

Adiel Vieira de Lima  
Fernando Guilherme Perazzo Costa  
(Organizadores)

# Tópicos Especiais na Nutrição de Aves

1



Adiel Vieira de Lima  
Fernando Guilherme Perazzo Costa  
(Organizadores)

# Tópicos Especiais na Nutrição de Aves

1



2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

*Open access publication by Atena Editora*

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira Scheffer

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo desta obra, em sua forma, correção e confiabilidade, é de responsabilidade exclusiva dos autores. As opiniões e ideias aqui expressas não refletem, necessariamente, a posição da Atena Editora, que atua apenas como mediadora no processo de publicação. Dessa forma, a responsabilidade pelas informações apresentadas e pelas interpretações decorrentes de sua leitura cabe integralmente aos autores.

A Atena Editora atua com transparência, ética e responsabilidade em todas as etapas do processo editorial. Nosso objetivo é garantir a qualidade da produção e o respeito à autoria, assegurando que cada obra seja entregue ao público com cuidado e profissionalismo.

Para cumprir esse papel, adotamos práticas editoriais que visam assegurar a integridade das obras, prevenindo irregularidades e conduzindo o processo de forma justa e transparente. Nosso compromisso vai além da publicação, buscamos apoiar a difusão do conhecimento, da literatura e da cultura em suas diversas expressões, sempre preservando a autonomia intelectual dos autores e promovendo o acesso a diferentes formas de pensamento e criação.

# Tópicos especiais na nutrição de aves (Vol 1)

## | Organizadores:

Adiel Vieira de Lima

Fernando Guilherme Perazzo Costa

## | Revisão:

Os autores

## | Diagramação:

Thamires Gayde

## | Capa:

Yago Raphael Massuqueto Rocha

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T674 Tópicos especiais na nutrição de aves - Vol. 1 /  
Organizadores Adiel Vieira de Lima, Fernando  
Guilherme Perazzo Costa. – Ponta Grossa - PR:  
Atena, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-3859-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.595250611>

1. Nutrição e alimentação de aves. I. Lima, Adiel  
Vieira de (Organizador). II. Costa, Fernando Guilherme  
Perazzo (Organizador). III. Título.

CDD 636.50833

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

## Atena Editora

📞 +55 (42) 3323-5493

📞 +55 (42) 99955-2866

🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

# CONSELHO EDITORIAL

## CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto  
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Elio Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco  
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso  
Prof. Dr. Julio Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

# APRESENTAÇÃO

## APRESENTAÇÃO

A nutrição de aves tem evoluído consideravelmente nas últimas décadas, acompanhando as exigências de uma avicultura cada vez mais moderna, produtiva e sustentável. Nesse contexto, o conhecimento técnico-científico sobre ingredientes, aditivos e nutrientes desempenha papel central na formulação de estratégias nutricionais inovadoras e eficientes.

O livro Tópicos Especiais na Nutrição de Aves (Vol. 1) nasce com o propósito de reunir conteúdos atuais sobre aspectos específicos da alimentação de aves comerciais, abordando temas que estão em evidência na pesquisa científica e na prática zootécnica. A obra contempla discussões sobre fibras funcionais, estimulantes, aminoácidos, fitobióticos, adsorventes de micotoxinas, entre outros tópicos relevantes à saúde e ao desempenho das aves.

Esta publicação é fruto das atividades desenvolvidas na disciplina Avanços em Nutrição de Não Ruminantes, coordenada pelo professor Fernando Guilherme Perazzo Costa e ofertada pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba (PPGZ/UFPB). Os temas abordados foram objeto de estudo e discussão pelos alunos de doutorado ao longo do semestre, sendo consolidados na forma de capítulos técnico-científicos, com o suporte de professores e pesquisadores convidados.

Destaca-se ainda a valiosa contribuição dos membros do Grupo de Estudos em Tecnologias Avícolas (GETA), também coordenado pelo professor Fernando Perazzo, que envolveu alunos de pós-graduação e graduação em atividades de pesquisa, discussão e produção técnica.

O livro contou com a colaboração de docentes e pesquisadores da UFPB e de instituições parceiras dos estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte, Tocantins, Pará e Rondônia, o que enriqueceu ainda mais a diversidade de experiências e enfoques.

Esta obra destina-se a estudantes, docentes, profissionais da indústria e demais interessados na nutrição avícola, oferecendo uma leitura técnica, atualizada e aplicada. Espera-se que contribua significativamente para o avanço do conhecimento e da prática nutricional em sistemas avícolas.

# PREFÁCIO

## PREFÁCIO

A ideia deste livro surgiu da sala de aula — mais precisamente, dos debates, leituras e inquietações que permeiam a disciplina Avanços em Nutrição de Não Ruminantes, ofertada no doutorado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFPB e coordenada pelo professor Fernando Guilherme Perazzo Costa.

Ao longo do semestre, percebemos que muitos dos temas discutidos não apenas refletiam o estado da arte na pesquisa científica, como também dialogavam diretamente com os desafios enfrentados pela cadeia produtiva de aves. A proposta de transformar seminários e discussões em capítulos foi prontamente aceita pelos alunos, que abraçaram o desafio com seriedade e entusiasmo.

O resultado está nesta obra: uma coletânea de tópicos tratados com rigor técnico, fundamentação científica e aplicabilidade prática. Mais que um livro, este projeto representa um esforço coletivo de formação acadêmica e técnica.

A participação ativa dos alunos de pós-graduação e graduação do Grupo de Estudos em Tecnologias Avícolas (GETA) foi fundamental para o êxito deste trabalho, assim como a contribuição de professores e pesquisadores da UFPB e de instituições parceiras de Pernambuco, Rio Grande do Norte, Tocantins, Pará e Rondônia.

Ao redigir seus capítulos, cada autor foi desafiado a interpretar, contextualizar e comunicar com clareza o conhecimento científico, desenvolvendo competências essenciais para a formação acadêmica e para o avanço da área.

Como organizadores, temos orgulho em apresentar esta obra, que reflete o comprometimento de todos os envolvidos com a ciência, a educação e o desenvolvimento da avicultura brasileira. Que este seja apenas o primeiro de muitos volumes que virão.

*Adiel Vieira de Lima*

*Fernando Guilherme Perazzo Costa*

*Organizadores*

# LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Fibra antes vista como fator antinutricional x fibra hoje vista como efeito benéfico.....	15
Figura 1.2. Efeitos da fibra no tratos gastrointestinal.....	17
Figura 1.3. Mecanismo de ação do estimbiótico. Fonte: adaptada de ABvista (2019).....	18
Figura 1.4. Efeito do nível de emergia metabolizável na dieta e da suplementação de aditivos estimbiótico (xilanase + xilo-oligossacarídeos) e uma combinação de xilanase e beta-glucanase (Xyl+BG) na concentração de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) cecal em 21 e 35 dias ( $\mu\text{mol/g}$ de amostra fresca). A: ácido graxo de cadeia curta e ácido acético e B: ácido propiônico e ácido valérico. Letras distintas diferentem antre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Adaptado de Morgan et al. (2021). .....	19
Figura 1.5. Efeitos da overdose de vacinas e infecção por <i>C. perfringens</i> <b>no</b> ganho de peso de frangos de corte. CONT (sem aditivos), STB (estimbiótico com uma mistura comercial típica incluindo óleo essencial e CB (probióticos e enzima). Letras distintas diferentem antre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Adaptado de Lee et al. (2022).....	20
Figura 1.6. Efeitos da overdose de vacinas e infecção por <i>C. perfringens</i> <i>na morfologia ileal em frangos de corte</i> . CONT (sem aditivos), STB (estimbiótico com uma mistura comercial típica incluindo óleo essencial e CB (probióticos e enzima). AV: altura de vilosidades; AV:PC = relação vilosidade:cripta. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Lee et al. (2022). .....	20
Figura 1.7. Efeitos da suplementação, ou não, de estimbiótico em dietas a base de milho ou trigo sobre a estrutura das vilosidades jejunum de frangos de corte Arbor Acres, de um à 42 dias de idade. Letras maiúsculas compararam o efeito isolado dos tratamentos CG vs CG+STB, letras maiúsculas compararam o efeito isolado dos tratamentos WG vs WG+STB. CG (Milho) CG+STB (milho+estimbiótico), WG (trigo), WG+STB (trigo+estimbiótico). A: AV (Altura de vilosidade de jejunum) e B: relação altura de vilosidade e profundidade de cripta. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Ren et. (2023).....	21

# LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.8. Extração de mRNA em nível celular e análise de expressão gênica. Os dados são apresentados como médias  $\pm$  EPM (n = 6). Asterisco (\*\*) representa diferenças significativas com  $P < 0,01$ , sinal de libra (#) representa  $0,05 < P < 0,1$ . (A) Expressão gênica relativa de MUC2, CLDN1, OCLN, ZO1 de diferentes concentrações de suplementação de STB em IECs. (B) Expressão gênica relativa de MUC2, CLDN1, OCLN, ZO1 de diferentes concentrações de suplementação de butirato de sódio em IECs. Adaptado de Lee et al. (2022).....22
- Figura 1.9. Efeito de tratamentos dietéticos sobre o desempenho de crescimento de frangos de corte alimentados com e sem adição de 50 g/kg de farelo de trigo. Xilanase (XYL), xilooligossacarídeos (XOS) e uma combinação de XYL e XOS (STBIO). A: GP (ganho de peso), B: CA (conversão alimentar). Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Šimić et al. (2023). .....23
- Figura 1.10. Influência do tipo de dieta, adição de farelo de trigo (50g/kg) e sem e com suplementação de estímulo sobre a conversão alimentar de frangos de corte. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Veluri et al. (2024). .....24
- Figura 1.11. Efeito de diferentes perfis de fibra com e sem suplementação de estímulo sobre o desempenho e parâmetros de qualidade de ovo de galinhas Bovans White. A: conversão por dúzia de ovos, C: espessura da casca do ovo, B e D: unidade Haugh. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Lima et al. (2024). .....25
- Figura 2.1. Propriedades fisiológicas reguladas pelas principais micotoxinas que exercem toxicidade em células expostas derivadas de animais de produção. Aflatoxina B1, ocratoxina A, fumonisina B1, zearalenona e deoxinivalenol são as micotoxinas mais frequentemente encontradas na alimentação de animais de produção. Células cultivadas de suínos e aves têm sido utilizadas para caracterizar a citotoxicidade das principais micotoxinas. As micotoxinas induzem aumento do apoptose, redução da proliferação celular, ou ambos nos animais. Diversas alterações fisiológicas estão associadas à citotoxicidade induzida por micotoxinas, incluindo estresse oxidativo, autofagia, estresse do retículo endoplasmático e vias de sinalização celular. Adaptado de Yang et al. (2020).....32

# LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.2. Efeitos da inclusão de adsorventes em dietas contaminadas com mofo sobre parâmetros hematológicos e bioquímicos de frangos de corte. A: volume globular (VG, %), hemoglobina (HGB, g/dL), hemácias (RBC,  $\times 10^6/\mu\text{L}$ ) e leucócitos totais (WBC,  $\times 10^3/\mu\text{L}$ ) de frangos alimentados com dietas basal (controle), contaminada com mofo ou contaminadas suplementadas com *Saccharomyces cerevisiae*, bentonita ou caulim. B: atividades séricas de aspartato aminotransferase (AST, U/L), alanina aminotransferase (ALT, U/L), fosfatase alcalina (FA, U/L) e níveis de colesterol total (COL, mg/dL) dos mesmos grupos experimentais. As diferenças significativas entre tratamentos foram indicadas por letras diferentes (a-c). Adaptado de Ejiofor et al. (2021).....38
- Figura 2.3. Efeito de CA e LUT sobre o desempenho do crescimento de frangos de corte (A), nos danos induzidos por DON nas imunoglobulinas séricas (B) e no resíduos de DON no fígado (C). As diferenças significativas foram identificadas com letras diferentes de a a d. Adaptado de Hassan et al. (2023).....40
- Figura 2.4. Efeito de um desafio natural com múltiplas micotoxinas e um extrato de parede celular de levedura (YCWE) sobre desempenho e saúde intestinal de frangos de corte. A: Conversão alimentar; B: Eficiência de produção avícola europeia; C: Altura de vilo; D: Profundidade de cripta. Letras diferentes acima das barras indicam diferença significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). Adaptado de Weaver et al. (2020).....41
- Figura 2.5. Mecanismos de ação das Micotoxinas. .....43
- Figura 3.1. Emissão de amônia em esterco de aves suplementadas com pó de *Yucca schidigera* em diferentes níveis. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Chepete et al. (2012).....58
- Figura 3.2. Ganho de peso de frangos de corte de 14 a 28 dias desafiados com enterite necrótica e tratados com fitogênico ou antibiótico. Letras distintas indicam diferença pelo teste de Duncan a 5%. Adaptado de Zhang et al. (2024).....59
- Figura 3.3. Conversão alimentar de frangos de corte de 14 a 28 dias desafiados com enterite necrótica e tratados com fitogênico ou antibiótico. Letras distintas indicam diferença pelo teste de Duncan a 5%. Adaptado de Zhang et al. (2024).....59

# LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.4. Expressão gênica das proteínas de junção Ocludina e Claudina-2 em frangos com enterite necrótica tratados com fitogênico ou antibiótico. Letras distintas indicam diferença pelo teste de Duncan a 5%. Adaptado de Zhang et al. (2024).....	59
Figura 3.5. Expressão gênica dos marcadores inflamatórios IFN-γ e IL-6 em frangos com enterite necrótica tratados com fitogênico ou antibiótico. Letras distintas indicam diferença pelo teste de Duncan a 5%. Adaptado de Zhang et al. (2024).....	60
Figura 3.6. Desempenho de frangos de corte suplementados com pó de pimenta ou antibiótico. CON: Dieta basal; CTC: dieta basal + 75mg/kg de Clortetraciclina; NCE: dieta basal + 80mg/kg de Extrato natural de capsaicina. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Liu et al. (2021)....	61
Figura 3.7. Digestibilidade da proteína bruta e matéria orgânica e atividade de enzimas digestivas de frangos de corte suplementados com pó de pimenta ou antibiótico. CON: Dieta basal; CTC: dieta basal + 75mg/kg de Clortetraciclina; NCE: dieta basal + 80mg/kg de Extrato natural de capsaicina. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Liu et al. (2021)...	62
Figura 3.8. Variação do pH da carne de frangos de corte suplementados com pó de pimenta ou antibiótico. CON: Dieta basal; CTC: dieta basal + 75mg/kg de Clortetraciclina; NCE: dieta basal + 80mg/kg de Extrato natural de capsaicina. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Liu et al. (2021).....	62
Figura 3.9. Desempenho de frangos de corte suplementados com diferentes níveis de alho em pó. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey-Kramer 5%. Adaptado de Al-Massad et al. (2018).....	63
Figura 3.10. Indicadores fisiológicos de frangos de corte suplementados com diferentes níveis de alho em pó. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey-Kramer 5%. Adaptado de Al-Massad et al. (2018) .....	63
Figura 4.1. 20 tipos de aminoácidos formadores de proteínas. Adaptado de Lehninger et al. (2019).....	76
Figura 4.2. Estrutura básica dos aminoácidos em pH neutro. Adaptado de Lehninger et al. (2019).....	77

# LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.3. Catabolismo das proteínas e do nitrogênio dos aminoácidos. Adaptado de Rodweel et al. (2021).....	78
Figura 4.4. Reações e intermediários da biossíntese da ureia e o ciclo de Krebs. Adaptado de Rodweel et al. (2021).....	79
Figura 4.5. Ação dos secretagogos do óxido nítrico. NOS: Óxido nítrico sintase; GC: Guanilil ciclase; PDE5: Fosfodiesterase-5; AMPK: adenosina-3',5'-monofosfato proteína kinase, HSL: Lipase hormônio sensível; Perilipina: proteína que recobre as gotas de lipídeos; cGMP segundo mensageiro - ativa as proteínas kinases intracelulares - envolvidos em várias reações importantes; ARG: Arginina; IMP: Monofosfato de inosina; GPT: Trifosfato de guanosina. Adaptado de Jobgen et al. (2006).....	81
Figura 5.1. Metabolismo da isoleucina. (1) A isoleucina é absorvida ativamente pelos enterócitos (células do intestino delgado) e liberada na corrente sanguínea, utilizando transportadores como o sistema-L (e.g., LAT1, LAT4); (2) a isoleucina é transportada pela corrente sanguínea para os tecidos periféricos, especialmente os músculos, evitando metabolismo significativo de primeira passagem no fígado; (3) a isoleucina entra nas células através de transportadores de aminoácidos para ser utilizada ou catabolizada; (4) a isoleucina doa seu grupo amino para um $\alpha$ -cetoácido, formando $\alpha$ -ceto- $\beta$ -metilvalerato (um BCKA). Esta reação é catalisada pela enzima BCAA aminotransferase (BCAT). Ocorre principalmente nos músculos e mucosa intestinal; (5) o $\alpha$ -ceto- $\beta$ -metilvalerato é irreversivelmente descarboxilado para formar isobutiril-CoA (um acil-CoA de cadeia ramificada). Esta etapa é catalisada pelo complexo $\alpha$ -cetoácido desidrogenase de cadeia ramificada (BCKD). O processo de desaminação oxidativa, da qual esta etapa faz parte, ocorre nas mitocôndrias hepáticas ou musculares; (6) a isoleucina é finalmente convertida em propionil-CoA e acetil-CoA; (7) o propionil-CoA pode ser direcionado para a gliconeogênese (produção de glicose); (8) o acetil-CoA pode entrar no ciclo do ácido cítrico (Ciclo de Krebs) para produção de energia ou ser usado na síntese de corpos cetônicos; (9) essa dualidade classifica a isoleucina como um aminoácido glicogênico e cetogênico; (10) a isoleucina é utilizada diretamente para a síntese de proteínas (e.g., no músculo para ganho de massa muscular, em ovos para produção); (11) os produtos do seu catabolismo contribuem para a produção de ATP.....	100
Figura 6.1. Mecanismo de ação antimicrobiana dos óleos essenciais sobre bactérias no trato gastrointestinal. A ação inicia com a interferência na membrana celular (1), comprometendo a organização lipídica. Isso leva à alteração do equilíbrio iônico e perda da homeostase (2), extravasamento do conteúdo intracelular (3) e, por fim, à morte celular (4). .....	118

# LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 6.6. Efeitos dos óleos essenciais dietéticos, compostos de cinamaldeído com carvacrol ou timol. Controle = dieta basal; CAR+CIN = dieta basal com 100 mg/kg de óleo essencial CAR+CIN e THY+CIN = dieta basal com 100 mg/kg de óleo essencial THY+CIN. CAR= carvacrol; CIN = cinamaldeído; THY = timol. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Wang et al. (2022).....123
- Figura 6.7. Efeitos dos óleos essenciais dietéticos, compostos de cinamaldeído com carvacrol ou timol na Unidade Haugh. Controle = dieta basal; CAR+CIN = dieta basal com 100 mg/kg de óleo essencial CAR+CIN e THY+CIN = dieta basal com 100 mg/kg de óleo essencial THY+CIN. CAR= carvacrol; CIN = cinamaldeído; THY = timol. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Wang et al. (2022).....123
- Figura 6.8. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) no peso médio do ovo. Controle = dieta basal; EO100 = 100 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO200 = 200 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO400 = 400 mg/kg EO de orégano microencapsulado. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado Feng et al. (2021).....124
- Figura 6.9. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) na taxa de conversão alimentar. Controle = dieta basal; EO100 = 100 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO200 = 200 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO400 = 400 mg/kg EO de orégano microencapsulado. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado Feng et al. (2021).....125
- Figura 6.10. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) na espessura da casca do ovo. Controle = dieta basal; EO100 = 100 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO200 = 200 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO400 = 400 mg/kg EO de orégano microencapsulado. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado Feng et al. (2021).....125
- Figura 6.11. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) nas médias da distribuição bacteriana no conteúdo ileal. Adaptado Feng et al. (2021).....126
- Figura 6.12. Efeitos crescentes da inclusão de ácido cítrico (%) na dieta sobre a excreção (g/ave/dia) e digestibilidade (%) do fósforo (P), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em aves. Letras distintas diferem pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Adaptado Vargas-Rodriguez et al. (2015). .....128

# LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 6.13. Efeitos da suplementação com misturas encapsuladas de óleos essenciais (EO) e ácidos orgânicos (OA) sobre a população cecal de *E. coli*, *Salmonella* e *Lactobacillus* em frangos aos dias 21 e 70. Adaptado de Gao et al. (2019). .....130
- Figura 6.14. Efeitos dos óleos essenciais e ácidos orgânicos encapsulados (EOA) em diferentes dosagens no desempenho de poedeiras. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Wang et al. (2019).....130
- Figura 6.15. Efeito de Óleo Essencial Encapsulado (EOA) e antibiótico na microbiota intestinal. Grupo controle (CON, dieta basal), Grupo antibióticos (ANT, controle + 0,15 g/kg de enramicina) e Grupo de adição (EOA, controle + 0,30 g/kg de ácidos orgânicos encapsulados e óleos essenciais). EOA = Óleo Essencial Encapsulado; ANT = Antibiótico; CON = Controle. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Yang et al. (2019).....131
- Figura 6.16. Efeitos do antibiótico (ANT) e óleo essencial encapsulados (EOA) nas concentrações de ácido butírico ( $\mu\text{mol/g}$ ) no conteúdo ileal de frangos de corte no dia 42. Grupo controle (CON, dieta basal), Grupo antibióticos (ANT, controle + 0,15 g/kg de enramicina) e Grupo de adição (EOA, controle + 0,30 g/kg de ácidos orgânicos encapsulados e óleos essenciais). Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Yang et al. (2019).....131
- Figura 7.1 - pH natural do trato gastrointestinal da ave. Adaptado de Khan et al. (2020). .....144
- Figura 7.2 - Efeito da suplementação com diferentes níveis de butirato de sódio revestido sobre o desempenho produtivo de galinhas poedeiras. Letras distintas indicam diferença estatística ao nível de 5%. Adaptado de Miao et al. (2021).....145
- Figura 7.3 - Efeito da suplementação com diferentes níveis de butirato de sódio revestido sobre a morfologia do jejuno de galinhas poedeiras. V/C = relação vilo:cripta. Letras distintas indicam diferença estatística ao nível de 5%. Adaptado de Miao et al. (2021).....145
- Figura 7.4 - Efeito da suplementação com diferentes níveis de butirato de sódio revestido sobre a morfologia do íleo de galinhas poedeiras. V/C = relação vilo:cripta. Letras distintas indicam diferença estatística ao nível de 5%. Adaptado de Miao et al. (2021).....146

# LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 7.5 - Energia metabolizável aparente (AME) e energia metabolizável aparente corrigida pelo nitrogênio (AMEn) da ração de galinhas poedeiras leves contendo butirato de sódio protegido. Adaptado de Pires et al. (2021).....148
- Figura 7.6 - Altura de vilosidade dos segmentos do intestino delgado de galinhas poedeiras leves contendo butirato de sódio protegido. Adaptado de Pires et al. (2021).....148
- Figura 7.7 - Relação profundidade de vilo: profundidade de cripta (V/C) de galinhas poedeiras leves contendo butirato de sódio protegido. Adaptado de Pires et al. (2021).....148
- Figura 7.8 - Efeitos da acidificação no trato gastrointestinal da ave e a influência nas bactérias patogênicas. Adaptado de Kunz et al. (2011) e Khan e Iqbal (2016).....150
- Figura 8.1. Desempenho de frangos de corte tipo caipira de acordo com os níveis de substituição de feno de jureminha na dieta. A: Consumo de ração, B: Peso final, C: Ganho de peso e D: Conversão alimentar. Adaptado de Costa et al. (2008).....165
- Figura 8.2. Desempenho e parâmetros de qualidade do ovo de galinhas poedeiras alimentadas com diferentes níveis de moringa durante o período de 62 às 77 semanas de idade. A: consumo de ração, B: peso do ovo, C: cor de gema e D: unidade haugh. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Silva et al. (2017).....168
- Figura 8.3. Média das características de carcaça e rendimento de carcaça função do peso vivo e rendimento dos cortes em função da carcaça fria de suínos em fase de terminação alimentados com diferentes níveis de inclusão de feno de moringa. A: peso ao abate, B: rendimento de carcaça fria, C: Pernil e D: carré. Adaptado de Lima (2016).....169
- Figura 8.4. Análises físico-químicas do peito de frango alimentado com farelo de palma em substituição parcial ao farelo de milho. A: pH, B: umidade, C: lipídios e D: proteína. Adaptado de Santos et al. (2014).....172
- Figura 8.5. Consumo de ração (g), ganho de peso (g) e conversão alimentar de codornas submetidas a diferentes níveis de inclusão de farelo de palma na ração. Adaptado de Santos et al. (2017).....173

# LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 8.6. Consumo e desempenho de frangos de corte tipo caipira de acordo com os níveis de substituição de feno de maniçoba na dieta. A: consumo de ração, B: peso final, C: ganho de peso e D: conversão alimentar. Adaptado de Costa et al. (2007b). ..... 185
- Figura 8.7. Desempenho de coelhos em crescimento em função dos níveis de substituição da proteína bruta (PB) do feno de alfafa pela PB do feno de maniçoba. A: consumo de ração e B: ganho de peso. Adaptado de Brito et al. (2013). ..... 177
- Figura 8.8. Consumo diário de nutrientes e coeficientes de digestibilidade aparente de éguas alimentadas com dietas com diferentes níveis de substituição total do milho desintegrado com palha e sabugo por farelo de algaroba. A: consumo de matéria seca, B: energia digestível, C: matéria seca, D: matéria orgânica, E: proteína bruta e F: hemicelulose. Adaptado de Stein et al. (2005). ..... 180
- Figura 8.9. Uso da farinha integral da vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*) na alimentação de codornas japonesas. As letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de 0,05% pelo teste de Dunnet. Adaptado de Silva et al. (2002a). ..... 181
- Figura 8.10. Uso da farinha integral da vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*) na alimentação de galinhas poedeiras. As letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de 0,05% pelo teste de Dunnet. Adaptado de Silva et al. (2002b). ..... 182
- Figura 8.11. Efeito dos níveis de utilização do Feijão Guardu Cru Moído, na ração, sobre o desempenho de galinhas poedeiras. Adaptado de Fonseca et al. (1995). ..... 187
- Figura 8.12. Uso de grãos de feijão-guardu (*Cajanus indicus*) cru em substituição à mistura de milho e farelo de soja para suínos em crescimento e terminação. As letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de 0,05% pelo teste de Dukan. Adaptado de Castro Júnior (1984). ..... 188
- Figura 8.13. Desempenho zootécnico de coelhos em crescimento alimentados com diferentes níveis de substituição do feno de alfafa por feno de guardu (*Cajanus cajan*). As letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de 0,05% pelo teste de Tukey. Adaptado de Crespi et al. (1992). ..... 189

# LISTA DE TABELAS

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Conteúdo de Polissacarídeos Não Amiláceos dos Alimentos .....	25
Tabela 3.1. Estudos com aditivos fitogênicos e seus principais resultados .....	74
Tabela 4.1. Recomendações de arginina para frangos de corte.....	91
Tabela 4.2. Recomendações de arginina para poedeiras leves e semipesadas....	94
Tabela 4.3. Recomendações de arginina para codornas japonesas .....	97
Tabela 4.4. Recomendações de arginina para de codornas europeias .....	99
Tabela 5.1. Resumo das BCAAs (classificação, metabolismo, enzimas, antagonismo, transportadores, função metabólica, precursor).....	106
Tabela 5.2. Recomendações de Isoleucina para Frangos de Corte .....	111
Tabela 5.3. Recomendações de Isoleucina para Poedeiras Comerciais.....	114
Tabela 5.4. Recomendações de Isoleucina para Matrizes Comerciais.....	114
Tabela 5.5. Exigência de Isoleucina para Codornas Japonesas e europeias..	115
Tabela 8.1. Classificação botânica do <i>Capparis flexuosa</i> L.....	169
Fonte: UFERSA (2021).....	169
Tabela 8.2. Composição química bromatológica do feno de feijão bravo....	170
Tabela 8.3. Valores de energia metabolizável e energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço e nitrogênio na matéria natural do feno de feijão bravo. ....	171
Tabela 8.4. Classificação botânica da Jureminha.....	172
Fonte: Picturethisai.com .....	172
Tabela 8.5. Composição química do feno de jureminha.....	174
Tabela 8.6. Levantamento da composição bromatológica do feno de maniçoba .....	183
Tabela 8.7. Composição bromatológica da leucena.....	192
Tabela 8.8. Levantamento da composição bromatológica do feijão guandú.....	198

# CONSELHO EDITORIAL

## CONSELHO EDITORIAL

### **CAPÍTULO 1.....19**

#### FIBRA E ESTIMBIÓTICOS NA NUTRIÇÃO DE AVES

Raiane dos Santos Silva  
Adiel Vieira de Lima  
Carlos Henrique do Nascimento  
Paloma Eduarda Lopes de Souza  
Aline Beatriz Rodrigues  
José de Arimatéia de Freitas Pinto  
Raul da Cunha Lima Neto  
Edijanio Galdino da Silva  
Isabelle Naemi Kaneko  
Matheus Ramalho de Lima  
Ricardo Romão Guerra  
Fernando Guilherme Perazzo Costa

DOI <https://doi.org/10.22533/at.ed.5952506111>

### **CAPÍTULO 2.....38**

#### MICOTOXINAS E ADSORVENTES NA ALIMENTAÇÃO AVIÁRIA

Weslla da Silva Dias  
Willyane de Souza Santos  
Valéria Marinho Leite Falcão  
Adiel Vieira de Lima  
Paloma Eduarda Lopes de Souza  
Aline Beatriz Rodrigues  
Carlos Henrique do Nascimento  
José de Arimatéia de Freitas Pinto  
Raul da Cunha Lima Neto  
Danilo Vargas Gonçalves Vieira  
Matheus Ramalho de Lima  
Fernando Guilherme Perazzo Costa

DOI <https://doi.org/10.22533/at.ed.5952506112>

# CONSELHO EDITORIAL

## CONSELHO EDITORIAL

### **CAPÍTULO 3.....63**

#### **FITOGÊNICOS NA NUTRIÇÃO DE AVES**

**Lucas Nunes de Melo**  
**Aline Beatriz Rodrigues**  
**Adiel Vieira de Lima**  
**Carlos Henrique do Nascimento**  
**Paloma Eduarda Lopes de Souza**  
**José de Arimatéia de Freitas Pinto**  
**Vania Maria Bernardo De Araújo**  
**Edijanio Galdino da Silva**  
**Matheus Ramalho de Lima**  
**Germano Augusto Jerônimo do Nascimento**  
**Ricardo Romão Guerra**  
**Fernando Guilherme Perazzo Costa**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5952506113>

### **CAPÍTULO 4.....83**

#### **ARGININA E SEU PAPEL NA NUTRIÇÃO DE AVES**

**José de Arimatéia de Freitas Pinto**  
**Adiel Vieira de Lima**  
**Maria Isabelli Leite Maia**  
**Marcos Cicero Pereira dos Santos**  
**Paloma Eduarda Lopes de Souza**  
**Aline Beatriz Rodrigues**  
**Carlos Henrique do Nascimento**  
**Vania Maria Bernardo de Araújo**  
**Raiane dos Santos Silva**  
**Edijanio Galdino da Silva**  
**Ricardo Romão Guerra**  
**Fernando Guilherme Perazzo Costa**

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5952506114>

# CONSELHO EDITORIAL

## CONSELHO EDITORIAL

### **CAPÍTULO 5.....104**

#### ISOLEUCINA NA DIETA DE AVES

Marcos Cicero Pereira dos Santos  
Adiel Vieira de Lima  
Aline Beatriz Rodrigues  
Raiane dos Santos Silva  
Paloma Eduarda Lopes de Souza  
Maria Isabelli Leite Maia  
Danilo Vargas Gonçalves Vieira  
Humberto de Araújo Brito Filho  
Edilson Paes Saraiva  
Carlos Henrique do Nascimento  
José de Arimatéia de Freitas Pinto  
Fernando Guilherme Perazzo Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5952506115>

### **CAPÍTULO 6.....122**

#### ÓLEOS ESSENCIAIS NA ALIMENTAÇÃO DE AVES

Paloma Eduarda Lopes de Souza  
Adiel Vieira de Lima  
Carlos Henrique do Nascimento  
Aline Beatriz Rodrigues  
José de Arimatéia de Freitas Pinto  
Humberto de Araújo Brito Filho  
Danilo Vargas Gonçalves Vieira  
Germano Augusto Jerônimo do Nascimento  
Edilson Paes Saraiva  
Danilo Teixeira Cavalcante  
Isabelle Naemi Kaneko  
Fernando Guilherme Perazzo Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5952506116>

# CONSELHO EDITORIAL

## CONSELHO EDITORIAL

### **CAPÍTULO 7..... 151**

#### EFEITOS DO BUTIRATO DE SÓDIO NA SAÚDE INTESTINAL DAS AVES

Paloma Eduarda Lopes de Souza  
Adiel Vieira de Lima  
Aline Beatriz Rodrigues  
Carlos Henrique do Nascimento  
Maria Isabelli Leite Maia  
Humberto de Araújo Brito Filho  
José de Arimatéia de Freitas Pinto  
Valéria Marinho Leite Falcão  
Danilo Vargas Gonçalves Vieira  
Isabelle Naemi Kaneko  
Danilo Teixeira Cavalcante  
Fernando Guilherme Perazzo Costa

DOI <https://doi.org/10.22533/at.ed.5952506117>

### **CAPÍTULO 8..... 166**

#### POTENCIAL DE PLANTAS DA CAATINGA NA ALIMENTAÇÃO DE AVES

Adiel Vieira de Lima  
Raiane dos Santos Silva  
Carlos Henrique do Nascimento  
Weslla da Silva Dias  
Paloma Eduarda Lopes de Souza  
Aline Beatriz Rodrigues  
José de Arimatéia de Freitas Pinto  
Humberto de Araújo Brito Filho  
Amanda Fabrício Dantas  
Danilo Vargas Gonçalves Vieira  
Germano Augusto Jerônimo do Nascimento  
Fernando Guilherme Perazzo Costa

DOI <https://doi.org/10.22533/at.ed.5952506118>

### **SOBRE OS ORGANIZADORES..... 209**

### **SOBRE OS AUTORES ..... 210**



## CAPÍTULO 1

# FIBRA E ESTIMBIÓTICOS NA NUTRIÇÃO DE AVES

**Raiane dos Santos Silva**

**Adiel Vieira de Lima**

**Carlos Henrique do Nascimento**

**Paloma Eduarda Lopes de Souza**

**Aline Beatriz Rodrigues**

**José de Arimatéia de Freitas Pinto**

**Raul da Cunha Lima Neto**

**Edijanio Galdino da Silva**

**Isabelle Naemi Kaneko**

**Matheus Ramalho de Lima**

**Ricardo Romão Guerra**

**Fernando Guilherme Perazzo Costa**

Os altos custos com as rações no país devido a maior participação de milho e farelo de soja nas dietas, a busca por alimentos alternativos se intensificou em razão de sua disponibilidade regional e menor custo. Entretanto, estes alimentos alternativos podem apresentar fatores antinutricionais que prejudicam o desempenho da ave e favorecem a colonização de microrganismos patogênicos (ALBINO et al., 2014).

Os fatores antinutricionais estão relacionados com alimentos fontes de fibra que ao ser consumidos produzem alguns efeitos negativos e dificultando a absorção de nutrientes. A fibra dietética não consegue ser digeridas pelas enzimas secretadas pelo trato digestivo das aves, porém, as enzimas de microrganismos benéficos que colonizam o intestino grosso, principalmente no ceco, realizam a hidrólise da fibra

que tem como produtos os ácidos graxos voláteis (HALL, 2003; MACARI e MAIORKA, 2017). Os AGVs são absorvidos pelo animal e também reduz o pH do trato, o que é nocivo para a microbiota patogênica. A colonização de microrganismos no trato gastrintestinal, sendo ela comensal, é essencial para a saúde e o bem-estar do hospedeiro (WILKINSON et al., 2020).

Du et al. (2020) descreveram e identificaram a composição da microbiota intestinal que geralmente é benéfica, como os *Lactobacillus* e as *Bifidobactérias*, estes microrganismos tem o papel de maturar a barreira intestinal (vilosidades), estimular transportadores de nutrientes, estimular a secreção de muco para proteção do tecido ou degradar como fonte nutricional para si, degradar fibra em nutrientes de melhor digestibilidade e absorção e competir com os microrganismos patogênicos por nutrientes e sítios de adesão, como também secretar enzimas e substâncias bactericidas que eliminam os patógenos (SAKOMURA et al., 2014).

A fibra pode ser classificada em insolúvel (celulose) e solúvel (hemicelulose). A insolúvel. A fibra solúvel pode se ligar com a água e aumentar a viscosidade da digesta, o que dificulta a difusão da digesta e a ação das enzimas, como também o contato com a mucosa para absorção é limitada (Araújo e Silva, 2008). A insolúvel gera atrito com a mucosa, aumentando a velocidade de taxa de passagem, reduzindo o tempo de permanência no trato gastrintestinal, causando a não absorção eficiente dos nutrientes.

O farelo de trigo é um alimento alternativo que segundo Rostagno et al. (2017) apresenta polissacarídeos não amiláceos, solúveis e insolúveis, onde se destaca os arabinoxilanos que são degradados pela enzima xilanase. O estimbiótico é um aditivo que é composto por xilanase e xilo-oligossacarídeo fermentável que sinaliza para o microbioma para fermentar a fibra o mais rápido possível, melhorando a função intestinal e o sistema imune (PARRA et al. 2020).

## 1.1. A MICROBIOTA INTESTINAL DAS AVES

Nos últimos anos, vários estudos foram realizados com intuito de identificar os microrganismos presentes ao longo do trato gastrintestinal das aves e quais as modificações que ocorrem sobre a influência de alguns fatores externos e internos. As modificações na microbiota podem ser influenciadas por inclusão de aditivos na dieta, diferentes práticas de manejo, processamento da matéria-prima, estresse e presença de patógenos (MACARI e MAIORKA, 2017).

De acordo com Du et al. (2020) identificaram através de sequenciamento do gene 16S rRNA e qPCR, que os filos mais abundantes no trato gastrintestinal de codornas foram os Firmicutes, Bacteroidetes, Proteobacteria, Actinobacteria e *Deferrribacteres*. No qual o Firmicutes foi dominante no intestino delgado, ao

contrário do Bacteroidetes, com presença dominante no ceco e colorretal. E em relação ao gênero *Lactobacillus*, sua presença se destacou em todas as porções do trato, exceto no ceco, nas quais os gêneros predominantes destacam-se *Megamonas*, *Faecalibacterium* e *Bacteroides*. Os gêneros bacterianos produtores de ácidos graxos de cadeia curta foram observados os *Bacteroides*, *Faecalibacterium*, *Alistipes*, *Blautia*, *Parabacteroides* e *Clostridium* com predominância no ceco e colorretal. A produção de AGCC e butirato por estes microrganismos se dá por duas principais vias, a via butiril (CoA:acetato CoAtransferase) e a via butirato quinase.

No ceco ocorre a digestão de celulose pela ação das bactérias, produzindo os ácidos graxos de cadeia curta que são utilizados pelo hospedeiro para manter a homeostase energética e os processos biológicos. A ave nas fases iniciais de vida, apresentam uma diversidade e densidade de microrganismos baixa e que aumenta à medida que se desenvolve. A colonização de microrganismos no trato gastrintestinal, sendo ela comensal, é essencial para a saúde e o bem-estar do hospedeiro (SAKOMURA et al., 2014; DU et al., 2020; MACARI e MAIORKA, 2017; WILKINSON et al., 2020).

Conforme Wilkinson et al. (2020) em análises histológicas identificaram que a baixa colonização bacteriana e nenhuma exposição ao *Lactobacillus* ou outra bactéria comensal em codorna durante a primeira semana pós-eclosão, causaram danos na parede intestinal por influenciar no desenvolvimento da altura das vilosidades e na profundidade da cripta. Ou seja, a absorção de nutrientes é afetada negativamente em função das lesões, e potencial queda no desempenho é esperada.

## 1.2. USO DE ADITIVOS PARA MODIFICAÇÕES DA MICROBIOTA

O uso de antibióticos como promotores de crescimento foi proibido pela legislação brasileira (MAPA) em função da resistência bacteriana que segue a Instrução Normativa nº 13 de 30/11/2004. Os aditivos classificam-se em tecnológicos, sensoriais, nutricionais e zootécnicos. Os aditivos zootécnicos são substâncias usadas no intuito de melhorar o desempenho do animal e inclui os digestivos (enzimas exógenas), equilibradores da flora intestinal (prebióticos, probióticos e ácidos orgânicos (Sakomura et al., 2014).

O uso dos probióticos baseia-se no controle biológico intermediado por microrganismos vivos benéficos, suplementados via dieta, que ao colonizar o trato gastrintestinal irão promover competição por nutrientes com a microbiota presente naquele ambiente que pode ser patogênica, beneficiando a imunidade (Albino et al., 2014).

A pesquisa de Wilkinson et al. (2020) identificaram que codornas pós-eclosão inoculadas com probiótico *Lactobacillus* apresentaram melhor altura e comprimento de vilosidades quando comparado com o grupo controle, maior predominância de microrganismos benéficos e contribuiu para a formação da microbiota. E afirmaram a importância de inocular antes da formação da microbiota, deve-se ao fato que após a eclosão, as aves são expostas a um ambiente com alta higiene e baixa carga bacteriana, não conseguindo adquirir microrganismos benéficos para formar a microbiota intestinal, favorecendo a colonização bacteriana patogênica por não haver competição.

Segundo Frozza et al. (2022) avaliar o efeito da suplementação de probiótico para aves de postura, observaram que o aditivo proporcionou melhor produção de ovos, redução de ovos trincados e sujos. Além de reduzir a frequência de comportamento agonístico, como arranque de penas e brigas. E influenciou a viabilidade do lote, ao diminuir a mortalidade das aves. Os principais microrganismos utilizados como probióticos são as bactérias que pertencem aos gêneros *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus* e leveduras (SAKOMURA et al., 2014).

Os prebióticos são substâncias alimentares que as enzimas das aves não digerem e estimulam o crescimento de microrganismos benéficos ao nutrir este grupo seletivo. São açúcares complexos, como mananoligossacarídeos (MOS), frutoligossacarídeos (FOS), sendo extraídos da parede celular de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) e sintetizados a partir do *Aspergillus niger* ou *Aureobasidium pullulans*, e também há os galactoligossacarídeos e glicossacarídeos. Ao contrário dos probióticos que introduzem microrganismos benéficos, os prebióticos estimulam os microrganismos benéficos que já vivem no intestino (ALBINO et al., 2014; SAKOMURA et al., 2014).

Auxilia na imunidade da ave por aumentar a produção de células de defesa, os leucócitos, o que é interessante para aves velhas que apresentam baixa atividade do sistema imune e quando submetidas a um desafio sofrem alguma infecção (TREVIZAN, 2021). De acordo com os resultados encontrados por Lemos et al. (2014) ao avaliarem a adição da parede celular de *Saccharomyces cerevisiae* e determinar o seu melhor nível de inclusão na dieta sobre o desempenho e a qualidade dos ovos produzidos por codornas japonesas na fase de produção, observaram que a inclusão de até 1,5kg/t do prebiótico na dieta melhorou a produção, a conversão alimentar por dúzia, a conversão alimentar por massa e a qualidade da casca de ovos.

