomendada entre cálcio e fósforo disponível é mantida em aproximadamente 2:1. No entanto, em poedeiras comerciais, essa proporção sofre um ajuste drástico devido à massiva deposição de carbonato de cálcio na casca do ovo, podendo alcançar relações de 10:1 ou superiores durante o pico de postura (Silva *et al.*, 2018). O desequilíbrio nessa relação, especialmente o excesso de cálcio, pode interferir na absorção de fósforo e de outros minerais traço, como o zinco e o magnésio, ao formar complexos insolúveis no trato gastrointestinal, resultando em distúrbios locomotores e queda na produtividade.

Figura 2 – Ciclo metabólico do Cálcio e Fósforo em aves de postura.



Fonte: Adaptado de Rostagno, H. S. *et al.* (2017).

A eficácia da suplementação mineral não depende apenas da concentração do nutriente na dieta, mas fundamentalmente de sua biodisponibilidade. Tradicionalmente, as fontes inorgânicas, como sulfatos, óxidos e carbonatos, têm sido as mais utilizadas devido ao baixo custo. Contudo, essas fontes apresentam limitações significativas, como a alta reatividade no lúmen intestinal e a competição por transportadores iônicos comuns, o que gera antagonismos nutricionais. O desenvolvimento de minerais orgânicos, onde o metal é quelatado ou complexado a aminoácidos, proteínas ou carboidratos, surgiu como uma solução para esses problemas. De acordo com Trairatapiwan *et al.* (2019), os minerais orgânicos permanecem estáveis frente a variações de pH e são protegidos de interações negativas com fitatos e fibras, sendo absorvidos por vias de transporte de aminoácidos ou pequenos peptídeos. Isso resulta em uma absorção mais eficiente, permitindo o uso de níveis dietéticos menores com desempenho superior, além de reduzir drasticamente a excreção de metais pesados para o meio ambiente, um fator crucial para a sustentabilidade da avicultura moderna.

As vitaminas constituem o suporte bioquímico indispensável para o metabolismo intermediário. As vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K) possuem funções hormonais e estruturais de longo prazo. A Vitamina A é fundamental para a integridade dos epitélios e para o desenvolvimento da visão e imunidade. A Vitamina D3, na sua forma ativa, atua diretamente na transcrição de proteínas transportadoras de cálcio no intestino, sendo a chave biológica para a mineralização óssea. A Vitamina E funciona como o principal antioxidante de membrana, protegendo os lipídios celulares contra a peroxidação, atuando de forma sinérgica com o

selênio. Já a Vitamina K é essencial para o funcionamento dos fatores de coagulação e para o metabolismo ósseo. A carência de qualquer uma dessas vitaminas pode desencadear falhas metabólicas severas, como o raquitismo por deficiência de D3 ou distúrbios neurológicos por carência de Vitamina E (Rostagno *et al.*, 2017).

As vitaminas hidrossolúveis, que incluem o complexo B e a vitamina C, atuam predominantemente como coenzimas em reações de transferência de energia e síntese proteica. A Riboflavina (B2), por exemplo, é parte integrante das coenzimas FAD e FMN, essenciais na cadeia de transporte de elétrons; sua deficiência em aves jovens causa a paralisia dos dedos curvos, uma neuropatia periférica clássica. A Niacina (B3) e o Ácido Pantotênico (B5) são cruciais para o metabolismo de carboidratos e lipídeos através do NAD, NADP e Coenzima A. A Biotina (B7) exerce um papel vital na saúde das patas, sendo sua deficiência uma causa primária de pododermatites e lesões cutâneas severas em frangos de corte. Silva *et al.* (2018) destacam que, embora a microbiota intestinal das aves possa sintetizar algumas dessas vitaminas, a taxa de passagem acelerada e a alta demanda metabólica das linhagens comerciais tornam a suplementação dietética obrigatória para evitar gargalos produtivos e garantir o bem-estar das aves. Em conclusão, a integração entre o equilíbrio mineral e o suporte vitamínico robusto é a base para a resiliência das aves frente aos desafios sanitários e produtivos da atualidade.