Os simbióticos é aquele produto que tem o prebiótico e o probiótico combinados e que algumas pesquisas têm demonstrado que as respostas dos animais são variáveis, em função de que os fatores que influenciam estas respostas incluem os mesmos de probióticos e prebióticos (SAKOMURA et al., 2014). Os mecanismos de ação de ambos consistem em competir por sítios de adesão, nutrientes e liberação de substâncias nocivas aos patógenos.

Para tentar reduzir os custos com rações ao substituir o milho e o farelo de soja por ingredientes alternativos, estes podem apresentar fatores antinutricionais que influenciam no desempenho do animal. A pesquisa de Lima et al. (2010) observaram uma melhora no aproveitamento da energia das rações à base de milho e farelo de soja com a inclusão de fitase na ração e determinaram que os níveis de 195 e 186 uf/kg resultaram em maior aproveitamento da EMA e EMAn.

O uso de enzimas exógenas possibilita que os ingredientes alternativos regionais com um custo acessível possam substituir o milho e o farelo de soja. Uma situação presente é o caso do fósforo, importante mineral para algumas atividades do metabolismo do animal, mas se encontra na forma indisponível, o fitato. As aves não produzem a enzima de forma suficiente para degradar o fitato. A enzima fitase degrada o fitato, melhorando a digestibilidade por atuar nos fatores antinutricionais (polissacarídeos não amiláceos), evitando o complexo proteína – fitato e disponibilizando outros minerais ao ocorrer a hidrólise do fitato (ALBINO et al., 2014).

De acordo com Ribeiro et al. (2015) ao avaliarem os efeitos da suplementação das enzimas amilase, fitase e protease isoladas e associadas em dietas para codornas japonesas em postura, identificaram influência benéfica das enzimas no desempenho e qualidade de ovos. Gouveia et al. (2020) avaliaram a produtividade e o metabolismo de codornas japonesas na fase de postura, ofertando rações à base de milho ou sorgo incluindo ou não xilanase e  $\beta$ -glucanase e identificaram que massa total de ovos foi maior nos tratamentos com inclusão das enzimas.

Os ácidos orgânicos são substâncias acidificantes que reduzem o pH na porção inicial do trato digestório para melhorar os níveis de pepsina e potencializar um efeito bactericida ou bacteriostática ao reduzir a capacidade das bactérias ligarem-se a parede intestinal da ave e aumentar a disponibilidade de cálcio, magnésio, ferro, cobre e zinco (ALBINO et al., 2014). Fikry et al. (2021) avaliaram a adição de ácido cítrico em dietas de codornas japonesas e observaram que os níveis de imunoglobulina (IgG) foram maiores nos grupos com inclusão de 5 ou 10 g/kg de ácido cítrico do que no grupo controle, melhorando a resposta imune da ave e contribuindo para sua saúde e crescimento. E identificaram menor conteúdo cecal de bactérias patogênicas, incluindo Coliformes, *E. coli* e *Salmonella*.

## 1.3. FIBRA DIETÉTICA NA NUTRIÇÃO DE AVES

### 1.3.1. Polissacarídeos não amiláceos (PNA)

Antes a fibra era vista como um fator negativo ao ser utilizada na dieta das aves sendo considerada indigestível e que provocava redução na absorção dos nutrientes usados na dieta desses animais, hoje a fibra é vista como um fator benéfico e alternativo estimula a produção de ácido graxo de cadeia curta e com isso resulta em saúde e bem-estar animal, (Figura 1.1), fibra dietética corresponde aos componentes estruturais da parede celular das plantas, que não é digerida por enzimas do trato gastrintestinal das aves, mas pode ser hidrolisada no intestino grosso através da fermentação microbiana que pode gerar produtos de valor nutricional para o animal (HALL, 2003). E entre esses componentes se encontra os polissacarídeos não amiláceos (PNA), no qual os PNA totais é a soma de FDN (hemicelulose e celulose) e FSDN (substâncias pectínicas, galactanos, beta-glucanos e frutana), apresentam ligações do tipo beta tornando indigestíveis (SAKOMURA et al., 2014).

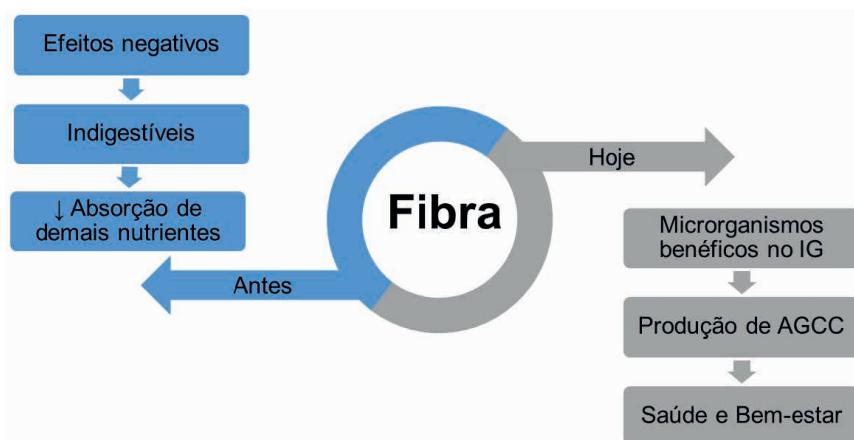


Figura 1.1. Fibra antes vista como fator antinutricional x fibra hoje vista como efeito benéfico.

Os polissacarídeos são compostos por cadeias de estrutura linear ou ramificada, contendo 10 ou mais monossacarídeos, polímeros de glicose. Os mais relevantes destacam-se o amido, a celulose e a hemicelulose presentes em ingredientes vegetais que participam das formulações de rações para aves. Classificam-se em polissacarídeos de reserva (nutricionais, mais digestíveis, ex: amido) ou estruturais (estrutura da planta, polissacarídeos não-amídicos, ex. celulose). Os polissacarídeos não-amídicos (PNA) são macromoléculas de polímeros de açúcares simples e resistentes a hidrólise no trato gastrintestinal de não-ruminantes, no qual o seu coeficiente de digestibilidade

PNA totais é baixo e é considerado fator antinutricional quando presente, o que depende da espécie vegetal e do tipo de cultivo e compreende 90% da parede celular das plantas (MACARI e MAIORKA, 2017).

Os polissacarídeos não amiláceos dividem-se em três grupos: celulose (insolúvel em água), polissacarídeos não celulósicos (arabinoxilanás, beta-glucanos, mananos, galactanos, xiloglucanos, e fructanas, parcialmente solúveis em água) e polissacarídeos pectínicos (arabinanos, galactanos e arabinogalactanos, parcialmente solúveis em água) (FRANZINI et al., 2022). As fibras solúveis se ligam com a água, aumenta a viscosidade da digesta, reduzindo a difusão das partículas, menor contato com as enzimas e mucosa, dificultando a absorção (ARAÚJO e SILVA, 2008).

As fibras insolúveis geram atrito com a mucosa intestinal, aumentando as secreções de muco e água, reduzindo a altura das vilosidades e o tempo de permanência do alimento no trato digestório (SAKOMURA et al., 2014). Entretanto, a fibra é fermentada pelos microrganismos em ácidos graxos voláteis que beneficiam os hospedeiros, sendo necessário o uso de enzimas que realize a hidrólise dos PNAs. Bevilaqua et al. (2016) verificou que a inclusão de fibra na dieta de poedeiras influenciou o desenvolvimento da moela melhorando a digestão dos nutrientes.

O farelo de trigo é considerado um alimento alternativo para o milho e farelo de soja, entretanto, apresenta fatores antinutricionais, destaca-se a presença de arabinoxilanás (36,5%) neste subproduto. (ARAÚJO e SILVA, 2008). Na Tabela 1.1 há valores de arabinose e xilose de alguns alimentos, de acordo com dados da empresa ABVISTA publicados por Rostagno et al. (2024).

Tabela 1.1. Conteúdo de Polissacarídeos Não Amiláceos dos Alimentos

Alimentos	Arabinose			Xilose		
	Sólivel	Insólivel	Total	Sólivel	Insólivel	Total
Milho Gérmen	0,60	0,60	7,30	0,40	9,70	10,10
Milho Farelo Gúten 21%	0,35	0,35	6,65	0,35	9,43	9,80
Milho Farelo Gúten 60%	0,28	0,28	0,68	0,38	0,45	0,78
Milheto Grão	0,05	0,05	1,32	0,08	1,66	1,72
Trigo Grão	0,39	0,39	2,07	0,44	2,80	3,21
Trigo Farelo	0,61	0,61	6,47	1,04	9,72	10,72
Arroz Farelo	0,28	0,28	3,48	0,12	3,97	4,09
Cevada Grão	0,30	0,30	2,10	0,40	3,80	4,20
Soja Farelo 45,4%	0,61	0,61	2,39	0,20	1,33	1,51
Soja Integral	0,45	0,45	2,10	0,10	1,23	1,31
Soja Semi Tostada	0,45	0,45	2,20	0,05	2,15	2,20
Sorgo Grão	0,05	0,05	1,31	0,04	1,19	1,22

Fonte: Adaptado de Rostagno et al. (2024).

Quando os microrganismos fermentam a fibra, é produzido os AGCC que reduz o pH, inibindo o crescimento dos patógenos que preferem um ambiente neutro, resultando em uma melhor saúde intestinal. Ao promover o desenvolvimento de culturas microbianas benéficas que liberam substâncias nocivas aos patógenos. Estimula a secreção de saliva e sucos gástricos ou pancreáticos que apresentam enzimas bactericidas e a motilidade intestinal é influenciada (SAKOMURA et al., 2014) (Figura 1.2).

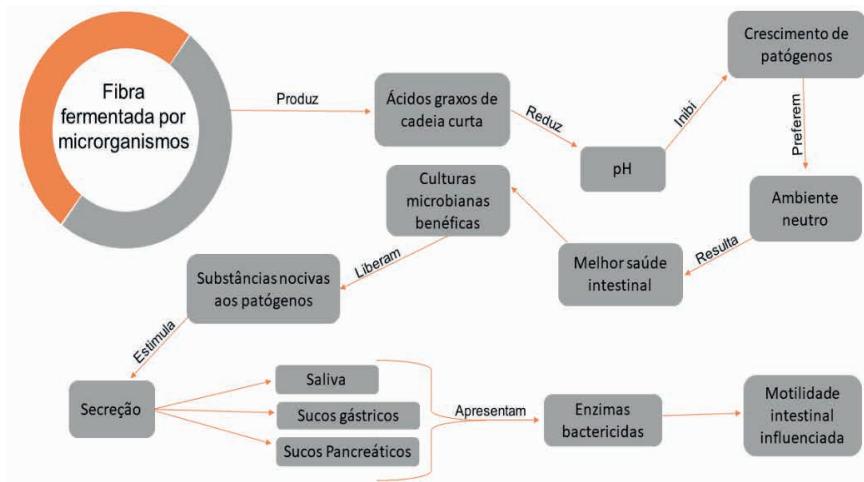


Figura 1.2. Efeitos da fibra no tratos gastrointestinal.

## 1.4. ESTIMBIÓTICOS

Os estimbióticos são uma combinação de xilanase e xilo-oligossacarídeo fermentável que tem o papel de adaptar o microbioma a fermentar fibra o mais rápido. As xilanases são glicosidases que realizam a hidrólise das ligações  $\beta$ -1,4 encontradas na xilana vegetal, componente da hemicelulose. Os xilo-oligossacarídeos são hidratos de carbono indigeríveis de cadeia curta obtidos da hidrólise dos arabinoxilanos, reduzindo os efeitos negativos deste PNA solúvel (FRANZINI et al., 2022).

A fibra que chega ao intestino grosso disponível para fermentação, em sua maior parte é formada por arabinoxilanos, um polissacarídeo não amiláceo, que são hidrolisados pelas xilanases em tamanhos menores, formando os xilo-oligossacarídeos, estes sinalizam para o microbioma desenvolver a sua capacidade de fermentar fibra e produzir xilanase microbiana para potencializar a degradação das fibras da dieta (Figura 1.3). Os xilo-oligossacarídeos são fermentados em ácidos graxos voláteis que influenciam a taxa de esvaziamento gástrico, melhorando digestão e absorção de nutrientes e modulando o sistema imune ao favorecer o crescimento de bactérias produtoras de butirato, as bifidobactérias (PARRA et al., 2020).

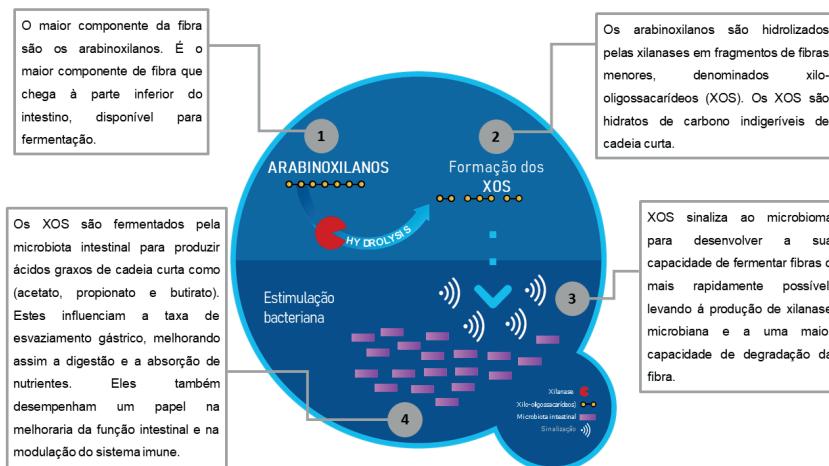


Figura 1.3. Mecanismo de ação do estimbiótico. Fonte: adaptada de ABvista (2019).

Não há registros de pesquisas com estimbiótico em dietas de codornas japonesas, assim como outras espécies em postura. Entretanto há uma gama de pesquisas que evidenciam a importância do uso em estimbióticos em dietas de outras aves de interesse comercial.

Morgan et al. (2021) realizaram um estudo com o objetivo de comparar o uso de estimbiótico (xilanase + xilo-oligossacarídeos) e uma combinação de xilanase e beta-glucanase para frangos de corte alimentados com dietas à base de trigo-cevada. Para isso, eles utilizaram 6 tratamentos dietéticos em um arranjo fatorial  $2 \times 3$ , sendo dois níveis de energia metabolizável, “Alto” ou “Baixo”, que diferiram em 100 kcal EM/kg, e três suplementações de aditivos: sem aditivos suplementares, estimbiótico ou xilanase + beta-glucanase. Os autores observaram que tanto o estimbiótico, quanto a combinação de xilanase e beta-glucanase, melhoraram os efeitos antinutritivos dos polissacarídeos não amiláceos e que a suplementação com estimbiótico induz um efeito positivo comparativamente maior na hidrólise de polissacarídeos não amiláceos e na produção de ácidos graxos de cadeia curta (Figura 1.4).

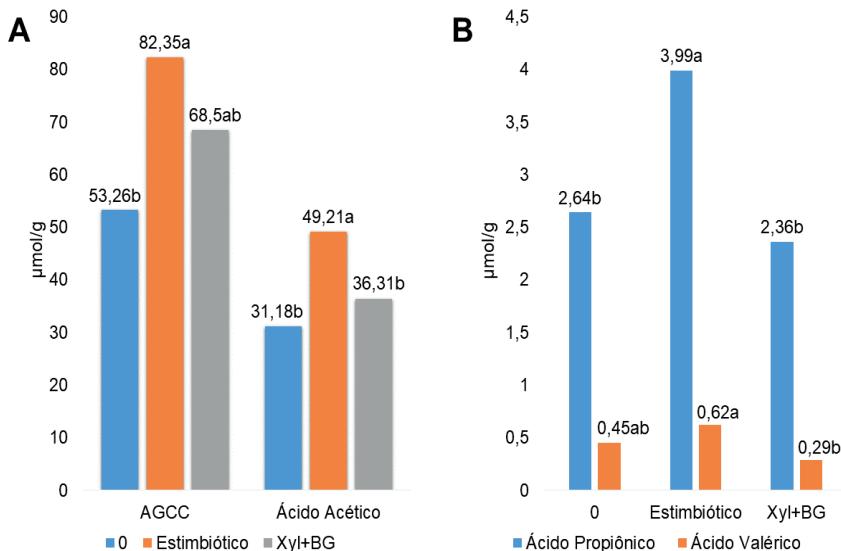


Figura 1.4. Efeito do nível de emergia metabolizável na dieta e da suplementação de aditivos estimbótico (xilanase + xiolo-oligossacarídeos) e uma combinação de xilanase e beta-glucanase (Xyl+BG) na concentração de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) cecal em 21 e 35 dias (μmol/g de amostra fresca). A: ácido graxo de cadeia curta e ácido acético e B: ácido propiónico e ácido valérico. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Adaptado de Morgan et al. (2021).

Lee et al. (2022) avaliaram a eficácia da suplementação com estimbóticos em frangos de corte Arbor Acres desafiados com enterite necrótica. Para isso, distribuíram as aves em 6 tratamentos em arranjo fatorial  $3 \times 2$ . Os tratamentos dietéticos incluíram sem aditivos (CON), 100mg/kg de estimbótico e 100 mg/kg de estimbótico com uma mistura comercial típica incluindo óleo essencial (STB), probióticos e enzima (CB); os tratamentos de enterite necrótica incluíram com e sem desafio. Os autores observaram que o desafio com enterite necrótica afetou negativamente o desempenho, a morfologia ileal, o conteúdo de imunoglobulina no sangue, a microbiota cecal no ceco, a dermatite da pata, os escores de lesões intestinais, o fator de necrose tumoral ( $TNF-\alpha$ ) e a endotoxina no soro comparados com as aves não desafiadas. A suplementação do estimbótico isolado e associado à mistura comercial melhorou o desempenho do crescimento, a microbiota intestinal, estimulando a morfologia ileal e a produção de propionato no ceco, e não houve diferenças nas variáveis medidas entre aves suplementadas com estimbótico e estimbótico com uma mistura comercial (Figuras 1.5 e 1.6).

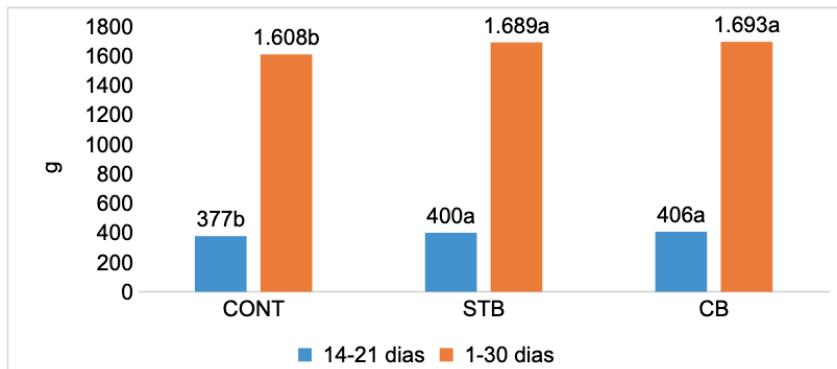


Figura 1.5. Efeitos da overdose de vacinas e infecção por *C. perfringens* *na* ganho de peso de frangos de corte. CONT (sem aditivos), STB (estimbiótico com uma mistura comercial típica incluindo óleo essencial e CB (probióticos e enzima). Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Adaptado de Lee et al. (2022).

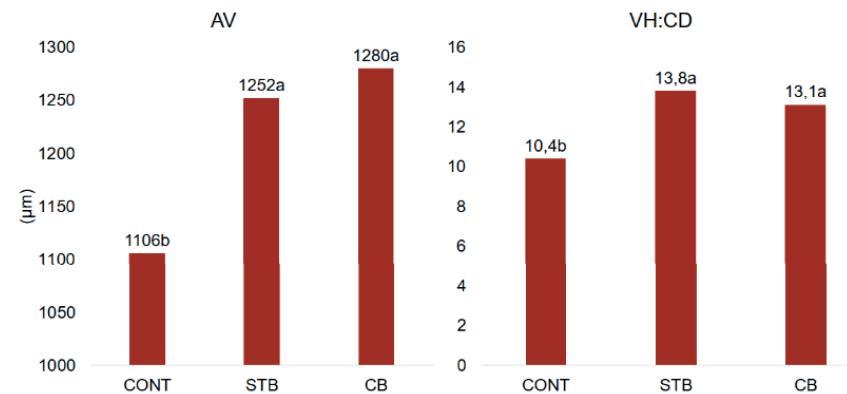


Figura 1.6. Efeitos da overdose de vacinas e infecção por *C. perfringens* *na morfologia ileal em frangos de corte*. CONT (sem aditivos), STB (estimbiótico com uma mistura comercial típica incluindo óleo essencial e CB (probióticos e enzima). AV: altura de vilosidades; AV:PC = relação vilosidade:cripta. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Lee et al. (2022).

Desse modo, os autores concluíram que, no geral, a suplementação de estimbiótico foi capaz de reduzir a resposta inflamatória e melhorar o desempenho das aves desafiadas com enterite necrótica, e a suplementação de estimbiótico isoladamente foi tão eficaz quanto uma mistura comercial típica contendo vários outros aditivos.

Ren et al. (2023) avaliaram os efeitos da suplementação, ou não, de estimbiótico em dietas a base de milho ou trigo sobre o desempenho de crescimento, desenvolvimento e função intestinal de frangos de corte Arbor Acres, de um à 42 dias de idade. Os autores observaram que aos 28 dias de idade a adição de estimbiótico aumentou significativamente a altura das vilosidades, a relação entre altura das vilosidades e a profundidade da cripta, (Figura 1.7) além da atividade das enzimas diamina oxidase, e Proteína quinase ativada por AMP da mucosa intestinal, e a expressão gênica de OCLN, CLDN1, ZO1, MUC2, SGLT1, PEPT1, FABP2 (Figura 1.8). Com isso, concluíram que a suplementação de estimbiótico pode melhorar o desempenho do crescimento, o desenvolvimento intestinal e as funções de barreira, e a fermentação de fibras no ceco de frangos de corte.

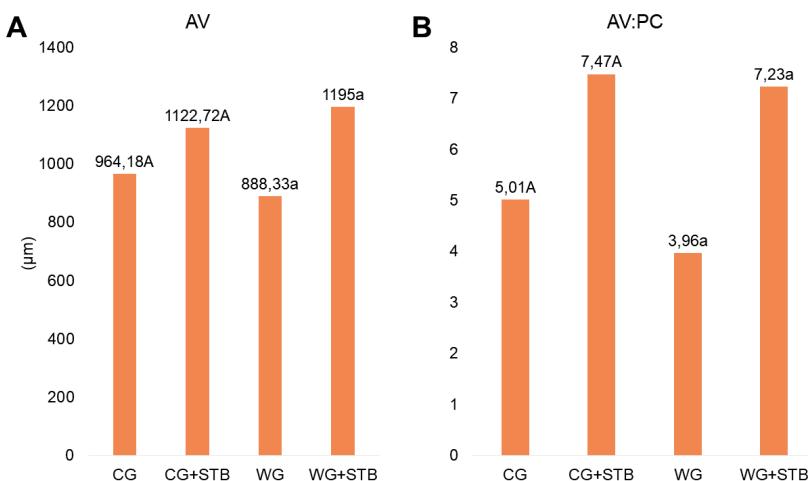


Figura 1.7. Efeitos da suplementação, ou não, de estimbiótico em dietas a base de milho ou trigo sobre a estrutura das vilosidades jejuno de frangos de corte Arbor Acres, de um à 42 dias de idade. Letras maiúsculas compararam o efeito isolado dos tratamentos CG vs CG+STB, letras maiúsculas compararam o efeito isolado dos tratamentos WG vs WG+STB. CG (Milho) CG+STB (milho+estimbiótico), WG (trigo), WG+STB (trigo+estimbiótico). A: AV (Altura de vilosidade de jejuno) e B: relação altura de vilosidade e profundidade de cripta. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Ren et. (2023).

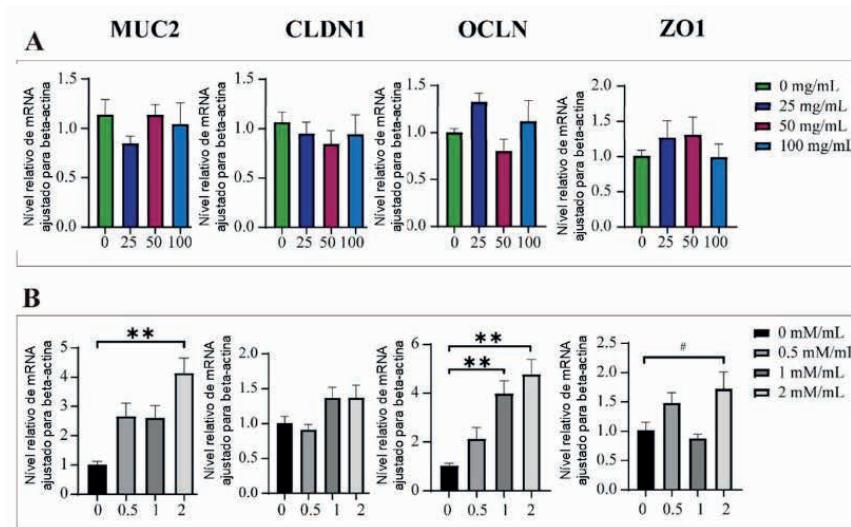


Figura 1.8. Extração de mRNA em nível celular e análise de expressão gênica. Os dados são apresentados como médias  $\pm$  EPM ( $n = 6$ ). Asterisco (\*\*) representa diferenças significativas com  $P < 0,01$ , sinal de libra (#) representa  $0,05 < P < 0,1$ . (A) Expressão gênica relativa de MUC2, CLDN1, OCLN, ZO1 de diferentes concentrações de suplementação de STB em IECs. (B) Expressão gênica relativa de MUC2, CLDN1, OCLN, ZO1 de diferentes concentrações de suplementação de butirato de sódio em IECs. Adaptado de Lee et al. (2022).

Šimić et al. (2023) conduziram um estudo com pintos de corte Ross 308, de um a 35 dias de idade, para determinar o efeito da fibra alimentar, xilanase (XYL), xilooligossacarídeos (XOS) e uma combinação de XYL e XOS (STBIO) no desempenho de crescimento de frangos, energia metabolizável aparente corrigida por N e disponibilidade de nutrientes, características do trato gastrointestinal e conteúdo cecal de ácidos graxos de cadeia curta. Para isso, testaram oito dietas experimentais arranjadas em um fatorial  $2 \times 4$ , sendo duas dietas controle (a primeira continha 54% de milho e na segunda, 5% do milho foi substituído por farelo de trigo como fonte de fibra) e quatro suplementações: sem suplementação, XYL, XOS e STBIO. Os autores observaram que a adição de STBIO melhorou a taxa de conversão alimentar e aumentou o ganho de peso de 21 a 35 dias e de 0 a 35 dias. A inclusão de fibra teve efeito negativo nos coeficientes de retenção de N e gordura aos 35 dias, bem como na retenção de EMAn e matéria seca aos 21 e 35 dias (Figura 1.9). Observaram também que não houve efeito da dieta na histomorfometria do jejuno e que a adição de fibra aumentou a concentração de AGCC cecal, em especial ácido valérico e propiônico, nas aves com 35 dias de idade. Assim os autores concluíram que adição de STBIO na dieta pode trazer benefícios em termos de degradação da fibra, ganho de peso e eficiência alimentar.

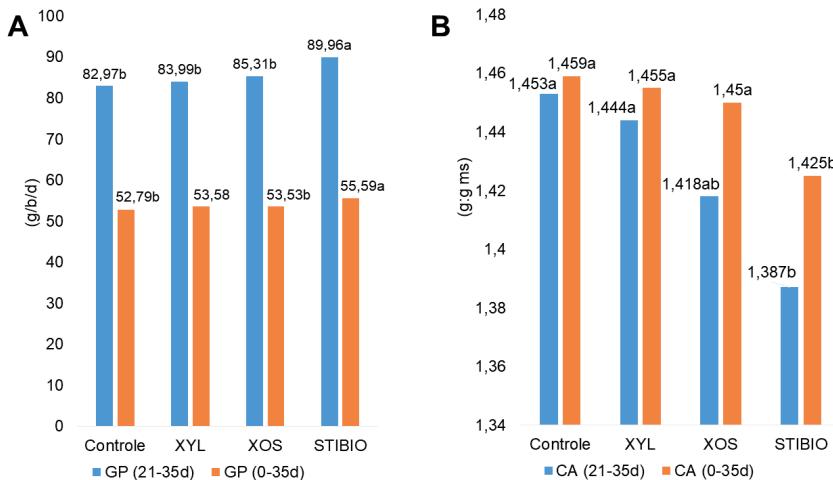


Figura 1.9. Efeito de tratamentos dietéticos sobre o desempenho de crescimento de frangos de corte alimentados com e sem adição de 50 g/kg de farelo de trigo. Xilanase (XYL), xiloooligossacarídeos (XOS) e uma combinação de XYL e XOS (STIBIO). A: GP (ganho de peso), B: CA (conversão alimentar). Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Šimić et al. (2023).

Veluri et al. (2024) investigaram os efeitos interativos de estimbiótico e farelo de trigo em dietas de frangos de corte à base de milho ou trigo. Para isso distribuíram as aves em seis tratamentos em arranjo fatorial  $2 \times 2 \times 2$ , sendo com e sem suplementação de estimbiótico, 0 e 50 g/kg de farelo de trigo, e dietas a base de trigo e milho. Os pesquisadores notaram que a suplementação com estimbióticos e a inclusão de farelo de trigo melhoraram individualmente a taxa de conversão alimentar independentemente do tipo de cereal, mas esse efeito não foi observado quando os dois foram combinados (Figura 1.10). Não observaram efeito do estimbiótico ou farelo de trigo em dietas à base de milho, enquanto a inclusão de farelo de trigo diminuiu energia digestível ileal em dietas à base de trigo, mas a suplementação de estimbiótico aumentou energia digestível ileal com ou sem farelo de trigo. Concluíram que a suplementação de estimbiótico em dietas à base de trigo ou milho e com a inclusão de WB melhorou a digestibilidade energética. Por outro lado, a inclusão de farelo de trigo em dietas à base de trigo diminuiu a digestibilidade de nutrientes.

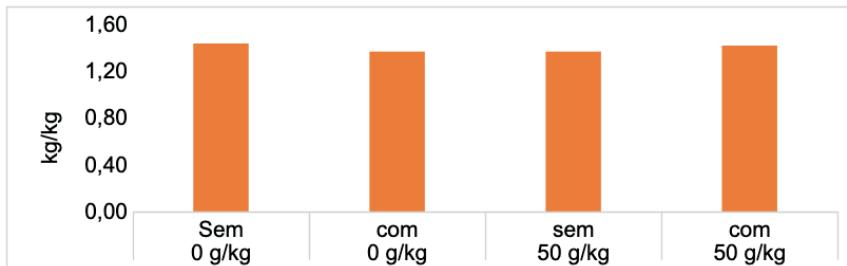


Figura 1.10. Influência do tipo de dieta, adição de farelo de trigo (50g/kg) e sem e com suplementação de estimbióticos sobre a conversão alimentar de frangos de corte. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Veluri et al. (2024).

Davies et al. (2024) testaram se a microbiota ileal e cecal de frangos de corte, alimentados com um estímbiótico, é capaz de fermentar diferentes substratos ricos em xilose. Os pesquisadores retiraram o conteúdo ileal e cecal de frangos de corte alimentados com um estímbiótico e de um grupo controle e utilizaram como inóculo para fermentação *ex vivo*. Os substratos ricos em xilose foram xilose monomérica, xilo-oligossacarídeo com grau de polimerização curto, xilo-oligossacarídeo com grau de polimerização longo e de farelo de trigo, foi adicionado a cada inóculo ileal e cecal em recipientes de fermentação, e avaliaram a produção total de gases e de ácidos graxos de cadeia curta, quantificação bacteriana e utilização de carboidratos. Os autores observaram que: não houve interações em nenhum dos parâmetros medidos no conteúdo ileal ou cecal, e a microbiota ileal metaboliza preferencialmente o farelo de trigo, enquanto a microbiota cecal favoreceu os substratos de xilo-oligossacarídeo, particularmente xilo-oligossacarídeo com grau de polimerização longo. Logo, os autores concluíram que os estímbióticos podem promover a abundância de bactérias lácticas envolvidas no estabelecimento de bactérias degradadoras de fibras e no conteúdo de AGV no intestino, o que poderia ter efeitos benéficos no desempenho dos frangos de corte, além de que a microbiota ileal e cecal diferem na utilização de diferentes substratos, o que pode impactar a eficácia de diferentes produtos estimuladores.

Lima et al. (2024) objetivaram avaliar a variação da fibra e sua fonte e sua interação com a suplementação de estímbiótico na dieta de poedeiras comerciais. Para isso, dividiram 1.200 galinhas Bovans White em 12 tratamentos. Os tratamentos foram baseados em dietas com variações no uso de trigo, milho e seus subprodutos, isolados ou combinados, e suplementadas ou não com 0,01% de estímbiótico. Os tratamentos consistiram de uma dieta Controle, comercial, e duas dietas basais, uma com Trigo e Farelo de Trigo (100W) e outra com Milho e Farinha de Gérmen de Milho (100C). Essas dietas 100W e 100C foram diluídas para obtenção dos

tratamentos 75W|25C, 50W|50C e 25W|75C. Todas as dietas foram suplementadas com estimbiótico. Os autores observaram que a conversão alimentar de dúzias de ovos melhorou com estimbiótico na dieta com 75W|25C, enquanto estimbiótico melhorou a unidade Haugh na dieta Controle, 75W|25C e 25W|75C, mas não influenciou as demais dietas, estimbiótico também melhorou a espessura da casca, principalmente em dietas com maior teor de trigo, reduzindo esta variável quando havia mais milho do que trigo na dieta; e a qualidade da casca com estimbiótico melhorou em todas as dietas avaliadas (Figura 1.11). Com isso, Lima et al. (2024) concluíram que o estimbiótico melhorou o desempenho da suplementação e a qualidade dos ovos de galinhas poedeiras brancas em dietas com alto teor de fibra alimentar.

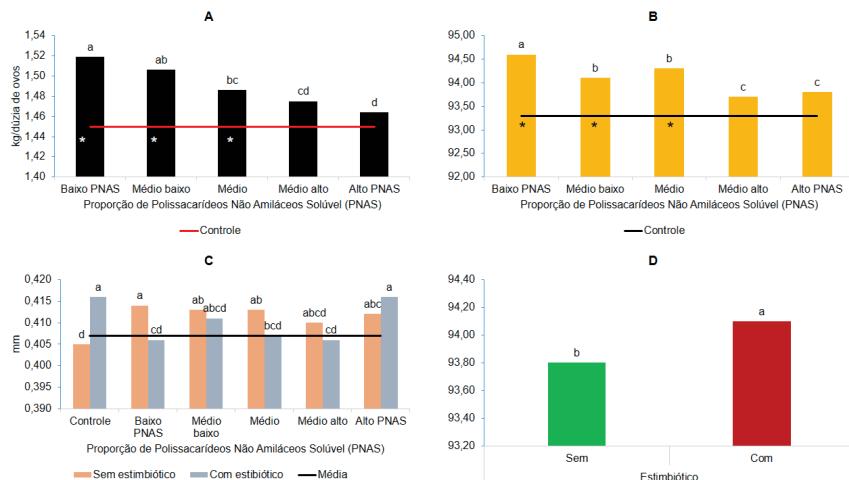


Figura 1.11. Efeito de diferentes perfis de fibra com e sem suplementação de estím. sobre o desempenho e parâmetros de qualidade de ovo de galinhas Bovans White. A: conversão por dúzia de ovos, B e D: unidade Haugh. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Lima et al. (2024).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, o estím. é uma estratégia para acelerar o desenvolvimento do microbioma benéfico, ao fornecer substratos para hidrólise e sinalização para degradar a fibra ofertada na dieta. É verificado poucos estudos sobre este produto na postura comercial, principalmente na coturnicultura.

## REFERÊNCIAS

AB Vista. **Signis: uma nova classe de aditivo funcional – Stimbiotic.** Disponível em: <https://www.abvista.com/pt/signis-pt>. Acesso em: 27 jul. 2025.

ALBINO, L. F. T.; CARVALHO, B. R.; MAIA, R. C.; BARROS, V. R. S. M.; TARVENARI, F. C.; COSTA, F. G. P.; STRINGHINI, J. H. **Galinhas poedeiras: criação e alimentação.** Viçosa: Aprenda fácil. 376 f. 2014.

ARAÚJO, D.M.; SILVA, J.H.V. Enzimas exógenas em dietas contendo farelo de trigo e outros alimentos alternativos para aves: revisão. **PUBVET**, Londrina, v. 2, n. 47, 2008. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v02n11a453>.

BEVILAQUA, T. M. S.; BICAS, R. R.; BRASILEIRO, L. O.; ODAKURA, A. M.; SANCHES, L. M.; ANDRELA, G. O.; GARCIA, R. G. **Fibra dietética sobre o desenvolvimento de órgãos digestivos de poedeiras comerciais.** In Anais do III Workshop de Pós-Graduação em Zootecnia e Ciência Animal do Estado de Mato Grosso do Sul. 2016.

DAVIES, C. et al. Stimbiotic supplementation and xylose-rich carbohydrates modulate broiler's capacity to ferment fibre. **Frontiers in Microbiology**. v. 14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1301727>.

DU, X.; XIANG, Y.; LOU, F.; TU, P.; ZHANG, X.; HU, X.; LYU, W.; XIAO, Y. Microbial Community and Short-Chain Fatty Acid Mapping in the Intestinal Tract of Quail. **Animals**, v. 10, n. 6, p. 1006, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10061006>

FIKRY, A. M.; ATTIA, A. I.; ISMAIL, I. E.; ALAGAWANY, M.; REDA, F. M. Dietary citric acid enhances growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbiota, antioxidant status, and immunity of Japanese quails. **Poultry Science**, v. 100, n. 9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101326>

FRANZINI, B. D.; SAMPAIO, S. A.; BARROS, H. S. S.; SANTANA, F. X. C.; PAULO, L. M.; GOUVEIA, A. B. V. S.; SANTOS, F. R.; MINAFRA, C. S. **BETA-GLUCANASES E XILANASES NA NUTRIÇÃO DE NÃO RUMINANTES.** **Veterinária e Zootecnia**, Botucatu, v. 29, p. 1–13, 2022. DOI: 10.35172/rvz.2022.v29.771.

FROZZA, R.; INOUE, A.; PAZ, I. C. D. L. A.; GUZZI, M.; GOMIDE, S.; JACINTO, A. S.; DE LIMA, D. Uso de probióticos e seus efeitos no bem-estar de aves de produção de ovos. **PUBVET**, v. 16, n. 07, 2022. 186. DOI: <https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n07a1166.1-6>

GOUVEIA, A. B. V. S.; SOUZA, C. S.; SANTOS, F. R. D.; MINAFRA-REZENDE, C. S.; MINAFRA, C. S. Xilanase e  $\beta$ -glucanase em dietas para codornas japonesas em postura. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200048>

HALL, M. B. Challenges with nonfiber carbohydrate methods. **Journal of Animal Science**, v. 81, n. 12, p. 3226–3232, 2003. DOI: <https://doi.org/10.2527/2003.81123226x>

LEE, J. H. et al. Stimbiotic supplementation modulated intestinal inflammatory response and improved broilers performance in an experimentally-induced necrotic enteritis infection model. **Journal of Animal Science and Biotechnology**. v. 13, n. 100. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00753-9>.

LEMOS, M. J. D., CALIXTO, L. F. L., LIMA, C. A. R. D., REIS, T. L., REGO, R. S., NAK, S. Y., AROUCHA, R. J. N. Níveis de prebiótico na dieta sobre o desempenho e a qualidade de ovos de codornas japonesas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, n. 3, p. 613-625, 2014.

LIMA, A. F. D.; LIMA, A. V.; SOUZA, P. E. L.; NASCIMENTO, C. H.; LIMA, M. R.; COSTA, F. G. P.; GOMES, G.; BRITO, A.; ROUSSEAU, X.; ANDRADE, T. S. **Enhancing performance and egg quality of commercial laying hens through fiber-rich diets supplemented with stimbiotic.** In: 2024 International Poultry Scientific Forum, Atlanta-GA, 2024.

LIMA, H. J. D. A.; BARRETO, S. L. D. T.; ALBINO, L. F. T.; MELO, D. S.; BALLOD, M. D. A.; ALMEIDA, R. L. D. Aproveitamento de nutrientes e energia da ração de codornas japonesas em postura com o uso de fitase. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 7, p. 1517-1522, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000700018>

MACARI, M.; MAIORKA, A. **Fisiologia das aves comerciais.** Jaboticabal: Funep, PROL Editora Gráfica, 806 f. 2017.

MORGAN, N. K.; GOMES, G. A.; KIM, J. C. Comparing the efficacy of stimbiotic and a combination of xylanase and beta-glucanase, in broilers fed wheat-barley based diets with high or low AME. **Poultry science**, v. 100, n. 10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101383>

PARRA, D.; GREENWOOD, W.; SANTOS, T. T. A new perspective on maximising the potential of dietary fibre, xylanase and gut health. **ABVISTA**, p. 26-27, 2020.

REN, Y. et al. Evaluation of stimbiotic on growth performance and intestinal development of broilers fed corn-or wheat-based diets. **PoultryScience**. v. 102, n. 12. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103094>.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZELE, J. L.; GOMES, P. C.; OLIVEIRA, R. D.; LOPES, D. C.; EUCLIDES, R. F. **Tabelas brasileiras para aves e suínos. Composição de alimentos e exigências nutricionais.** 5. Ed. – Viçosa: Departamento de Zootecnia, UFV, 2024.

SAKOMURA, N. K.; SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 678 f. 2014.

ŠIMIĆ, A. et al. Broiler chicken response to xylanase and fermentable xylooligosaccharide supplementation. **Poultry Science**. v. 102, n. 11. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103000>.

TREVIZAN, B. A. **Diferentes prebióticos na dieta de galinhas poedeiras sobre o desempenho, qualidade de ovos e hematologia**. Dissertação de mestrado – UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Dracena. 53f, 2021.

VELURI, S. et al. Interactive effects of a stimbiotic supplementation and wheat bran inclusion in corn-or wheat-based diets on growth performance, ileal digestibility, and expression of nutrient transporters of broilers chickens. **PoultryScience**. v. 103, n. 1. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103178>.

WILKINSON, N.; HUGHES, R. J.; BAJAGAI, Y. S.; ASPDEN, W. J.; HAO VAN, T. T. MOORE RJ, STANLEY D. Reduced environmental bacterial load during early development and gut colonisation has detrimental health consequences in Japanese quail. **Helijon**. v. 16, n. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03213>.

RIBEIRO, J. S. et al. Supplementation of laying japanese quail with amylase, phytase and protease. **Boletim de Indústria Animal**. v. 72, n. 2, p. 11693-169, 2015.



## CAPÍTULO 2

# MICOTOXINAS E ADSORVENTES NA ALIMENTAÇÃO AVIÁRIA

**Weslla da Silva Dias**  
**Willyane de Souza Santos**  
**Valéria Marinho Leite Falcão**  
**Adiel Vieira de Lima**  
**Paloma Eduarda Lopes de Souza**  
**Aline Beatriz Rodrigues**  
**Carlos Henrique do Nascimento**  
**José de Arimatéia de Freitas Pinto**  
**Raul da Cunha Lima Neto**  
**Danilo Vargas Gonçalves Vieira**  
**Matheus Ramalho de Lima**  
**Fernando Guilherme Perazzo Costa**

A produção animal contemporânea enfrenta diversos desafios relacionados à segurança alimentar, à qualidade dos insumos e ao desempenho zootécnico dos rebanhos. Entre esses desafios, a contaminação por micotoxinas se destaca como um dos principais fatores limitantes da produtividade, sobretudo em regiões de clima tropical e subtropical, onde as condições de temperatura e umidade são favoráveis ao desenvolvimento de fungos toxigênicos. Desde a década de 1960, o crescimento populacional aliado ao aumento do poder aquisitivo em diferentes partes do mundo tem impulsionado o consumo de carne, leite, ovos e seus derivados, promovendo a expansão de sistemas de produção cada vez mais intensivos, como a avicultura, a suinocultura, a bovinocultura de corte e a aquicultura.

Nesse contexto de intensificação produtiva, destaca-se a preocupação com a qualidade sanitária dos insumos, especialmente dos ingredientes utilizados na formulação de rações. Entre os principais contaminantes estão as micotoxinas, substâncias de natureza tóxica ou com efeitos biológicos adversos para humanos e animais, originadas do metabolismo secundário de fungos filamentosos, principalmente dos gêneros *Fusarium*, *Aspergillus* e *Penicillium* (Ying luo et al., 2018; Bullerman, 1978). Esses fungos encontram condições favoráveis de desenvolvimento em ambientes com elevada umidade e temperaturas adequadas, podendo contaminar os grãos em diferentes fases, desde a produção até o transporte e o armazenamento.

Suínos e aves são considerados os grupos mais suscetíveis à ação deletéria das micotoxinas, devido às características fisiológicas e ao alto desempenho produtivo exigido. Essa susceptibilidade, aliada à ampla utilização dessas espécies como fonte de proteína animal, reforça a necessidade de monitorar rigorosamente os níveis residuais de micotoxinas nos ingredientes, nas dietas e, eventualmente, em tecidos e fluidos corporais. Os quadros de micotoxicoses variam conforme a espécie, a idade, o estado nutricional, a dose ingerida e o tempo de exposição. Em geral, incluem redução de consumo alimentar, perda de desempenho, sinais clínicos inespecíficos, além de lesões hepáticas, alterações reprodutivas e comprometimento da integridade do trato digestório, com impacto direto na absorção de nutrientes (Santurio, 2007; Giacomini et al., 2006; Andreatta et al., 2008).

Para mitigar esses efeitos, destaca-se o uso de aditivos adsorventes nas rações, compostos inertes que interagem fisicamente com as micotoxinas, formando complexos que dificultam sua absorção no trato gastrointestinal (Arellano e Rosas, 2008). Essa tecnologia é uma ferramenta prática e eficaz no manejo dos impactos econômicos e produtivos decorrentes de rações contaminadas, especialmente considerando que os principais cereais utilizados na nutrição animal como milho, trigo, sorgo, arroz e amendoim são altamente suscetíveis à contaminação fúngica em diferentes estágios da cadeia produtiva (Bretas, 2018; Savi, 2019).

Diante desse cenário, o capítulo tem como objetivo apresentar as principais micotoxinas de relevância zootécnica, discutir seus efeitos sobre o desempenho animal e revisar as opções de adsorventes disponíveis, destacando sua importância como estratégia de controle para garantir a eficiência produtiva e a segurança alimentar na produção animal.

## 2.1. MICOTOXINAS E SEUS EFEITOS NA PRODUÇÃO ANIMAL

As micotoxinas são metabólitos secundários produzidos por algumas espécies de fungos filamentosos, podendo causar doenças e até a morte em animais, plantas e microrganismos. Enquanto os metabólitos primários são essenciais para o desenvolvimento dos fungos, os secundários são gerados no final da fase exponencial de crescimento e não são necessários para a sobrevivência do mesmo (Skrzydlewski et al., 2022). São capazes de causar danos significativos ao fígado e aos rins, prejudicando suas funções essenciais.

Além disso, as micotoxinas comprometem o sistema imunológico, diminuindo a capacidade do corpo de combater infecções e doenças. Elas também afetam o sistema reprodutivo, podendo levar a problemas de fertilidade, e interferem no desenvolvimento, resultando em anomalias congênitas ou atrasos no crescimento (Dai et al., 2022a; Li et al., 2022; Pleadin et al., 2019; Sun et al., 2022). A exposição a essas toxinas é ainda mais alarmante devido às suas propriedades genotóxicas e carcinogênicas, que podem induzir mutações genéticas e aumentar o risco de desenvolvimento de câncer (Cao et al., 2022; Singh et al., 2022).

Na Figura 2.1 é possível observar o ciclo de contaminação por micotoxinas em dietas de animais de produção, destacando as principais fontes, tipos de micotoxinas (como Aflatoxina B1, Ocratoxina A, Fumonisina B1, Deoxinivalenol e Zearalenona) e os efeitos tóxicos nos animais, como retardo de crescimento, infertilidade, falência hepática, destruição intestinal e imunotoxicidade. Além disso, a figura mostra alternativas de controle, como o uso de zeólita, carbonato de sódio e radiação UV, visando reduzir a contaminação dos grãos e, consequentemente, dos produtos de origem animal destinados ao consumo humano.

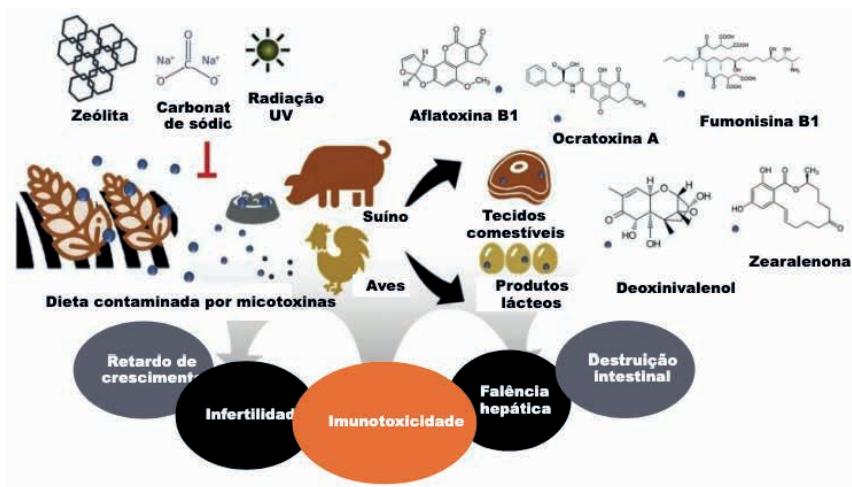


Figura 2.1. Propriedades fisiológicas reguladas pelas principais micotoxinas que exercem toxicidade em células expostas derivadas de animais de produção. Aflatoxina B1, ocratoxina A, fumonisina B1, zearalenona e deoxinivalenol são as micotoxinas mais frequentemente encontradas na alimentação de animais de produção. Células cultivadas de suínos e aves têm sido utilizadas para caracterizar a citotoxicidade das principais micotoxinas. As micotoxinas induzem aumento do apoptose, redução da proliferação celular, ou ambos nos animais. Diversas alterações fisiológicas estão associadas à citotoxicidade induzida por micotoxinas, incluindo estresse oxidativo, autofagia, estresse do retículo endoplasmático e vias de sinalização celular. Adapado de Yang et al. (2020).

As micotoxinas mais importantes em alimentos são as ocratoxinas (OTs), aflatoxinas, zearalenona (ZEN), desoxinivalenol (DON) e fumonisinas. Essas micotoxinas são principalmente produzidas por espécies de fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* (MIGUEL et al., 2022). Além disso, outros gêneros como *Alternaria*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Claviceps*, *Diplodia*, *Myrothecium*, *Monascus*, *Phoma*, *Phomopsis*, *Pithomyces*, *Trichoderma* e *Stachybotrys* também são conhecidos por incluir espécies micotoxigênicas (Cao et al., 2022; Singh et al., 2022).

Elas podem contaminar os alimentos durante o cultivo, o armazenamento ou após a fabricação de um produto (Yousefi et al., 2021). As micotoxinas diminuem a palatabilidade da dieta, resultando em menor ingestão de matéria seca e comprometendo o desempenho animal. Além disso, podem causar disfunção hepática, suprimir o sistema imunológico e aumentar a suscetibilidade a doenças (Saleemi et al., 2020). Outra questão problemática é que as micotoxinas produzidas durante a esporulação dos fungos contaminam os animais que consomem alimentos afetados. Essas toxinas podem ser transferidas para produtos de origem animal, como leite e carne, representando um perigo para a saúde humana (Battilani, 2016). Para o desenvolvimento dos fungos e a produção de micotoxinas, são necessárias condições favoráveis de umidade, temperatura, pH e composição do substrato (Smith et al., 2016).

## 2.2. PRINCIPAIS MICOTOXINAS

### 2.2.1. Aflatoxinas (AFs)

As aflatoxinas são o grupo de micotoxinas mais pesquisadas e são produzidas por diferentes espécies do gênero *Aspergillus*. Os principais fungos produtores de aflatoxinas são *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* e *A. nomius*, sendo as aflatoxinas B1, B2, G1 e G2 as de maior interesse na nutrição animal (Jiang et al., 2021).

As aflatoxinas são classificadas com base em sua fluorescência sob luz ultravioleta. A aflatoxina B1 (AFB1) é reconhecida como a mais tóxica, seguida pelas aflatoxinas AFG1, AFB2 e AFG2 (Cao et al., 2022; D. Gao et al., 2022; Hua et al., 2020; Yilmaz et al., 2018). Os efeitos das aflatoxinas em animais são influenciados por fatores como dose, duração da exposição, espécie, raça e dieta. Estudos recentes confirmam que animais jovens são geralmente mais suscetíveis aos efeitos tóxicos das aflatoxinas comparados aos adultos. A exposição a aflatoxinas pode levar a uma variedade de efeitos adversos, incluindo hepatotoxicidade, imunossupressão e redução do desempenho produtivo. A severidade desses efeitos varia conforme a combinação desses fatores e a susceptibilidade específica da espécie envolvida (Ajmal et al., 2022).

A aflatoxina B1 (AFB1) é reconhecida como o carcinógeno mais potente entre todas as aflatoxinas, sendo que até 6% da AFB1 presente na dieta pode ser transferida para o leite na forma de hidroxi-AFB1 e aflatoxina M1 (Jiang et al., 2021). A presença de aflatoxina M1 (AFM1) no leite representa um risco significativo para a segurança dos produtos lácteos, devido à sua potente carcinogenicidade (Tittlemier et al., 2020). O efeito da aflatoxina B1 (AFB1) é a inibição da síntese de DNA e RNA (Verma, 2020). De acordo com Marchese et al. (2018), o metabolito ativado da AFB1, o AFB1-8,9 epóxido, estabelece uma ligação covalente com a guanina em posição N7, formando aductos AFB1-N7guanina em células-alvo, o que resulta em transversão G-T, reparo de DNA defeituoso, mutação, lesões e formação de tumores.

Além disso, a AFB1 é reconhecida como uma potente hepatotoxina e hepatocarcinogênica, sendo o fígado considerado o principal órgão-alvo da aflatoxina (Hua et al., 2021).

As aflatoxinas são conhecidas por afetar negativamente o desempenho zootécnico dos suínos, causando impactos no consumo de ração, ganho de peso e provocando lesões no fígado, hemorragias e até mesmo a morte (Vila-Donat et al., 2018). Em um estudo sobre aflatoxicose aguda em suínos, Pohland et al. (2020) identificaram diversos sinais clínicos nos animais, como febre alta, perda de peso, taquicardia, taquipneia, apatia, tremores musculares e fraqueza, culminando no óbito dos animais.

## 2.2.2. Fumonisinas

As fumonisinas (F) são predominantemente produzidas pelas espécies *Fusarium verticillioides* e *F. proliferatum*. Estes fungos são encontrados globalmente e representa uma das maiores fontes de micotoxinas, expondo todos os animais de produção a seus efeitos (Ekwomadu et al., 2021). Até o momento, foram identificados quinze análogos de fumonisinas, com as formas mais relevantes e encontradas em quantidades consideráveis nos alimentos sendo: B1 (FB1), B2 (FB2) e B3 (FB3) (Dey et al., 2023). Destaca-se que as FB1 e FB2 são potentes promotores carcinogênicos (Awuchi et al., 2021).

As fumonisinas provocam lesões significativas no fígado, trato gastrointestinal, sistema nervoso e pulmões (Gurikar et al., 2023). Doses agudas de fumonisinas em suínos podem resultar na supressão da atividade dos macrófagos pulmonares, responsáveis pela eliminação de patógenos, levando ao desenvolvimento de edema pulmonar (Maia et al., 2021). Em equinos, a contaminação por fumonisinas se manifesta através de lesões neurológicas graves, resultando em distúrbios locomotores e ataxia (Césarbraga et al., 2021).

As fumonisinas possuem uma estrutura molecular semelhante aos precursores dos esfingolipídios, em particular à esfinganina e esfingosina (Gao et al., 2023). Elas exercem sua ação ao inibir a síntese de ceramidas a partir da esfinganina, interferindo na biossíntese dos complexos esfingolipídicos. Isso resulta em um aumento na quantidade de esfinganinas e na interrupção da reciclagem de esfingosinas, levando a disfunções celulares seguidas de morte celular (Chen et al., 2021).

## 2.2.3. Ocratoxinas

Conforme Oliveira et al. (2019) a ocratoxina A (OTA) é a forma predominante e mais significativa na natureza. Esses compostos consistem em  $\beta$ -fenilanina ligada a uma isocumarina por meio de uma ligação amida. Os fungos responsáveis pela produção dessa micotoxina pertencem aos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* (Tahir et al., 2022).

A exposição a essa micotoxina pode ocorrer de duas maneiras: através da inalação dos esporos, via respiratória, ou pela ingestão de alimentos contaminados, como milho, café, arroz e subprodutos de frutas, como vinho, cerveja, produtos cárneos e lácteos, entre outros (Torres e Silva, 2019). As ocratoxicoses agudas afetam principalmente aves, ratos e suínos, resultando em danos renais, anorexia, perda de peso, vômitos, aumento da temperatura retal, conjuntivite, desidratação, debilidade geral e eventual morte (Tao et al., 2018).

As ocratoxinas são predominantemente nefrotóxicas, apresentando também ação mutagênica e teratogênica, com o fígado como um alvo secundário (Tahir et al., 2022). Estudos revelaram que a OTA prejudica as mitocôndrias, causa estresse oxidativo e inibe a síntese proteica. A nível molecular, a OTA danifica as membranas lipídicas, muta o DNA e afeta proteínas por nitrosilação (Tao et al., 2018). Em aves, a OTA compromete a integridade da barreira intestinal, diminuindo a expressão de proteínas de junção apertada, como ocludina e claudina-1 (Wang et al., 2019). Isso aumenta a permeabilidade intestinal, permitindo a passagem de substâncias prejudiciais, como bactérias, do intestino para a corrente sanguínea, representando riscos para os animais (Zhai et al., 2021).

Tong et al. (2020) descobriram que a alimentação de frangos de corte recém-nascidos com uma dose de OTA causou uma resposta imunológica positiva, resultando em inflamação intestinal e ativação de genes associados à inflamação. Os frangos expostos à OTA apresentaram sintomas graves, como congestão intestinal, infiltração de células imunes e danos às vilosidades intestinais. Esses efeitos indicam que a OTA pode ser citotóxica para o intestino e aumentar o risco de doenças associadas devido à sua capacidade de comprometer a integridade da barreira intestinal.

#### 2.2.4. Zearalenona

A zearalenona (ZEA) é uma lactona que pode ser produzida por espécies de fungos, tais como *Fusarium Culmorum*, *F. Graminearum* e *F. Sporotrichioides* sendo classificada como um composto fitoestrogênico (Jing et al., 2022), conferindo-lhe propriedades estrogênicas em animais domésticos. Entre os metabólitos identificados, aqueles que exibem considerável atividade estrogênica e anabólica, resultando em complicações reprodutivas nos animais, incluem o  $\alpha$ -Zearalenol ( $\alpha$ -ZOL), o  $\beta$ -Zearalenol ( $\beta$ -ZOL) e a Zearalenona. Dentre esses, o  $\alpha$ -ZOL é reconhecido como o mais prejudicial para suínos que consomem alimentos contaminados com essa micotoxina em níveis elevados, devido à sua maior toxicidade (Ballo et al., 2023).

De acordo com Chang et al. (2020) a exposição simultânea ao ZEN causa danos no fígado e no jejuno, além de redução no peso do cólon em galinhas. As aves têm maior capacidade de excretar ZEN e seus metabólitos devido à rápida circulação hepática e entérica, assim como uma maior capacidade de excreção. Sua menor sensibilidade ao ZEN pode ser atribuída a vários fatores, como modulação de microrganismos intestinais, variações na atividade da hidroxiesteróide desidrogenase, níveis elevados de estrogênio e diminuição da afinidade dos receptores de estrogênio, fornecendo uma explicação mais completa sobre a menor sensibilidade das aves ao ZEN (Wu et al., 2021).

Efeitos estrogênicos, como aumento do peso uterino e vulva avermelhada e inchada, foram observados em porcos expostos a 17,6 µg de zearalenona por quilograma de peso corporal (LOAEL). Um ciclo prolongado foi observado em porcas sexualmente maduras expostas a partir de 200 µg/kg de peso corporal por dia (LOAEL), sem efeito notável a 40 µg/kg de peso corporal por dia, o NOAEL mais baixo relatado para porcas maduras. Suínos e ovelhas são considerados as espécies mais suscetíveis (Knutson et al., 2017). A avaliação de risco da zearalenona humana realizada pela EFSA em 2011 estabeleceu uma ingestão diária tolerável humana (TDI) de 0,25 µg/kg de peso corporal, baseada em um NOEL de 10 µg/kg de peso corporal por dia para efeitos estrogênicos em suínos (Knutson et al., 2017).

Atualmente, a toxicidade de variantes modificadas e mascaradas do ZEN, incluindo suas formas ligadas extraíveis e não extraíveis, não foi adequadamente investigada ou avaliada. Dada a falta de estudos disponíveis sobre o ZEN e suas formas mascaradas, bem como seu impacto na saúde e no desempenho produtivo das aves, é de suma importância realizar pesquisas abrangentes no futuro para preencher essa lacuna de conhecimento. A compreensão mais profunda desses aspectos é essencial para garantir a segurança e o bem-estar das aves de criação e para orientar estratégias de controle e mitigação adequadas contra os efeitos prejudiciais dessas substâncias.

### 2.3. ADITIVOS ADSORVENTES

A adsorção é um fenômeno complexo de superfície que envolve interações entre o adsorvente, o adsorbato e o solvente (Saleh, 2022). Micotoxinas com grupos polares podem se ligar a adsorventes por meio de diversas interações físicas e químicas, como ligações hidrofóbicas, de hidrogênio, eletrostáticas, forças de van der Waals, coordenação e troca iônica, cuja ocorrência é influenciada pelo pH do meio. Esse processo é dependente do equilíbrio entre características lipofílicas e hidrofílicas, além da forma das superfícies adsorventes (Çakir et al., 2023).

Por isso, uma variedade de aditivos adsorventes (AA) para rações tem sido desenvolvida e avaliada como estratégia para reduzir a exposição às micotoxinas. Exemplos de AA incluem minerais argilosos, paredes celulares de levedura, polímeros e resíduos agrícolas. A seleção dos aditivos mais adequados representa um desafio para agricultores e processadores de rações. Em regiões de baixa renda, onde o conhecimento sobre os efeitos negativos das micotoxinas é limitado, os animais são frequentemente alimentados com rações contaminadas, contribuindo para problemas de saúde, baixas margens de lucro e desperdício de ração (Kolawole et al., 2022).

Por outro lado, adsorventes minerais, como parte dos aditivos não nutritivos adicionados à ração animal, têm como objetivo evitar a formação de grumos, melhorar o desempenho dos animais e reduzir a exposição às micotoxinas. O mecanismo de ação para sequestrar micotoxinas é objeto de debate, com seis propostas distintas, incluindo quimissorção seletiva, doação de elétrons e ligações de hidrogênio. Esses mecanismos também são relevantes para a adsorção de nutrientes, como proteínas e micronutrientes. A eficácia da adsorção depende das características físico-químicas dos adsorventes, sendo mais eficiente em pH ácido (Elliott et al., 2020).

## 2.4. TIPOS DE ADITIVOS ADSORVENTES

### 2.4.1. Argilas e silicatos

As argilas desempenham papéis cruciais na história da humanidade, desde os primórdios da civilização até os dias atuais, mantendo-se como elementos fundamentais na sociedade moderna. Sua aplicação é vasta, abrangendo indústrias como a de perfuração de petróleo, cerâmica, papel, embalagens, vinho, plásticos e farmacêutica (Worasith e Goodman, 2023). Além disso, as argilas desempenham um papel significativo no controle de diversos processos ambientais, graças às suas propriedades físico-químicas, como carga superficial, área superficial e capacidade de inchaço. Paralelamente, atuam como adsorventes de baixo custo em solos e águas (Kumari e Mohan, 2021).

Para um adsorvente, a eficiência de adsorção é maior quanto maior for a proporção de espaço, volume de poros, área superficial específica e quanto menor for a densidade. Materiais como carvão ativado, zeólita e silicato de magnésio são amplamente utilizados como adsorventes devido às suas excelentes características de superfície específicas. O silicato de magnésio, em particular, possui uma estrutura porosa similar à do carvão ativado e uma grande área superficial, o que lhe confere uma capacidade de adsorção excepcional e uma rápida velocidade de adsorção, tornando-o altamente eficiente na remoção de poluentes do ar. Além disso, é eficaz na adsorção de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , sendo também utilizado em cosméticos para absorver umidade e óleo na pele ou cabelo, além de servir como absorvente, agente de volume e agente opacificante (Bae et al., 2022).

Ejiofor et al. (2021) avaliaram o efeito da suplementação com *Saccharomyces cerevisiae*, bentonita e caulim sobre os impactos de dietas contaminadas por mofo em frangos de corte, com ênfase nos parâmetros hematológicos e bioquímicos. No estudo, cem aves com três semanas de idade foram distribuídas em cinco tratamentos dietéticos, incluindo uma dieta basal (controle), uma dieta contaminada com mofo, e três dietas contaminadas suplementadas com os diferentes adsorventes. As rações

contaminadas apresentaram altos níveis de aflatoxinas e desoxinivalenol, além de elevada presença de fungos dos gêneros *Penicillium* e *Aspergillus*. Como evidenciado na Figura 2.2-A, a dieta contaminada reduziu significativamente o volume globular, a hemoglobina e a contagem de hemácias, enquanto aumentou a contagem de leucócitos, caracterizando anemia e resposta inflamatória. Por outro lado, os grupos suplementados com bentonita ou caulim apresentaram recuperação parcial ou total desses parâmetros. Já na Figura 2.2-B, observam-se aumentos nas atividades das enzimas AST, ALT, fosfatase alcalina e nos níveis de colesterol em aves que consumiram ração contaminada, enquanto a suplementação com argilas reduziu esses marcadores, indicando efeito protetor hepático. Esses resultados reforçam a eficácia das argilas e silicatos, especialmente a bentonita e o caulim, na atenuação dos efeitos tóxicos de micotoxinas em frangos de corte.

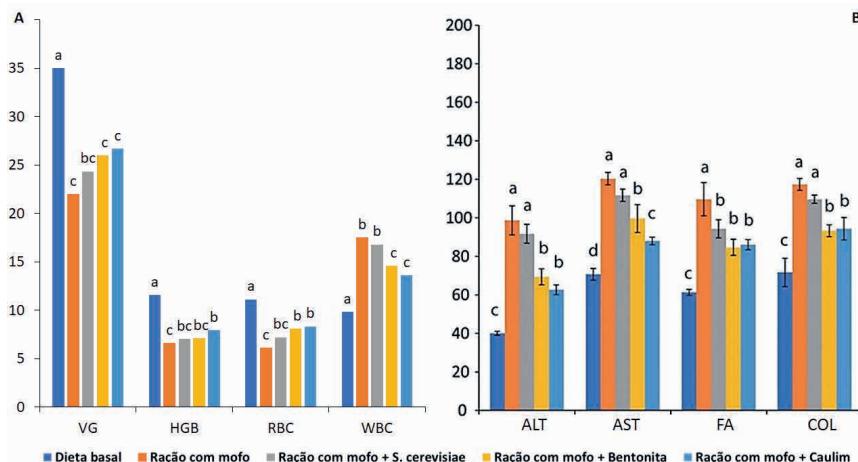


Figura 2.2. Efeitos da inclusão de adsorventes em dietas contaminadas com mofo sobre parâmetros hematológicos e bioquímicos de frangos de corte. A: volume globular (VG, %), hemoglobina (HGB, g/dL), hemácias (RBC,  $\times 10^6/\mu\text{L}$ ) e leucócitos totais (WBC,  $\times 10^3/\mu\text{L}$ ) de frangos alimentados com dietas basal (controle), contaminada com mofo ou contaminadas suplementadas com *Saccharomyces cerevisiae*, bentonita ou caulim. B: atividades séricas de aspartato aminotransferase (AST, U/L), alanina aminotransferase (ALT, U/L), fosfatase alcalina (FA, U/L) e níveis de colesterol total (COL, mg/dL) dos mesmos grupos experimentais. As diferenças significativas entre tratamentos foram indicadas por letras diferentes (a–c). Adaptado de Ejiofor et al. (2021).

## 2.4.2. Carvão ativado

O carvão vegetal possui excelentes propriedades adsorventes devido à sua porosidade e grande área superficial. Isso lhe permite remover poluentes como gases nocivos, metais pesados, micotoxinas, pesticidas e outros produtos químicos de soluções aquosas (Hamad et al., 2022). O carvão ativado (CA), um adsorvente altamente poroso e insolúvel, é produzido a partir da combustão incompleta de resíduos agrícolas em um ambiente controlado de oxigênio. Caracteriza-se por sua enorme capacidade de absorção e propriedades bacteriostáticas, graças à sua ampla área interna. Isso o torna eficaz na adsorção de toxinas, gases, antinutrientes e bactérias em rações contaminadas para gado, em esterco e solo, poluentes em efluentes industriais e na filtragem de água potável (Ohanaka et al., 2021).

Segundo Hassan et al. (2023), o mecanismo de ação do CA sugere que ele pode ser utilizado como aditivo alimentar para neutralizar a toxicidade do desoxinivalenol (DON). Desta forma o CA reduziu a resposta inflamatória do DON em frangos de corte, promovendo a melhoria do desempenho de crescimento, da capacidade antioxidante, da imunidade, dos perfis bioquímicos séricos e das lesões histopatológicas.

O carvão ativado atua como um adsorvente eficaz devido à sua alta área de superfície e propriedades hidrofóbicas. A aflatoxina B1, que possui baixa solubilidade em água e uma preferência por superfícies hidrofóbicas, se liga fortemente ao CA por meio de interações hidrofóbicas. Isso permite que o CA se ligue e neutralize a aflatoxina B1, reduzindo sua toxicidade na alimentação animal. Em resumo, o CA adsorve a aflatoxina B1 através de ligações hidrofóbicas, diminuindo sua presença e efeito tóxico nas rações animais (Çakir et al., 2023).

Hassan et al. (2023) avaliaram o uso do carvão ativado (CA), isoladamente ou associado à luteolina (LUT), na mitigação dos efeitos da deoxinivalenol (DON) em frangos de corte. No experimento, 180 aves foram distribuídas em cinco grupos, incluindo dietas com DON (10 mg/kg), com ou sem suplementação de LUT (350 mg/kg) e CA (200 mg/kg). A contaminação por DON comprometeu o ganho de peso, o consumo de ração, a conversão alimentar e a imunidade das aves, além de gerar resíduos da micotoxina no fígado (Figura 2.3). A suplementação com CA melhorou o desempenho zootécnico, reduziu os efeitos imunossupressores e diminuiu os resíduos hepáticos de DON em até 38%. Esses resultados reforçam o potencial do CA como adsorvente eficaz na desintoxicação de dietas contaminadas por DON em frangos de corte.

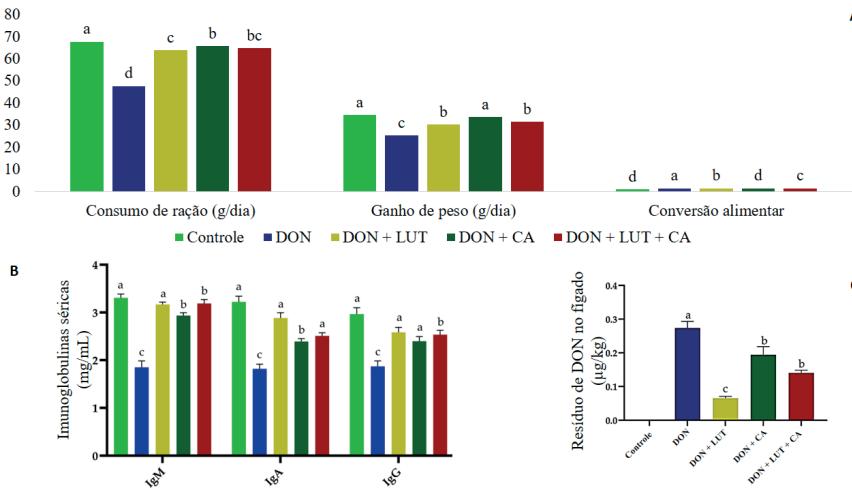


Figura 2.3. Efeito de CA e LUT sobre o desempenho do crescimento de frangos de corte (A), nos danos induzidos por DON nas imunoglobulinas séricas (B) e no resíduos de DON no fígado (C). As diferenças significativas foram identificadas com letras diferentes de a a d. Adaptado de Hassan et al. (2023).

#### 2.4.3. Parede celular de levedura

Adsorventes orgânicos derivados de componentes da parede celular de microrganismos foram desenvolvidos como aditivos adsorventes (AA) de segunda geração. A cepa de levedura *Saccharomyces cerevisiae* é comumente usada para esse fim, utilizando principalmente  $\beta$ -D-glucano e mananoligossacáideos de sua parede celular. Esses componentes se ligam a micotoxinas por meio de ligações de hidrogênio e forças de van der Waals (Kudupojé et al., 2022).

A eficácia dos AA orgânicos varia conforme a cepa microbiana e o processamento, e as diferenças na pureza do produto e na concentração suplementar podem influenciar sua eficácia, já que a afinidade com as micotoxinas é reversível e saturável. Comparados aos adsorventes inorgânicos, os produtos derivados da parede celular de levedura (YCW) demonstram uma maior capacidade de ligação a um amplo espectro de micotoxinas, como DON, ZEN, OTA e AFB1 (Weaver et al., 2020). Estudos in vitro e in vivo, utilizando aves, evidenciam o alívio dos efeitos negativos das micotoxinas. Uma vantagem adicional dos produtos YCW é a sua biodegradabilidade, evitando a acumulação de complexos ligantes de toxinas no meio ambiente após a excreção (Vila-Donat et al., 2018).

Weaver et al. (2020) avaliaram o efeito de extrato de parede celular de levedura (YCWE) em dietas para frangos de corte contaminadas com micotoxinas. Para isso, utilizaram pintos Cobb machos de um dia alocados aleatoriamente em dietas de controle (CON); dieta contendo micotoxinas (MT); CON + 0,2% YCWE; MT + 0,025% YCWE; MT + 0,05% YCWE; MT + 0,1% YCWE; MT + 0,2% YCWE; e MT + 0,4% YCWE. Na Figura 2.4-A, observa-se que a conversão alimentar aos 42 dias apresentou resposta quadrática, com o grupo MT + 0,20% YCWE exibindo melhor eficiência. O Fator Europeu de Eficiência de Produção foi significativamente menor no grupo MT em relação ao controle, mas a suplementação com 0,20% de YCWE restaurou o EPEF a níveis semelhantes ao controle, indicando melhora na eficiência produtiva durante o desafio por micotoxinas (Figura 2.4-B). Na Figura 2.4-C, destaca-se uma resposta linear na altura das vilosidades duodenais aos 21 dias, com maior altura observada no grupo MT + 0,40% YCWE. Aos 42 dias, o tratamento MT + 0,20% YCWE resultou em redução significativa da profundidade das criptas duodenais (Figura 2.4-D), refletindo melhora na integridade e funcionalidade da mucosa intestinal. Assim, o YCWE pode ser uma abordagem eficaz para mitigar os efeitos negativos das micotoxinas em aves.

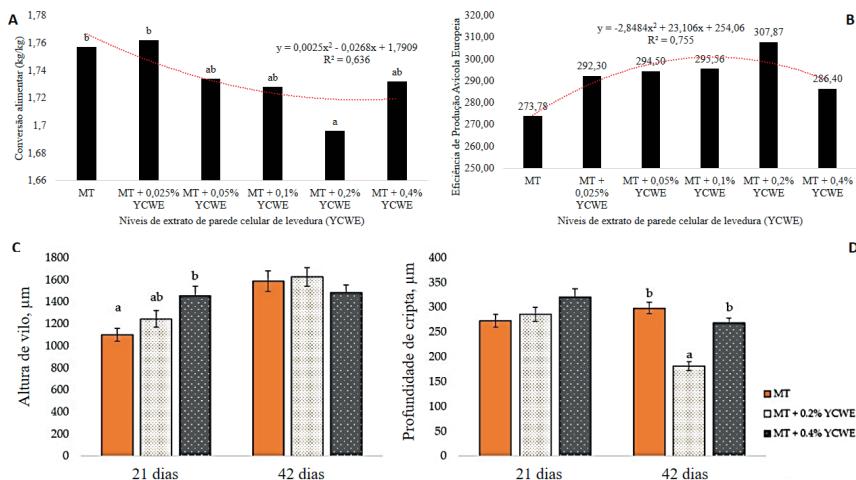


Figura 2.4. Efeito de um desafio natural com múltiplas micotoxinas e um extrato de parede celular de levedura (YCWE) sobre desempenho e saúde intestinal de frangos de corte. A: Conversão alimentar; B: Eficiência de produção avícola europeia; C: Altura de vilos; D: Profundidade de cripta. Letras diferentes acima das barras indicam diferença significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). Adaptado de Weaver et al. (2020).

## 2.5. TOXICIDADE IN VITRO DE ADSORVENTES MINERAIS

A toxicidade *in vitro* de adsorventes minerais tem sido amplamente estudada. Devido ao potencial dos adsorventes minerais de entrar no corpo através de diferentes rotas, incluindo inalação, ingestão e penetração dérmica, linhas celulares como queratinócitos, macrófagos alveolares, eritrócitos, endoteliais, hepatócitos, epiteliais e fibroblastos têm sido usadas para investigar os efeitos tóxicos de adsorventes minerais. Estas linhas celulares representam os principais órgãos onde as partículas adsorventes são localizadas e acumuladas quando humanos e animais são expostos a partículas de argila através de diferentes rotas (Maisanaba et al., 2015).

## 2.6. TOXICIDADE IN VIVO DE ADSORVENTES MINERAIS

Vários estudos demonstraram que os adsorventes minerais podem aliviar os efeitos negativos induzidos pelas micotoxinas em animais de criação. Diminuição significativa nos hormônios triiodotironina e tiroxina também foi observada em aves alimentadas com 2,5–5% de bentonita e 1 mg/kg de AFB 1 (Eraslan et al. 2005). A adição de 4 g/kg de aluminossilicatos à dieta de leitões fêmeas desmamadas contaminadas com 8,6 mg DON/kg e 1,2 mg ZEN/kg diminuiu significativamente o consumo de ração e a concentração sérica de colesterol (Donato et al., 2022). Muitos dos estudos que relataram ações protetoras de adsorventes minerais contra efeitos tóxicos de micotoxinas *in vivo* concentraram-se principalmente em parâmetros zootécnicos, como consumo de ração e ganho de peso corporal, sem investigar os potenciais efeitos negativos (indesejáveis) dos ligantes minerais.

A micotoxina é um problema comum em estudos *in vitro* e *in vivo*, pois trabalhar com proporções inadequadas pode favorecer ou desfavorecer os resultados de adsorção de micotoxinas. Os experimentos *in vivo* são o melhor método para testar a eficácia dos adsorventes e permitir uma compreensão mais profunda de como os produtos funcionam em animais.

## 2.7. BENEFÍCIOS DOS ADITIVOS ADSORVENTES

Os aditivos adsorventes desempenham um papel crucial na produção animal moderna, pois ajudam a mitigar os efeitos de contaminantes, como micotoxinas, que podem comprometer a saúde dos animais. Além de protegerem contra toxinas, esses aditivos melhoram a digestibilidade dos nutrientes e promovem um ambiente intestinal mais saudável. Com isso, há uma melhora na saúde geral e na produtividade dos rebanhos, resultando em um crescimento mais eficiente, maior resistência a doenças e melhor qualidade dos produtos de origem animal, como carne, leite e ovos (Donato et al., 2022). A utilização desses aditivos é, portanto, uma estratégia eficaz para aumentar a sustentabilidade e rentabilidade na produção animal.

## 2.8. ESCOLHA DE ADITIVOS ADSORVENTES ADEQUADOS

- **Especificidade e eficácia:** diferentes adsorventes têm eficácia variada para diferentes toxinas. É importante selecionar um adsorvente adequado para o tipo de contaminação predominante.
- **Compatibilidade com a dieta:** Alguns adsorventes podem interferir na digestão ou na absorção de nutrientes essenciais, por isso é crucial escolher um produto que não prejudique a nutrição dos animais.
- **Segurança e Regulamentação:** Devem ser seguros para os animais e estar em conformidade com as regulamentações dos órgãos de controle sanitário e ambiental.

## 2.8. MECANISMOS DE AÇÃO

As micotoxinas representam um importante risco à saúde animal, devido as diversas implicações tóxicas que podem desencadear. Entre os principais grupos de micotoxinas destacam-se as aflatoxinas, fumonisinas e ocratoxinas, cujos mecanismos de ação podem atuar de maneira distinta, promovendo imunotoxicidade, estresse oxidativo, genotoxicidade, neurotoxicidade, nefrototoxicidade, hepatotoxicidade, inibição enzimática e impactos no desenvolvimento fetal (Figura 2.5).

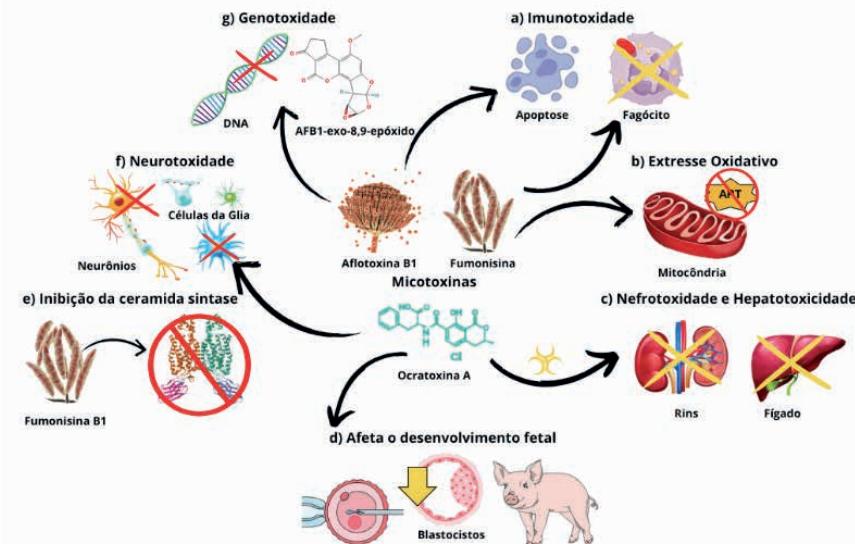


Figura 2.5. Mecanismos de ação das Micotoxinas.

## 2.8.1. Imunotoxicidade

O mecanismo de imunotoxicidade da AFB1 está principalmente associado ao estresse oxidativo, à apoptose e às vias de sinalização relacionadas à imunidade (Sun et al., 2022). As fumonisinas também suprimem a resposta imunológica em não-ruminantes, prejudicando a atividade de macrófagos e linfócitos, o que torna os animais mais suscetíveis a infecções (Zhu e Wang, 2022).

Em um estudo com equinos, Braga et al. (2021) afirmam que a AFB1 aumentou as concentrações de leucócitos, especialmente de neutrófilos maduros, sugerindo uma maior resposta imunológica a dietas tóxicas. Além disso, foi observada uma atividade sérica mais elevada de CK (creatina quinase) e ALP (fosfatase alcalina) em cavalos alimentados com uma dieta contendo AFB1 a 100 µg/kg, possivelmente devido à hepatotoxicidade das micotoxinas na ração.

In vivo, estudos anteriores focaram principalmente nos mecanismos imunossupressores da AFB1, demonstrando que a suplementação alimentar pode mitigar esses efeitos. No entanto, existem poucos relatos sobre o mecanismo exato pelo qual a AFB1 induz imunossupressão in vivo. Um exemplo é um estudo que relata que a AFB1 promove a secreção de IL-10 e a polarização de macrófagos alveolares do fenótipo M1 (imunoestimulante) para M2 (imunossupressor), induzindo imunossupressão em camundongos após 21 e 28 dias de exposição à AFB1. Além disso, foi demonstrado que a AFB1 inibe a proliferação de linfócitos induzida por anti-CD3 e a produção de IL-2 através do estresse oxidativo mediado pela via de sinalização ERK1/2 (Sun et al., 2022).

A ocratoxina A também tem efeitos imunotóxicos. Ela suprime a função imune ao reduzir a proliferação de linfócitos e a produção de citocinas, além de comprometer a atividade fagocítica dos macrófagos. Isso torna o organismo mais suscetível a infecções e doenças.

Enfim, perfis transcricionais sugerem que os sinais do receptor ativado por proliferador de peroxissoma (PPAR) e da proteína quinase ativada por mitógeno (MAPK) também podem estar envolvidos na imunossupressão induzida por AFB1, embora mais estudos sejam necessários para confirmar essa hipótese (Choi et al., 2020).

## 2.8.2. Extresse Oxidativo

A apoptose, também conhecida como morte celular programada, que está intimamente ligada ao estresse oxidativo. Por exemplo, um estudo recente indicou que a contaminação por AFB1 induz apoptose mediada por caspases dependentes de reativas totais de oxigênio (ROS) em células humanas normais, desencadeando

a maquinaria de morte celular programada e prejudicando subsequentemente o sistema imunológico (Dey e Kang, 2020). In vitro, a AFB1 aumenta as espécies ROS e a oxidação de biomoléculas, induzindo estresse oxidativo e promovendo a imunossupressão (Frangiamone et al., 2024).

A disfunção mitocondrial é outro mecanismo significativo, com a fumonisina B1 (FB1) reduzindo a respiração mitocondrial e a produção de ATP, resultando em estresse oxidativo. Esse estresse danifica lipídios, proteínas e DNA, impactando o crescimento e o desenvolvimento dos animais (Li et al., 2020). Em aves, suínos e equinos, a exposição às fumonisinas reduz a eficiência alimentar, o ganho de peso e a conversão alimentar, afetando especialmente animais jovens (CONTRAM, 2022).