2.5 ADITIVOS NA NUTRIÇÃO ANIMAL (ZOOTÉCNICOS E SENSORIAIS)

O Brasil está entre os principais produtores mundiais de carne de frango, ocupando a terceira posição em produção e a primeira em exportação. A avicultura de corte possui grande importância para economia nacional, destacando-se como um dos setores mais relevantes da agropecuária brasileira. Além disso, a exportação para países desenvolvidos exige que o setor mantenha elevados padrões de qualidade para atender às exigências do mercado internacional. (Barbosa *et al.*, 2021)

A crescente preocupação com a segurança alimentar, o bem-estar animal e a preservação ambiental intensificou os questionamentos sobre o uso de antimicrobianos na alimentação animal. Embora esses compostos tenham sido utilizados por décadas para melhorar o desempenho das aves, seu uso contínuo pode favorecer o desenvolvimento de resistência bacteriana, representando riscos à saúde humana. Como alternativa, têm sido estudados aditivos como probiótico, prebióticos, simbióticos, enzimas, acidificantes e fitogênicos, que auxiliam

no equilíbrio da microbiota intestinal, melhoram a absorção de nutrientes e contribuem para produção de alimentos mais seguros (Fernandes *et al.*, 2015).

2.5.1 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são substâncias produzidas pelas plantas, principalmente em situações de estresse, e são importantes para seu crescimento, reprodução e defesa contra patógenos. Derivados de aminoácidos como fenilalanina e tirosina, formam um grupo diversificado de fitoquímicos. Nas plantas, atuam na proteção e pigmentação; já nos alimentos, são responsáveis por características como cor, aroma, adstringência e estabilidade oxidativa. Quimicamente, possuem anel aromático com grupos hidroxila e apresentam grande variedade estrutural, o que lhes confere múltiplas funções. Entre os principais tipos estão flavonoides, ácidos fenólicos, cumarinas, taninos, ligninas e tocoferóis (Fernandes *et al.*, 2015).

Os compostos fenólicos possuem ação antimicrobiana ao interferirem no metabolismo dos microrganismos. Eles podem ativar ou inibir reações enzimáticas, afetar a síntese de enzimas (em nível nuclear ou ribossomal) e alterar a estrutura das membranas celulares, impedindo o crescimento e a multiplicação desses microrganismos (Fernandes *et al.*, 2015).

2.5.2 Probióticos

Os probióticos são microrganismos vivos utilizados como aditivos alimentares que promovem benefícios ao hospedeiro por meio da melhoria do equilíbrio intestinal. Entre os principais microrganismos utilizados estão bactérias colonizadoras como *Lactobacillus* e *Enterococcus*, e não colonizadoras, como *Bacillus* e *Saccharomyces cerevisiae*. Seu principal mecanismo de ação ocorre pela exclusão competitiva de microrganismos patogênicos e pela modulação do sistema imunológico. Além disso, alguns estudos indicam que os probióticos podem favorecer na absorção de nutrientes do intestino, contribuindo para melhor aproveitamento alimentar e saúde intestinal dos animais (Alarcon, 2015).

2.5.3 Prebióticos

Os prebióticos são substâncias não digeridas no trato gastrointestinal devido à ausência de enzimas específicas, servindo como substrato para microrganismos benéficos intestinais. Esses compostos, obtidos principalmente de plantas e leveduras, têm se destacado na avicultura como alternativa aos antibióticos, especialmente em aves jovens ou sob estresse. Sua principal função é estimular o crescimento de bactérias benéficas, como *Lactobacillus* e *Bifidobacterium*,

além de contribuir para a melhora do sistema imune e da atividade enzimática intestinal (Barbosa *et al.*, 2021).

2.5.4 Ácidos Orgânicos

Os ácidos orgânicos são compostos à base de carbono que possuem o grupo carboxílico. Na alimentação animal, destacam-se ácidos como propiônico, fórmico, butírico, acético, benzóico, láctico, tartárico, cítrico e málico, que são naturalmente encontrados em plantas e animais.