### 2.8.3. Nefrotoxicidade e Hepatotoxicidade

O principal mecanismo de ação da ocratoxina A (OTA) é conhecido por causar danos renais, sendo um potente nefrotóxico (Khoi et al., 2021). A OTA se acumula nos rins, onde interfere na função celular ao inibir a fosforilação oxidativa nas mitocôndrias, resultando em diminuição da produção de ATP e causando estresse oxidativo. A produção aumentada de espécies reativas de oxigênio (ROS) leva a danos oxidativos em lipídios, proteínas e DNA, culminando em apoptose e necrose das células renais (Benkerroum, 2020).

Nos suínos, as fumonisinas provocam hepatotoxicidade e nefrotoxicidade, com a FB1 induzindo apoptose e necrose no fígado e lesões renais, além de causar edema pulmonar devido à disfunção do metabolismo dos esfingolipídios nas células endoteliais pulmonares (Yu e Pedrozo, 2023). Além disso, a OTA, também, exerce hepatotoxicidade ao induzir estresse oxidativo e inflamação, resultando em danos celulares e morte celular programada.

Além disso, a OTA interfere no metabolismo celular ao inibir a síntese proteica. Ela compete com a fenilalanina pela ligação à fenilalanina-tRNA ligase, resultando na inibição da síntese de proteínas (Khoi et al., 2021). Esse mecanismo é particularmente prejudicial para células de alta taxa de renovação, como as do epitélio renal.

### 2.8.4. Afeta o desenvolvimento embrionário

A ocratoxina A (OTA) possui propriedades teratogênicas, capazes de afetar significativamente o desenvolvimento fetal. Em um estudo realizado por Woo et al. (2024) utilizando fertilização in vitro com embriões de suínos, foi demonstrado que a exposição à OTA durante a gestação resulta em uma notável redução na competência do desenvolvimento embrionário precoce. Esse estudo revelou que a OTA compromete processos críticos do desenvolvimento, como a divisão celular e a viabilidade embrionária, levando a uma menor taxa de blastocistos viáveis.

Além disso, os embriões expostos à OTA apresentaram anomalias morfológicas e uma maior incidência de apoptose, indicando que a micotoxina pode interferir nas vias de sinalização celular e nos mecanismos de reparo do DNA, essenciais para o desenvolvimento saudável (Ülgler et al., 2020). Essas descobertas sublinham a importância de controlar rigorosamente a presença de OTA na alimentação animal, especialmente durante períodos críticos como a gestação, para evitar efeitos adversos no desenvolvimento fetal e na saúde reprodutiva dos animais.

### 2.8.5. Inibição da ceramida sintase

As fumonisinas, especialmente a FB1, afetam significativamente os não-ruminantes, através de vários mecanismos celulares e moleculares. O principal mecanismo é a inibição da ceramida sintase, uma enzima crucial na biossíntese dos esfingolipídios. A inibição dessa enzima leva à acumulação de esfinganina e esfingosina, perturbando a homeostase celular e causando disfunções metabólicas e sinalização celular anormal (Gerre et al., 2022).

### 2.8.6. Neurotoxicidade

A exposição à ocratoxina A também afeta o sistema nervoso central. Estudos indicam que a OTA pode atravessar a barreira hematoencefálica e causar neurotoxicidade, incluindo danos aos neurônios e glia, o que pode resultar em disfunção cognitiva e comportamental (Nourbakhsh et al., 2021).

### 2.8.7. Genotoxicidade

Os efeitos genotóxicos das micotoxinas representam um mecanismo significativo de sua toxicidade. Segundo Benkerroum (2020), essas toxinas podem causar danos diretos ao DNA, incluindo quebras de fita simples e dupla, formação de adutos de DNA e aneuploidia. Tais danos podem desencadear processos de mutagênese e carcinogênese, aumentando o risco de desenvolvimento de câncer. A genotoxicidade das micotoxinas é atribuída principalmente ao metabólito intermediário AFB1-exo-8,9-epóxido (AFBO), um composto altamente reativo formado a partir da bioativação da aflatoxina B1 (AFB1) (Benkerroum, 2019). Este epóxido se liga covalentemente ao DNA, formando adutos que, se não forem reparados adequadamente, podem resultar em mutações permanentes e instabilidade genômica.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

É fundamental que os profissionais envolvidos na produção de proteína animal estejam cientes da presença e dos efeitos das micotoxinas, devido à sua ampla distribuição global em matérias-primas destinadas à alimentação animal. A exposição a alimentos ou rações contaminadas por micotoxinas pode causar sérios riscos à saúde animal, resultando em perdas de produção e prejuízos econômicos. As micotoxinas têm sido associadas a uma série de efeitos adversos, incluindo alterações no perfil metabólico de enzimas hepáticas protetoras, imunossupressão, distúrbios metabólicos e patológicos, como lesões hepáticas e neurológicas.

Além disso, impactam negativamente o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais, levando a uma diminuição na ingestão de alimentos, ganho de peso, eficiência alimentar, produção de leite e taxa de concepção, bem como atrasos na reprodução, abortos e infertilidade. Portanto, é crucial implementar medidas para prevenir, remover ou reduzir a presença de micotoxinas nos alimentos destinados aos animais, não apenas para evitar perdas econômicas na atividade pecuária, mas também para mitigar o risco de contaminação humana através do consumo de produtos de origem animal contaminados por micotoxinas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJMAL, Maryam et al. Comprehensive review of aflatoxin contamination, impact on health and food security, and management strategies in Pakistan. *Toxins*, v. 14, n. 12, p. 845, 2022.
- ALFONSO, Ruiz-Arias Miguel et al. Genotoxic effects of the ochratoxin A (OTA), its main metabolite (OTa) per se and in combination with fumonisin B1 in HepG2 cells and human lymphocytes. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, v. 878, p. 503-482, 2022.
- ANDREATTA, I.; LOVATTO, P. A.; HAUSCHILD, L. et al. Alimentação de leitoas pré-púberes com dietas contendo zearalenona. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 60, n. 5, p. 1227-1233, 2008.
- ARELLANO, J. L.; ROSAS, I. G. Uso de organoaluminosilicato para reduzir o efeito tóxico de mistura de aflatoxinas e zearalenona na produção de ovo. In: ATUALIDADES EM MICOTOXINAS E ARMAZENAGEM QUALITATIVA DE GRÃOS II, 2008, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: [s.n.], 2008. p. 351-355.
- AWUCHI, CG et al. Mycotoxins Affecting Animals, Foods, Humans, and Plants: Types, Occurrence, Toxicities, Action Mechanisms, Prevention, and Detoxification Strategies—A Revisit. *Foods*, v. 10(6), p.1279, 2021.

BAE, Min A.; KIM, Kyeong Ho; BAEK, Jae Ho. Effect of Inorganic Additives and Sintering Temperature on Adsorbents. **Korean Journal of Metals and Materials**, v. 60, n. 3, p. 244-250, 2022.

BALLÓ, András et al. Estrogenic and non-estrogenic disruptor effect of zearalenone on male reproduction: a review. **International journal of molecular sciences**, v. 24, n. 2, p. 1578, 2023.

BATTILANI, Paola et al. Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 24328, 2016.

BENKERROUM, N. Chronic and acute toxicities of aflatoxins: Mechanisms of action. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 2, p. 423, 2020.

BENKERROUM, N. Chronic and acute toxicities of aflatoxins: Mechanisms of action. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 2, p. 423, 2020.

BENKERROUM, N. Retrospective and prospective look at aflatoxin research and development from a practical standpoint. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v.16, p.3633, 2019.

BRETAS, A. A. Inclusão de adsorventes de micotoxinas para leitões. **Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia**, v. 13, n. 1, p. 80-95, 2018.

BULLERMAN, L. B. Significance of Mycotoxins to Food Safety and Human Health. **Journal of Food Protection**, v. 42, n. 1, p. 65-86, 9 jan. 1979.

ÇAKIR, C.; TURAN, E.; ŞİMŞEK, A. The effects of bentonite and activated charcoal treatments on aflatoxin content (AFB1, AFB2, AFG1, and AFG2) and physicochemical characteristics of hazelnut milk. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 17, n. 5, p. 5256-5267, 2023.

CAO, Weiya et al. Aflatoxin B1: Metabolism, toxicology, and its involvement in oxidative stress and cancer development. **Toxicology Mechanisms and Methods**, v. 32, n. 6, p. 395-419, 2022.

CÉSARBRAGA, Auro et al. Effect of aflatoxin B1 on digestibility and blood parameters in horses. **Ciência Animal Brasileira**, v. 22, p. e-63385, 2021.

CHANG, Juan et al. Compound probiotics alleviating aflatoxin B1 and zearalenone toxic effects on broiler production performance and gut microbiota. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 194, p. 110420, 2020.

CHEN, Jia et al. Fumonisin B1: mechanisms of toxicity and biological detoxification progress in animals. **Food and Chemical Toxicology**, v. 149, p. 111977, Mar. 2021.

CHOI, So-Y. et al. Transcriptomic alterations induced by aflatoxin B1 and ochratoxin A in LMH cell line. **Poultry science**, v. 99, n. 11, p. 5265-5274, 2020.

CONTAM - PANEL ON CONTAMINANTS IN THE FOOD CHAIN. Assessment of information as regards the toxicity of fumonisins for pigs, poultry and horses. **EFSA Journal**, v. 20, n. 8, p. e07534, 2022.

DAI, Chongshan et al. T-2 toxin and its cardiotoxicity: New insights on the molecular mechanisms and therapeutic implications. **Food and Chemical Toxicology**, v. 167, p. 113262, 2022.

DAMATO, Anna et al. Comprehensive review on the interactions of clay minerals with animal physiology and production. **Frontiers in veterinary science**, v. 9, p. 889612, 2022.

DEY, D. K.; KANG, S. C. Aflatoxin B1 induces reactive oxygen species-dependent caspase-mediated apoptosis in normal human cells, inhibits Allium cepa root cell division, and triggers inflammatory response in zebrafish larvae. **Science of the Total Environment**, v. 737, p. 139704, 2020.

DEY, Debasish Kumar et al. Mycotoxins in food and feed: toxicity, preventive challenges, and advanced detection techniques for associated diseases. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 63, n. 27, p. 8489-8510, 2023.

EJIOFOR, T; MGBEAHURUIKE, A.C; OJIAKO, C; USHIE, A.M; NWOKO, E.I; ONOJA, I.R; DADA, T; MWANZA, M; AND KARLSSON, M. Saccharomyces cerevisiae, bentonite, and kaolin as adsorbents for reducing the adverse impacts of mycotoxin contaminated feed on broiler histopathology and hemato-biochemical changes. **Veterinary world**, v.14, 2021.

EKWOMADU, T. I.; AKINOLA, S. A.; MWANZA, M. Fusarium mycotoxins, their metabolites (free, emerging, and masked), food safety concerns, and health impacts. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 22, p. 11741, 2021.

ELLIOTT, C. T.; CONNOLLY, L.; KOLAWOLE, O. Potential adverse effects on animal health and performance caused by the addition of mineral adsorbents to feeds to reduce mycotoxin exposure. **Mycotoxin Research**, v. 36, n. 1, p. 115-126, 2020.

ERASLAN, G.O., ESSIZ, D.I., AKDOGAN, M.E., SAHINDOKUYUCU F.A., ALTINTAS L.E., HISMIOGULLARI, S.E. Efeitos da aflatoxina dietética e da bentonita sódica sobre alguns hormônios em frangos de corte. **Bull Vet Inst Pulawy**; 49:93-6. 2005.

FRANGIAMONE, M. et al. In vitro and in vivo assessment of AFB1 and OTA toxic effects and the beneficial role of bioactive compounds. A systematic review. **Food Chemistry**, v. 447, p. 138909, 2024.

GAO, Dengying et al. Immunotoxicity and uterine transcriptome analysis of the effect of zearalenone (ZEA) in sows during the embryo attachment period. **Toxicology Letters**, v. 357, p. 33-42, 2022.

GAO, Z. et al. The natural occurrence, toxicity mechanisms and management strategies of Fumonisin B1: A review. Environmental Pollution. **Elsevier Ltd**, 1 mar. 2023.

GIACOMINI, L.; FICK, F. A.; DILKIN, P. et al. Desempenho e plumagem de frangos de corte intoxicados por aflatoxinas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 234-239, 2006.

GUERRE, P.; MATARD-MANN, M. COLLÉN, P. N. Targeted sphingolipid analysis in chickens suggests different mechanisms of fumonisin toxicity in kidney, lung, and brain. **Food and Chemical Toxicology**, v. 170, p. 113467, 2022.

GURIKAR, Chennappa et al. Impact of mycotoxins and their metabolites associated with food grains. **Grain e Oil Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2023.

HAMAD, G. M. et al. Evaluation of the Effectiveness of Charcoal, Lactobacillus rhamnosus, and Saccharomyces cerevisiae as Aflatoxin Adsorbents in Chocolate. **Toxins**, v. 15, n. 1, p. 21, 2022.

HASSAN, M. et al. Ameliorative Effects of Luteolin and Activated Charcoal on Growth Performance, Immunity Function, and Antioxidant Capacity in Broiler Chickens Exposed to Deoxynivalenol. **Toxins**, v. 15, n. 8, p. 478, 2023.

HASSAN, M; WANG, Y; RAJPUT, S.A; SHAUKAT, A; YANG, P; FAROOQ, M.Z; CHENG, Q; ALI, M; M.I, X; AN, Y AND QI, D. Ameliorative Effects of Luteolin and Activated Charcoal on Growth Performance, Immunity Function, and Antioxidant Capacity in Broiler Chickens Exposed to Deoxynivalenol. **Toxins**, 15,478, 2023.

HUA, Zhenglai et al. Contamination of aflatoxins induces severe hepatotoxicity through multiple mechanisms. **Frontiers in Pharmacology**, v. 11, p. 605823, 2021.

JIANG, Yun et al. Aflatoxin in dairy cows: toxicity, occurrence in feedstuffs and milk and dietary mitigation strategies. **Toxins**, v. 13, n. 4, p. 283, 2021.

JING, Siyuan et al. Toxicity of zearalenone and its nutritional intervention by natural products. **Food e Function**, v. 13, n. 20, p. 10374-10400, 2022.

KHOI, C. S. et al. Ochratoxin A-induced nephrotoxicity: Up-to-date evidence. **International journal of molecular sciences**, v. 22, n. 20, p. 11237, 2021.

KNUTSEN, HK. et al., Riscos para a saúde animal relacionados com a presença de zearalenona e suas formas modificadas nos alimentos para animais. **EFSA J**, v.15, p.4851, 2017.

KOLAWOLE, Oluwatobi et al. The efficacy of additives for the mitigation of aflatoxins in animal feed: a systematic review and network meta-analysis. **Toxins**, v. 14, n. 10, p. 707, 2022.

KUDUPOJE, M. B.; MALATHI, V.; YIANNIKOURIS, A. Impact of a natural fusarial multi-mycotoxin challenge on broiler chickens and mitigation properties provided by a yeast cell wall extract and a postbiotic yeast cell wall-based blend. **Toxins**, v. 14, n. 5, p. 315, 2022.

KUMARI, N.; MOHAN, C. Basics of clay minerals and their characteristic properties. **Clay Clay Miner**, v. 24, n. 1, 2021.

LI, Shao-Ji et al. Toxicity and detoxification of T-2 toxin in poultry. **Food and Chemical Toxicology**, v. 169, p. 113392, 2022.

LUO, Ying et al. Updating techniques on controlling mycotoxins - A review. **Food Control**, v. 89, p. 123-132, 16 jan. 2018.

MAIA, Karina Milene et al. Micotoxinas e adsorventes na alimentação animal. **Ciência Animal**, v. 31, n. 4, p. 82-91, 2021.

MAISANABA, S. et al., Ágeles Jos Efeitos tóxicos de uma argila montmorilonita modificada na linha celular intestinal humana Coco-2. **Jornal de Toxicologia Aplicada**, v.34 (6), p. 714-725.2015.

NOURBAKHSH, F. et al. Neurotoxicity mechanism of Ochratoxin A. **Quality Assurance and Safety of Crops e Foods**, v. 13, n. 2, p. 34-45, 2021.

OHANAKA, A. U. C. et al. Evaluation of the physic-chemical properties of agro-wastes derived activated charcoal as a potential feed additive in poultry production. **Int'l. Journal of Agric. and Rural Dev**, v. 24, n. 1, p. 5711-5719, 2021.

Pleadin, J., Frece, J., e Markov, K. Mycotoxins in food and feed. **Advances in food and nutrition research**, v. 89, p. 297-345, 2019.

POHLAND, A. E. et al. Aflatoxicosis and Its Clinical Manifestations in Pigs. **Journal of Veterinary Science e Medical Diagnosis**, v. 9, n. 2, p. 1-8, 2020.

SALEEMI, M. Kashif et al. Toxicopathological effects of feeding aflatoxins B1 in broilers and its amelioration with indigenous mycotoxin binder. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 187, p. 109712, 2020.

SALEH, Tawfik A. Adsorption technology and surface science. In: **Science and Technology Interface**. Elsevier, p. 39-64, 2022.

SANTURIO, J. M. Micotoxinas e micotoxicoses na avicultura. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2000.

SAVI, G. D. Estratégias de prevenção e de descontaminação de fungos toxigênicos e micotoxinas em alimentos. In: GRIGOLETTO, J. C.; SILVA, D. M. (Org.). **Conhecimento, conservação e uso de fungos**. [S.l.]: [s.n.], [s.d.].

SINGH, Neha et al. Transcriptomic and proteomic insights into patulin mycotoxin-induced cancer-like phenotypes in normal intestinal epithelial cells. **Molecular and Cellular Biochemistry**, v. 477, n. 5, p. 1405-1416, 2022.

SKRZYDLEWSKI, P.; TWARUŻEK, M.; GRAJEWSKI, J. Cytotoxicity of mycotoxins and their combinations on different cell lines: a review. **Toxins**, v. 14, p. 244, 2022.

SMITH, M. C.; MADEC, S.; COTON, E.; HYMERY, N. Natural Co-Occurrence of Mycotoxins in Foods and Feeds and Their in vitro Combined Toxicological Effects. **Toxins**, v.8, p.94, 2016.

SUN, Y. et al. An update on immunotoxicity and mechanisms of action of six environmental mycotoxins. **Food and Chemical Toxicology**, v. 163, p. 112895, 2022.

SUZANNE, C., ABOUDI, M., MARLIA, M., HANAFIAH, A., JALAL, K. **Características ambientais de argila e minerais à base de argila**. Geo Eco Terra 1:155–161. 2017.

TAHIR, Muhammad A. et al. Ochratoxosis in poultry: Occurrence, environmental factors, pathological alterations and amelioration strategies. **World's Poultry Science Journal**, v. 78, n. 3, p. 727-749, 2022.

TAO, Yanfei et al. Ochratoxin A: Toxicity, oxidative stress and metabolism. **Food and Chemical Toxicology**, v. 112, p. 320-331, 2018.

TITTLEMIER, S. et al. Developments in mycotoxin analysis: an update for 2018-19. **World Mycotoxin Journal**, v. 13, n. 1, p. 3-24, 2020.

TKACZYK, A.; Jedziniak, P. Development of a multi-mycotoxin LC-MS/MS method for the determination of biomarkers in pig urine. **Mycotoxin Res**, v.37, p.169–181, 2021.

TONG, Cui et al. Selenium-rich yeast attenuates ochratoxin A-induced small intestinal injury in broiler chickens by activating the Nrf2 pathway and inhibiting NF-KB activation. **Journal of Functional Foods**, v. 66, p. 103784, 2020.

ÜLGER, T. G. et al. Genotoxic effects of mycotoxins. **Toxicon**, v. 185, p. 104-113, 2020.

VERMA, R.J. Aflatoxinas: Mecanismo de toxicidade e detecção em alimentos. **Química Alimentar e Toxicologia**, v.141, p.111380, 2020.

VILA-DONAT, P. et al. A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. **Food and Chemical Toxicology**, v. 114, p. 246-259, 2018.

WANG, Wence et al. Ochratoxin A induces liver inflammation: involvement of intestinal microbiota. **Microbiome**, v. 7, p. 1-14, 2019.

WEAVER, A. C. et al. Impact of chronic levels of naturally multi-contaminated feed with Fusarium mycotoxins on broiler chickens and evaluation of the mitigation properties of different titers of yeast cell wall extract. **Toxins**, v. 12, n. 10, p. 636, 2020.

WOO, S-M. et al. Ochratoxin A triggers endoplasmic reticulum stress through PERK/NRF2 signaling and DNA damage during early embryonic developmental competence in pigs. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 269, p. 115757, 2024.

WORASITH, N.; GOODMAN, B. A. Clay mineral products for improving environmental quality. **Applied Clay Science**, v. 242, p. 106980, 2023.

WU, Kuntan et al. The insensitive mechanism of poultry to zearalenone: A review. **Animal Nutrition**, v. 7, n. 3, p. 587-594, 2021.

YANG, Changwon; SONG, Gwonhwa; LIM, Whasun. Effects of mycotoxin-contaminated feed on farm animals. **Journal of Hazardous Materials**, v. 389, p. 122087, 2020.

YILMAZ, Seval et al. Aflatoxin B1 induced renal and cardiac damage in rats: protective effect of lycopene. **Research in Veterinary Science**, v. 119, p. 268-275, 2018.

YOUSEFI, Mohammad et al. Application of novel non-thermal physical technologies to degrade mycotoxins. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 5, p. 395, 2021.

YU, J.; PEDROSO, I. R. Mycotoxins in cereal-based products and their impacts on the health of humans, livestock animals and pets. **Toxins**, v. 15, n. 8, p. 480, 2023.

ZHAI, Shuangshuang et al. Ochratoxin A: Its impact on poultry gut health and microbiota, an overview. **Poultry Science**, v. 100, n. 5, p. 101037, 2021.

ZHU, F.; WANG, Y. Fumonisin B1 induces immunotoxicity and apoptosis of chicken splenic lymphocytes. **Frontiers in veterinary science**, v. 9, p. 898121, 2022.



## CAPÍTULO 3

# FITOGÊNICOS NA NUTRIÇÃO DE AVES

**Lucas Nunes de Melo**

**Aline Beatriz Rodrigues**

**Adiel Vieira de Lima**

**Carlos Henrique do Nascimento**

**Paloma Eduarda Lopes de Souza**

**José de Arimatéia de Freitas Pinto**

**Vania Maria Bernardo De Araújo**

**Edijanio Galdino da Silva**

**Matheus Ramalho de Lima**

**Germano Augusto Jerônimo do Nascimento**

**Ricardo Romão Guerra**

**Fernando Guilherme Perazzo Costa**

A produção avícola moderna é impulsionada por avanços significativos em nutrição, melhoramento genético, ambiência e manejo sanitário, resultando em expressivos ganhos de produtividade. Dentre os fatores nutricionais que desempenham um papel fundamental na eficiência produtiva, a utilização de aditivos alimentares destaca-se como uma estratégia essencial para otimizar o desempenho e a saúde das aves.

Durante décadas, os antibióticos promotores de crescimento (APC) foram amplamente utilizados na avicultura devido aos seus efeitos positivos na microbiota intestinal, reduzindo a incidência de doenças entéricas e promovendo melhor desempenho zootécnico (Abd El-Hack *et al.*, 2021; Swelum *et al.*, 2021). Porém, o

uso destas substâncias na alimentação animal tem sido visto como fator de risco para a saúde humana, principalmente em decorrência de contestações como a presença de resíduos desses antimicrobianos na carne e derivados, além da indução de resistência cruzada por bactérias patógenas em humanos (Seal *et al.*, 2013). Dessa forma, a proibição do uso de antibióticos na alimentação de animais não ruminantes é tendência mundial. No Brasil, vários antimicrobianos promotores de crescimento já foram proibidos de uso pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

No entanto, estudos observam que a eliminação dos antibióticos da dieta prejudica o desempenho produtivo dos animais (Puvača *et al.*, 2019; Reda *et al.*, 2020; Sheiha *et al.*, 2020; Reda *et al.*, 2021). Muitas alternativas têm sido estudadas e propostas para substituição dos APCs na alimentação animal, entretanto, ainda há poucos relatos sobre aditivos que podem no mínimo aliviar o impacto da coccidiose e enterite necrótica em frangos de corte. A coccidiose é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento da enterite necrótica em frangos de corte. O aumento na produção de muco devido à infecção causada por *Eimeria* colabora para o aumento da proliferação de *Clostridium perfringens*, agente causador da enterite necrótica, doença essa, responsável por significativo prejuízo na produção (Prescott *et al.*, 2016). Em contrapartida, a indústria avícola vem buscando alternativas que possam minimizar tais efeitos causados pela retirada dos antibióticos das rações, como a utilização de ácidos orgânicos, óleos essenciais, probióticos, prebióticos, entre outros.

Dentre essas alternativas, os aditivos fitogênicos vêm ganhando destaque devido às suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes, imunomoduladoras e anticoccidianas (Abd El-Hack *et al.*, 2021a; Darabighane e Nahashon, 2014). Aditivos fitogênicos são um grupo de promotores naturais ou promotores de crescimento não-antibióticos, derivados a partir de ervas, especiarias ou outras plantas.

Jerzsele *et al.* (2012) demonstraram que uma mistura de gengibre e carvacrol reduz lesões causadas por enterite necrótica e promovem efeitos benéficos na morfologia intestinal. Comparados aos antibióticos sintéticos ou produtos químicos inorgânicos, estes produtos derivados de plantas são seguros e menos tóxicos (Quershi, *et al.*, 2016). Além disso, estudos apontam a ocorrência de sinergismo entre os componentes dos produtos fitogênicos (Moleyar e Narasimham, 1992), demonstrando maior ação quando se usa misturas de várias substâncias fitoquímicas em relação às ações dos componentes usados separadamente.

Dessa forma, considerando o crescente interesse e a necessidade de alternativas naturais para otimizar o desempenho produtivo e a saúde intestinal das aves, esta revisão tem como objetivo explorar os compostos fitogênicos, suas principais fontes, mecanismos de ação e os impactos na nutrição das aves.

### 3.1. ADITIVOS FITOGÊNICOS

Os aditivos fitogênicos, também chamados de fitobióticos ou botânicos, são produtos de origem vegetal amplamente utilizados na nutrição animal. Esses compostos apresentam grande diversidade em termos de origem biológica, formulação, composição química e pureza (Diaz-Sanchez *et al.*, 2015). Dentre as principais fontes de extração, destacam-se os extratos vegetais, especiarias e óleos essenciais (Tiwari *et al.*, 2018).

Diversos benefícios ao desempenho e à saúde das aves têm sido atribuídos ao uso de aditivos fitogênicos na alimentação, devido às suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes, imunoestimulantes e moduladoras da microbiota intestinal (Abd El-Hack *et al.*, 2021a). A eficácia desses compostos está associada a diversos fatores, incluindo sua composição, nível de inclusão na dieta, genética das aves e a formulação da ração (Ferdous *et al.*, 2019).

Os efeitos benéficos dos fitogênicos estão principalmente associados à presença de compostos bioativos, tais como terpenoides (mono e sesquiterpenos, esteroides), compostos fenólicos (taninos), glicosídeos, alcaloides (como álcoois, aldeídos, cetonas, ésteres, éteres e lactonas), flavonoides e glucosinolatos (Wenk *et al.*, 2006). Esses compostos desempenham um papel essencial na regulação da microbiota intestinal, promovendo um ambiente mais equilibrado e inibindo microrganismos patogênicos (El-Saadony *et al.*, 2021).

Além disso, os fitogênicos são conhecidos por estimular a secreção enzimática, reduzir o estresse oxidativo, melhorar a resposta imune e exercer efeitos coccidiostáticos (Yadav *et al.*, 2016). Ainda, devido sua ação antioxidante, podem melhorar a qualidade e o tempo de armazenamento dos produtos de origem animal, aumentando a estabilidade oxidativa e prolongando a vida útil desses produtos (Gheisar *et al.*; 2015).

Os mecanismos pelos quais os fitogênicos exercem sua atividade antimicrobiana incluem a desestruturação da membrana celular dos patógenos, alterações na permeabilidade celular, inibição de enzimas bacterianas e interferência na sinalização celular dos microrganismos (Windisch e Kroismayr, 2007). O ácido tântico, por exemplo, promove a privação de ferro, essencial para o crescimento bacteriano, enquanto as saponinas interagem com esteróis na membrana celular dos microrganismos, causando sua destruição (Hashemi e Davoodi, 2011). Os compostos fenólicos, como o fenilpropano e o timol, demonstram eficácia na atividade antimicrobiana dos fitogênicos (Alagawany *et al.*, 2021). No entanto, a eficácia desses compostos contra bactérias Gram-positivas ou Gram-negativas pode variar, dependendo da disposição e características dos grupos funcionais em suas estruturas moleculares, o que influencia a interação com as membranas celulares bacterianas (Salehi *et al.*, 2018).

No que se refere à ação antioxidante, os fitogênicos demonstram capacidade de reduzir os efeitos deletérios dos radicais livres no organismo das aves. Franz *et al.* (2010) apontam que esses compostos podem elevar os níveis de enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase e a glutatona peroxidase, reduzindo o estresse oxidativo e melhorando a integridade celular. Espaciarias como pimenta vermelha, pimenta preta, pimentão, coentro e gengibre possuem atividades antioxidantes relevantes, embora seu uso possa ser limitado pelo sabor e odor marcantes (Alagawany *et al.*, 2021).

A eficácia dos fitogênicos como aditivos alimentares está diretamente relacionada a variáveis como a espécie vegetal e sua variedade, uma vez que diferentes plantas possuem concentrações variáveis de compostos bioativos, influenciando seus efeitos biológicos. Além disso, as condições de cultivo, incluindo fatores como solo, clima e métodos de cultivo, podem impactar a composição química das plantas utilizadas (Huyghebaert *et al.*, 2011). Outro fator importante é o processamento e armazenamento, uma vez que métodos de extração como destilação e maceração, além de processos de estabilização e armazenamento, incluindo exposição à luz, temperatura, oxigenação e tempo, influenciam na estabilidade e eficácia dos compostos fitogênicos (Bott, 2008). Ainda, a interação com outros componentes da dieta pode afetar a biodisponibilidade e a ação dos fitogênicos, podendo potencializar ou inibir seus efeitos.

Os principais aditivos fitogênicos utilizados na nutrição avícola incluem os óleos essenciais, os quais contêm compostos bioativos como timol, carvacrol, eugenol e citral; extratos vegetais de orégano, alho, gengibre e cúrcuma; flavonoides presentes em frutas cítricas e chá-verde; saponinas extraídas de plantas como *Yucca schidigera*; e compostos fenólicos, como ácido tântico e taninos condensados (Mitsch *et al.*, 2004; Batista, 2005; Garcia *et al.*, 2007; Al-Kassie, 2009; Fernandes *et al.*, 2015). Esses extratos vegetais, especiarias e óleos essenciais apresentam efeitos sinérgicos e podem ser combinados para potencializar sua eficácia na promoção da saúde intestinal e no desempenho produtivo das aves (Koiyama *et al.*, 2014).

### 3.2. EXTRATOS VEGETAIS

Os extratos vegetais são compostos bioativos extraídos de diversas partes das plantas, como folhas, sementes, raízes e cascas, normalmente são obtidos após passarem pelo processo de desidratação e posteriormente, submetidos ao processo de Trituração. Esses compostos podem incluir flavonoides, saponinas, taninos e alcaloides, cujas propriedades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias têm mostrado efeitos positivos na nutrição e fisiologia das aves (Hashemi e Davoodi, 2011; Kamel, 2000; Fernandes *et al.*, 2015).

Tais compostos podem ter ação isolada ou em sinergia. Um estudo conduzido por Hirata (2017) demonstrou que a suplementação com extrato de chá-verde, uma fonte rica em flavonoides, apresenta potencial para melhorar o desempenho zootécnico, promovendo maior ganho de peso, além de modular de forma positiva as respostas imune celular e humoral, bem como exercer ação anti-inflamatória em frangos de corte submetidos a desafios imunológicos entre 1 e 21 dias de idade. Além disso, os flavonoides são reconhecidos por sua capacidade de modular a microbiota intestinal, promovendo a proliferação de bactérias benéficas e, consequentemente, favorecendo a digestão e a absorção de nutrientes (Xue *et al.*, 2021).

Um estudo conduzido por Chepeta *et al.* (2012), demonstrou que a suplementação da dieta com 100ppm de pó de *Yucca schidigera*, rico em saponinas, reduziu significativamente a emissão de  $\text{NH}_3$  nos dois primeiros dias de armazenamento do esterco (Figura 3.1), sem comprometer o desempenho das aves, indicando o potencial da adição. Além disso, as saponinas possuem a capacidade de estimular a secreção de mucina pelas células caliciformes (Chen *et al.*, 2016), fortalecendo a barreira intestinal e tornando-a mais resistente à colonização por patógenos.

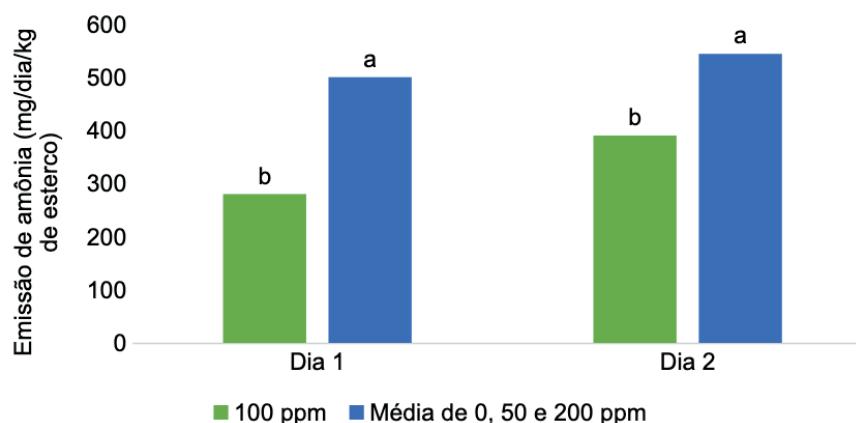


Figura 3.1. Emissão de amônia em esterco de aves suplementadas com pó de *Yucca schidigera* em diferentes níveis. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Chepeta *et al.* (2012).

Em frangos de corte de 14 a 28 dias, a suplementação com extrato de casca de romã, rico em taninos, mostrou-se eficaz na atenuação dos efeitos da enterite necrótica, promovendo melhora no desempenho zootécnico, evidenciada pelo aumento no ganho de peso corporal e redução da conversão alimentar (Figuras 3.2 e 3.3). Além disso, favoreceu a integridade da mucosa intestinal por meio da maior expressão de proteínas de junção (Figura 3.4) e reduziu significativamente marcadores inflamatórios (Figura 3.5) (Zhang *et al.*, 2024).

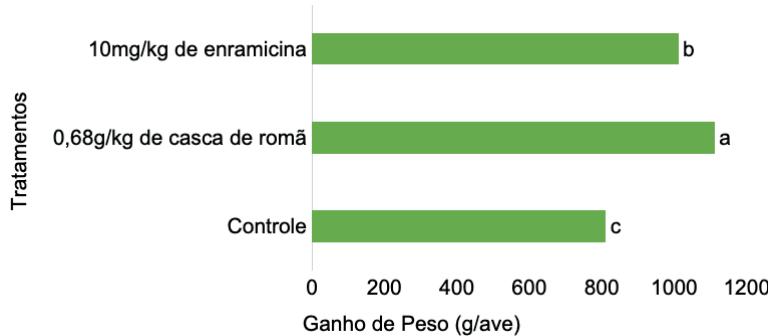


Figura 3.2. Ganho de peso de frangos de corte de 14 a 28 dias desafiados com enterite necrótica e tratados com fitogênico ou antibiótico. Letras distintas indicam diferença pelo teste de Duncan a 5%. Adaptado de Zhang et al. (2024).

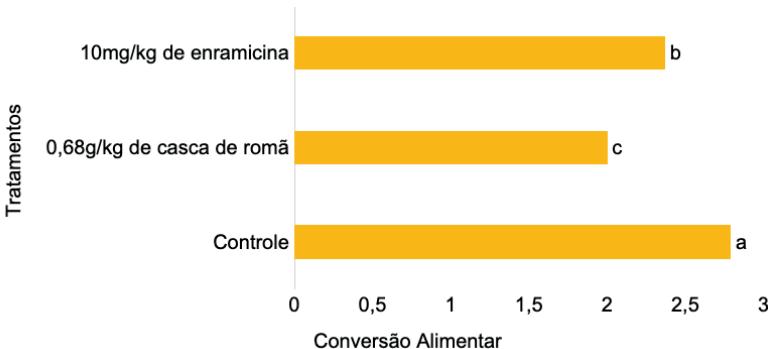


Figura 3.3. Conversão alimentar de frangos de corte de 14 a 28 dias desafiados com enterite necrótica e tratados com fitogênico ou antibiótico. Letras distintas indicam diferença pelo teste de Duncan a 5%. Adaptado de Zhang et al. (2024).

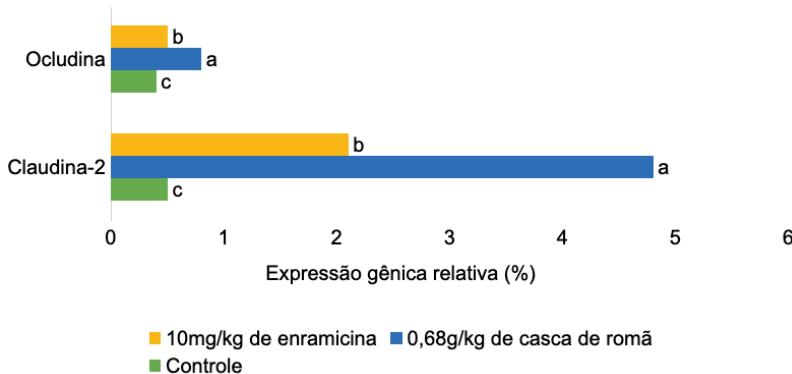


Figura 3.4. Expressão gênica das proteínas de junção Ocludina e Claudina-2 em frangos com enterite necrótica tratados com fitogênico ou antibiótico. Letras distintas indicam diferença pelo teste de Duncan a 5%. Adaptado de Zhang et al. (2024).

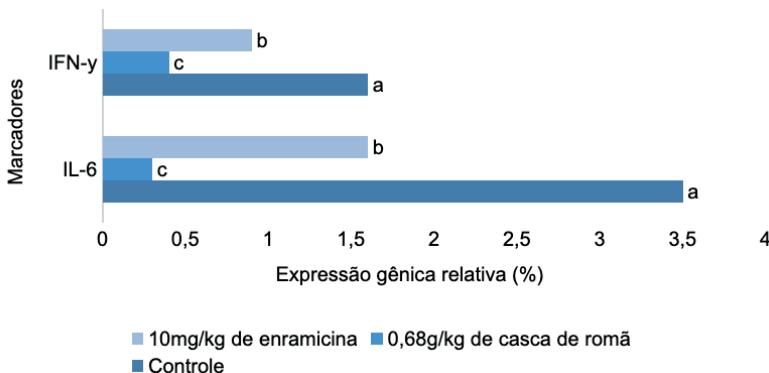


Figura 3.5. Expressão gênica dos marcadores inflamatórios IFN- $\gamma$  e IL-6 em frangos com enterite necrótica tratados com fitogênico ou antibiótico. Letras distintas indicam diferença pelo teste de Duncan a 5%. Adaptado de Zhang et al. (2024).

A interação sinérgica entre os compostos bioativos presentes nos extratos vegetais pode amplificar seus efeitos benéficos sobre a saúde e o desempenho das aves. Em estudo realizado com frangos de corte, a suplementação com uma mistura de extratos de *Achyranthes bidentata*, *Tithonia diversifolia*, *Polyscias fruticosa* e *Pseuderanthemum palatiferum* resultou em uma redução significativa na contagem de *Salmonella* fecal (Quan; Thao e Chao, 2025). Em um outro estudo Tahami, Shalaei e Hosseini (2018) observaram que a suplementação com extratos vegetais (carvacrol, cinamaldeído e oleoresina de *Capsicum*) a 100 mg/kg de ração melhorou o desempenho zootécnico de frangos de corte, aumentando o ganho de peso, a taxa de conversão alimentar e alterando positivamente o perfil lipídico, com redução de colesterol sanguíneo e enzimas hepáticas.

Além disso, os extratos vegetais ricos em compostos antioxidantes têm demonstrado efeitos benéficos na preservação da qualidade da carne e dos ovos. Por exemplo, a inclusão de extratos vegetais (*Mentha arvensis* e *Geranium thunbergii*) na dieta de poedeiras pode favorecer o desempenho produtivo, contribuir para a melhoria da qualidade dos ovos e fortalecer a resposta imune, além de auxiliar na redução dos níveis de colesterol presentes na gema (Dilawar et al 2021). Em frangos de corte, a utilização de extratos vegetais (*Melissa officinalis L.* e *Urtica dioica L.*) tem mostrado reduzir a oxidação lipídica da carne, resultando em uma carne mais saudável e saborosa, com maior tempo de conservação (Skomorucha; Sosnówka-Czajka e Muchacka, 2020).

Os extratos vegetais são aditivos promissores para a alimentação de aves, devido aos múltiplos benefícios proporcionados por seus compostos bioativos. No entanto, deve-se atentar no uso dos extratos vegetais, pois eles possuem quantidades maiores de ácidos graxos poli-insaturados, em comparação a outros aditivos alimentares, o que pode levar ao estresse oxidativo em aves (Gao et al.; 2010).

### 3.3. ESPECIARIAS

O uso das especiarias está profundamente relacionado à história da humanidade, sendo empregadas desde tempos antigos com fins medicinais, como recuperar a saúde, prolongar a juventude e evitar doenças (Franz et al., 2010). Seu efeito antioxidante está associado à presença de compostos fenólicos (Bracco et al., 1981), os quais atuam como sequestrantes de radicais livres, contribuindo para a redução do risco de doenças crônicas (Karre et al., 2013).

Na alimentação animal, as especiarias têm se destacado por serem naturais, livres de resíduos, de fácil acesso e conterem compostos bioativos com propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anti-inflamatórias e anticancerígenas (Munglang e Vidyarthi, 2019; Qaid et al., 2021).

Dentre as especiarias mais estudadas na nutrição de frangos de corte, destaca-se o pó de pimenta, que tem sido utilizado como aditivo alimentar e demonstrado diversos efeitos positivos (Silva et al., 2011). Liu et al. (2021) descrevem que a inclusão desse aditivo na dieta pode contribuir para aprimorar o desempenho zootécnico (Figura 3.6), a digestibilidade de nutrientes e atividades de enzimas digestivas (Figura 3.7), além de reduzir a variação do pH na carne das aves abatidas (Figura 3.8). Esses efeitos benéficos são atribuídos principalmente à capsaicina, composto ativo da pimenta, que apresenta propriedades antimicrobianas e elevado teor de vitamina C, auxiliando na atenuação do estresse térmico nas aves (Abd el-hack et al., 2018).

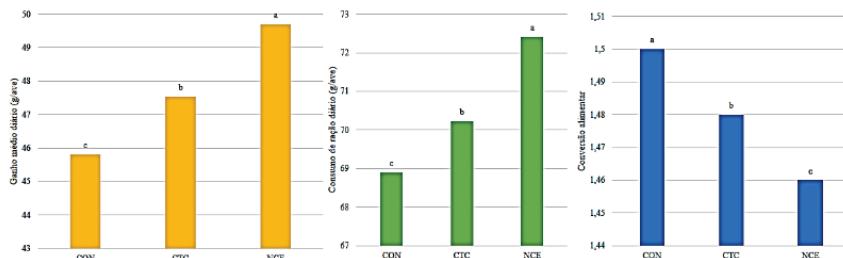


Figura 3.6. Desempenho de frangos de corte suplementados com pó de pimenta ou antibiótico. CON: Dieta basal; CTC: dieta basal + 75mg/kg de Clortetraciclina;

NCE: dieta basal + 80mg/kg de Extrato natural de capsaicina. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Liu et al. (2021).

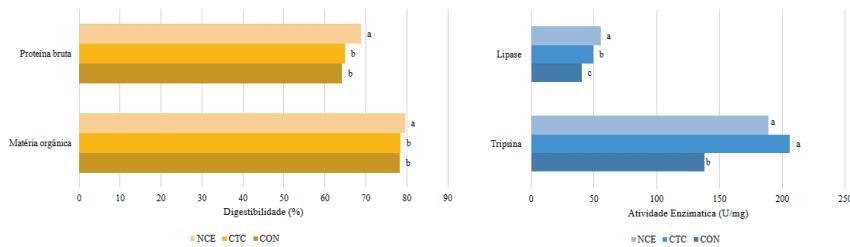


Figura 3.7. Digestibilidade da proteína bruta e matéria orgânica e atividade de enzimas digestivas de frangos de corte suplementados com pó de pimenta ou antibiótico. CON: Dieta basal; CTC: dieta basal + 75mg/kg de Clortetraciclina; NCE: dieta basal + 80mg/kg de Extrato natural de capsaicina. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Liu et al. (2021).

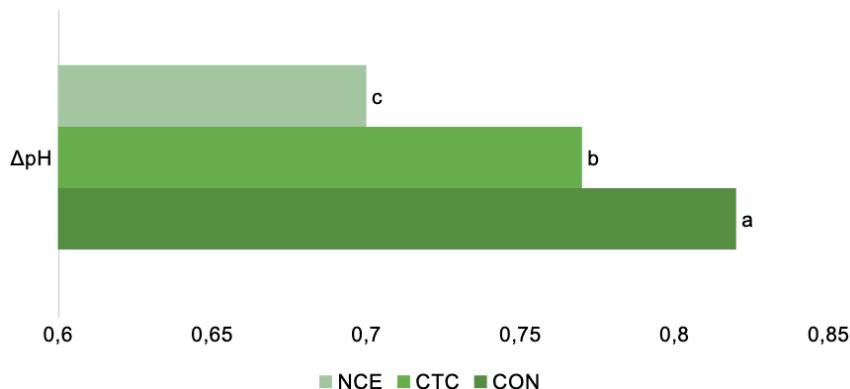


Figura 3.8. Variação do pH da carne de frangos de corte suplementados com pó de pimenta ou antibiótico. CON: Dieta basal; CTC: dieta basal + 75mg/kg de Clortetraciclina; NCE: dieta basal + 80mg/kg de Extrato natural de capsaicina. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Liu et al. (2021).

Outra especiaria de interesse é o pó de canela. Qaid *et al.* (2021) avaliaram seu efeito em frangos de corte desafiados por *Eimeria* e observaram menor escore de lesão cecal nos animais tratados com o aditivo fitogênico, em comparação ao grupo controle. Esse benefício foi atribuído aos compostos bioativos presentes na canela, como saponinas, alcaloides, taninos e flavonoides, que possuem potencial para melhorar a imunidade, aumentar a atividade antioxidante, reduzir a inflamação intestinal e modular a microbiota intestinal.

Além da pimenta e da canela, outras especiarias vêm sendo estudadas com resultados promissores. O alho (*Allium sativum*), rico em alicina, possui ação antimicrobiana, antioxidante e imunomoduladora, atuando no desempenho e imunidade dos frangos de corte (Fadlalla *et al.*, 2010; Raeesi *et al.*, 2010). Al-Massad *et al.* (2018) relataram que a inclusão de pó de alho na dieta de frangos de corte

melhorou significativamente o desempenho produtivo (Figura 3.9), além de melhorar indicadores fisiológicos, como o comprimento do intestino delgado e os níveis de colesterol e triglicerídeos no sangue (Figura 3.10). O gengibre (*Zingiber officinale*), por sua vez, contém gingerol e shogaol, compostos com propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes, Valiollahi *et al.* (2014) observaram melhor desempenho corporal, perfil de colesterol e título de anticorpos de frangos suplementados com gengibre na dieta. Já a cúrcuma (*Curcuma longa*), fonte de curcumina, destaca-se por seu efeito antioxidante e imunológico. Al-Sultan (2003) demonstrou que a inclusão da cúrcuma na ração de frangos melhorou o desempenho e favoreceu a o sistema imune das aves.

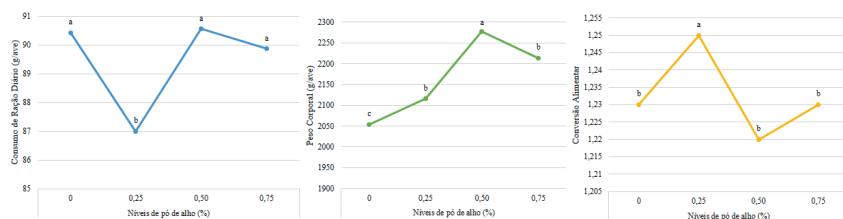


Figura 3.9. Desempenho de frangos de corte suplementados com diferentes níveis de alho em pó. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey-Kramer 5%. Adaptado de Al-Massad *et al.* (2018).

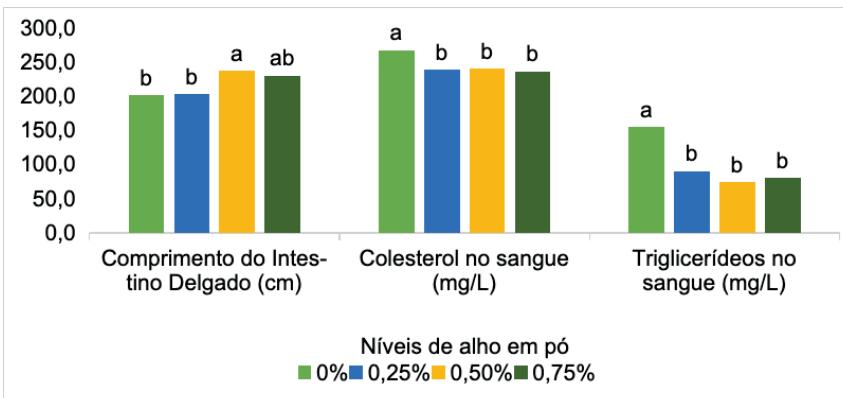


Figura 3.10. Indicadores fisiológicos de frangos de corte suplementados com diferentes níveis de alho em pó. Letras distintas indicam diferença significativa pelo teste de Tukey-Kramer 5%. Adaptado de Al-Massad *et al.* (2018).

### 3.4. ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais são compostos voláteis, aromáticos e de natureza oleosa, extraídos de diferentes partes das plantas, como flores, brotos, sementes, folhas, galhos, cascas, ervas, madeira, frutas e raízes (Brenes e Roura, 2010). Esses metabólitos secundários vêm despertando crescente interesse da comunidade científica como aditivos na nutrição animal, especialmente devido às suas reconhecidas propriedades antimicrobianas, antivirais, antioxidantes, anti-inflamatórias e antiparasitárias (Abd El-Hack *et al.*, 2022).

Na avicultura, a suplementação com óleos essenciais tem sido associada à melhoria do desempenho zootécnico das aves, refletindo-se em maior atividade de enzimas digestivas, redução de microrganismos patogênicos e dos produtos de fermentação intestinal, além de incremento na digestibilidade dos nutrientes, na capacidade antioxidant e na resposta imunológica (Abd El-Hack *et al.*, 2022). Gopi *et al.* (2014) destacam que tais compostos também potencializam a digestão de proteínas, promovendo aumento na secreção gástrica e na concentração de ácido clorídrico (HCl), o que favorece a eficiência digestiva.

A atividade antioxidant dos óleos essenciais é um dos seus aspectos mais relevantes, sobretudo considerando a alta concentração de ácidos graxos poli-insaturados na carne de frango, os quais são altamente suscetíveis à oxidação lipídica (Brenes e Roura, 2010). Esses compostos bioativos atuam elevando a atividade de enzimas antioxidant endógenas, como a glutatona peroxidase, superóxido dismutase e catalase, contribuindo para a neutralização das espécies reativas de oxigênio e prevenindo a peroxidação lipídica (Miguel, 2010). Nesse contexto, Moharreri *et al.* (2022) observaram que frangos de corte desafiados com *Salmonella* e suplementados com óleos essenciais apresentaram menor grau de peroxidação lipídica e maior atividade antioxidant. Resultados semelhantes foram reportados por Pirgozliev *et al.* (2019), que também identificaram melhorias no estado antioxidant de frangos suplementados com esses aditivos naturais.

Entre os óleos essenciais mais utilizados na alimentação de aves, destaca-se o de orégano (*Origanum vulgare*), cuja composição rica em carvacrol e timol lhe confere potente ação antimicrobiana e antioxidant, sendo eficaz contra bactérias como *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* (Araujo e Longo, 2016). O cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*), por sua vez, é fonte de eugenol, um composto fenólico com expressiva atividade bactericida (Faleiro *et al.*, 2024). A canela (*Cinnamomum zeylanicum*), rica em cinamaldeído, apresenta efeitos antimicrobianos (Santurio *et al.*, 2007). Além disso, Symeon *et al.* (2014) demonstraram que a adição de óleo essencial de canela influenciou positivamente o comportamento alimentar das aves, sugerindo uma melhora na palatabilidade da ração. De maneira geral, os efeitos

biológicos desses óleos estão diretamente associados à sua composição química, majoritariamente constituída por monoterpenos e sesquiterpenos, responsáveis por suas múltiplas atividades farmacológicas (Laviniki, 2013).

Diversos estudos demonstram os efeitos positivos da suplementação com óleos essenciais na avicultura. Yang et al. (2018) observaram que a inclusão de ácidos orgânicos e óleos essenciais na dieta de frangos de corte resultou em melhoria da morfologia intestinal e aumento da atividade das enzimas digestivas. Já Moharreri et al. (2022) observaram que a suplementação de frangos desafiados com *Salmonella enteritidis* com microcápsulas contendo óleos essenciais de tomilho, segurelha, hortelã-pimenta e pimenta-do-reino melhorou o desempenho zootécnico, o estado antioxidante, a morfologia intestinal, a microbiota e a expressão de genes relacionados à integridade intestinal e resposta inflamatória.

### 3.5. ESTUDOS SOBRE ADITIVOS FITOGÊNICOS EM AVES

A Tabela 3.1 apresenta uma seleção de estudos sobre os efeitos de extratos vegetais, especiarias e óleos essenciais na alimentação de aves. Através dessa compilação, é possível observar as diferentes dosagens e resultados obtidos, oferecendo uma visão abrangente do potencial desses aditivos naturais na produção avícola. Os estudos apresentados confirmam os benefícios dos aditivos fitogênicos na nutrição de aves, melhorando desempenho e saúde.

Tabela 3.1. Estudos com aditivos fitogênicos e seus principais resultados

Autor (Ano)	Tipo de Ave	Aditivo	Dose	Principais Efeitos Observados
Ren et al., 2025	Frango de corte	Blend do extrato de <i>Radix Codonopsis pilosulae</i> , <i>Radix Astragali</i> , <i>Poria</i> , <i>Rhizoma Atractylodis macrocephalae</i> , <i>Fructus Hordei germinatus Preparata</i> , <i>Massa Medicata Fermentata</i> , <i>Crataegus pinnatifida</i> e <i>Alpinia katsumadai</i>	0,2; 0,4 e 0,8 %	Aumento do ganho de peso, otimização das características da carne e reestruturação da microbiota cecal
Ibrahim et al., 2024	Frango de corte	Extratos de tomilho ( <i>Thymus vulgaris L</i> ) e sálvia ( <i>Salvia officinalis</i> )	0,50%	Aumento do ganho de peso e eficiência alimentar e redução dos níveis sanguíneos de colesterol e triglicerídeos
Herrero-Encinas et al., 2022	Frango de corte	Capsicum com extratos de pimenta-do-reino e gengibre	250ppm	Aumento do ganho de peso e da digestibilidade ileal de matéria seca, energia bruta e proteína bruta, melhora da resposta antioxidant
Meradi, Messai e Aouachria, 2022	Frango de corte	Extrato de coentro, anis-verde e feno-grego (especiarias)	3%	Aumento do peso corporal e do nível de linfócitos e redução dos níveis de ácido úrico no sangue

Alagawany et al., 2021	Codornas Japonesas	Óleo essencial de capim-limão	150, 300, 450 e 600ppm	Melhora na conversão alimentar, aumento dos níveis de imunoglobulinas plasmáticas, redução de <i>Coliformes cecais</i> , <i>E. coli</i> e <i>Salmonella</i> , aumento da atividade das enzimas digestivas
Islam et al., 2018	Frango de corte	Extrato de alho	0,50 e 0,75%	Melhora na conversão alimentar, redução do custo de produção e maior retorno econômico
Karadas et al., 2014	Frango de corte	Óleos essenciais contendo carvacrol e cinamaldeído, e extrato de oleoresina de capsicum	100 ppm	Melhora no ganho de peso, conversão alimentar, concentração hepática de carotenoides e coenzima Q10
Lee et al., 2013	Frango de corte	Oleoresina de Capsicum e oleoresina de cúrcuma	8ppm	Aumento de peso corporal e redução de escores de lesões intestinais causadas por enterite necrótica
Tosi et al., 2013	Frango de corte	Extrato de castanha	0,15; 0,30; 0,50; 0,80; 1,00 e 1,20%	Controle da proliferação de <i>Clostridium perfringens</i> e redução da gravidade dos danos intestinais causados por enteite necrótica
Hong et al., 2012	Frango de corte	Óleos essenciais de orégano, anis e casca de frutas cítricas	125 ppm	Melhora da conversão alimentar, redução dos níveis séricos de colesterol, redução da concentração de amônia no íleo, melhoria da carcaça
Tiihonen et al., 2010	Frango de corte	Óleos essenciais contendo timol e cinamaldeído	20 ppm	Aumento do ganho de peso e modulação da composição e atividade da microbiota intestinal
Vidana-rachchi et al., 2010	Frango de corte	Extratos de repolho, acácia e alga marinha <i>Undaria</i>	0,50 a 1,00%	Modulação da microflora do íleo e ceco, aumentando o número de lactobacilos e reduzindo bactérias nocivas como <i>Clostridium perfringens</i>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os aditivos fitogênicos, incluindo extratos vegetais, especiarias e óleos essenciais, têm se mostrado alternativas promissoras na alimentação de aves, contribuindo para melhorias no desempenho produtivo, na saúde intestinal e na qualidade dos produtos de origem animal. A evidência científica sugere que esses aditivos naturais oferecem benefícios significativos em comparação aos produtos sintéticos, promovendo uma produção avícola mais sustentável e eficiente.

## REFERÊNCIAS

- ABD EL-HACK, M. E., et al. Alternatives to antibiotics for organic poultry production: types, modes of action and impacts on bird's health and production. **Poultry Science**, v. 101, p. 101-110, 2022.
- ABD EL-HACK, M. E., et al. Approaches to prevent and control *Campylobacter* spp. colonization in broiler chickens: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 4989-5004, 2021.
- ABD EL-HACK, M. E., et al. Curcumin, the active substance of turmeric: its effects on health and ways to improve its bioavailability. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, p. 5747-5762, 2021a.
- ABD EL-HACK, M. E.; ALAGAWANY, M.; ABDELNOUR, S. Responses of growing rabbits to supplementing diet with a mixture of black and red pepper oils as a natural growth promoter. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 103, p. 509-517, 2018.
- ALAGAWANY, M., et al. Potential role of important nutraceuticals in poultry performance and health - A comprehensive review. **Research in Veterinary Science**, v. 137, p. 9-29, 2021.
- AL-KASSIE, G. Influence of two plant extracts derived from thyme and cinnamon on broiler performance. **Pakistan Veterinary Journal**, v. 29, p. 169-173, 2009.
- AL-MASSAD, M., et al. Effect of Using Garlic on the Economical and Physiological Characteristics of Broiler Chickens. **Russian Agricultural Sciences**, v. 44, p. 276–281, 2018. <https://doi.org/10.3103/s1068367418030096>
- AL-SULTAN, S. I. The Effect of Curcuma longa (Tumeric) on Overall Performance of Broiler Chickens. **International Journal of Poultry Science**, v. 2, p. 351-353, 2003.
- ARAUJO, M. M. de; LONGO, P. L. Teste da ação antibacteriana in vitro de óleo essencial comercial de *Origanum vulgare* (orégano) diante das cepas de *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. **Arquivos Do Instituto Biológico**, v. 83, p. 1-7, 2016. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000702014>
- BATISTA, L. S. **Flavonóides e mananoligossacarídeos em dietas para frangos de corte**. 2006. 46 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu, Botucatu, 2005.
- BOTT, R. F. **Influência do processo de obtenção, das condições de armazenamento e das propriedades físico-químicas sobre a estabilidade de extratos secos padronizados de plantas medicinais**. 2008. 181 f. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2008.

BRACCO, U.; LÖLIGER, J.; VIRET, J. L. Production and use of natural antioxidants. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 58, p. 686-690, 1981.

BRENES, A.; ROURA, E. Essential oils in poultry nutrition: Main effects and modes of action. **Animal Feed Science and Technology**, v. 158, p. 1-14, 2010.

CHEN, L. et al. Triterpenoid herbal saponins enhance beneficial bacteria, decrease sulfate-reducing bacteria, modulate inflammatory intestinal microenvironment and exert cancer preventive effects in Apc Min/+ mice. **Oncotarget**, v. 21, p. 31226-31242, 2016. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.8886>

CHEPETE, H. J. et al. Ammonia emission and performance of laying hens as affected by different dosages of *Yucca schidigera* in the diet. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, p. 522-530, 2012. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00420>

DARABIGHANE, B.; NAHASHON, S.N. A review on effects of aloe vera as a feed additive in broiler chicken diets. **Journal Annals of Animal Science**, v. 14, p. 491-500, 2014.

DIAZ-SANCHEZ, S. et al. Botanical alternatives to antibiotics for use in organic poultry production. **Poultry Science**, v. 94, p. 1419-1430, 2015.

DILAWAR, M. A. et al. Egg quality parameters, production performance and immunity of laying hens supplemented with plant extracts. **Animals**, v. 11, n. 4, 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11040975>

EL-SAADONY, M. T. et al. Bioactive peptides supplemented raw buffalo milk: biological activity, shelf life and quality properties during cold preservation. **Saudi Journal Biological Science**, v. 28, p. 4581-4591, 2021.

FADLALLA, I. M. T.; MOHAMMED, B. H.; BAKHET, A. O. Effect of feeding garlic on the performance and immunity of broiler. **Asian Journal of Poultry Science**, v. 4, n. 4, p. 182-189, 2010. <https://doi.org/10.3923/ajpsaj.2010.182.189>

FALEIRO, G. W. et al. Atividade antimicrobiana do óleo essencial de cravo (*Syzygium aromaticum*) contra isolados de *Campylobacter jejuni* resistentes a antimicrobianos. In Encontro de Pós-Graduandos da Universidade Federal de Pelotas – ENPOS 2024, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2024.

FERDOUS, M. F. et al. Beneficial effects of probiotic and phytobiotic as growth promoter alternative to antibiotic for safe broiler production. **Journal of Advanced Veterinary and Animal Research**, v. 6, p. 409-415, 2019.

FERNANDES, R. T. V. et al. Aditivos fitogênicos na alimentação de frangos de corte: óleos essenciais e especiarias. **PubVet**, v. 9, n. 12, p. 526–535, 2015. <https://doi.org/10.22256/pbvet.v9n12.526-535>

FERNANDES, R. T. V. et al. Aditivos fitogênicos na alimentação de frangos de corte: óleos essenciais e especiarias. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 9, p. 526-535, 2015.

FRANZ, C.; BASER, K. H. C; WINDISCH, W. Essential oils and aromatic plants in animal feeding - a European perspective. A review. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 25, p. 327-340, 2010.

GAO, J. et al. Vitamin E supplementation alleviates the oxidative stress induced by dexamethasone treatment and improves meat quality in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 89, p. 318-327, 2010.

GARCÍA, V. et al. Effect of formic acid and plant extracts on growth, nutrient digestibility, intestine mucosa morphology, and meat yield of broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 16 n. 4, p. 555–562, 2007. <https://doi.org/10.3382/japr.2006-00116>

GHEISAR, M. M. et al. Inclusion of phytonic blends in different nutrient density diets of meat-type ducks. **Poultry Science**, v. 94, p. 2952- 2958, 2015.

GOPI, M. et al. Essential oils as a feed additive in poultry nutrition. **Advances in Animal and Veterinary Sciences**, v. 2, p. 1- 7, 2014.

HASHEMI, S. R.; DAVOODI, H. Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. **Veterinary Research Communications**, v. 35, p. 169-180, 2011.

HERRERO-ENCINAS, J. et al. Impact of Dietary Supplementation of Spice Extracts on Growth Performance, Nutrient Digestibility and Antioxidant Response in Broiler Chickens. **Animals**, v. 13, n. 2, 2023. <https://doi.org/10.3390/ani13020250>

HONG, J. C. et al. Effects of essential oil supplementation on growth performance, lipid metabolites and immunity, intestinal characteristics, microbiota and carcass traits in broilers. **Livestock Science**, v. 144, n. 3, p. 253–262, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.12.008>

HUYGHEBAERT, G.; DUCATELLE, R.; VAN, F. Immerseel An update on alternatives to antimicrobial growth promoters for broilers. **The Veterinary Journal**, v. 187, p. 182-188, 2011.

IBRAHIM, A. A. et al. Effect of some dietary herbal supplements as growth promoters on productive and physiological performance of broilers. **Egyptian Journal of Agricultural Research**, v. 102, n. 2, p. 315-321, 2024. DOI: 10.21608/EJAR.2024.255247.1483.

ISLAM, M. A. et al. Effect of red chili and garlic nutrition as feed additives on growth performance of broiler chicken. **International Journal of Natural and Social Sciences**, v. 5 n. 3, p. 16–24, 2018.

JERZSELE, A. et al. Efficacy of protected sodium butyrate, a protected blend of essential oils, their combination, and *Bacillus amyloliquefaciens* spore suspension against artificially induced necrotic enteritis in broilers. **Poultry Science**, v. 91, p. 837-843, 2012.

KAMEL, C. A novel look at a classic approach of plant extracts The focus on herbs and spices in modern animal feeding is too often forgotten. Since the prohibition of most of the anti-microbial growth promoters, plant extracts have gained interest in alternative feed strategies. **Feed Mix**, v. 8, p. 19-23, 2000.

KARADAS, F. et al. Dietary essential oils improve the hepatic antioxidative status of broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 55, n. 3, p. 329–334, 2014. <https://doi.org/10.1080/00071668.2014.891098>

KARRE, L.; LOPEZ, K; GETTY, K. J. K. Natural antioxidants in meat and poultry products. **Meat Science**, v. 94, p. 220-227, 2013.

KOYAMA, N. T. G. et al. Desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte alimentados com mistura de aditivos fitogênicos na dieta. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 225–231, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000300009>

LAVINIKI, V. **Atividade antimicrobiana in vitro dos óleos essenciais de canela da China (*Cinnamomum cassia*), orégano (*Origanum vulgare*), pimenta negra (*Piper nigrum*) e tomilho branco (*Thymus vulgaris*) frente a amostras de *Salmonella enterica* isoladas de aves**. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Veterinária, Porto Alegre, 2013.

LEE, S. H. et al. Dietary supplementation of young broiler chickens with Capsicum and turmeric oleoresins increases resistance to necrotic enteritis. **British Journal of Nutrition**, v. 110, n. 5, p. 840–847, 2013. <https://doi.org/10.1017/S0007114512006083>

LIU, S. J. et al. Effects of natural capsicum extract on growth performance, nutrient utilization, antioxidant status, immune function, and meat quality in broilers. **Poultry Science**, v. 100, p. 101301, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101301>

MERADI, S.; MESSAÏ, A.; AOUACHRIA, M. The effect of spices *Coriandrum sativum* L., *Trigonella foenum-graecum* L., *Pimpinella anisum* L., and their combinations on growth performance, carcass trait, and hematobiochemical parameters in broiler chicken. **Veterinary World**, v. 15, n. 7, p. 1821–1826, 2022. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.1821-1826>

MIGUEL, M.G. Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: a short review. **Molecules**, v. 15, p. 9252-9587, 2010.

MITSCHE, P. et al. The effect of two different blends of essential oil components on the proliferation of Clostridium perfringens in the intestines of broiler chickens. **Poultry Science**, v. 83, n. 4, p. 669- 675, 2004. <https://doi.org/10.1093/ps/83.4.669>

MOHARRERI, M. et al. Effects of microencapsulated essential oils on growth performance and biomarkers of inflammation in broiler chickens challenged with salmonella enteritidis. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 21, p. 349-357, 2022.

MOLEYAR, V.; NARASIMHAM, P. Antibacterial activity of essential oil components. **International Journal of Food Microbiology**, v. 16, p. 337-342, 1992.

MUNGLANG, N.; VIDYARTH, V. K. Hot red pepper powder supplementation diet of broiler chicken - a review. **International Journal of Livestock Research**, v. 7, p. 159- 167, 2019.

PIRGOLIEV, V. et al. Dietary essential oils improve feed efficiency and hepatic antioxidant content of broiler chickens. **Animal**, v. 13, p. 502-508, 2019.

PRESCOTT, J.F. et al. The pathogenesis of necrotic enteritis in chickens: what we know and what we need to know: a review. **Avian Pathology: journal of W.V.P.A.**, v. 45, p. 288-294, 2016.

PUVACĀ, N. M. et al. Quality of broiler chickens carcass fed dietary addition of garlic, black pepper and hot red pepper. **Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management**, v. 2, p. 218-227, 2019.

QAID, M. M. et al. Anticoccidial effectivity of a traditional medicinal plant, Cinnamomum verum, in broiler chickens infected with Eimeria tenella. **Poultry Science**, v. 100, p. 100902, 2021.

QUAN, N. N. H.; THAO, L. D.; CHAO, N. N. V. N. Effect of Herbal Extract Mixture Supplementation in Poultry Diets on Growth Performance, Hematological Indices and Fecal Microbial Counts in RI Crossbred Chicken. **Advances in Animal and Veterinary Sciences**, v. 13, n. 4, p. 764-771, 2025. <https://doi.org/10.17582/JOURNAL.AAVS/2025/13.4.764.771>

QURESHI, S. et al. Histomorphological studies of broiler chicken fed diets supplemented with either raw or enzyme treated dandelion leaves and fenugreek seeds. **Veterinary World**, v. 9, p. 269-275, 2016.

RAEESI, M.; ZARE SHAHNEH, A. Effect of Periodically Use of Garlic (*Allium sativum*) Powder on Performance and Carcass Characteristics in Broiler Chickens. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 4, n. 8, p. 1388-1394, 2010.

REDA, F. M. et al. Effect of dietary supplementation of biological curcumin nanoparticles on growth and carcass traits, antioxidant status, immunity and caecal microbiota of Japanese quails. **Animals**, v. 10, p. 754, 2020.

REDA, F. M. et al. Use of biological nano zinc as a feed additive in quail nutrition: biosynthesis, antimicrobial activity and its effect on growth, feed utilisation, blood metabolites and intestinal microbiota. **Italian Journal of Animal Science**, v. 20, p. 324-335, 2021.

REN, J. et al. Effects of phytogenic feed additive on production performance, slaughtering performance, meat quality, and intestinal flora of white-feathered broilers. **Veterinary Sciences**, v. 12, n. 5, p. 396, 2025. DOI: 10.3390/vetsci12050396.

SALEHI, B. et al. Thymol, thyme, and other plant sources: Health and potential uses. **Phytotherapy Research**, v. 32, p. 1688-1706, 2018.

SANTURIO, J. M. et al. Atividade antimicrobiana dos óleos essenciais de orégano, tomilho e canela frente a sorovares de *Salmonella enterica* de origem avícola. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 803-808, 2007.

SEAL, B.S. et al. Alternatives to antibiotics: a symposium on the challenges and solutions for animal production. **Animal Health Research Reviews**, v. 14, p. 78-87, 2013.

SHEIHA, A. M. et al. Effects of dietary biological or chemical-synthesized nano-selenium supplementation on growing rabbits exposed to thermal stress. **Animals**, v. 10, p. 430, 2020.

SILVA, M. A. et al. Óleo essencial de aroeira-vermelha como aditivo na ração de frangos de corte. **Ciência Rural**, v. 41, n. 4, p. 676-681, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000034>

SKOMORUCHA, I.; SOSNÓWKA-CZAJKA, E.; MUCHACKA, R. Effects of Supplementing Drinking Water with Mixed Herb Extract or Outdoor Access on Meat Quality Characteristics in Broiler Chickens. **Annals of Animal Science**, v. 20, n. 2, p. 647-660, 2020. <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0076>

SWELUM, A. A. et al. Ways to minimize bacterial infections, with special reference to *Escherichia coli*, to cope with the first-week mortality in chicks: an updated overview. **Poultry Science**, v. 100, p.101039, 2021.

SYMEON, G. K. et al. The effects of dietary cinnamon (*Cinnamomum Zeylanicum*) oil supplementation on broiler feeding behaviour, growth performance, carcass traits and meat quality characteristics. **Annals of Animal Science**, v. 14, n. 4, p. 883-895, 2014. <https://doi.org/10.2478/aoas-2014-0047>

TAHAMI, Z.; SHALAEI, M.; HOSSEINI, S. M. Effect of Use of Mixture of Herbal Extracts on Performance, Carcass Characteristics, Blood Serum Metabolites and Enzyme Activity of Broiler Chickens. **Iranian Journal of Animal Science Research**, v. 9, n. 4, p. 446-460, 2018.

TIIHONEN, K. et al. The effect of feeding essential oils on broiler performance and gut microbiota. **British Poultry Science**, v. 51, n. 3, p. 381-392, 2010. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.496446>

TIWARI, R. et al. Herbal immunomodulators - a remedial panacea for designing and developing effective drugs and medicines: current scenario and future prospects. **Current Drug Metabolism**, v. 19, p. 264-301, 2018.

TOSI, G. et al. Efficacy test of a hydrolysable tannin extract against necrotic enteritis in challenged broiler chickens. **Italian Journal of Animal Science**, v. 12, n. 3, p. 386-389, 2013. <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e62>

VALIOLLAHI, M. R. et al. Effect use ginger (*Zingiber officinale*), black pepper (*Piper nigrum* L) powders on performance, some blood parameters and antibody titer against Newcastle vaccine on broiler chicks. **European Journal of Zoological Research**, v. 3, n. 3, p. 61-66, 2014.

VIDANARACHCHI, J. K. et al. Natural plant extracts and prebiotic compounds as alternatives to antibiotics in broiler chicken diets in a necrotic enteritis challenge model. **Animal Production Science**, v. 53, n. 12, p. 1247-1259, 2013. <https://doi.org/10.1071/AN12374>

WENK, C. et al. Are herbs, botanicals and other related substances adequate replacements for antimicrobial growth promoters? **Wageningen Academic Publishers**, p. 329-340, 2006.

WINDISCH, W.; KROISMAYR, A. Natural phytobiotics for health of young piglets and poultry: mechanisms and application. **Poultry Science**, v. 86, p. 643, 2007.

XUE, F. et al. Growth performances, gastrointestinal epithelium and bacteria responses of Yellow-feathered chickens to kudzu-leaf flavonoids supplement. **AMB Express**, v. 11, n. 1, 2011. <https://doi.org/10.1186/s13568-021-01288-4>

YADAV, A. et al. Exploring alternatives to antibiotics as health promoting agents in poultry - a review. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v. 4, p. 368-383, 2016.

YANG, X. et al. Impact of essential oils and organic acids on the growth performance, digestive functions and immunity of broiler chickens. **Animal Nutrition**, v. 4, n. 4, p. 388-393, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.04.005>.

ZHANG, R. et al. Comparative Efficacy of Plant Extracts and Probiotics on Growth and Gut Health in Chickens with Necrotic Enteritis. **Animals**, v. 14, n. 22, 2024. <https://doi.org/10.3390/ani14223312>.



## CAPÍTULO 4

# ARGININA E SEU PAPEL NA NUTRIÇÃO DE AVES

**José de Arimatéia de Freitas Pinto**

**Adiel Vieira de Lima**

**Maria Isabelli Leite Maia**

**Marcos Cicero Pereira dos Santos**

**Paloma Eduarda Lopes de Souza**

**Aline Beatriz Rodrigues**

**Carlos Henrique do Nascimento**

**Vania Maria Bernardo de Araújo**

**Raiane dos Santos Silva**

**Edijanio Galdino da Silva**

**Ricardo Romão Guerra**

**Fernando Guilherme Perazzo Costa**

A avicultura apresenta um crescimento significativo nos últimos anos e várias técnicas têm sido utilizadas na busca da melhoria da eficiência da produção das aves. Os avanços constantes da indústria de aves resultam das contribuições científicas e tecnológicas nas áreas relacionadas a atividade. A genética e a nutrição desempenham um papel essencial na geração constante de aves com maior performance e produtividade.

Na avicultura, aproximadamente 70% do custo total de produção é destinado à alimentação. A proteína, como um dos nutrientes mais importantes na alimentação animal, desempenha um papel fundamental na composição das dietas e tem influência direta no desempenho dos animais, incluindo conversão alimentar,

ganho de peso e qualidade da carcaça dos animais. (BERNARDINO et al., 2013). Adicionalmente ao elevado custo dos alimentos proteicos usados na nutrição das aves, há a preocupação com a contaminação ambiental causada pelo excesso de proteína nas dietas dessas aves, o que leva ao aumento da excreção de nitrogênio e à emissão de amônia.

Durantes muitos anos, as formulações de alimentos para aves se basearam no princípio da proteína bruta, levando a dietas com falta ou excesso de aminoácidos. Com a produção em larga escala de aminoácidos, as dietas começaram a ser planejadas com base no conceito de proteína ideal. Considerando que as aves apresentam exigências nutricionais para aminoácidos essenciais e não para proteína bruta em si, atualmente, recomenda-se o desenvolvimento de rações baseadas no conceito de proteína ideal (MARTINS e ASSUNÇÃO, 2018). Entre seus benefícios, destacam-se a diminuição dos gastos com a formulação de ração, graças ao equilíbrio entre os aminoácidos, o que possibilita a diminuição do teor proteico da alimentação, bem como a diminuição da quantidade de nitrogênio expelido pelo animal.

Os aminoácidos são categorizados em essenciais e não essenciais. Os aminoácidos não essenciais nos monogástricos são produzidos pelo corpo a partir de metabólitos intermediários ou de aminoácidos essenciais como cistina, metionina, tirosina e fenilalanina. No entanto, os aminoácidos essenciais não podem ser produzidos pelo corpo, portanto, devem ser incluídos nas dietas (SCOTTÁ et al., 2014). Outros autores mencionam um terceiro grupo de aminoácidos, os condicionalmente essenciais, que são aqueles cuja síntese pode ser restringida devido à escassez de nitrogênio metabólico, como é exemplo da arginina, glutamina, glicina, serina, entre outros. Em algumas circunstâncias, as taxas de utilização superam as de síntese (NRC, 1994).

Com o surgimento dos aminoácidos sintéticos produzidos em escala comercial, como a DL-metionina, L-lisina, L-treonina e L-triptofano entre outros, tornou-se possível a formulação de dietas baseadas no conceito de proteína ideal (MARTINS e ASSUNÇÃO, 2018). Atualmente, a metionina, lisina e treonina, considerados como o primeiro, segundo e terceiro aminoácidos limitantes, são suplementados de maneira habitual nas dietas para aves. Existe, inclusive, um volume significativo de informações sobre os níveis recomendados desses aminoácidos. No entanto, informações sobre a exigência ou a relação com a lisina dos aminoácidos essenciais arginina, isoleucina, valina e triptofano são limitados e exibem uma ampla variação em seu perfil ideal. Na Figura 4.1, mostra os tipos de aminoácidos formadores de proteínas no metabolismo dos animais.

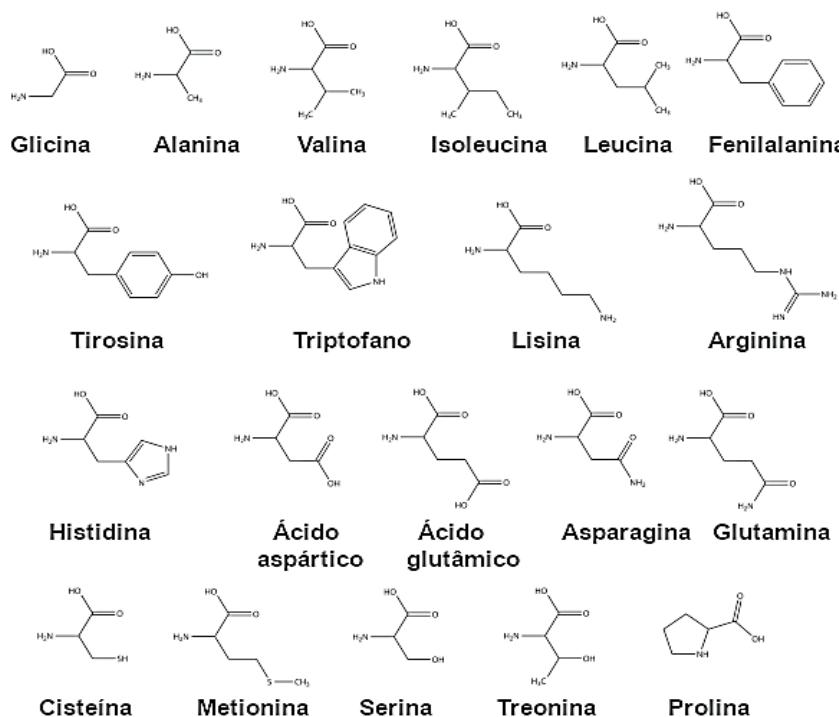


Figura 4.1. 20 tipos de aminoácidos formadores de proteínas.  
Adaptado de Lehninger et al. (2019).

O aminoácido arginina é um importante substrato para o metabolismo proteico e também um aminoácido essencial na nutrição das aves. Assim, as aves necessitam estritamente de L-Arginina e dependem fortemente de sua suplementação alimentar (MIAO et al., 2017). A arginina atua como substrato na produção de creatina, poliaminas, L-prolina, diversos hormônios e óxido nítrico (NO), que exerce diversas funções no sistema imunológico (KHAJALI e WIDEMAN, 2010).

A arginina é especialmente vital para as aves, uma vez que, diferentemente dos mamíferos, elas não são capazes de sintetizá-la em quantidade suficiente para suprir suas necessidades fisiológicas. Além disso, não usam o ácido glutâmico como recurso para obtenção de ornitina. Portanto, é necessário fornecer arginina à alimentação das aves. A ingestão de arginina na alimentação deve ser adequada para apoiar a síntese de proteínas, o crescimento do corpo, o desenvolvimento das penas e outras funções biológicas que necessitam desse aminoácido. Portanto, esta revisão objetiva uma perspectiva abrangente sobre a suplementação funcional da arginina e seus benefícios na melhoria do bem-estar e da produção avícola.

## 4.1. ARGININA NO METABOLISMO DAS AVES DE PRODUÇÃO

A crescente utilização de rações com baixo conteúdo de proteína bruta, a troca do farelo de soja por subprodutos como grãos secos de destilaria de milho e a diminuição da utilização de fontes de proteína animal na alimentação das aves requerem a adição de arginina (DeGROOT et al., 2018). A demanda por arginina pode ser influenciada por diversos fatores, tais como a quantidade de proteína na alimentação, a origem da proteína, a digestibilidade dos componentes da ração, o estágio de desenvolvimento e a condição fisiológica do animal.

Os aminoácidos são substâncias orgânicas que possuem grupos amino ( $-\text{NH}_2$ ) e carboxila ( $-\text{COOH}$ ), conforme Figura 4.2. A presença de carbono assimétrico faz com que todos os aminoácidos, exceto a glicina, apresentem atividade óptica, existindo nas formas D e L, conhecidas como enantiômeros (LEHNINGER et al., 2019). O carbono  $\alpha$  assimétrico atribui quiralidade, um fenômeno em que molécula não é sobreposta às suas figuras reproduzidas no espaço. Por esse motivo, os aminoácidos, exceto a glicina, têm em configuração distintos formatos isômeros espaciais (GRISHIN et al., 2019). As características bioquímicas e funções fisiológicas dos aminoácidos mudam amplamente dependendo das cadeias laterais, que atribuem responsabilidade aos aminoácidos e suas isoformas (GRISHIN et al., 2019).

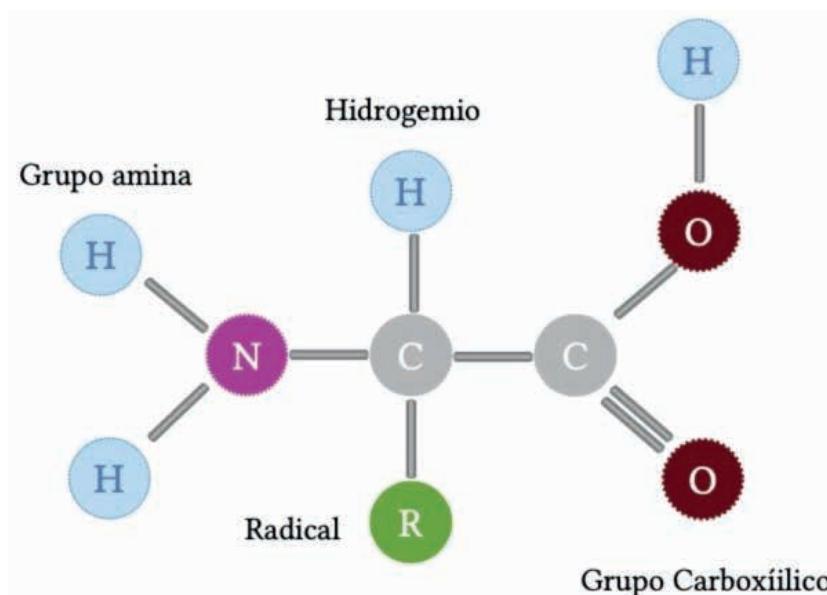


Figura 4.2. Estrutura básica dos aminoácidos em pH neutro. Adaptado de Lehninger et al. (2019).

Toda proteína, independentemente de ser intracelular ou não, é decomposta em aminoácidos. Remove-se a parte tóxica dos alimentos (amônia), restando apenas o esqueleto carbônico. A amina retirada pode ser utilizada na biossíntese de outras moléculas, enquanto o excesso é processado e eliminado. A glutamina ou alanina transporta a amônia até o fígado, onde ela entra no ciclo da ureia. O  $\alpha$ -cetoglutarato se converte em glutamato após receber a amina dos aminoácidos dietéticos. O restante do aminoácido é convertido em um  $\alpha$ -cetoácido, que possui valor energético. O glutamato, quando ativado pelo ATP, reage com amônia, resultando na formação de glutamina e fósforo. A amônia entra no lugar do fósforo. A amônia é removida por hidrólise ao atingir a matriz mitocondrial do hepatócito. A amina do glutamato é transferida ao piruvato, processo conhecido como transaminação da alanina. Quando chega ao citosol do hepatócito, a alanina transfere a amina ao  $\alpha$ -cetoglutarato, resultando na formação de piruvato e glutamato, e, em troca, recebe glicose. A Figura 4.3, ilustra o metabolismo de proteínas e aminoácidos no fígado, incluindo processos como transaminação, deaminação oxidativa, e a formação de ureia ou ácido úrico.