Eles atuam no controle da carga microbiana no trato digestório, melhorando a saúde intestinal sem causar resistência bacteriana, como ocorre com antibióticos. Além disso, reduzem o pH do trato gastrointestinal, o que diminui microrganismos patogênicos e favorece a digestão, aumentando a quebra de proteínas e a absorção de aminoácidos (Barbosa *et al.*, 2021).

Figura 3 – Principais ácidos orgânicos e formas disponíveis para utilização.

Substância	Forma
Ácido fórmico	Líquida
Ácido acético	Líquida
Ácido propiônico	Líquida
Ácido láctico	Líquida
Ácido fumárico	Sólida
Ácido cítrico	Sólida
Ácido sórbico	Sólida

Fonte: (Barbosa *et al.*, 2021)

2.5.5 Óleos essenciais

Os óleos essenciais são compostos voláteis obtidos de plantas por métodos como destilação a vapor e prensagem a frio. São formados principalmente por terpenoides (como limoneno, timol e carvacrol) e fenilpropanoides (como cinamaldeído e eugenol). Sua definição ainda gera debates, mas segundo a norma ISO, são produtos extraídos de materiais vegetais por processos físicos como destilação ou prensagem. Podem conter de 20 a 100 compostos químicos diferentes, e seus efeitos bioativos podem resultar da ação de um ou mais componentes isolados ou da interação (sinergia) entre eles. (Costa *et al.*, 2019).

Os óleos essenciais podem substituir promotores de crescimento na alimentação de aves, contribuindo para melhorar a flora intestinal e o desempenho produtivo. Eles atuam impedindo a colonização de bactérias patogênicas na mucosa intestinal. Além disso, apresentam

ação antimicrobiana e antioxidante, estimulam a atividade enzimática, melhoram a digestão e a absorção de nutrientes (como o nitrogênio) e promovem alterações positivas na estrutura do epitélio intestinal (Fernandes *et al.*, 2015).

2.6 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS E PROGRAMAS DE ALIMENTAÇÃO

As exigências nutricionais das aves variam de acordo com as diferentes fases produtivas, já que existem variações significativas nas necessidades de energia, proteína, aminoácidos, minerais e vitaminas ao longo de seu desenvolvimento. Na fase pré-inicial há elevada demanda por nutrientes altamente digestíveis, devido ao rápido crescimento inicial e ao desenvolvimento do sistema digestório, já nas fases de crescimento e terminação as exigências nutricionais são ajustadas para maior ganho de peso e conversão alimentar. Em aves de postura as exigências priorizam a manutenção corporal e a produção de ovos, tendo destaque a proteína, cálcio e energia metabolizável (Rostagno *et al.*, 2011; Rostagno *et al.*, 2007).

A formulação de rações de precisão é uma estratégia essencial para atender exatamente às exigências nutricionais das aves, fornecendo nutrientes em níveis próximos às necessidades reais dos animais, evitando deficiências e excessos. A utilização de tecnologias avançadas como a utilização de aminoácidos digestíveis e métodos rápidos de avaliação de alimentos (como NIRS), permitem maior precisão na formulação de dietas. O conceito de proteína ideal também contribui para reduzir o teor de proteína bruta das rações, fornecendo maior equilíbrio de aminoácidos essenciais, melhorando o aproveitamento dos nutrientes e diminuindo a excreção de composto nitrogenados no ambiente (Rostagno *et al.*, 2007; Garcia; Gomes, 2018).