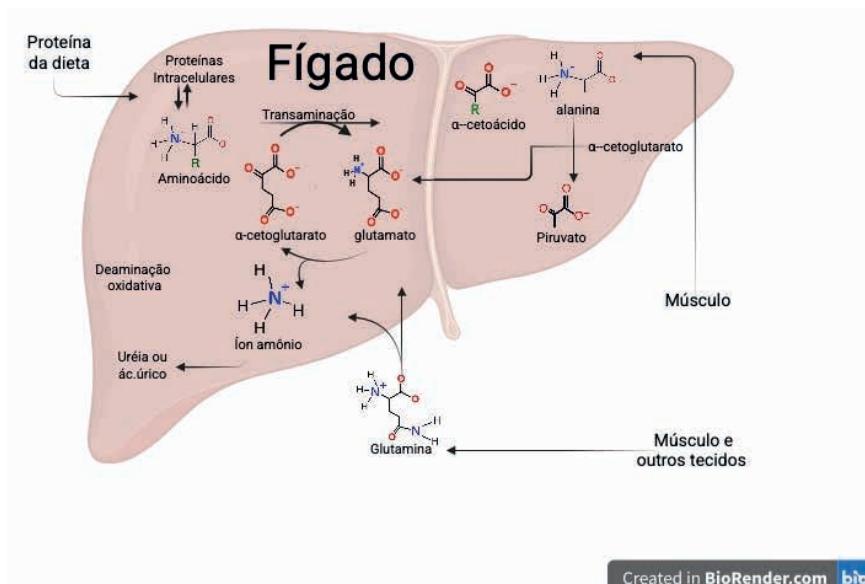


Figura 4.3. Catabolismo das proteínas e do nitrogênio dos aminoácidos. Adaptado de Rodweel et al. (2021).

Começa na mitocôndria do hepatócito, porém também acontece no citosol. A amônia se combina com o bicarbonato e com o ATP. Produzindo cabramos-fosfato, que se incorpora ao ciclo. Combina-se com a ornitina para formar a citrulina, que sai da mitocôndria e se desloca para o citosol. A citrulina passa pela hidrólise do ATP

e se condensa com o amino do aspartato e a carbonila, resultando na formação de arginino-succinato. Este último é clivado, produzindo arginina e fumarato, que podem ser convertidos em ácido cítrico. A arginina permanece no ciclo e é dividida em ureia e ornitina, sendo que a ornitina continua no ciclo. A ureia é transportada aos rins. O fumarato, um intermediário, está presente em ambos os ciclos, formando a bicicleta de Krebs. O fumarato pode retornar ao ciclo da ureia na forma de arginino-succinato, além de ingressar no ciclo do ácido cítrico. O N-acetilglutamato representa a forma de regulação mais breve. A enzima responsável pela síntese de carbamol é ativada, sendo controlada pelo acetil-CoA, glutamato e arginina. Se existe arginina, também existem N-acetilglutamato e carbamol. A Figura 4.4, mostra um resumo das reações bioquímicas e intermediários da biossíntese do ciclo da ureia e de Krebs, a partir da amônia.

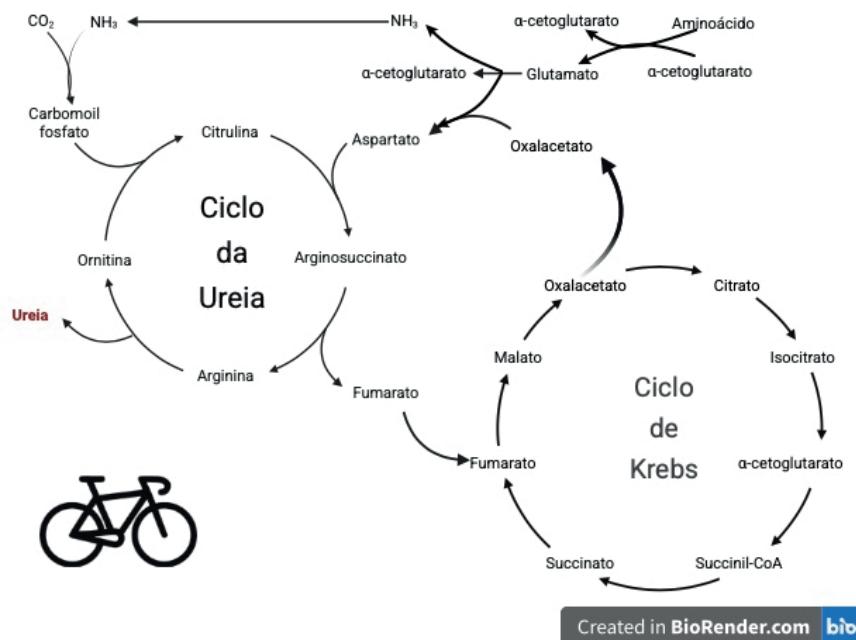


Figura 4.4. Reações e intermediários da biossíntese da ureia e o ciclo de Krebs. Adaptado de Rodweel et al. (2021).

A arginina é um aminoácido importante para vários processos no organismo das aves. Ela é considerada essencial na dieta porque as aves não possuem uma enzima chamada carbamol fosfato sintase-I, que seria responsável por produzi-la por conta própria. (Application of Nutritional Immunology, 2022). Isso acontece porque as aves não possuem a enzima carbamol fosfato sintase-I, que é necessária para produzir arginina a partir de ornitina, amônia e o aminonitrogênio do aspartato. Além

disso, elas apresentam atividades menores das enzimas ornitina transcarbamilase e arginase no fígado, o que reforça a sua dependência de obter arginina através da alimentação (KHAJALI e WIDEMAN, 2010).

No entanto, quando há citrulina na dieta, os macrófagos e os rins das aves podem produzir arginina por conta própria (ALLEN E FETTERER, 2000). A citrulina pode substituir a arginina na dieta devido às enzimas argininosuccinato e argininosuccinato sintetase em aves. No entanto, devido à ausência da enzima carbamoil fosfato sintetase, os pintinhos não podem aproveitar ornitina como fonte de arginina (TAMIR E RATNER, 1963). Além disso, a síntese hepática de arginina não ocorre em frangos, pois a atividade da arginase é relativamente maior no fígado. A quantidade de arginina que uma ave precisa pode variar dependendo de fatores como idade, tipo de alimentação e seu estado de saúde. Além disso, a absorção e o uso da arginina pelo organismo também podem ser afetados pela presença de substâncias que atuam como antagonistas. No entanto, ajustes na alimentação podem ajudar a superar esses obstáculos e garantir que as aves tenham a quantidade adequada de arginina.

O clássico antagonismo entre lisina e arginina é causado pelo desequilíbrio na interação entre esses dois aminoácidos, de forma que o excesso de lisina provoca a arginase renal, o que intensifica o catabolismo de arginina no organismo e resulta em sintomas de deficiência de arginina, uma vez que as aves não têm ciclo da ureia funcional (D'MELLO, 2003). De forma geral, o antagonismo pode levar ao aumento ou à diminuição da atividade de enzimas específicas envolvidas no metabolismo dos aminoácidos. Além do aumento da atividade da arginase, a relação antagonista entre lisina e arginina reduz a atividade da enzima glicinaamidinotransferase no fígado, o que pode restringir a produção de creatina (ANDRIGUETTO et al., 1999). No entanto, elevar o nível de arginina em uma dieta rica em lisina atenua o efeito depressivo provocado pelo antagonismo.

No corpo das aves, a arginina é utilizada por quatro enzimas principais: óxido nítrico sintase induzível, arginase, descarboxilase de arginina e AGAT (arginina:glicina amidinotransferase). Os produtos e intermediários gerados durante o metabolismo da arginina por essas enzimas desempenham diferentes funções essenciais para a saúde e o funcionamento das aves (Figura 4.5). A utilização da arginina pela microbiota intestinal das aves, cujos metabólitos podem ter efeitos significativos na composição microbiana intestinal, na regulação imunológica, no metabolismo e na saúde global do hospedeiro.

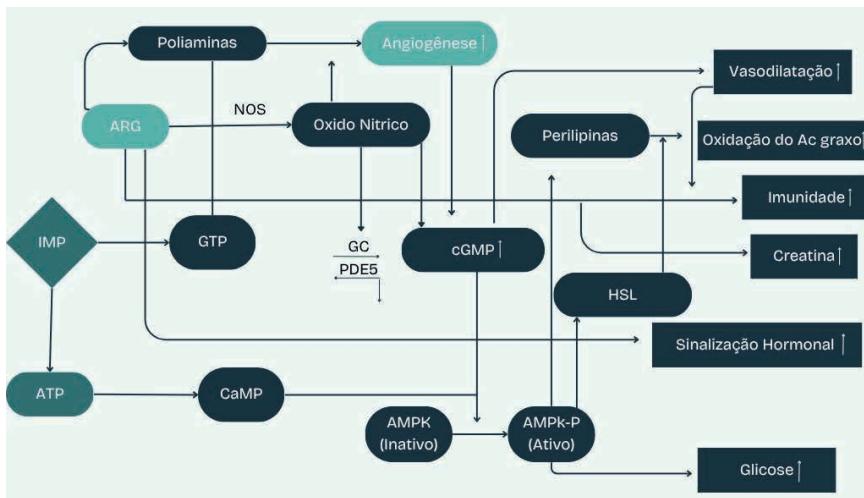


Figura 4.5. Ação dos secretagogos do óxido nítrico. NOS: Óxido nítrico sintase; GC: Guanilil ciclase; PDE5: Fosfodiesterase-5; AMPK: adenosina-3',5'-monofosfato proteína kinase; HSL: Lipase hormônio sensível; Perilipina: proteína que recobre as gotas de lipídeos; cGMP segundo mensageiro - ativa as proteínas kinases intracelulares - envolvidos em várias reações importantes; ARG: Arginina; IMP: Monofosfato de inosina; GPT: Trifosfato de guanosina. Adaptado de Jobgen et al. (2006).

A arginina é um aminoácido importante para os animais, sendo essencial para o crescimento, o metabolismo de energia, a resposta do sistema imunológico, a cicatrização de feridas e a produção de proteínas (WU et al., 2009). Além disso, ela é a base para a formação de várias moléculas bioativas, como o óxido nítrico, poliaminas, agmatina, creatina, glutamina, glutamato e prolina (MONTANEZ et al., 2008). Quando se suplementa arginina e seus metabólitos, como o ácido guanidinoacético (GAA) e a citrulina na alimentação de aves, há melhorias no desempenho do crescimento, rendimento da carcaça, rendimento de carne magra, no desenvolvimento ósseo, na imunidade e na habilidade antioxidant (CHOWDHURY et al., 2017; ZHANG et al., 2018; DAO et al., 2021; DAO et al., 2022).

## 4.2. AVANÇOS DO USO DA ARGININA NA PRODUÇÃO DE AVES

A arginina é um aminoácido essencial para assegurar a saúde e o bem-estar das aves. Ela desempenha diversas funções vitais na fisiologia das aves, incluindo crescimento, metabolismo, resposta imunológica e manutenção da homeostase microbiana intestinal. Ao se unirem, esses elementos sublinham a importância crucial da arginina na determinação do estado nutricional, da resposta imunológica e do bem-estar geral das aves (CHOWDHURY et al. 2017). A arginina proporciona uma via promissora para aprimorar a saúde e a sustentabilidade do setor avícola.

Ainda que estudos prévios reconheçam a relevância da arginina na alimentação de aves, além da síntese proteica, são necessárias mais pesquisas para determinar os níveis adequados de arginina e seus metabólitos em dietas para aves em diversos sistemas de produção, fases de produção, raças e estados fisiológicos. Até certo ponto, tem-se investigado o potencial da arginina na prevenção de enfermidades intestinais, como a coccidiose e a enterite necrótica em aves. No entanto, proporciona uma compreensão mais abrangente do mecanismo específico de ação da arginina nesses processos patológicos. A possível influência da arginina na regulação, na resposta imune e na homeostase microbiana intestinal e sua associação com a frequência, severidade e saúde intestinal de enfermidades intestinais é pouco estudada em aves (ZHANG et al., 2018).

### 4.3. EXIGÊNCIA NUTRICIONAL DA ARGININA EM FRANGO DE CORTE

As exigências nutricionais das aves são formuladas de acordo com a quantidade de nutrientes requeridas para alcançar desempenhos básicos do organismo e as funções produtivas de forma mais eficiente. Porém, essas exigências não são constantes, variando com a idade, sexo, ambiente, níveis de energia e aminoácidos da dieta, entre outros fatores (COSTA et al., 2004). Deste modo, um programa alimentar que reúna todos os aminoácidos, vitaminas, minerais e os níveis adequados de energia e proteína, são indispensáveis para um melhor desempenho dessas aves nas fases pré-inicial, inicial, crescimento e final. A densidade nutricional é mais uma maneira utilizada para conseguir uma máxima concentração de nutrientes em uma mesma dieta e desta mesma, a ave consumindo pouca quantidade a sua exigência nutricional ser atendida e assim não atrasar o seu desempenho nas fases de crescimento e dessa forma possa expressar toda sua potencialidade produtiva.

Tabela 4.1. Recomendações de arginina para frangos de corte

Autor	Categoria	Idade	Porcentagem de proteína na ração (%)	Níveis recomendados de arginina (%)	Relação arginina:lisina
(NCR,1994)	Inicial	0 – 3 semanas	23,00	1,25	114
(NCR,1994)	Crescimento	3 - 6 semanas	20,00	1,10	110
(NCR,1994)	Final	6 - 8 semanas	18,00	1,00	118
(ROSTANGNO, 2005)	Inicial	0 - 1 semanas	22,11	1,431	105
(ROSTANGNO, 2005)	Crescimento I	2 - 3 semanas	21,14	1,248	105

(ROSTANGNO, 2005)	Crescimento II	4 – 5 semanas	19,73	1,154	105
(ROSTANGNO, 2005)	Final	6 semanas	18,31	1,100	105
(ROSTANGNO, 2017)	Pré-inicial	1 – 7 dias	22,40	1,430	108
(ROSTANGNO, 2017)	Inicial	8 – 21 dias	21,20	1,315	108
(ROSTANGNO, 2017)	Crescimento I	22 – 33 dias	19,80	1,221	108
(ROSTANGNO, 2017)	Crescimento II	34 – 42 dias	18,40	1,145	108
(ROSTANGNO, 2017)	Final	43 – 56 dias	17,60	1,086	108
(ROSTANGNO, 2017)	Inicial	0 - 1 semanas	22,50	1,430	107
(ROSTANGNO, 2017)	Crescimento I	2 - 3 semanas	21,93	1,397	107
(ROSTANGNO, 2017)	Crescimento II	4 - 5 semanas	20,45	1,321	107
(ROSTANGNO, 2017)	Final	6 semanas	17,67	1,142	107
(COBB 500, 2022)	Inicial	0 – 12 dias	21 – 22	1,360	108
(COBB 500, 2022)	Crescimento I	13 – 28 dias	19 – 20	1,250	108
(COBB 500, 2022)	Crescimento II	29 – 39 dias	18 – 19	1,160	109
(COBB 500, 2022)	Final I	40 – 49 dias	17 – 18	1,050	109
(COBB 500, 2022)	Final II	> 50 dias	17 – 18	0,950	110
(ROSTANGNO, 2024)	Pré-Inicial	0 – 8 dias	22,89	1,477	108
(ROSTANGNO, 2024)	Inicial	9 – 17 dias	22,34	1,441	108
(ROSTANGNO, 2024)	Crescimento I	18 – 27 dias	20,84	1,344	107
(ROSTANGNO, 2024)	Crescimento II	28 – 35 dias	19,95	1,287	107
(ROSTANGNO, 2024)	Final I	36 – 43 dias	19,17	1,253	105
(ROSTANGNO, 2024)	Final II	44 – 56 dias	18,61	1,217	105
(ROSS, 2025)	Inicial	0 – 10 dias	-	-	106

(ROSS, 2025)	Crescimento I	11 – 24 dias	-	-	108
(ROSS, 2025)	Crescimento II	25 – 39 dias	-	-	108
(ROSS, 2025)	Final I	40 – 51 dias	-	-	110
(ROSS, 2025)	Final II	> 52 dias	-	-	112

As exigências nutricionais de aminoácidos para as aves são influenciadas por múltiplos fatores, como genética, linhagem, são cruciais pois o contínuo avanço genético em desempenho de crescimento e produção requer atualizações periódicas das necessidades nutricionais. As exigências variam consideravelmente entre diferentes autores e fontes, dependendo do estágio de desenvolvimento, idade, condições ambientais, bem-estar e sexo. (Tabela 4.1).

A arginina não é um aminoácido restritivo em uma alimentação para aves que utiliza farelo de milho e soja, com uma relação arginina:lisina variando entre 104 e 110 (COBB 500 BROILER, 2022; ROSS BROILER, 2022). Contudo, pesquisas recentes sugerem que uma relação mais elevada de arginina:lisina é aconselhável para otimizar o ganho de peso e a conversão alimentar (ZAMPIGA et al., 2018; SIRATHONPONG et al., 2019; CORZO et al., 2021). Também se sugere a suplementação de arginina para aves criadas em altas altitudes, durante o estresse por calor e frio, e ao aumentar adensamento de estocagem (KODAMBASHI EMAMI et al., 2017).

#### 4.4. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ARGININA PARA GALINHA POEDEIRA

Na criação de poedeiras, vários fatores podem alterar a produção e a qualidade dos ovos, no qual se entende que a alimentação é uma das principais questões críticas no crescimento, desenvolvimento e produtividade. As exigências nutricionais das aves são estabelecidas de acordo com a quantidade de nutrientes exigidas para realizar as funções básicas do organismo e as funções produtivas de forma eficiente. Entretanto, essas exigências não são constantes, variam com a genética, linhagem, idade, ambiente, sexo, peso, níveis de energia, aminoácidos da dieta, entre outros fatores (COSTA et al., 2004). Segundo Sakomura e Rostagno (2007) para atender adequadamente às exigências nutricionais dos animais e para que possam propagar o máximo do seu potencial, é imprescindível que se formulem rações eficientes.

A Tabela 4.2, mostra as variações dos níveis de recomendação de arginina para galinhas poedeiras em relação a idade, estados fisiológicos, genética, linhagem, cor de ovos e peso da ave.

Tabela 4.2. Recomendações de arginina para poedeiras leves e semipesadas

Autor	Categoria	Idade	Porcentagem de proteína na ração (%)	Níveis recomendados de arginina (%)	Relação arginina: lisina	Consumo estimado de arginina (g/ave/dia)	Linhagens Raças
(NCR,1994)	Inicial	0 – 6 semanas	18,00	1,00	117	-	Ovos Brancos
(NCR,1994)	Cria	6 - 12 semanas	16,00	0,83	138	-	Ovos Brancos
(NCR,1994)	Recria	12 - 18 semanas	15,00	0,67	148	-	Ovos Brancos
(NCR,1994)	Produção	18 ao final da postura	17,00	0,75	144	-	Ovos Brancos
(NCR,1994)	Inicial	0 – 6 semanas	17,00	0,94	117	-	Ovos Marrons
(NCR,1994)	Cria	6 - 12 semanas	15,00	0,78	139	-	Ovos Marrons
(NCR,1994)	Recria	12 - 18 semanas	14,00	0,62	147	-	Ovos Marrons
(NCR,1994)	Produção	18 ao final da postura	16,00	0,72	147	-	Ovos Marrons
(ROSTANGNO, 2005)	Inicial	1 – 6 semanas	18,00	0,937	107	-	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2005)	Cria	7 – 12 semanas	16,00	0,671	108	-	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2005)	Recria	13 – 18 semanas	14,00	0,531	110	-	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2005)	Produção	18 ao final da postura	16,50	0,727	100	-	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2005)	Inicial	1 – 6 semanas	18,00	0,907	107	-	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2005)	Cria	7 – 12 semanas	16,00	0,660	108	-	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2005)	Recria	13 – 18 semanas	14,00	0,514	110	-	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2005)	Produção	18 ao final da postura	17,00	0,750	100	-	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2011)	Inicial	1 – 6 semanas	18,00	0,937	107	-	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2011)	Cria	7 – 12 semanas	16,00	0,671	108	-	Aves Leves

(ROSTANGNO, 2011)	Recria	13 – 18 semanas	14,00	0,531	110	-	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2011)	Produção	18 ao final da postura	16,50		100	0,736	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2011)	Inicial	1 – 6 semanas	18,00	0,907	107	-	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2011)	Cria	7 – 12 semanas	16,00	0,660	108	-	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2011)	Recria	13 – 18 semanas	14,00	0,514	110	-	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2011)	Produção	18 ao final da postura	17,00	0,774	100	-	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2017)	Inicial	1 – 4 semanas	19,16	1,242	107	0,218	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2017)	Cria	5 – 10 semanas	16,70	1,072	107	0,412	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2017)	Cria	11 – 15 semanas	11,22	0,721	107	0,364	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2017)	Pré-postura	16 – 18 semanas	14,00	0,903	108	0,478	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2017)	Produção	18 ao final da postura	14,75	0,819	100	0,799	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2017)	Inicial	1 – 4 semanas	18,78	1,218	107	0,239	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2017)	Cria	5 – 10 semanas	15,96	1,026	107	0,437	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2017)	Recria	11 – 15 semanas	9,67	0,622	107	0,367	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2017)	Pré-postura	16 – 18 semanas	11,31	0,729	108	0,465	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2017)	Produção	18 ao final da postura	13,25	0,736	100	0,850	Aves Semipesadas
(Cobb 500, 2022)	Inicial	0 – 28 dias	19,00	0,980	105	-	Matriz Cobb 500
(Cobb 500, 2022)	Crescimento	29 – 105 dias	14,50	0,660	110	-	Matriz Cobb 500
(Cobb 500, 2022)	Pré-postura	106 – 1º ovo	15,00	0,690	110	-	Matriz Cobb 500
(Cobb 500, 2022)	Postura I	1º ovo – 266 dias	15,00	0,690	110	-	Matriz Cobb 500
(Cobb 500, 2022)	Postura II	> 267 dias	14,50	0,660	110	-	Matriz Cobb 500

(ROSTANGNO, 2024)	Inicial	1 – 4 semanas	14,36	0,918	108	0,190	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2024)	Cria	5 – 10 semanas	12,04	0,787	109	0,351	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2024)	Cria	11 – 15 semanas	09,76	0,641	109	0,352	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2024)	Pré-postura	16 – 18 semanas	12,99	0,833	109	0,488	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2024)	Produção	18 ao final da postura	14,15	0,820	105	0,634	Aves Leves
(ROSTANGNO, 2024)	Inicial	1 – 4 semanas	16,01	1,043	108	0,217	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2024)	Cria	5 – 10 semanas	12,39	0,791	109	0,407	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2024)	Cria	11 – 15 semanas	11,20	0,730	109	0,465	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2024)	Pré-postura	16 – 18 semanas	14,06	0,901	109	0,607	Aves Semipesadas
(ROSTANGNO, 2024)	Produção	18 ao final da postura	13,06	0,758	105	0,852	Aves Semipesadas

Em poedeiras, o período inicial de produção envolve uma série de acontecimentos que transformam significativamente as funções fisiológicas da ave e estar sujeito ao programa nutricional equilibrado nas fases anteriores para ocorrer com eficiência e permitir que os níveis de produção possam ser alcançados. Na fase de cria e recria, as aves estão em aumento do corpo e com consecutivas modificações como desenvolvimento do sistema imune e digestório, sistema muscular, do ovário e sistema reprodutor. Além disso, os ossos vêm, desde o nascimento, aumentando e se tornando uma estrutura forte e de grande importância para a ave na fase de postura (COSTA et al., 2015).

De acordo com o guia de manejo Hy-Line W-36 (2020), uma franga exige na fase inicial, crescimento e pré-postura 18,25, 17,50 e 16% de proteína bruta na dieta, respectivamente. Em termos técnicos, as galinhas poedeiras não têm necessidade de proteína bruta. Entretanto, uma quantidade satisfatória deve estar disponível na dieta para prover um suprimento de aminoácidos não essenciais (NRC, 1994).

Na dieta de poedeiras, os aminoácidos limitantes são, nessa ordem, metionina, lisina, triptofano, treonina, valina, isoleucina e arginina. Conforme Rostagno et al. (2011), as recomendações de aminoácidos para poedeiras são as seguintes: Met+Cis (0,731%), lisina (0,803%), triptofano (0,185%), treonina (0,610%), valina (0,763%), arginina (0,803%) e isoleucina (0,610%).

Lima et al. (2007) realizaram um estudo com galinhas poedeiras usando um arranjo fatorial com três níveis de arginina (0,64; 0,72 e 0,79%) em relação à lisina. Ao analisar o impacto dos níveis de arginina em cada nível de lisina, esses autores observaram resultados superiores de produção e conversão alimentar no menor nível de lisina (0,71%) e no maior nível de arginina (0,79%). Nesse mesmo estudo, observou-se um aumento no peso dos ovos nos níveis de 0,72% de arginina e 0,78% de lisina. Foi recomendada a adoção de 0,64% de arginina e 0,71% de lisina para galinhas poedeiras em fase de postura, o que corresponde a uma relação de 0,91 entre a arginina digestível e a lisina digestível.

#### 4.5. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ARGININA PARA CODORNAS JAPONESAS

A nutrição voltada para a produção tem desempenhado um papel fundamental na coturnicultura, atendendo às demandas nutricionais e alcançando resultados comerciais positivos, considerando que a maior parte dos custos de produção está ligada à alimentação durante o período de alojamento das aves. A proteína e os aminoácidos industriais incorporados às rações e o nível de energia representam uma parte considerável dos custos, tornando essencial a definição de padrões nutricionais mínimos que garantam o máximo rendimento produtivo animal com os menores custos de produção (SCOTTÁ, 2014).

A Tabela 4.3 apresenta variações dos níveis de recomendação de arginina para codornas japonesas em relação a idade, estados fisiológicos, genética, linhagem, mostrando recomendações diferentes entre autores e as fontes.

Tabela 4.3. Recomendações de arginina para codornas japonesas

Autor	Categoria	Idade	Porcentagem de proteína na ração (%)	Níveis recomendados de arginina (%)	Relação arginina: lisina	Consumo estimado de arginina (g/ ave/dia)	Linhagens Raças
(NCR,1994)	Inicial	-	24,00	1,25	96	-	Japonesa
(NCR,1994)	Crescimento	-	24,00	1,25	96	-	Japonesa
(NCR,1994)	Reprodução	-	20,00	1,26	126	-	Japonesa
(ROSTANGNO, 2011)	Cria	1 – 14 dias	22,00	1,190	106	-	Japonesa
(ROSTANGNO, 2011)	Recria	15 – 35 dias	22,00	1,190	106	-	Japonesa
(ROSTANGNO, 2011)	Produção	36 – 55 dias	18,80	1,273	116	-	Japonesa

(ROSTANGNO, 2017)	Cria	1 – 14 dias	24,36	1,182	108	0,185	Japonesa
(ROSTANGNO, 2017)	Recria	15 – 35 dias	23,01	1,096	106	0,246	Japonesa
(ROSTANGNO, 2017)	Produção	36 – 55 dias	19,00	1,273	115	0,312	Japonesa
(ROSTANGNO, 2024)	Cria	1 – 14 dias	25,07	1,512	108	0,236	Japonesa
(ROSTANGNO, 2024)	Recria	15 – 35 dias	25,02	1,219	106	0,274	Japonesa
(ROSTANGNO, 2024)	Produção	36 – 55 dias	18,00	1,142	115	0,290	Japonesa

As orientações nutricionais de arginina para codornas japonesas em postura no Brasil podem ser conferidas nos trabalhos de Silva e Costa (2009) e Rostagno et al. (2011) que propõem uma conexão entre a arginina digestível e a lisina digestível de 1,26 e 1,16, respectivamente.

#### 4.6. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE ARGININA PARA CODORNAS EUROPEIAS

A arginina é um aminoácido fundamental para as aves, e fornecer dietas com arginina acima das quantidades recomendadas mostrou ter um efeito positivo no desempenho de crescimento de aves. Contudo, são necessários mais estudos para compreender como a suplementação de arginina em doses superiores às geralmente recomendadas impacta o metabolismo e a saúde intestinal de codornas europeias.

Também foi demonstrado que a arginina induz a expressão e a secreção de hormônios anabólicos, como a insulina, o hormônio do crescimento (GH) e o fator de crescimento semelhante à insulina-1 (IGF-1). Além disso, a arginina afeta o desenvolvimento do músculo esquelético por meio da via mecanística do alvo da rapamicina (mTOR) e é usada para gerar creatina, um derivado de aminoácido vital para a função e a homeostase energética dos músculos.

A arginina é um aminoácido versátil que desempenha papéis proteinogênicos, tróficos e funcionais no corpo animal. Sendo multifuncional, a arginina pode afetar o metabolismo, o crescimento, a imunidade e o estado de saúde de diversas maneiras. Por exemplo, é o substrato para a biossíntese de óxido nítrico, poliaminas, prolina e glutamato.

Na Tabela 4.4 expõe a variação dos níveis de recomendação de arginina para codorna europeia em relação a idade, categoria, genética e linguagem.

Tabela 4.4. Recomendações de arginina para de codornas europeias

Autor	Categoria	Idade	Porcenta- gem de proteína na ração (%)	Níveis recomen- dados de arginina (%)	Relação arginina: lisína	Consumo estimado de argi- nina (g/ ave/dia)	Linhagens Raças
(ROSTANGNO, 2024)	Inicial	1 – 14 dias	25,00	1,961	140	0,226	Europeia
(ROSTANGNO, 2024)	Crescimento	15 – 35 dias	23,00	1,720	146	0,389	Europeia
(ROSTANGNO, 2024)	Completa	1 – 35 dias	23,80	1,816	144	0,330	Europeia

Segundo Silva e Costa (2009) as percentagens de arginina total relativa à proteína foram de 8,28; 8,45; 8,36 e 7,36%, respectivamente, para a fase inicial, crescimento, período total de crescimento e produção de ovos para as codornas europeias.

Do mesmo modo, a maior taxa de crescimento principalmente dos músculos nas codornas europeias consistir em a provável explicação para este resultado, devido à arginina ser quase exclusivamente utilizada para síntese proteica, sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento muscular, além de estar envolvida em processos metabólicos importantes como a produção de óxido nítrico, um importante vasodilatador que melhora a circulação sanguínea, o que pode levar a um melhor transporte de nutrientes e oxigênio para os tecido, além de desempenha um papel importante na resposta imunológica, ajudando a fortalecer o sistema imunológico e tornando as aves mais resistentes a doenças.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A arginina é um aminoácido essencial para aves, desempenhando múltiplas funções que vão além da síntese proteica. Ela atua como precursora de compostos biologicamente ativos como o óxido nítrico, poliaminas, creatina e ornitina, os quais estão diretamente envolvidos em processos fisiológicos vitais como a imunomodulação, vasodilatação, cicatrização, desenvolvimento muscular e crescimento ósseo. Nas aves, a importância da arginina é ainda mais destacada pelo fato de que elas não possuem a via da arginase hepática para reciclá-la a partir da ornitina e da ureia, como ocorre em mamíferos. Isso torna sua suplementação dietética essencial para atender às exigências nutricionais, principalmente em fases críticas como crescimento, reprodução e desafios sanitários.

Estudos mostram que a suplementação adequada de arginina melhora o desempenho zootécnico, a conversão alimentar, a resposta imune e a resistência a doenças. Além disso, pode influenciar positivamente o desenvolvimento de órgãos e

tecidos, inclusive o sistema gastrointestinal e o sistema imune, sendo considerada um nutriente funcional. Contudo, o equilíbrio é fundamental, tanto a deficiência quanto o excesso de arginina podem acarretar efeitos adversos. Portanto, sua inclusão na dieta deve considerar fatores como idade, linhagem, objetivo produtivo (corte ou postura), condição sanitária e interação com outros aminoácidos, especialmente lisina. Assim, a arginina destaca-se como um aminoácido chave da nutrição de precisão em avicultura, contribuindo não apenas para a produtividade, mas também para a saúde e o bem-estar das aves, o que a torna um alvo estratégico para formulações modernas e sustentáveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, P. C.; FETTERER, R. H. Recent advances in biology and immunobiology of *Eimeria* species and in diagnosis and control of infection with these coccidian parasites of poultry. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 15, n. 1, p. 58–65, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1128/CMR.15.1.58-65.2002>. Acesso em: 16 jun. 2025.
- ANDRIGUETTO, J. M. et al. **Nutrição animal**. 13. ed. São Paulo: Nobel, 1999.
- Application of Nutritional Immunology. Arginine: Nutrition and immune function. **Animal Nutrition**, v. 8, p. 45–56, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.11.001>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- BERNARDINO, V. M. P. et al. Proteína ideal na nutrição de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 42, n. 8, p. 625–634, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/xYDCYJxVLmPFk3qQCkkMzRz>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- CHOWDHURY, V. S. et al. L-arginine acts as a potential mediator in suppressing stress responses through nitric oxide production in broiler chickens. **Amino Acids**, v. 49, p. 681–690, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00726-017-2383-z>. Acesso em: 06 jul. 2025.
- COBB 500 BROILER. **Guia de manejo para frangos de corte. Cobb-Vantress**, 2022. Disponível em: <https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-500-Broiler-Performance-and-Nutrition-Supplement-PT.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2025.
- CORZO, A. et al. Standardized ileal digestible amino acid ratio recommendations for broiler chickens. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 30, p. 100–107, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.100107>. Acesso em: 23 jun. 2025.
- COSTA, F. G. P. et al. Proteína ideal para poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, v. 6, n. 3, p. 149–155, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbca/a/sKwLSsNm5F3GczSmxftQmjP>. Acesso em: 01 jul. 2025.

COSTA, F. G. P. et al. Exigências de aminoácidos para poedeiras. In: **29ª Reunião do CBNA – Congresso sobre Nutrição de Aves e Suínos 2015**. São Pedro, SP, 2015.

DAO, Q. et al. L-arginine enhances growth performance and meat quality of broiler chickens by modifying muscle development and fiber characteristics. **Poultry Science**, v. 100, p. 101227, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.11.047>. Acesso em: 12 mai. 2025.

DAO, H. T. et al. Suplementação de dietas com teor reduzido de proteína com. **Animal Prod. Sci.** 62 (13), 1266–1279. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/an21395>. Acesso em 24 jun. 2025.

DEGROOT, A. A. et al. Eficácia do ácido guanidinoacético no crescimento e no metabolismo energético muscular em frangos de corte recebendo dietas com deficiência de arginina. **Poult. Sci.** 97 (3), 890–900. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3382/ps/pex378>. Acesso em 24 jun. 2025.

D'MELLO, J. P. F. **Amino acids in animal nutrition**. 2. ed. Wallingford: CABI Publishing, 2003.

GRISHIN, D. V. et al. D-aminoácidos na natureza, agricultura e biomedicina. **All Life**, 13 (1), 11–22. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21553769.2019.1622596>. Acesso em: 23 jun. 2025.

Hy-Line International. Guia de Manejo Hy-Line W-36. **Hy-Line International**. 2020. p. 32. West des Moines, Iowa-EUA. Disponível em: <https://www.hyline.com/filesimages/Hy-Line-Products/Hy-Line-Product-PDFs/W-36/36%20COM%20POR.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2025.

JOBGEN, W. S. et al. Regulatory role for the arginine–nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates. **The Journal of Nutritional Biochemistry**. Volume 17 Issue 9, 2006. Pages 571-588. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2005.12.001>. Acesso em: 17 jul. 2025

KHAJALI, F.; WIDEMAN, R. F. Dietary arginine: Metabolic, environmental, immunological and physiological interrelationships. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, p. 751–766, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0043933910000745>. Acesso em: 12 jul. 2025.

KODAMBASHI EMAMI, N. et al. Interactive effects of temperature and dietary supplementation of arginine or guanidinoacetic acid on nutritional and physiological responses in male broiler chickens. **British Poultry Science**, 58(1), 87–94. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1257779>. Acesso em: 21 jun. 2025.

LIMA, M. R.; SILVA, J. H. V. Efeito da relação lisina: arginina digestível sobre o desempenho de poedeiras comerciais no período de postura. *Acta Veterinaria Brasilica*, v.1, n.4, p.118-124, 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/acta/article/view/519/243>. Acesso em: 13 jul. 2025.

LEHNINGER, A. L. et al. **Princípios de bioquímica**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.

MARTINS, A. D. F.; ASSUNÇÃO, T. S. Proteína ideal na alimentação de frangos de corte. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v. 20, n. 1, p. 101-108, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbca/a/gYwnNMRBmFvc7JGkMPJ74TJ>. Acesso em: 26 mai. 2025.

MIAO, Z. et al. Arginine nutrition in poultry: physiological roles and nutritional implications. *World's Poultry Science Journal*, v. 73, n. 4, p. 719-728, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0043933917000666>. Acesso em: 11 abr. 2025.

MONTAÑEZ, R. et al. In silico analysis of arginine catabolism as a source of nitric oxide or polyamines in endothelial cells. *Amino Acids* 34, 223–229. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00726-007-0502-7>. Acesso em: 12 abr. 2025.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL–NRC. **Nutrient requirements of poultry**. 9. ed. Washington, D.C.: National Academies Press, 1994. Disponível em: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/2114/nutrient-requirements-of-poultry-ninth-revised-edition-1994>. Acesso em: 27 jun. 2025.

RODWELL, V. W. **Bioquímica ilustrada de Harper**. Porto Alegre, RS, 2021. *E-book*. Disponível em: <https://dmapk.com.br/wp-content/uploads/2025/02/Bioquimica-Ilustrada-de-Harper-30a-ed.pdf>. Acesso em 18 jul. 2025.

ROSS BROILER. **Manual de manejo. Aviagen**, 2022. Disponível em: [https://pt.aviagen.com/assets/Tech\\_Center/Ross\\_Broiler/Ross-Broiler-Manual-PT.pdf](https://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-Broiler-Manual-PT.pdf). Acesso em: 01 jul. 2025.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabela brasileira para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2011.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabela brasileira para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2017.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabela brasileira para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2024.

SAKOMURA, N. K.; ROSTAGNO, H. S. Nutrição de não ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 2007.

SCOTTÁ, B. et al. Uso de aminoácidos industriais na nutrição de aves. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 15, n. 3, p. 565–576, 2014. Disponível em: <https://rbspa.ufba.br/index.php/rbspa/article/view/1960>. Acesso em: 10 mai. 2025.

SILVA, E. P.; COSTA, F. G. P. Relação arginina:lisina para codornas japonesas em postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 896–903, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/dQLkzvQdfYgqYkXYm3K8KbL>. Acesso em: 17 mai. 2025.

SIRATHONPONG, O. et al. Determination of the optimum arginine:lysine ratio in broiler diets. **Animal Prod. Sci.** 59 (9), 1705–1710. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/an18049>. Acesso em: 17 mai. 2025.

TAMIR, H.; RATNER, S. Enzymes of arginine metabolism in chicks. **Journal of Biological Chemistry**, v. 238, p. 2616–2620, 1963. Disponível em: [https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(19\)88144-3/fulltext](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(19)88144-3/fulltext). Acesso em: 16 jul. 2025.

WU, G. et al. Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease. **Amino Acids**, v. 37, p. 153–168, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00726-008-0210-y>. Acesso em: 16 jul. 2025.

ZHANG, Y. et al. Dietary arginine supplementation enhances antioxidant status and improves meat quality in broiler chickens. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 9, p. 1–9, 2018. Disponível em: <https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40104-018-0255-5>. Acesso em: 12 jul. 2025.

ZAMPIGA, M. et al. Effect of dietary arginine to lysine ratios on productive performance, meat quality, plasma and muscle metabolomics profile in fast-growing broiler chickens. **J. animal Sci. Biotechnol.** 9, 79–14. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0294-5>. Acesso em: 20 abr. 2025.



## C A P Í T U L O 5

# ISOLEUCINA NA DIETA DE AVES

**Marcos Cicero Pereira dos Santos**

**Adiel Vieira de Lima**

**Aline Beatriz Rodrigues**

**Raiane dos Santos Silva**

**Paloma Eduarda Lopes de Souza**

**Maria Isabelli Leite Maia**

**Danilo Vargas Gonçalves Vieira**

**Humberto de Araújo Brito Filho**

**Edilson Paes Saraiva**

**Carlos Henrique do Nascimento**

**José de Arimatéia de Freitas Pinto**

**Fernando Guilherme Perazzo Costa**

A importância dos aminoácidos na nutrição de aves é fundamental para otimizar o desempenho produtivo e a saúde dos animais, ao mesmo tempo em que se busca a sustentabilidade ambiental (Kim et al., 2022; Scottá et al., 2014). Os aminoácidos são os blocos construtores das proteínas, essenciais para o crescimento, produção de ovos, atividade enzimática, renovação de tecidos e função imunológica (Kim et al., 2022). O uso do conceito de “proteína ideal”, que busca o balanço exato dos aminoácidos sem deficiências ou excessos, permite reduzir significativamente o teor de proteína bruta (PB) nas dietas, o que não só otimiza a utilização de nutrientes e reduz os custos de alimentação, mas também minimiza a excreção de nitrogênio e a poluição ambiental (Miranda et al., 2015; Oliveira et al., 2022; Scottá et al., 2014; Kidd et al., 2021).

Entre os aminoácidos, os de cadeia ramificada (BCAA) — leucina, isoleucina e valina — são de particular relevância. Eles não apenas contribuem substancialmente para o desenvolvimento da massa muscular e a síntese proteica através da ativação de vias de sinalização como a mTOR (Liu et al., 2022; Ospina-Rojas et al., 2020; Kim et al., 2022), mas também desempenham papéis cruciais no metabolismo de glicose e lipídios (Nie et al., 2018; Kim et al., 2022). Além disso, os BCAAs são essenciais para o funcionamento adequado do sistema imunológico e a manutenção da integridade da mucosa intestinal, influenciando positivamente a saúde do trato gastrointestinal e a microbiota (Lima et al., 2016; Zhao et al., 2013; Allameh and Toghyani, 2019; Kim et al., 2022).

Para garantir o aporte nutricional ideal, é vital considerar que aminoácidos como metionina, lisina, treonina, valina e isoleucina são frequentemente limitantes em dietas à base de milho e farelo de soja, especialmente em formulações de baixa PB (Scottá et al., 2014; Kim et al., 2022). A suplementação precisa é necessária, pois um desequilíbrio nas proporções de BCAAs, particularmente o excesso de leucina (Zouaoui et al., 2021), pode gerar antagonismos que prejudicam o crescimento, o consumo de ração e a utilização dos outros BCAAs (Ospina-Rojas et al., 2020; Goo et al., 2024; Peganova e Eder, 2002, 2003; Santos et al., 2016). Portanto, a formulação cuidadosa e baseada em aminoácidos digestíveis é indispensável para maximizar a eficiência produtiva, a saúde das aves e a sustentabilidade da produção avícola (Miranda et al., 2015; Oliveira et al., 2022). Portanto, a formulação de dietas para aves deve considerar não apenas os requisitos individuais da isoleucina, mas também suas interações e proporções ideais com os outros BCAAs, especialmente em dietas de baixa proteína, para maximizar a eficiência nutricional e a saúde geral das aves (Maynard et al., 2022; Ospina-Rojas et al., 2020).