Os programas de alimentação são ferramentas utilizadas para mensurar o fornecimento de nutrientes nas diferentes fases produtivas e condições fisiológicas das aves. Em frangos de corte são utilizados comumente programas de múltiplas fases, podendo haver subdivisões para maior precisão. Estudos demonstram que diferentes programas alimentares podem influenciar no consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar, principalmente nas fases iniciais de criação. Quando bem ajustados, esses programas tendem a proporcionar melhor adequação nutricional sem comprometer o desempenho produtivo (Lana *et al.*, 2001)

Nas aves de postura, os programas de alimentação são baseados em modelos matemáticos que estimam as exigências nutricionais em função do ganho de peso e produção de ovos. Um exemplo seria o modelo de predição de proteína bruta, no qual a exigência é calculada considerando a manutenção do peso, crescimento e produção. Esse tipo de abordagem

garante maior controle sobre o consumo de nutrientes, melhorando a conversão alimentar e evitando problemas de obesidade em poedeiras (Basaglia *et al.*, 2005)

O consumo voluntário de ração é um fator de extrema importância para a nutrição de aves, já que está relacionado diretamente a densidade energética da dieta. De modo geral, o consumo é regulado de acordo com a ingestão de energia, consumindo mais ração quando a densidade energética é baixa e menor quantidade quando a dieta é mais concentrada. Esse mecanismo de autorregulação é influenciado pela genética, idade, estado fisiológico e composição da dieta. Assim, a relação entre energia e nutrientes é fundamental para garantir que as aves consumam quantidades adequadas dos nutrientes essenciais (Rostagno *et al.*, 2011)

A densidade energética da dieta influencia diretamente no consumo de ração, ganho de peso e eficiência alimentar. Dietas com maior densidade energética tendem a melhorar a conversão alimentar, no entanto, podem reduzir o consumo de ração e a ingestão de outros nutrientes se não houver balanceamento adequado. Por outro lado, dietas com menor teor energético aumentam o consumo, mas nem sempre resultam em maior desempenho, especialmente se existe limitação física de ingestão. Dessa forma, o equilíbrio entre a densidade energética e a concentração de nutrientes é essencial para otimizar o desempenho das aves (Lana *et al.*, 2001)

Os fatores ambientais também exercem influência sobre o consumo de ração e as exigências nutricionais das aves. Temperatura, umidade, ventilação e densidade de alojamento podem alterar o comportamento alimentar e o metabolismo desses animais. Em condições de altas temperaturas, a tendência das aves é reduzir o consumo de ração, exigindo ajustes na densidade nutricional das dietas para garantir o suprimento adequado de nutrientes. A interação entre o ambiente, manejo e nutrição deve ser considerada no momento da determinação das exigências nutricionais, já que influenciam diretamente na eficiência produtiva e o bem estar animal (Rostagno *et al.*, 2007)

Também relacionado ao manejo é possível citar a densidade do alojamento, que também impacta no consumo de ração e desempenho produtivo. Estudos indicam que diferentes densidades podem influenciar o ganho de peso e conversão alimentar em diferentes fases de criação, principalmente no início do ciclo produtivo. A adoção de densidades adequadas associada a programas de alimentação bem estruturados, contribui para resultados produtivos melhores e também melhor manutenção de conforto térmico e social (Lana *et al.*, 2001).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A nutrição de aves é fundamental para o desenvolvimento da avicultura moderna, sendo indispensável para obtenção de alta produtividade e qualidade dos produtos. A formulação de dietas equilibradas, em conjunto com conhecimentos das exigências nutricionais e características fisiológicas das aves, permite melhor aproveitamento dos recursos e maior eficiência produtiva.

Além disso, as práticas nutricionais adequadas garantem maior sustentabilidade para a produção, reduzindo desperdícios e impactos ambientais. Desta forma, o avanço contínuo dos estudos em nutrição animal é essencial para acompanhar a demanda do setor e garantir uma produção eficiente e responsável.

REFERÊNCIAS

- ALARCON, M. F. F. **Uso de probiótico e óleos essenciais na ração sobre a microbiota intestinal, atividade de enzimas digestivas e a expressão de genes relacionados aos processos de digestão e absorção de nutrientes em frangos**. 2015. Dissertação (Pós-Graduação em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/02a474b0-a6fb-4cd9-919e-2f305f1dd621/content>. Acesso em: 22 abr. 2026.
- ARTIFON JUNIOR, C. A. **A qualidade do componente lipídico da ração: análise morfológica do trato gastrointestinal e do crescimento de frangos de corte**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/254575>. Acesso em: 01 abr. 2026.
- BARBOSA, Y. C. S. R. **Aditivos zootécnicos melhoradores do desempenho para frango de corte**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Zootecnia) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1980/1/TC%20%20Yara%20Carolina%20Santana%20Rocha%20Barbosa.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2026.
- BASAGLIA, R.; SAKOMURA, N. K.; FERNANDES, J. B. K.; SANTOS, A. L.; CAMPOS, M. P. A. Programas de alimentação para poedeiras baseado em modelo para predição das exigências de proteína. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1-7, 2004. Disponível em: <https://arsveterinaria.org.br/index.php/ars/article/view/36/27>. Acesso em: 10 abr. 2026.
- COSTA, T. F. Aditivos fitogênicos: óleos essenciais para frangos de corte – revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, e14932325, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/download/2325/1858/9865>. Acesso em: 22 abr. 2026
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves. **Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1991. Disponível em:
- Agroveterinária, Varginha, MG, v. 9, n. 1, p. 84-103, 2026, ISSN: 2674-9661**

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/435720/tabela-de-composicao-quimica-e-valores-energeticos-de-alimentos-para-suinos-e-aves>. Acesso em: 22 mar. 2026.

FERNANDES, R. T. V.; ARRUDA, A. M. V. de; OLIVEIRA, V. R. de M.; QUEIROZ, J. P. A. F. de; MELO, A. da S.; DIAS, F. K. D.; MARINHO, J. B. M.; SOUZA, R. F. de; SOUZA, A. O. do V.; SANTOS FILHO, C. A. dos. Aditivos fitogênicos na alimentação de frangos de corte: óleos essenciais e especiarias. **PubVet**, Maringá, v. 9, n. 12, p. 526–535, 2015. Disponível em: <https://www.pubvet.com.br/uploads/c1d589225efd088189c4986bda5a10e6.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2026.

GARCIA, D. A.; GOMES, D. E. A avicultura brasileira e os avanços nutricionais. **Revista Científica do UNILAGO**, São José do Rio Preto, v. 1, n. 1, 2019. Disponível em: <https://revistas.unilago.edu.br/index.php/revista-cientifica/article/view/167/145>. Acesso em: 14 abr. 2026.

LANA, G. R. Q.; SILVA JUNIOR, R. G. C.; VALERIO, S. R.; LANA, A. M. Q.; CORDEIRO, E. C. G. B. Efeito da densidade e de programas de alimentação sobre o desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.4, p.1259-1265, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/qgTsjJbJ56RSKFHW5CjLN3w/?lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2026.

MAIA, K. M.; POZZA, P. C.; DALCIN, L. C.; VASCONCELLOS, R. S.; MARCATO, S. M. Influência do equilíbrio eletrolítico da dieta na absorção e metabolismo de aminoácidos em animais não ruminantes. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 73, n. 282, p. 95-100, 2024. Disponível em: <http://www.uco.eu/ucopress/az/index.php/az/article/view/5846/3637>. Acesso em: 14 abr. 2026.

MENDES, A. S.; PAIXÃO, S. J.; RESTELATTO, R.; REFFATTI, R.; POSSENTI, J. C.; MOURA, D. J. de; MORELLO, G. M. Z.; CARVALHO, T. M. R. de. Effects of initial body weight and litter material on broiler production. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 13, n. 3, p. 165–170, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbca/a/XNNpQ43DY6cLQ6p6cVhkGyQ/?lang=en>. Acesso em: 22 mar. 2026.

MENDONÇA, M. V. Particularidades da nutrição de frangos na primeira semana de vida. **Agroceres Multimix**, Rio Claro, 2019. Disponível em: <https://www.agroceresmultimix.com.br>. Acesso em: 14 abr. 2026.

MOURA, A. M. A. Conceito da proteína ideal aplicada na nutrição de aves e suínos. **Revista Eletrônica Nutritime**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 31-34, jul./ago. 2004. Disponível em: <https://www.nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/01/Artigo-004.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2026.