A isoleucina é um aminoácido alifático hidrofóbico (Santos et al., 2016), o que significa que possui uma cadeia lateral alifática (sem anéis aromáticos e composta apenas por átomos de carbono e hidrogênio) e é caracterizada por sua baixa afinidade com a água (Scottá et al., 2014). Essa hidrofobicidade é um fator importante para a estabilidade das proteínas, onde os resíduos hidrofóbicos se localizam geralmente no interior da estrutura proteica (Scottá et al., 2014).

A similaridade estrutural da isoleucina com a leucina e a valina é uma característica química fundamental que leva a importantes interações metabólicas. Os três BCAAs compartilham os mesmos sistemas de transporte através das membranas celulares e as mesmas enzimas para sua degradação. Um excesso de um BCAA, especialmente a leucina, pode estimular a degradação dos outros dois, resultando em deficiências de valina e isoleucina (Goo et al., 2024b; Zouaoui et al., 2021; Ospina-Rojas et al., 2020; Peganova e Eder, 2002; Santos et al., 2016).

Quanto à sua classificação metabólica, a isoleucina é considerada um aminoácido que pode ser tanto glicogênico quanto cetogênico (Scottá et al., 2014). Isso significa que seus esqueletos de carbono podem ser convertidos em piruvato ou intermediários do ciclo de Krebs (substratos para a gliconeogênese, produzindo glicose ou glicogênio) e/ou em acetoacetato ou seus precursores (acetil-CoA ou acetoacetil-CoA, que levam à formação de corpos cetônicos). Especificamente, a isoleucina é convertida em isobutil-CoA e, ao final de sua via de degradação, forma propionil-CoA e acetil-CoA (Scottá et al., 2014).

A isoleucina, um aminoácido essencial de cadeia ramificada (BCAA), é crucial para a nutrição de aves, influenciando o crescimento, o metabolismo lipídico e a função imunológica (Liu et al., 2022). Na Tabela 5.1 pode-se observar um resumo das BCAAs.

Tabela 5.1. Resumo das BCAAs (classificação, metabolismo, enzimas, antagonismo, transportadores, função metabólica, precursor)

Característica	Leucina (Leu)	Isoleucina (Ile)	Valina (Val)
<b>Classificação</b>	Aminoácido essencial, alifático, de cadeia ramificada	Aminoácido essencial, alifático, de cadeia ramificada	Aminoácido essencial, alifático, de cadeia ramificada
<b>Metabolismo Principal</b>	Cetogênico exclusivo (forma acetil-CoA e acetoacetato)	Glicogênico e Cetogênico (forma propionil-CoA e acetil-CoA)7...	Glicogênico exclusivo (forma propionil-CoA)7...
<b>Enzimas Compartilhadas</b>	Sim (BCAT e BCKD)	Sim (BCAT e BCKD)	Sim (BCAT e BCKD)
<b>Antagonismo</b>	Mais significativo. O excesso de Leu ativa o BCKD, aumentando o catabolismo de Ile e Val.	Menos significativo que Leu. O excesso de Ile pode inibir Val, mas em menor grau.	Menos significativo que Leu. O excesso de Val não influencia Leu e Ile.
<b>Transportadores</b>	Compartilha o sistema-L (LAT1/LAT2)	Compartilha o sistema-L (LAT1/LAT2)	Compartilha o sistema-L (LAT1/LAT2)
<b>Função Metabólica Chave</b>	Maior estimulador da síntese de proteína via via mTOR	Contribui para síntese de proteína, metabolismo de lipídios e energia	Contribui para síntese de proteína e energia
<b>Precursor</b>	Cetoisovalerato (intermediário da via da valina)	Piruvato + Cetobutirato	Piruvato
<b>Abundância na Dieta</b>	Geralmente abundante em dietas à base de milho e farelo de soja, raramente limitante	Quarto ou quinto aminoácido limitante em dietas à base de milho e farelo de soja	Quarto aminoácido limitante em dietas à base de milho e farelo de soja

## 5.1. ABSORÇÃO, TRANSPORTE E METABOLISMO DA ISOLEUCINA NAS AVES

O metabolismo da isoleucina, juntamente com o da leucina e valina, é complexo e caracterizado por interações significativas entre esses três BCAAs.

### 5.1.1. Absorção Intestinal e Transporte

Após a ingestão, a isoleucina é absorvida pelo intestino delgado e transportada para a corrente sanguínea (Santos et al., 2016). Os BCAAs são transportados ativamente para as células por sistemas de transportadores comuns, como o sistema-L, que inclui transportadores como LAT1 (L-type Amino Acid Transporter 1) e LAT4 (L-Type Amino Acid Transporter 4) (Kim et al., 2022; Bodoy et al., 2005; Goo et al., 2025). Esses transportadores são expressos em órgãos importantes para a homeostase e utilização de BCAAs, incluindo o intestino (Kim et al., 2022). Diferentemente de outros aminoácidos, os BCAAs não sofrem metabolismo hepático significativo de primeira passagem. O músculo esquelético é o principal local de catabolismo dos BCAAs (Kim et al., 2022).

### 5.1.2. Metabolismo

Os BCAAs são aminoácidos indispensáveis para as aves e compartilham as mesmas enzimas para sua degradação (Zouaoui et al., 2021; Kim et al., 2022; Brosnan e Brosnan, 2006; Zhang et al., 2017). A primeira etapa do catabolismo dos BCAAs é um processo reversível de transaminação, catalisado pela enzima BCAA aminotransferase (BCAT). Esta etapa ocorre principalmente nos músculos, convertendo BCAAs em seus respectivos  $\alpha$ -cetoácidos de cadeia ramificada (BCKAs). A mucosa intestinal também possui BCAT (Zouaoui et al., 2021; Kim et al., 2022). A segunda etapa é um processo irreversível de descarboxilação oxidativa, catalisado pelo complexo  $\alpha$ -cetoácido desidrogenase de cadeia ramificada (BCKD), que é um processo de desaminação que ocorre nas mitocôndrias hepáticas ou musculares (Scottá et al., 2014). Converte os BCKAs em compostos de acil-CoA de cadeia ramificada (Zouaoui et al., 2021; Kim et al., 2022).

Do ponto de vista metabólico, a isoleucina é classificada como tanto glicogênica quanto cetogênica. Isso se deve à sua conversão final em propionil-CoA e acetil-CoA, que podem ser utilizados tanto na gliconeogênese quanto na formação de corpos cetônicos (Kim et al., 2022; Scottá et al., 2014). O fígado, embora importante no metabolismo geral, possui uma baixa atividade de BCAT, sugerindo que a transaminação inicial dos BCAAs ocorre predominantemente em outros tecidos (Kim et al., 2022).

O metabolismo da isoleucina envolve uma série de etapas bioquímicas fundamentais que ilustram sua importância tanto como substrato energético quanto como componente estrutural. Após ser absorvida ativamente pelos enterócitos do intestino delgado, por meio de transportadores específicos como os do sistema-L, a isoleucina é liberada na corrente sanguínea e direcionada principalmente aos tecidos musculares, onde desempenha papel central. Uma vez no interior das células, ela pode ser utilizada na síntese proteica ou ser direcionada ao catabolismo. O processo catabólico da isoleucina inicia-se com uma transaminação, catalisada pela enzima BCAA aminotransferase (BCAT), que forma o cetoácido  $\alpha$ -ceto- $\beta$ -metilvalerato. Esse composto é então submetido a uma descarboxilação oxidativa irreversível, mediada pelo complexo BCKD, resultando na formação de isobutiril-CoA. A partir daí, a isoleucina é convertida em propionil-CoA e acetil-CoA, os quais podem ser utilizados, respectivamente, na gliconeogênese e no ciclo do ácido cítrico ou na produção de corpos cetônicos. Essa via metabólica dupla confere à isoleucina a classificação de aminoácido glicogênico e cetogênico. Além disso, seus produtos finais contribuem diretamente para a geração de ATP e para a ativação de vias celulares regulatórias, como a via mTOR, especialmente nos tecidos musculares. Todas essas etapas estão resumidas de forma esquemática na Figura 5.1, que apresenta desde sua absorção até os destinos metabólicos finais, incluindo suas funções biossintéticas e energéticas.

# METABOLISMO DA ISOLEUCINA

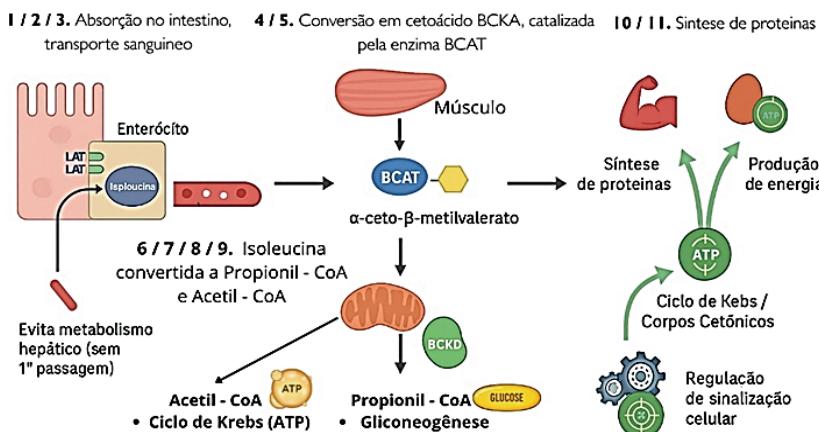


Figura 5.1. Metabolismo da isoleucina. (1) A isoleucina é absorvida ativamente pelos enterócitos (células do intestino delgado) e liberada na corrente sanguínea, utilizando transportadores como o sistema-L (e.g., LAT1, LAT4); (2) a isoleucina é transportada pela corrente sanguínea para os tecidos periféricos, especialmente os músculos, evitando metabolismo significativo de primeira passagem no fígado; (3) a isoleucina entra nas células através de transportadores de aminoácidos para ser utilizada ou catabolizada; (4) a isoleucina doa seu grupo amino para um  $\alpha$ -cetoácido, formando  $\alpha$ -ceto- $\beta$ -metilvalerato (um BCKA). Esta reação é catalisada pela enzima BCAA aminotransferase (BCAT). Ocorre principalmente nos músculos e mucosa intestinal; (5) o  $\alpha$ -ceto- $\beta$ -metilvalerato é irreversivelmente descarboxilado para formar isobutiril-CoA (um acil-CoA de cadeia ramificada). Esta etapa é catalisada pelo complexo  $\alpha$ -cetoácido desidrogenase de cadeia ramificada (BCKD). O processo de desaminação oxidativa, da qual esta etapa faz parte, ocorre nas mitocôndrias hepáticas ou musculares; (6) a isoleucina é finalmente convertida em propionil-CoA e acetil-CoA; (7) o propionil-CoA pode ser direcionado para a gliconeogênese (produção de glicose); (8) o acetil-CoA pode entrar no ciclo do ácido cítrico (Ciclo de Krebs) para produção de energia ou ser usado na síntese de corpos cetônicos; (9) essa dualidade classifica a isoleucina como um aminoácido glicogênico e cetogênico; (10) a isoleucina é utilizada diretamente para a síntese de proteínas (e.g., no músculo para ganho de massa muscular, em ovos para produção); (11) os produtos do seu catabolismo contribuem para a produção de ATP.

## 5.2. INTERAÇÕES COM LEUCINA E VALINA (AMINOÁCIDOS DE CADEIA RAMIFICADA - BCAAS)

A interação entre leucina, isoleucina e valina é um aspecto crítico de seu metabolismo, levando ao que é conhecido como antagonismo de BCAAs (Ospina-Rojas et al., 2020; Zouaoui et al., 2021). Devido à sua semelhança estrutural, os BCAAs competem pelos mesmos sistemas de transporte através das membranas celulares e utilizam os mesmos complexos enzimáticos para sua degradação (Zouaoui et al., 2021; Kim et al., 2022; Scottá et al., 2014). A leucina é considerada o BCAA

mais influente e o principal regulador do catabolismo dos BCAAs (Zouaoui et al., 2021). O excesso de leucina na dieta pode estimular a atividade do complexo BCKD, aumentando a degradação de todos os três BCAAs, e consequentemente, reduzindo a disponibilidade de valina e isoleucina no sangue e tecidos (Zouaoui et al., 2021). Isso foi observado em estudos com leitões e aves, onde a leucina dietética elevada diminuiu o consumo de ração e o ganho de peso (Zouaoui et al., 2021).

Dietas com alta inclusão de farelo de grãos secos de destilaria com solúveis (DDGS), que têm alta relação leucina:lisina, podem afetar negativamente o peso corporal, ganho de peso, consumo de ração, peso da carcaça e a altura das vilosidades jejuna e ileais em frangos de corte (Goo et al., 2024). A suplementação com isoleucina e valina pode aliviar os efeitos negativos do excesso de leucina no desempenho (Zouaoui et al., 2021; Ospina-Rojas et al., 2020). A isoleucina e a valina parecem ter uma afinidade menor pelas enzimas BCAT e BCKD em comparação com a leucina, sugerindo um efeito menos pronunciado no catabolismo dos outros BCAAs (Zouaoui et al., 2021).

Um estudo com codornas japonesas em postura mostrou que o excesso de isoleucina (até 1,248% em dietas com 16% de proteína bruta, em que 0,672% foi suficiente para atender as exigências) não resultou em efeitos lineares significativos negativos sobre o desempenho ou qualidade dos ovos, com exceção do consumo de isoleucina (Santos et al., 2016). No entanto, um estudo com galinhas poedeiras de 25 a 32 semanas de idade mostrou que concentrações de isoleucina acima de 0,75% (atingindo 0,81% e 1,05%) levaram a uma redução significativa no consumo de ração, produção de ovos e massa diária de ovos (Peganova e Eder, 2002). Além disso, os BCAAs podem competir com o triptofano pelo transporte através da barreira hematoencefálica, afetando a produção de serotonina, um neurotransmissor que influencia o comportamento alimentar dos animais (Scottá et al., 2014; Wessels et al., 2016). Níveis elevados de valina, isoleucina e leucina estão associados à baixa produção de serotonina no cérebro de frangos de corte (Harrison e D'Mello, 1986).

### 5.3. EXIGÊNCIA DE ISOLEUCINA PARA AVES

A isoleucina (Ile), um dos aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA) junto com a valina (Val) e a leucina (Leu), é um nutriente essencial crucial para a síntese proteica, produção de energia e crescimento muscular em aves. Os BCAAs compartilham as mesmas enzimas de degradação, o que pode levar a um antagonismo metabólico se suas proporções na dieta estiverem desequilibradas. O equilíbrio entre esses aminoácidos é fundamental para otimizar o desempenho e a saúde das aves.

**Requisitos Nutricionais por Fase:** A isoleucina é frequentemente considerada o quinto aminoácido limitante em dietas à base de milho e farelo de soja com baixo teor de proteína bruta. As exigências variam com a fase de crescimento e a linhagem do frango.

### 5.3.1. Frangos de corte

As exigências nutricionais de aminoácidos para as aves são influenciadas por múltiplos fatores, o que gera variações nas recomendações entre diferentes autores e fontes. Fatores como genética e linhagem (Tabela 5.2) são cruciais, pois o contínuo avanço genético em desempenho de crescimento e produção requer atualizações periódicas das necessidades nutricionais. A idade (Tabela 5.2) e o estágio de desenvolvimento do animal, bem como o sexo, também alteram significativamente as exigências. As condições ambientais, como temperatura e umidade, afetam o consumo de ração e, consequentemente, a concentração de nutrientes necessária. O nível energético da ração e o consumo de ração são interdependentes, influenciando diretamente a densidade necessária de aminoácidos.

Tabela 5.2. Recomendações de Isoleucina para Frangos de Corte

Autor	Fase	Níveis (%)	Iso: Lis (%Dig)	Consumo AA (g/ave/dia)
<b>Desempenho Superior</b>				
Rostagno (2024)	Pré inicial (0 – 8)	0,916	67	0,23
Rostagno (2024)	Inicial (8 – 17)	0,894	67	0,63
Rostagno (2024)	Crescimento I (17 – 27)	0,842	67	1,20
Rostagno (2024)	Crescimento II (27 – 35)	0,806	67	1,60
Rostagno (2024)	Final I (35 - 43)	0,796	68	1,72
Rostagno (2024)	Final II (43 – 49)	0,773	68	1,61
Rostagno (2011)	Pré inicial (0 – 7)	0,887	67	0,22
Rostagno (2011)	Inicial (8 – 21)	0,816	67	0,69
Rostagno (2011)	Crescimento I (22 – 33)	0,769	68	1,21
Rostagno (2011)	Crescimento II (34 – 42)	0,721	68	1,44
Rostagno (2011)	Final (43 - 46)	0,684	68	1,43
Rostagno (2005)	Pré inicial (0 – 7)	0,886	65	0,21
Rostagno (2005)	Inicial (8 – 21)	0,773	65	0,52
Rostagno (2005)	Crescimento I (22 – 33)	0,736	67	1,04
Rostagno (2005)	Crescimento II (34 – 42)	0,702	67	1,33
Rostagno (2005)	Final (43 - 46)	0,680	67	1,41
<b>Desempenho Médio - Superior</b>				
Rostagno (2017)	Pré inicial (0 – 7)	0,895	66	0,21
Rostagno (2017)	Inicial (8 – 21)	0,875	67	0,66
Rostagno (2017)	Crescimento I (22 – 33)	0,840	68	1,34
Rostagno (2017)	Crescimento II (34 – 42)	0,726	68	1,53
Rostagno (2017)	Final (43 - 46)	0,658	68	1,47

<b>Desempenho Médio</b>				
Rostagno (2024)	Pré inicial (0 – 8)	0,876	67	0,22
Rostagno (2024)	Inicial (8 – 17)	0,854	67	0,60
Rostagno (2024)	Crescimento I (17 – 27)	0,802	67	1,15
Rostagno (2024)	Crescimento II (27 – 35)	0,764	67	1,53
Rostagno (2024)	Final I (35 - 43)	0,750	68	1,64
Rostagno (2024)	Final II (43 – 49)	0,730	68	1,54
Rostagno (2011)	Pré inicial (0 – 7)	0,878	67	0,22
Rostagno (2011)	Inicial (8 – 21)	0,787	67	0,60
Rostagno (2011)	Crescimento I (22 – 33)	0,733	68	1,13
Rostagno (2011)	Crescimento II (34 – 42)	0,687	68	1,38
Rostagno (2011)	Final (43 – 46)	0,636	68	1,33
Rostagno (2005)	Pré inicial (0 – 7)	0,865	65	0,20
Rostagno (2005)	Inicial (8 – 21)	0,745	65	0,49
Rostagno (2005)	Crescimento I (22 – 33)	0,719	67	0,97
Rostagno (2005)	Crescimento II (34 – 42)	0,681	67	1,21
Rostagno (2005)	Final (43 - 46)	0,650	67	1,27
<b>Desempenho Regular Médio</b>				
Rostagno (2017)	Pré inicial (0 – 7)	0,876	67	0,20
Rostagno (2017)	Inicial (8 – 21)	0,842	67	0,62
Rostagno (2017)	Crescimento I (22 – 33)	0,764	68	1,20
Rostagno (2017)	Crescimento II (34 – 42)	0,690	68	1,43
Rostagno (2017)	Final (43 - 46)	0,649	68	1,43
<b>Médios e Grandes</b>				
Cobb500 (2022)	Iniciante 0 – 12	0,81	64	0,31
Cobb500 (2022)	Crescimento I 13 – 28	0,75	64	1,05
Cobb500 (2022)	Crescimento II 29 – 39	0,69	65	1,45
Cobb500 (2022)	Final I 40 – 49	0,63	66	1,47
Cobb500 (2022)	Final II > 50	0,57	66	-
Ross (2022)	0 – 10	0,88	67	-
Ross (2022)	11 – 24	0,80	68	-
Ross (2022)	25 – 39	0,75	69	-
Ross (2022)	40 – 51	0,70	69	-
Ross (2022)	> 52	0,67	70	-
<b>Autor</b>	<b>Fase</b>	<b>Níveis (%Total)</b>	<b>Iso:Lis (%Total)</b>	<b>Consumo AA (g/ave/dia)</b>
NRC (1994)	0 – 3 Semanas	0,80	73	0,32
NRC (1994)	3 – 6 Semanas	0,73	73	0,83
NRC (1994)	6 – 8 Semanas	0,62	73	0,89

As exigências nutricionais de isoleucina (Ile) para frangos de corte têm sido alvo de diversos estudos, com o objetivo de otimizar o desempenho produtivo e a eficiência alimentar das aves. De acordo com o NRC (1994), recomenda-se um nível de 0,73% de isoleucina total na ração para frangos de corte com idade entre 22 e 42 dias (Scottá et al., 2014; NRC, 1994). No entanto, outros autores sugerem níveis ligeiramente inferiores. Corzo et al. (2004), por exemplo, indicam a necessidade de 0,66% de isoleucina digestível para frangos na faixa etária de 20 a 40 dias (Corzo et al., 2004; Scottá et al., 2014), enquanto Baker et al. (2002) propõem uma relação de isoleucina em relação à lisina digestível de 61% para essa mesma fase produtiva (Baker et al., 2002; Scottá et al., 2014).

A literatura mais recente tem avançado na busca por relações ideais entre isoleucina e lisina digestível, considerando diferentes linhagens e faixas etárias. Por exemplo, estudos com frangos de corte machos da linhagem Ross 708 x Ross YP, entre 0 e 18 dias de idade, apontam que a relação ideal de Ile:Lisina digestível varia entre 63% e 73% para promover melhores ganhos de peso e peso corporal. Para a conversão alimentar (FCR), os valores ótimos situam-se entre 68% e 74% (Brown et al., 2022). Em frangos de 14 a 28 dias de idade, outra pesquisa identificou faixas de 62% a 68% para ganho de peso e de 67% a 70% para FCR, confirmando a importância da adequação da proporção entre esses aminoácidos essenciais para o desempenho zootécnico (Brown et al., 2021).

Além da idade, o peso corporal também influencia a exigência de isoleucina. Para frangos com peso entre 1,0 e 4,0 kg, a relação ideal de Ile:Lisina digestível varia entre 0,63 e 0,73, conforme proposto por Wise et al. (2021). Esses autores também destacam que dietas compostas por milho e farelo de soja, formuladas com relações entre 0,67 e 0,69, são eficazes para promover crescimento ideal e rendimento de carcaça em frangos de corte.

Um estudo mais recente realizado por Oliveira et al. (2022) em dietas com baixo teor proteico recomenda uma relação de isoleucina padronizada digestível (SID) em relação à lisina de aproximadamente 66% para frangos de 1 a 21 dias de idade e de 65% para a fase de 22 a 44 dias. Esses dados reforçam a importância da formulação precisa de dietas, especialmente em contextos de redução proteica, visando não apenas o desempenho, mas também a sustentabilidade da produção avícola.

### 5.3.2. Poedeiras comerciais leves e semipesadas

As tabelas consideram múltiplos fatores como peso corporal, ganho de peso, produção de ovos e temperatura ambiente para oferecer programas nutricionais dinâmicos e de precisão, visando a máxima produtividade e a formulação de rações mais econômicas e eficientes (Tabela 5.3).

Tabela 5.3. Recomendações de Isoleucina para Poedeiras Comerciais

Autor	Fase	Níveis (%Dig)	Iso:Lis (%Dig)	Consumo AA (g/ave/dia)
Hy-line W-36	Pico	0,64	80	0,64
Hy-line W-36	Postura 3	0,55	79	0,55
Rostagno (2011)	Leve (1,650 kg)	0,515	76	0,53
Rostagno (2011)	Semipesada (1,9 kg)	0,477	76	0,54
NRC (1994)	Postura	0,55	80	0,55
<b>Desempenho Superior</b>				
Rostagno (2024)	Leve (1,6 kg)	0,602	89	0,60
Rostagno (2024)	Semipesada (1,9kg)	0,556	80	0,61
<b>Desempenho Médio – Superior</b>				
Rostagno (2017)	Leve (1,450 kg)	0,619	78	0,60
Rostagno (2017)	Semipesada (1,980 kg)	0,556	78	0,63

Estudos em poedeiras entre 25 e 32 semanas de idade observaram que o consumo de ração e a produção de ovos foram significativamente menores com 0,81% de isoleucina dietética, em comparação com concentrações de 0,39% a 0,75% (Peganova e Eder, 2002). O requisito de Ile para o máximo desempenho (95% ou 99% do máximo) em poedeiras foi de 416 a 472 mg/d (Peganova e Eder, 2002).

### 5.3.3. Matrizes

A formulação de dietas para Matrizes Reprodutoras é uma área altamente especializada da nutrição avícola, focada em otimizar tanto a saúde e produtividade da ave reprodutora quanto a qualidade da prole. As Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos, amplamente utilizadas, fornecem diretrizes essenciais baseadas em pesquisa nacional, além dos manuais de linhagem e trabalhos científicos publicados em periódicos (Tabela 5.4).

Tabela 5.4. Recomendações de Isoleucina para Matrizes Comerciais

Autor	Fase	Níveis (%Dig)	Iso:Lis (%Dig)	Consumo AA (g/ave/dia)
<b>Até 28 Semanas</b>				
NOVOgen Brown	Ingestão 120g	0,64	90	0,77
NOVOgen Brown	Ingestão 110g	0,70	91	0,77
<b>28 a 45 Semanas</b>				
NOVOgen Brown	Ingestão 120g	0,60	90	0,72
NOVOgen Brown	Ingestão 110g	0,66	90	0,73

45 Semanas até o Descarte				
NOVOgen Brown	Ingestão 120g	0,60	90	0,72
NOVOgen Brown	Ingestão 110g	0,66	90	0,73
Matriz				
Matriz Cobb500	Crescimento	0,42	70	-
Matriz Cobb500	Postura 2	0,42	70	-
Reprodutoras Pesadas				
Rostagno (2024)	4,200kg	0,497	92	0,826
Rostagno (2024)	3,800kg	0,542	92	0,925

### 5.3.4. Codornas Japonesas e Europeias

As informações sobre as exigências de isoleucina para codornas são limitadas nas fontes. Os dados disponíveis referem-se principalmente a codornas japonesas em fase de postura (Tabela 5.5).

Tabela 5.5. Exigência de Isoleucina para Codornas Japonesas e europeias

Autor	Fase	Níveis (%Dig)	Iso:Lis (%Dig)	Consumo AA (g/ave/dia)
Codornas Japonesas				
Silva (2012)	1 – 21	0,89	75	-
Silva (2012)	22 – 42	0,74	70	-
Silva (2012)	Postura 1	0,87	92	-
Silva (2012)	Postura 2	0,96	91	-
Rostagno (2024)	Cria (1 – 14)	0,896	64	0,140
Rostagno (2024)	Recria (15 – 35)	0,817	71	0,183
Rostagno (2024)	Postura	0,645	65	0,164
Santos et al.,(2016)	Postura	0,672	-	-
Codornas Europeias				
Silva et al., (2012)	Inicial (1 – 21)	1,14	83	-
Silva et al., (2012)	Crescimento (22 – 42)	1,03	84	-
Rostagno (2024)	Inicial (1 – 14)	2,466	83	0,285
Rostagno (2024)	Crescimento (15 – 35)	2,391	88	0,541
Rostagno (2024)	Completa (1 – 35)	2,421	86	0,440

Para codornas japonesas alimentadas com dietas de 16% de proteína bruta (PB), o nível de isoleucina de 0,672% foi suficiente para obter desempenho satisfatório de postura. A taxa de postura não foi afetada pelos níveis de isoleucina na dieta, mantendo uma média de 87,39% (Santos et al., 2016). Os níveis de isoleucina avaliados não causaram alterações significativas nos parâmetros de qualidade interna do ovo, como altura do álbumen, unidades Haugh, cor da gema, força ou espessura da casca.

O nível de 0,672% de isoleucina em dietas com 16% de PB promoveu uma redução na excreção de nitrogênio. Os níveis de isoleucina utilizados no estudo, mesmo os que foram até 30% acima das recomendações, não foram suficientes para provocar antagonismo entre os BCAAs nas codornas, o que sugere uma margem de segurança para este aminoácido nesta espécie dentro dos níveis testados. Os resultados de Santos et al. (2016) indicam que, para a maioria dos parâmetros de desempenho e qualidade de ovos (consumo de ração, porcentagem de postura, massa de ovo, conversão alimentar), os níveis testados de isoleucina (de 0,672% a 1,248% na dieta) não resultaram em diferenças significativas. Isso sugere que o nível basal de 0,672% já atendia às exigências das aves para esses parâmetros, e aumentos adicionais de isoleucina não geraram melhorias lineares ou quadráticas notáveis nesses aspectos, embora o consumo de isoleucina tenha aumentado linearmente.

## 5.4. EFEITOS DE DEFICIÊNCIA E EXCESSO

### 5.4.1. Deficiência de Isoleucina

A deficiência de isoleucina na dieta de aves de corte pode resultar em diversos prejuízos ao desempenho produtivo, sendo observada, principalmente, uma redução no ganho de peso corporal, piora na conversão alimentar e menor rendimento tanto de carcaça quanto de carne de peito. Além disso, tal deficiência pode afetar a uniformidade dos lotes, uma vez que o coeficiente de variação tende a diminuir conforme os níveis dietéticos de aminoácidos se aproximam das exigências nutricionais adequadas.

Em frangas de corte, mesmo uma deficiência marginal de isoleucina pode impactar negativamente alguns parâmetros imunológicos. No entanto, esses efeitos não necessariamente comprometem a imunidade de forma significativa, sugerindo uma certa tolerância fisiológica à redução moderada deste aminoácido. Em situações de desafio sanitário, como em casos de enterite necrótica (EN), observou-se que a deficiência de isoleucina não exerce um impacto tão relevante sobre o desempenho ou o consumo de ração quanto a deficiência de valina. Isso indica que os efeitos negativos da deficiência de valina e da presença de EN podem atuar de maneira independente.

### 5.4.2. Excesso de Isoleucina

Por outro lado, o excesso de isoleucina na dieta também pode ser prejudicial, especialmente por causar antagonismo com outros aminoácidos de cadeia ramificada (BCAAs), como leucina e valina. Esse desequilíbrio pode resultar em redução do consumo de ração e no ganho de peso. Além disso, o excesso de isoleucina pode induzir uma deficiência funcional dos demais BCAAs nos sítios de síntese proteica, comprometendo o metabolismo proteico de forma geral.

Em dietas com baixo teor proteico, a suplementação excessiva de isoleucina particularmente acima de 0,26% adicional tem sido associada à redução nos níveis de lipídios séricos, menor acúmulo de gordura hepática e diminuição da porcentagem de gordura abdominal. Tais efeitos parecem estar relacionados à ativação de vias metabólicas específicas, como AMPK e JAK2/STAT, que regulam o metabolismo lipídico. Além disso, altos níveis totais de BCAAs, e não apenas de leucina, têm sido implicados na redução da proporção de músculo do peito, o que reforça a importância do equilíbrio entre esses aminoácidos na formulação de dietas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A isoleucina, como aminoácido essencial de cadeia ramificada (BCAA), desempenha um papel fundamental no metabolismo e desempenho produtivo das aves, com destaque para frangos de corte, poedeiras e codornas. Sua importância vai além da simples participação na síntese de proteínas, abrangendo também funções regulatórias, imunológicas e energéticas que sustentam o crescimento, a produção de ovos e a manutenção da saúde intestinal.

Do ponto de vista metabólico, a isoleucina é classificada como glicogênica e cetogênica, o que a torna uma molécula versátil tanto para a produção de energia quanto para a síntese de glicose. Sua metabolização envolve etapas bem definidas, com destaque para a transaminação via BCAT e a descarboxilação oxidativa via BCKD, processos que ocorrem predominantemente no músculo esquelético e nas mitocôndrias. A eficiência da sua utilização depende diretamente da adequação dos níveis dietéticos, da forma digestível suplementada, e do equilíbrio com os demais BCAAs.

A literatura destaca que desequilíbrios entre leucina, isoleucina e valina podem gerar antagonismos metabólicos, prejudicando o consumo de ração, o crescimento e o desempenho reprodutivo. Em dietas à base de milho e farelo de soja, especialmente aquelas com redução de proteína bruta (PB), a isoleucina torna-se frequentemente limitante, sendo essencial sua suplementação com base nas exigências específicas da fase de produção e da linhagem da ave.

Além disso, a isoleucina participa de vias de sinalização celular, como a via mTOR, que regula a síntese proteica e está intimamente ligada ao crescimento muscular e à eficiência produtiva. Ainda, sua influência sobre a microbiota intestinal, a integridade da mucosa e o sistema imune reforça seu papel multifuncional.

Portanto, uma compreensão aprofundada da fisiologia, metabolismo e exigências nutricionais da isoleucina, aliada a uma formulação de dietas equilibradas, é indispensável para atender às crescentes demandas por produtividade, qualidade e sustentabilidade na avicultura moderna. O ajuste preciso desse aminoácido, em conjunto com os demais BCAAs, deve ser considerado uma ferramenta estratégica para otimizar o desempenho zootécnico, garantir a saúde intestinal e promover a eficiência do sistema produtivo como um todo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLAMEH, S.; TOGHYANI, M. Effect of dietary valine supplementation to low protein diets on performance, intestinal morphology and immune responses in broiler chickens. *Livestock Science*, v. 229, p. 137–144, 2019.
- BAKER, D. H.; BATAL, A. B.; PARR T. M. et al. Ideal Ratio (Relative to Lysine) of Tryptophan, Threonine, Isoleucine, and Valine for Chicks During the Second and Third Weeks Posthatch. *Poultry Science*, v. 81, p.485–494, 2002.
- BODOY, S.; MARTÍN, L.; ZORZANO, A.; PALACÍN, M.; ESTÉVEZ, R.; BERTRAN, J. Identification of LAT4, a novel amino acid transporter with system L activity. *Journal of Biological Chemistry*, v. 280, n. 12, p. 12002-12011, 2005.
- BROSNAN, J. T.; BROSNAN, M. E. Branched-chain amino acids: enzyme and substrate regulation. *Journal of Nutrition*, v. 136, n. 1, p. 207S–211S, 2006.
- BROWN, A. T.; LEE, J.; ADHIKARI, R.; HAYDON, K.; WAMSLEY, K. G. S. Determining the optimum digestible isoleucine to lysine ratio for Ross 708 x Ross YP male broilers from 0 to 18 d of age. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 30, art. 100205, 2021.
- BROWN, A. T.; LEE, J.; ADHIKARI, R.; HAYDON, K.; WAMSLEY, K. G. S. Determining the optimal digestible isoleucine to lysine ratio of Ross 708 x Ross YP male broilers from 14 to 28 days of age. *Journal of Applied Poultry Research*, v. 31, art. 100262, 2022.
- CORZO, A.; MORAN Jr, E.T.; HOEHLER, D. Valine needs of male broilers from 42 to 56 days of age. *Poultry Science*, v. 83, p. 946–951, 2004.

GOO, D.; KO, H.; CHOI, J.; LEE, J.; WHITE, D. L.; SHARMA, M. K.; KIM, W. K. Valine and isoleucine deficiency in necrotic enteritis challenge impact growth performance, intestinal health, and muscle growth in broilers. **Poultry Science**, v. 104, art. 105143, 2025.

GOO, D.; SINGH, A. K.; CHOI, J.; SHARMA, M. K.; PANERU, D.; LEE, J.; KATHA, H. R.; ZHUANG, H.; KONG, B.; BOWKER, B.; KIM, W. K. Different dietary branched-chain amino acid ratios, crude protein levels, and protein sources can affect the growth performance and meat yield in broilers. **Poultry Science**, art. 104313, 2024.

HALE, L. L.; PHARR, G. T.; BURGESS, S. C.; CORZO, A.; KIDD, M. T. Isoleucine needs of thirty- to forty-day-old female chickens: immunity. **Poultry Science**, v. 83, p. 1979–1985, 2004.

HARRISON, L. M.; D'MELLO, J. P. F. Large neutral amino acids in the diet and neurotransmitter concentrations in the chick brain. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 45, p. 72A, 1986.

JIAN, H.; XU, M.; LIU, F.; ZHANG, L.; HUANG, Q.; MA, J.; ZOU, X.; DONG, X. Branched-chain amino acids induce hyperammonemia via gut-liver axis-mediated ammonia overproduction in laying hens. **Animal Nutrition Journal**, 2025.

KIDD, M. T.; BURNHAM, D. J.; KERR, B. J. Dietary isoleucine responses in male broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 45, p. 67-75, 2004.

KIM, W. K.; SINGH, A. K.; CHOI, J.; GOO, D.; LEE, J.; PANERU, D.; SHARMA, M. K. Functional role of branched chain amino acids in poultry a review. **Poultry Science**, v. 101, art. 101732, 2022.

LIMA, M. B.; SAKOMURA, N. K.; DORIGAM, J. C. P.; SILVA, E. P.; FERREIRA, N. T.; FERNANDES, J. B. K. Maintenance valine, isoleucine, and tryptophan requirements for poultry. **Poultry Science**, v. 95, n. 4, p. 842–850, 2016.

LIMA, M. B.; SAKOMURA, N. K.; SILVA, E. P.; DORIGAM, J. C. P.; FERREIRA, N. T.; MALHEIROS, E. B.; FERNANDES, J. B. K. The optimal digestible valine, isoleucine and tryptophan intakes of broiler breeder hens for rate of lay. **Animal Feed Science and Technology**, v. 238, p. 29–38, 2018.

LIU, C.; RADEBE, S. M.; ZHANG, H.; JIA, J.; XIE, S.; SHI, M.; YU, Q. Effect of *Bacillus coagulans* on maintaining the integrity intestinal mucosal barrier in broilers. **Vet. Microbiol.**, v. 266, p. 109357, 2022

MAYRARD, C. W.; MULLENIX, G. J.; MAYNARD, C. J.; WELLS-CRAFTON, S. C.; LEE, J. T.; RAO, S. K.; BUTLER, L. D.; ORLOWSKI, S. K.; KIDD, M. T. Titration of dietary isoleucine and evaluation of branched-chain amino acid levels in female Cobb 500 broilers during a 22- to 42-day finisher period. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 31, art. 100245, 2022.

MIRANDA, D. J. A.; VIEIRA, S. L.; FAVERO, A.; ANGEL, C. R.; STEFANELLO, C.; NOGUEIRA, E. T. Performance and meat production of broiler chickens fed diets formulated at different crude protein levels supplemented or not with L-valine and L-isoleucine. **Animal Feed Science and Technology**, v. 206, p. 39–47, 2015

MIRANDA, D. J. A.; VIEIRA, S. L.; FAVERO, A.; ANGEL, C. R.; STEFANELLO, C.; NOGUEIRA, E. T. Performance and meat production of broiler chickens fed diets formulated at different crude protein levels supplemented or not with L-valine and L-isoleucine. **Animal Feed Science and Technology**, v. 206, p. 39–47, 2015.

Nie, C.; He, T.; Zhang, W.; Zhang, G.; Ma, X. Branched chain amino acids: beyond nutrition metabolism. **J Mol Sci.**, v. 19, p. 954, 2018.

OLIVEIRA, C. H. de; BERNARDES, R. D.; DIAS, K. M. M.; RIBEIRO, A. M.; RODRIGUEIRO, R. J. B.; CALDERANO, A. A.; ALBINO, L. F. T. The influence of different isoleucine lysine ratios on the growth performance of broiler chickens fed low protein diets. **Poult. Sci.**, 2024

OLIVEIRA, C. H.; BERNARDES, R. D.; DIAS, K. M. M.; RIBEIRO, A. M.; RODRIGUEIRO, R. J. B.; KOO, B. K.; TAK, J.; PARK, C.; CALDERANO, A. A.; ALBINO, L. F. T. The influence of different isoleucine: lysine ratios on the growth performance of broiler chickens fed low-protein diets. **Poultry Science**, v. 101, art. 102553, 2022.

OSPIN-ROJAS, I. C.; POZZA, P. C.; RODRIGUEIRO, R. J. B.; GASPARINO, E.; KHATLAB, A. S.; MURAKAMI, A. E. High leucine levels affecting valine and isoleucine recommendations in low-protein diets for broiler chickens. **Poultry Science**, v. 99, n. 11, p. 5946–5959, 2020.

PEGANOVA, S.; EDER, K. Interactions of various supplies of isoleucine, valine, leucine and tryptophan on the performance of laying hens. **Poultry Science**, v. 82, p. 100-105, 2003.

PEGANOVA, S.; EDER, K. Studies on Requirement and Excess of Isoleucine in Laying Hens. **Poultry Science**, v. 81, n. 11, p. 1714–1721, 2002.

SANTOS, G. C. dos; GARCIA, E. A.; VIEIRA FILHO, J. A.; MOLINO, A. de B.; PELICIA, K.; BERTO, D. A. Performance of Japanese quails fed diets with low-protein and isoleucine. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 38, n. 2, p. 219-225, abr.-jun. 2016.

SCOTTÁ, B. A.; CAMPOS, P. F.; GOMIDE, A. P. C.; BARROCA, C. C.; FORMIGONI, A. S.; OLIVEIRA, B. L. de. Valina, isoleucina e leucina para aves. **PUBVET**, Londrina, v. 8, n. 1, Ed. 250, Art. 1652, jan. 2014.

WESSELS, A. G.; KLUGE, H.; HIRCHE, F.; KIOWSKI, A.; SCHUTKOWSKI, A.; CORRENT, E.; BARTEL, J.; KÖNIG, B.; STANGL, G. I. High leucine diets stimulate cerebral branched-chain amino acid degradation and modify serotonin and ketone body concentrations in a pig model. **PLoS One**, v. 11, n. 3, e0150376, 2016.

WISE, T. L.; TILLMAN, P. B.; SOTO, J.; TOUCHETTE, K. J.; DOZIER, W. A. Determination of the optimum digestible isoleucine to lysine ratios for male Yield Plus £ Ross 708 broilers between 1.0 and 4.0 kg body weight utilizing growth performance and carcass characteristics. **Poultry Science**, v. 100, p. 101307, 2021.

ZHANG, S.; ZENG, X.; REN, M.; MAO, X.; QIAO, S. Novel metabolic and physiological functions of branched chain amino acids: a review. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 8, p. 1–12, 2017

ZHAO, J.; LIU, Y.; JIANG, J.; WU, P.; JIANG, W.; LI, S.; TANG, L.; KUANG, S.; FENG, L.; ZHOU, X. Effects of dietary isoleucine on the immune response, antioxidant status and gene expression in the head kidney of juvenisoleucine Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*). **Fish Shellfish Immunology**, v. 35, p. 572-580, 2013.

ZOUAOUI, M.; LAMBERT, W.; SIMONGIOVANNI, A.; LÉT OURNEAU-MONTMINY, M. P. Comparative meta-analysis of broiler and piglet response to dietary valine taking into account isoleucine and leucine interactions. **Animal Feed Science and Technology**, v. 282, art. 115110, 2021.