NASCIMENTO, A. K. V.; MEDEIROS, F. F.; SILVA, G. S.; SILVA, S. I. Caracterização morfofisiológica do sistema digestório das aves: uma abordagem generalizada. **Revista COOPEX**, v. 15, n. 3, p. 6133-6141, 2024. Disponível em: <https://editora.unifip.edu.br/coopex/article/view/694/2787>. Acesso em: 01 abr. 2026.

NUNES, J. K.; CONTREIRA, C. L.; TAVARE, A.; LORANDI, S.; SANTOS, C. M.; RODRIGUES, T. A. Digestão e absorção de carboidratos pelas aves. **PUBVET**, Londrina, v.

7, n. 17, ed. 240, art. 1588, set. 2013. Disponível em: <http://www.pubvet.com.br/uploads/8de4481c2773bd98d307df736cc808a5.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2026.

OLIVEIRA, D. D.; BAIÃO, N. C.; CANÇADO, S. V.; FIGUEIREDO, T. C.; LARA, L. J. C.; LANA, A. M. Q. Fontes de lipídios na dieta de poedeiras: desempenho produtivo e qualidade dos ovos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 62, n. 3, p. 123-130, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000300001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abmvz/a/csw5Lg5mXF93pqsRCsgh8wL/>. Acesso em: 14 abr. 2026.

RIVEROS LIZANA, R. **Avaliação do metabolismo energético em frangos de corte:** metodologia para avaliação e determinação do teor energético dos ingredientes dos alimentos. 2024. 141 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/ecdcdbd8e-2394-4c14-a6a4-556319acbbf2>. Acesso em: 14 abr. 2026.

RODRIGUES, K. F.; RODRIGUES, P. B.; FREITAS, R. T. F.; BERTECHINI, A. G.; ALBINO, L. F. T.; FASSANI, É. J. Relação lisina digestível:proteína bruta em dietas para frangos de corte no período de 1 a 21 dias de idade. Desempenho e metabolismo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 5, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/MysnkXxXGtWNFQDBxjfYkhJ/?lang=pt>. Acesso em: 14 abr. 2026.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; EUCLYDES, R. F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos:** composição de alimentos e exigências nutricionais. 4. ed. Viçosa: UFV, 2017. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/681966911/Tabelas-Brasileiras-de-Aves-e-Suinos-2017-Exigencias-Aves>. Acesso em: 22 mar. 2026.

ROSTAGNO, H. S.; BÜNZEN, S.; SAKOMURA, N. K.; ALBINO, L. F. T.. Avanços metodológicos na avaliação de alimentos e de exigências nutricionais para aves e suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, supl. especial, p. 295–304, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/a5acd41f-445a-4e43-ab76-ce2f5bbe006a/content>. Acesso em: 22 mar. 2026.

SILVA, E. I. C. Anatomia e fisiologia das aves domésticas. Belo Jardim: [s.n.], 2020. Disponível em: <https://philpapers.org/archive/DASAEF.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2026.

SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; **Nutrição de não-ruminantes**. João Pessoa: Editora UFPB, 2018. Disponível em: <https://www.editora.ufpb.br/press5/index.php/UFPB/catalog/book/323>. Acesso em: 22 mar. 2026.

TEIXEIRA, M. P. F.; BAIÃO, N. C. Efeito do ambiente térmico sobre a exigência aminoacídica de aves. **Revista Eletrônica Nutritime**, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 1693-1703, jan./fev. 2012. Disponível em: <https://www.nutritime.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Artigo-154.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2026.

TRAIRATAPIWAN, T.; LERTPATARAKOMOL, R.; CHOTIKATUM, S.; LUKKANANUKOOL, A.; MITCHAOTHAI, J. Influence of trace mineral sources and levels on growth performance, carcass traits, bone characteristics, oxidative stress, and immunity of broiler. **Animals**, v. 9, n. 9, 2019. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12345504/>. Acesso em: 22 mar. 2026.