## C A P Í T U L O 6

# ÓLEOS ESSENCIAIS NA ALIMENTAÇÃO DE AVES

**Paloma Eduarda Lopes de Souza**

**Adiel Vieira de Lima**

**Carlos Henrique do Nascimento**

**Aline Beatriz Rodrigues**

**José de Arimatéia de Freitas Pinto**

**Humberto de Araújo Brito Filho**

**Danilo Vargas Gonçalves Vieira**

**Germano Augusto Jerônimo do Nascimento**

**Edilson Paes Saraiva**

**Danilo Teixeira Cavalcante**

**Isabelle Naemi Kaneko**

**Fernando Guilherme Perazzo Costa**

Nos últimos anos, as pesquisas têm se intensificado visando encontrar alternativas inovadoras para os antibióticos, que estão associados à resistência antimicrobiana. Nesse sentido, os compostos naturais emergiram como alternativas mais viáveis, nos quais destacam-se os ácidos orgânicos e os óleos essenciais (Islam *et al.*, 2022). Estes influenciam no desempenho zootécnico aumentando a digestibilidade e absorção dos nutrientes, na morfologia intestinal promovendo aumento das vilosidades e na modificação da microbiota por promover maior contagem de microrganismos benéficos, e a sua mistura pode ampliar os efeitos de ambos (Stamilla *et al.*, 2020).

Os óleos essenciais (OE) apresentam uma alta concentração de compostos fenólicos bioativos que desempenham funções antimicrobianas, antioxidantes e anti-inflamatórias no íleo através da regulação dos genes neste tecido (Moharreri *et al.*, 2021) the development of phytobiotics, an antibiotic-replacing agent, has attracted a considerable attention as poultry feed additive. The present study aims to develop the microcapsules loaded with a blend of essential oils (thyme, peppermint, savoury, and black pepper. É utilizado no mercado o carvacrol, timol, eugenol, cinamaldeído, óleo de palma e entre outros compostos fitogênicos. Orzuna-Orzuna; Lara-Bueno (2023), observaram no soro sanguíneo que a inclusão dietética de OE aumentou os níveis de superóxido dismutase e glutatona peroxidase, enzimas que controlam os radicais livres produzidos, e a capacidade antioxidante total. Kolani *et al.* (2019), identificaram que a adição de 2% de óleo de palma resultou em um efeito benéfico no desempenho da produção de ovos de galinhas poedeiras.

Os ácidos orgânicos são ácidos fracos e dissociam-se apenas parcialmente, podem atuar como antibacterianos, potencializadores imunológicos e promotores de crescimento (Khan *et al.*, 2022). A acidificação no intestino resulta na inibição das bactérias patogênicas que competem com o hospedeiro pelos nutrientes disponíveis, além de reduzir a produção de metabólitos bacterianos tóxicos (Kunz *et al.*, 2011). Os ácidos graxos de cadeia curta, os ácidos graxos de cadeia média e outros ácidos orgânicos possuem diferentes níveis de atividade antimicrobiana, dependendo tanto da concentração do ácido quanto da espécie bacteriana exposta a ele (Khan; Iqbal, 2016). Os ácidos orgânicos pertencem à diferentes classes (butírico, acético, cítrico, fórmico, láctico, propiônico e outros), e além da ação antimicrobiana, estimula a atividade enzimática (Funari Junior *et al.*, 2011).

Como característica dos ácidos e óleos essenciais, estes produtos são voláteis e que durante o processamento da ração podem evaporar ou atuar no estômago e no intestino delgado proximal (Michiels *et al.*, 2008). O microencapsulamento é uma técnica utilizada para melhorar a viabilidade dos ácidos orgânicos e óleos essenciais durante o processamento e para a entrega direcionada no trato gastrointestinal (Jadhaoo *et al.*, 2019). No qual pequenas partículas ou gotículas são envolvidas por uma parede de revestimento lipídica para formar pequenas cápsulas. Permitindo que essas substâncias permaneçam inativas no estômago, sendo ativadas apenas sob a ação dos sais biliares e da lipase no intestino, onde exercem seus efeitos benéficos. Abdelli *et al.* (2021), observaram que a microencapsulação protegeu o ácido fumárico e o timol, sendo absorvidos de forma lenta durante todo o trato gastrointestinal (TGI).

## 6.1. TRATO GASTROINTESTINAL DAS AVES

O sistema digestório tem a função de reduzir os nutrientes dos alimentos em compostos através da mastigação (fragmentação mecânica) ou digestão química (enzimas) que serão absorvidos e utilizados pelos tecidos. Modificações morfológicas podem afetar significativamente o desempenho do animal em razão da influência sobre o aproveitamento dos nutrientes. As aves apresentam o sistema digestório anatomicamente diferente dos outros não ruminantes, observa-se a presença de bico, papo, proventrículo, moela, ceco bifurcado, cloaca e intestinos mais curtos que os dos mamíferos para redução do peso corporal, adaptação importantes para aves que voam (Sakomura *et al.*, 2014; Reece, 2017).

Nas galinhas, o papo secreta muco (7-30 mL por dia) para lubrificar a ingestão e a digestão do amido ocorre por ação bacteriana neste ambiente. No proventrículo é liberado muco, HCl e pepsinogênio (convertido em pepsina no pH ácido). O pH do suco gástrico (0,5 a 2,5) é o ideal para a hidrólise de moléculas proteicas, o pH do conteúdo é em torno de 4,8. A moela reduz as partículas do alimento e mistura com líquidos digestivos. No intestino delgado ocorre a digestão química, por meio de enzimas pancreáticas (lipase, amilase e precursores das enzimas proteolíticas) e microbiota. O pâncreas secreta bicarbonato para neutralizar o suco gástrico ácido (pH ideal: 6-8) (Reece, 2017; Araújo e Zannetti, 2019).

O intestino delgado é onde ocorre a maior parte da digestão e absorção e é composto de três segmentos: duodeno, jejunum e íleo. O duodeno recebe as secreções pancreáticas e a bile do fígado para a digestão e absorção de gorduras e vitaminas. No lúmen do intestino delgado há exposição de uma grande área da superfície de absorção, que é recoberta com vilosidades e as células epiteliais individuais que reveste as vilosidades apresentam suas próprias microvilosidades na superfície luminal. As microvilosidades amplificam a área da superfície de absorção e compõe uma estrutura denominada bordo em escova (Rowe e Reece, 2020).

O intestino grosso está envolvido no processo de reabsorção de água, e ao realizar esse processo, ajuda na manutenção do equilíbrio de água no organismo e em todo o corpo da ave. No ceco, ocorre uma pequena quantidade de digestão de carboidratos e proteínas, além da fermentação microbiana da fibra dietética (Silva, 2020).

Du *et al.* (2020), descreveram e identificaram que a composição da microbiota intestinal geralmente é benéfica, como os *Lactobacillus* e as *Bifidobactérias*. Estes microrganismos têm o papel de maturar a barreira intestinal (vilosidades), estimular transportadores de nutrientes, estimular a secreção de muco para proteção do tecido ou degradar como fonte nutricional para si, degradar fibra em nutrientes de melhor digestibilidade e absorção e competir com os microrganismos patogênicos por nutrientes e sítios de adesão, como também secretar enzimas e substâncias bactericidas que eliminam os patógenos (Sakomura *et al.*, 2014).

Os filos *Firmicutes*, *Bacteroidetes* e *Proteobacteria* formam a grande maioria da microbiota intestinal em galinhas poedeiras e a sua sucessão dinâmica ocorre durante todos os períodos de postura. O seu número e composição variam em função da idade da ave e do segmento intestinal (Macari *et al.*, 2014; Dai *et al.*, 2022). Khan *et al.* (2020), afirmam que a microbiota intestinal normal de galinhas poedeiras é composta por *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Fusobacteria* e *Actinobacteria* em nível de filo. E que a composição da microbiota intestinal muda com a idade, genótipo e sistema de produção da ave.

Dai *et al.* (2022), relatam que além dos efeitos diretos sobre a segurança dos ovos, sugere-se que a microbiota intestinal e seus metabólitos, como ácidos graxos de cadeia curta, ácidos biliares e derivados de triptofano, modulam indiretamente a qualidade dos ovos pelo eixo microbiota-intestino-fígado/cérebro-trato reprodutivo. Nitish *et al.* (2023), sugeriram que a alta abundância de *Firmicutes* na fase de recria e de postura inicial está relacionada com a maior necessidade de energia fisiológica para o crescimento e produção de ovos, enquanto durante a postura intermediária e tardia, a necessidade de energia da ave é comparativamente menor e, portanto, na busca de um melhor equilíbrio energético para manter a postura, a *Bacteroidetes* substitui parcialmente *Firmicutes*.

Os microrganismos benéficos atuam positivamente, ao contrário dos patogênicos que prejudicam a saúde da ave, afetando o desempenho produtivo. Madlala, Okpoku e Adeleke (2021) relataram a infecção parasitária causada por *Eimeria spp.* perturbou o equilíbrio no ambiente intestinal, levando ao aumento de patógenos como as espécies de *Clostridium*. A coccidiose afeta a composição e integridade da microbiota intestinal, tornando as galinhas mais suscetíveis a doenças que representam um sério risco para sua saúde geral e produtividade.

A exploração de alternativas naturais vem sendo fundamental na avicultura para o controle de patógenos através da modificação e restauração da microbiota intestinal benéfica, sem induzir resistência aos medicamentos.

## 6.2. SAÚDE INTESTINAL E INFLUÊNCIA DE ADITIVOS

Nos últimos anos, vários estudos foram realizados com intuito de identificar os microrganismos presentes ao longo do trato gastrintestinal das aves e quais as modificações que ocorrem sobre a influência de alguns fatores externos e internos. As modificações na microbiota podem ser influenciadas por inclusão de aditivos na dieta, diferentes práticas de manejo, processamento da matéria-prima, estresse e presença de patógenos (Macari; Maiorka, 2017).

No ceco ocorre a digestão de alguns substratos pela ação das bactérias, produzindo os ácidos graxos de cadeia curta que são utilizados pelo hospedeiro para manter a homeostase energética e os processos biológicos. A ave nas fases iniciais de vida, apresentam uma diversidade e densidade de microrganismos baixa e que aumenta à medida que se desenvolve. A colonização de microrganismos no trato gastrointestinal, sendo ela comensal, é essencial para a saúde e o bem-estar do hospedeiro (Sakomura *et al.*, 2014; Du *et al.*, 2020; Macari; Maiorka, 2017; Wilkinson *et al.*, 2020).

O uso de antibióticos como promotores de crescimento foi restrito pela legislação brasileira (MAPA) em função da resistência bacteriana que segue a Instrução Normativa nº 13 de 30/11/2004. Os aditivos classificam-se em tecnológicos, sensoriais, nutricionais e zootécnicos. Os aditivos zootécnicos são substâncias usadas no intuito de melhorar o desempenho do animal e inclui os digestivos (enzimas exógenas), equilibradores da flora intestinal (prebióticos, probióticos e ácidos orgânicos) e os fitogênicos (óleos essenciais) (Sakomura *et al.*, 2014).

Em razão da presença de microrganismos benéficos e patogênicos, são utilizados moduladores da microbiota visto que podem influenciar o desempenho e metabolismo do hospedeiro. Os mecanismos possíveis compreendem a produção de bacteriocinas, redução da taxa de crescimento dos patógenos, inibição dos fatores de colonização do patógenos e competição ou modificação por locais de aderência (Macari *et al.*, 2014).

Moharreri *et al.* (2021) relataram que o uso de óleos essenciais resultou na regulação dos genes antioxidantes e de inflamação no tecido do ileo. Consequentemente, as microcápsulas carregadas de óleo essencial foram consideradas como um fitobiótico promissor contra a infecção por *C. perfringens*. Abdelli *et al.* (2021) afirmaram que os metabólitos secundários vegetais e óleos essenciais, também conhecidos como fitogênicos, promove a eficiência alimentar, aumenta a produção de secreções digestivas e a absorção de nutrientes, reduzindo a carga patogênica no intestino, exercem propriedades antioxidantes e diminuem a carga microbiana no estado imunológico do animal.

### 6.3. ÓLEOS ESSENCIAIS

São misturas complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, com baixo peso molecular, +geralmente odoríferas e líquidas, constituídos na maioria das vezes, por moléculas de natureza terpênica (Morais, 2009). Os extratos de ervas e preparações de especiarias têm sido valorizados desde tempos históricos pelas suas propriedades antimicrobianas (NRC, 2012).

Os óleos essenciais (OE) possuem uma elevada concentração de compostos fenólicos bioativos, que desempenham funções antimicrobianas (Figura 6.1), antioxidantes e anti-inflamatórias no íleo, regulando os genes neste tecido (Moharreri *et al.*, 2021; Albino *et al.*, 2017). No mercado, são utilizados o carvacrol, timol, eugenol, cinamaldeído, óleo de palma e outros compostos fitogênicos.

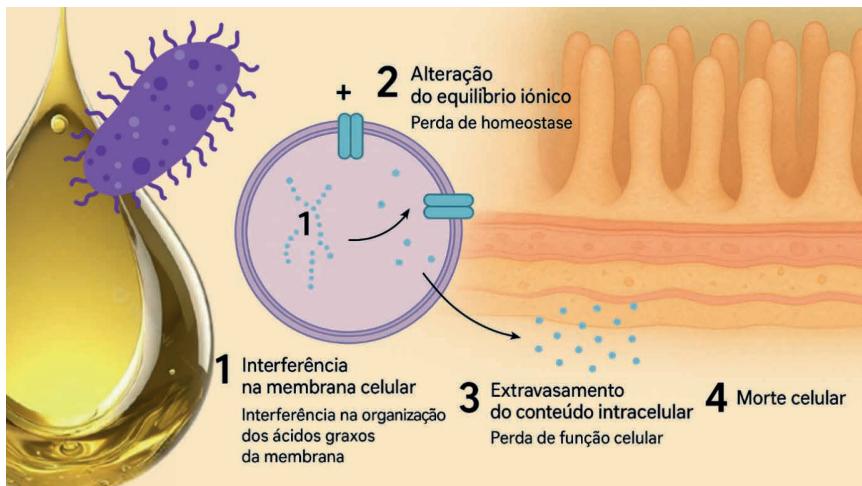


Figura 6.1. Mecanismo de ação antimicrobiana dos óleos essenciais sobre bactérias no trato gastrointestinal. A ação inicia com a interferência na membrana celular (1), comprometendo a organização lipídica. Isso leva à alteração do equilíbrio iônico e perda da homeostase (2), extravasamento do conteúdo intracelular (3) e, por fim, à morte celular (4).

Orzuna-Orzuna; Lara-Bueno (2023) observaram no soro sanguíneo que a inclusão de óleos essenciais na dieta resultou no aumento dos níveis de superóxido dismutase e glutationa peroxidase, enzimas responsáveis por controlar a produção de radicais livres, além de melhorar a capacidade antioxidante total (Figura 6.2). Kolani *et al.* (2019) constataram que a adição de 2% de óleo de palma teve um efeito benéfico no desempenho da produção de ovos em galinhas poedeiras.

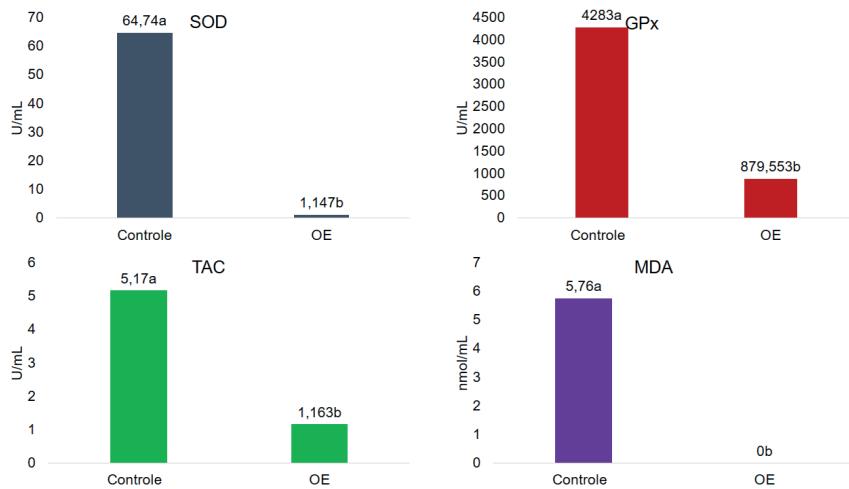


Figura 6.2. Estado antioxidant no soro sanguíneo de galinhas poedeiras suplementadas com óleos essenciais (OE). SOD: superóxido dismutase; GPx: glutationa peroxidase; TAC: capacidade antioxidante total; MDA: malondialdeído. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Orzuna-Orzuna e Lara-Bueno (2023).

O uso de óleos essenciais em substituição aos aditivos de crescimento na alimentação das aves busca melhorar a microbiota intestinal e, consequentemente, promover um melhor desempenho produtivo. Isso se deve ao fato de que os óleos essenciais impedem a colonização de bactérias patogênicas na mucosa intestinal (Fernandes *et al.*, 2015).

### 6.3.1 Óleo de palma

Nos países tropicais, o óleo de palma (Palmeira da África do Sul) é utilizado como fonte de energia e ácidos graxos essenciais na alimentação de aves, ricos em palmítico, carotenóides e vitamina E. Vários tipos de óleos podem ser produzidos a partir do mesocarpo (fibra) e do caroço dos frutos do óleo de palma (Izuddin *et al.*, 2022). Fornece altos níveis calóricos e sua inclusão nas rações de postura aumenta a absorção de vitaminas solúveis em óleo. Seu alto teor de carotenóides (500-700 ppm) melhora a qualidade do ovo, aumentando o teor de ácidos graxos e a intensidade da cor da gema (Saminathan *et al.*, 2020).

O óleo de palma pode influenciar o trânsito alimentar, melhorando a digestibilidade e a absorção de nutrientes. Estes benefícios permitem maior deposição de nutrientes para a formação do ovo. De acordo com Kolani *et al.* (2019), ao avaliarem diferentes níveis de inclusão de óleo de palma em galinhas Isa Brown

com 55 semanas de idade, observaram que a suplementação de óleo de palma (2%) apresentou altas taxas de postura, baixo peso dos ovos, baixo peso do fígado e baixa conversão alimentar, enquanto óleo de palma (3%) apresentou os ovos mais pesados e a maior concentração sérica de proteína total (Figura 6.3).

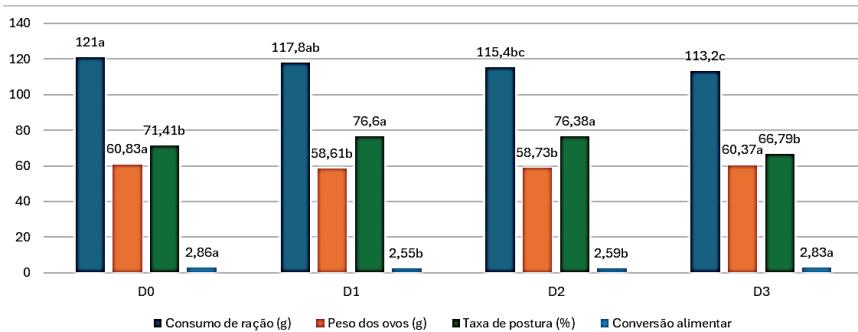


Figura 6.3. Diferentes níveis de inclusão de óleo de palma sobre o desempenho produtivo em galinhas Isa Brown com 55 semanas de idade. D0 = dieta, dieta basal sem óleo de palma; D1 = 1% de óleo de palma; D2 = 2% de óleo de palma e D3 = 3% de óleo de palma. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Kolani et al. (2019).

Estudos mostram efeitos relacionados ao tempo do armazenamento dos ovos, nos quais o óleo de palma contribui para menores perdas de qualidade. Santos, Segura e Sarmiento (2019), utilizaram galinhas com 28 semanas de idade e suplementaram com 30 g/kg de óleo de palma e armazenaram os ovos durante 0, 4, 8 e 12 dias a 4, 12 e 24 °C e afirmaram que a dieta com óleo de palma apresentou ovos e albúmen mais pesados do que na dieta controle. As variáveis diminuíram com o aumento da temperatura e dos dias de armazenamento, mas os ovos de galinhas suplementadas com óleo de palma apresentaram melhor qualidade em algumas características aos 12 dias de armazenamento, principalmente a Unidade Haugh.

### 6.3.2 Cineol

O óleo essencial oriundo do eucalipto e do alecrim é rico em compostos bioativos como 1,8 cineol, que possui atividade antimicrobiana. Prolongam a vida útil dos ovos, fornecendo proteção contra os radicais livres de oxigênio, reduzindo os efeitos do estresse oxidativo.

Cimrin et al. (2020), relataram que durante o armazenamento dos ovos, os níveis de MDA (malondialdeído) na gema dos ovos das aves que receberam os óleos essenciais na ração foram significativamente inferiores do que o controle ou o tratamento com antibióticos. Os óleos essenciais (cinamaldeído e cineol) são

transferidos para os ovos galinhas e retardam a peroxidação na gema, rica em ácidos graxos insaturados, principalmente no verão. Observaram que o grupo controle ou tratados com antibióticos, o nível de radicais livres aumentou com a temperatura de armazenamento mais elevada e o armazenamento prolongado, levando o aumento dos níveis de MDA, como um indicador que ocorreu peroxidação.

Zhang *et al.* (2023), afirmaram que a suplementação com extratos de alecrim melhorou a unidade Haugh e aumentou a atividade da superóxido dismutase sérica (SOD) em comparação com o grupo controle (Figuras 6.4 e 6.5). Observaram alteração no metabolismo de carboidratos e aminoácidos da microbiota cecal e aumento nas enzimas sintetizadoras de butirato, incluindo 3-oxoácido CoA-transferase e butirato-acetoacetato CoA-transferase. Além disso, a análise transcriptômica revelou que houve melhora nas expressões gênicas e vias funcionais relacionadas à imunidade e à formação de albumina no oviduto (magno).

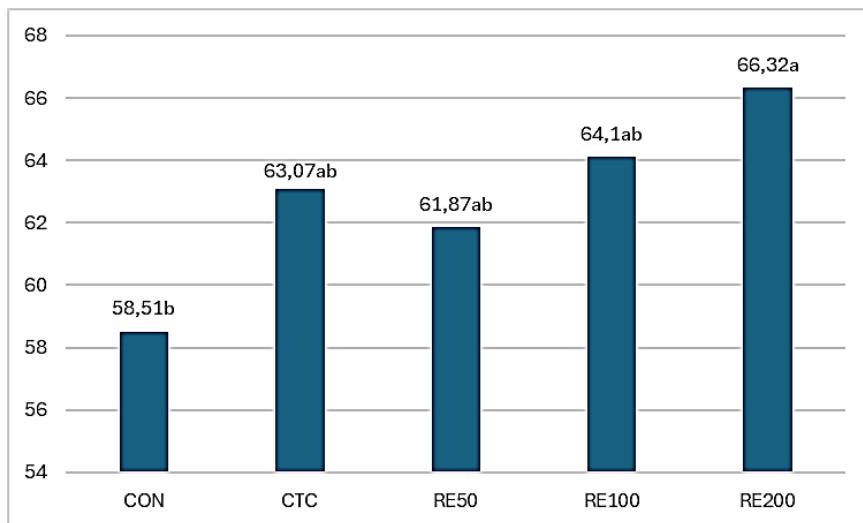


Figura 6.4. Efeitos do extrato de alecrim na Unidade Haugh de ovos de galinhas poedeiras. CON = grupo controle; CTC = 50 mg/kg de clortetraciclina; RE50 = 50 mg/kg de extrato de alecrim; RE100 = 100 mg/kg de extrato de alecrim; RE200 = 200 mg/kg de extrato de alecrim. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Zhang *et al.* (2023).

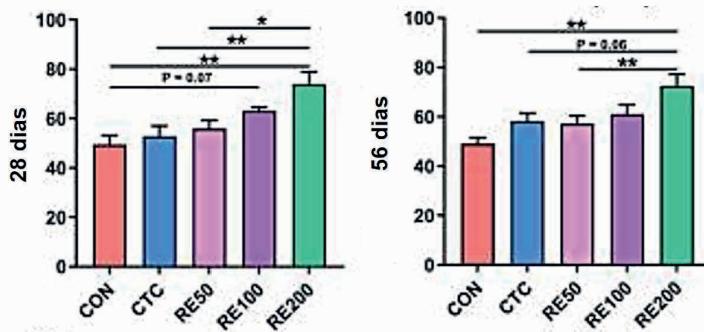


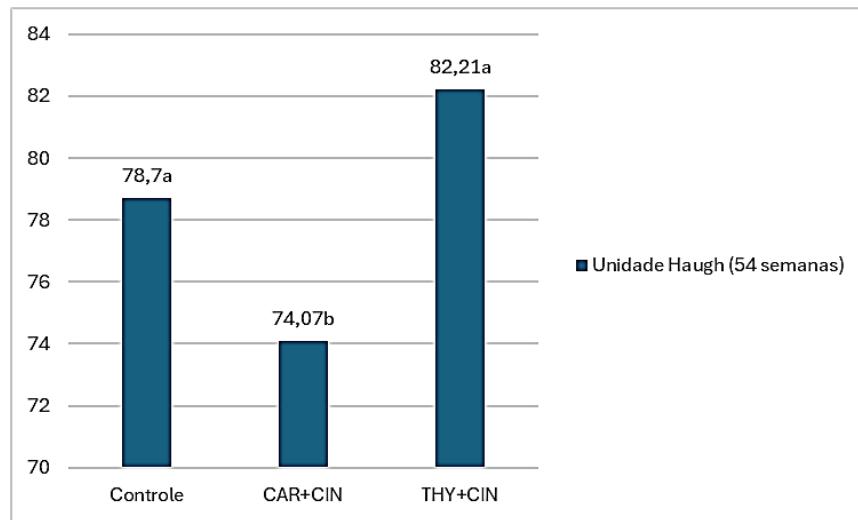
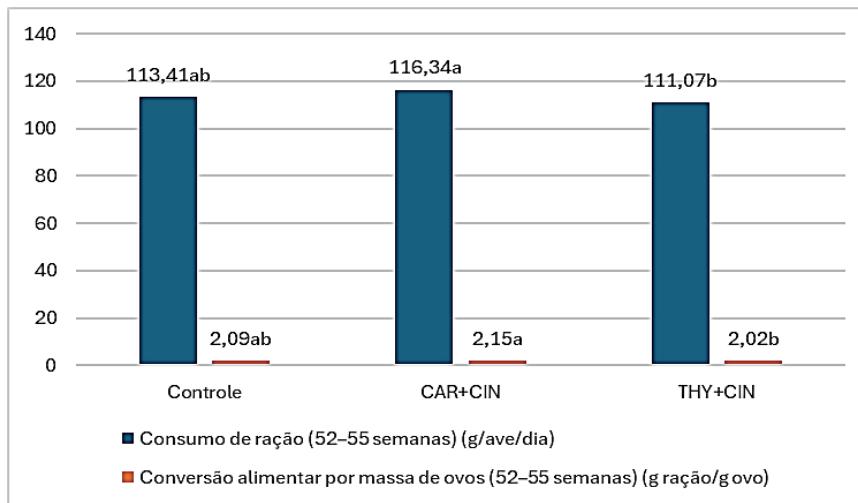
Figura 6.5. Efeitos do extrato de alecrim na concentração de superóxido dismutase sérica (SOD) no soro de galinhas poedeiras. CON = grupo controle; CTC = 50 mg/kg de clortetraciclina; RE50 = 50 mg/kg de extrato de alecrim; RE100 = 100 mg/kg de extrato de alecrim; RE200 = 200 mg/kg de extrato de alecrim. \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ . Adaptado de Zhang et al. (2023).

### 6.3.3 Timol

O timol atua sobre a membrana celular bacteriana desestruturando-a, inibindo a divisão mitótica e reduzindo a sobrevivência de bactérias patogênicas. É um óleo essencial proveniente do tomilho e é uma das alternativas aos antibióticos no mercado da avicultura. Esse composto pode afetar o comportamento das poedeiras e influenciar a composição dos ovos, a espessura da casca e a qualidade sensorial dos ovos (Gholami-Ahangaran et al., 2022).

Abdel-Wareth (2016) afirmou que a suplementação de timol e simbiótico, separadamente ou combinados, melhorou o peso dos ovos, a produção de ovos, a massa de ovos e a conversão alimentar das galinhas de 24 às 36 semanas de idade. Os ovos obtidos dos tratamentos timol, simbiótico ou seus combinados apresentaram maiores valores de espessura de casca, unidade Haugh e porcentagem de casca em relação ao controle.

A combinação adequada de óleos essenciais pode melhorar as características de desempenho e bem-estar das galinhas poedeiras. Wang et al. (2022), avaliaram os efeitos dos óleos essenciais dietéticos, compostos de cinamaldeído com carvacrol ou timol, no desempenho, qualidade dos ovos e saúde intestinal em poedeiras Hy-line Brown pós-pico (50 semanas de idade) (Figuras 6.6 e 6.7). A adição de óleos essenciais diminuiu a taxa de ovos sujos, aumentaram a resistência da casca dos ovos e a unidade Haugh. Além de aumentar significativamente a proporção entre a altura das vilosidades e a profundidade das criptas no duodeno através do aumento da altura das vilosidades e da diminuição da profundidade das criptas.



### 6.3.4 Carvacrol

O óleo de orégano possui como principal princípio ativo o composto fenólico o carvacrol, que melhora o aproveitamento dos nutrientes e mantém a integridade da mucosa intestinal. Ramirez, Peñuela-Sierra e Ospina (2021), identificaram que a adição de 150 ppm do óleo de orégano na dieta melhorou a produção e massa de ovos, a qualidade externa e interna do ovo em comparação com o controle ou antibióticos. Além disso, tanto o tratamento 80 ppm quanto o 150 ppm do óleo de orégano melhoraram a cor da gema, a espessura e a cor da casca, bem como parâmetros relacionados à morfometria intestinal em comparação ao grupo controle.

Outro efeito positivo é o aumento de contagem bactérias benéficas no trato gastrointestinal e atividade de enzimas necessárias para a degradação dos nutrientes para serem absorvidos. Feng *et al.* (2021), observaram que a adição de óleo de orégano melhorou desempenho e qualidade de ovos, aumentou a atividade da quimotripsina e da lipase ileal, juntamente com um aumento linear na relação entre a altura das vilosidades e a profundidade das criptas, e aumento da abundância de *Burkholderiales*, *Actinobacteria*, *Bifidobacteriales*, *Enterococcaceae* e *Bacillaceae*, enquanto diminuiu a abundância de *Shigella* no íleo (Figuras 6.8, 6.9, 6.10 e 6.11).

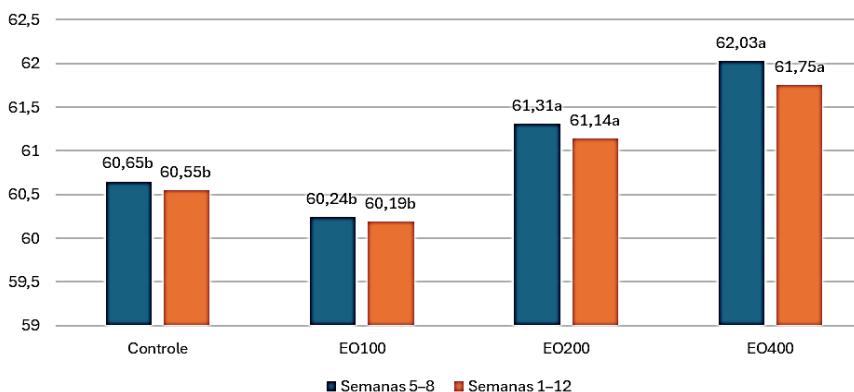


Figura 6.8. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) no peso médio do ovo. Controle = dieta basal; EO100 = 100 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO200 = 200 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO400 = 400 mg/kg EO de orégano microencapsulado. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado Feng et al. (2021).

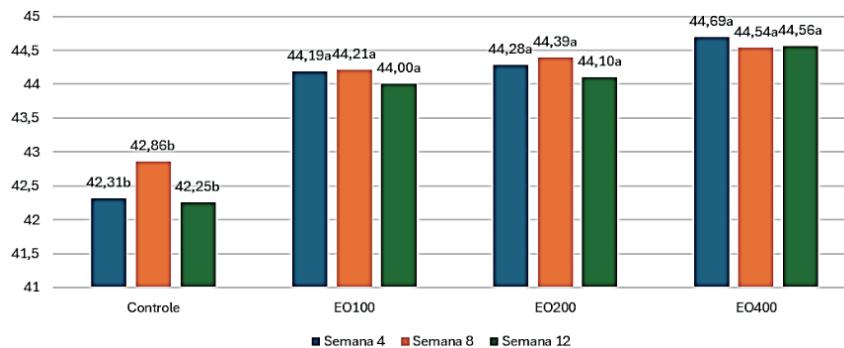


Figura 6.9. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) na taxa de conversão alimentar. Controle = dieta basal; EO100 = 100 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO200 = 200 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO400 = 400 mg/kg EO de orégano microencapsulado. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado Feng et al. (2021).

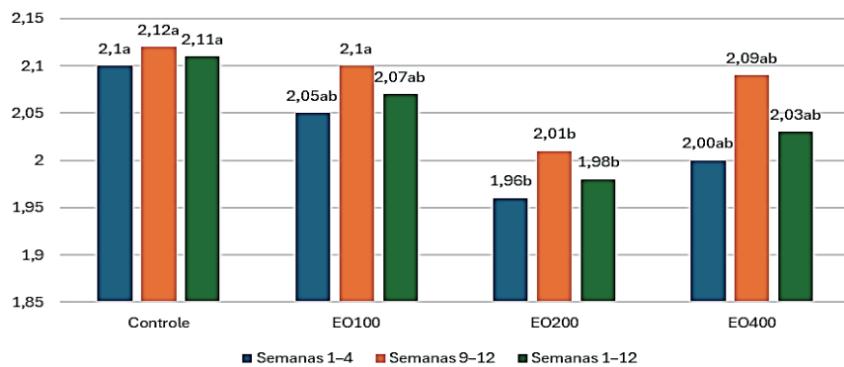


Figura 6.10. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) na espessura da casca do ovo. Controle = dieta basal; EO100 = 100 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO200 = 200 mg/kg EO de orégano microencapsulado; EO400 = 400 mg/kg EO de orégano microencapsulado. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado Feng et al. (2021).

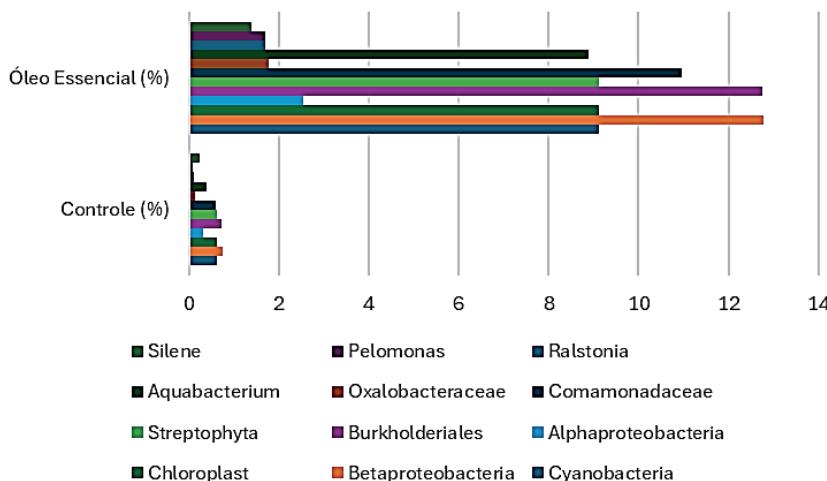


Figura 6.11. Efeitos da suplementação com óleo essencial (EO) nas médias da distribuição bacteriana no conteúdo ileal. Adaptado Feng et al. (2021).

## 6.4 ÁCIDOS ORGÂNICOS

Conforme Ortiz (2018), os ácidos orgânicos são compostos à base de carbono e possuem em sua estrutura um grupo carboxílico ácido. De acordo com Menten et al. (2014), esses ácidos são encontrados nos tecidos de animais e vegetais e atuam como controladores da carga bacteriana no trato digestivo, promovendo melhorias na morfologia intestinal. Ao contrário dos antibióticos, eles não causam resistência microbiana. Os ácidos orgânicos são substâncias acidificantes que reduzem o pH na porção inicial do trato digestório para melhorar os níveis de pepsina e potencializar um efeito bactericida ou bacteriostática ao reduzir a capacidade das bactérias ligarem-se a parede intestinal da ave e aumentar a disponibilidade de cálcio, magnésio, ferro, cobre e zinco (Albino et al., 2017).

Os principais ácidos orgânicos utilizados são o ácido fórmico, ácido acético, ácido propionico, ácido sórbico, ácido lático, ácido fumárico e ácido cítrico (Menten et al., 2014; Silva et al., 2018). Esses ácidos têm o poder de reduzir a carga microbiana no trato digestivo ao diminuir o pH do trato gastrointestinal, reduzindo assim a presença de microrganismos patogênicos (Dibner; Buttin, 2002). Os efeitos dos ácidos orgânicos variam dependendo do seu estado de dissociação. A dissociação considera o valor de pH do ambiente e é descrito pelo pKa específico (constante de dissociação) valor para cada ácido, que define o pH a uma dissociação de 50% avaliar. Quanto menor o valor de pKa, mais forte é o ácido, determinando a sua capacidade de reduzir o pH do ambiente. Os ácidos usados como aditivos alimentares têm valores de pKa entre 3 e 5, e são classificados como sendo de resistência intermediária (Lückstädt, 2007).

Conforme afirmado por Menten *et al.* (2014), essa diminuição do valor de pH tem a capacidade de ampliar a atividade proteolítica, colaborando, assim, com a aprimoração da digestão e absorção das proteínas e aminoácidos. Embora o mecanismo de ação dos ácidos orgânicos ainda esteja sendo estudado, é inquestionável que eles trazem vantagens, tais como o aumento da digestibilidade e, por conseguinte, um melhor desempenho (Espíndola, 2016). Os ácidos orgânicos são capazes de tornar permeável a membrana das bactérias Gram-negativas e diminuir o pH intestinal, ocasionando um enfraquecimento dessas células e um aumento na eficácia das bacteriocinas produzidas pelas bactérias lácticas (Macari *et al.*, 2014).

### 6.4.1 Ácido fumárico

O ácido fumárico em animais é gerado durante a decomposição do aspartato, aminoácidos fenilalanina e tirosina, no ciclo da ornitina e durante a purina síntese. Sua atividade antimicrobiana tem como alvo bactérias gram-negativas e gram-positivas, e coliformes (especialmente *E. coli*) que são particularmente reduzidos, enquanto o crescimento de variedades de leveduras dificilmente é inibido e os lactobacilos toleram o ácido fumárico (Lückstädt, 2007).

Yesilbag e Colpan (2006), relataram que a associação de ácido fumárico e ácido propiônico em galinhas poedeiras melhorou significativamente a produção de ovos, acelerando a capacidade de postura das galinhas de 24 a 28 semanas e persistindo o período de postura das galinhas para 36 e 38 semanas, bem como eficiência alimentar em menor grau. A proteína, a albumina sérica e a atividade sérica aumentaram significativamente enquanto os outros parâmetros séricos testados (colesterol, triglicerídeos, lipídeos totais e concentrações de HDL e LDL) não variaram.

Os ácidos orgânicos potencializam a ação da pepsina no intestino (Sakomura *et al.*, 2014), Vertiprakhov, Grozina, Borisenko (2019), analisaram as propriedades bioquímicas do sangue de galinhas com 46 semanas de idade suplementadas com ácido fumárico (100 g/t) e observaram que a atividade da lipase aumentou em 66,7% com adição do acidificante dietético na dieta.

### 6.4.2 Ácido cítrico

O ácido cítrico é um ácido orgânico fraco, na forma de pó cristalino branco, não sendo tóxico e nem inflamável. Pode quelar íons metálicos realizando ligações entre metais e os grupos carboxila ou hidroxila da molécula de ácido cítrico. É eficiente no retardamento da deterioração de lipídios em alimentos e comumente associado a óleos vegetais (Pereira *et al.*, 2013). Drabik *et al.* (2021), avaliaram ovos de galinha armazenados durante 7, 14, 21 e 28 dias pulverizados com ácido cítrico e afirmaram que os ovos tratados demonstraram menor perda de peso, células de ar mais rasas, maior albúmen estrutural, menor difusão de água do albúmen para

a gema, indicando maior resistência da membrana vitelina. Sugeriram o fato do ácido cítrico ser aceito e reconhecido como um conservante alimentar seguro e ser uma substância relativamente barata e disponível, podendo ser utilizado para inibir alterações de qualidade em ovos durante o seu armazenamento.

Sua ação combinada com outros aditivos é estudada com o intuito de compreender e identificar seus efeitos de forma sinérgica. Jasim e Taha (2017), avaliaram a suplementação isolada ou associada de probiótico e ácido cítrico em galinhas Lohmann Brown com 20 semanas de idade e afirmaram que a adição associada melhorou a qualidade dos ovos, aumentando significativamente o peso dos ovos, peso da casca, peso da gema, índice de gema, unidade haugh em comparação com galinhas alimentadas com uma única adição de probiótico ou ácido cítrico, refletindo um efeito sinérgico entre o probiótico e o ácido cítrico.

O ácido cítrico tem influência na digestibilidade dos nutrientes, podendo estar relacionado aos seus efeitos na morfologia intestinal ou formação de quelatos aumentando a digestibilidade e retenção de cálcio, ferro, cobre e magnésio (Sakomura *et al.*, 2014). Vargas-Rodriguez *et al.* (2015), observaram redução linear na excreção de Ca e N, e aumento na digestibilidade de Ca e N, além de efeito sobre a resposta à fitase no aproveitamento do N. e concluíram que o ácido cítrico reduz os níveis de excreção e aumenta a digestibilidade de fósforo, nitrogênio e cálcio e tem efeito na resposta da fitase ao afetar as excreções de fósforo e nitrogênio (Figura 6.12).

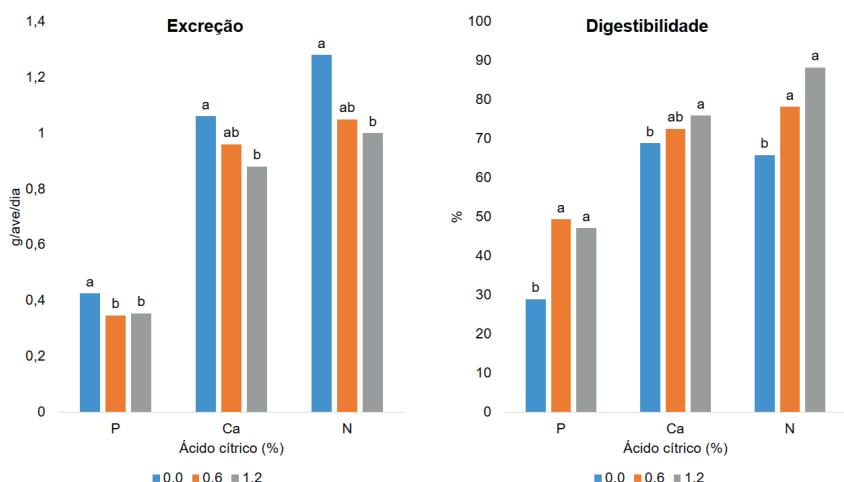


Figura 6.12. Efeitos crescentes da inclusão de ácido cítrico (%) na dieta sobre a excreção (g/ave/dia) e digestibilidade (%) do fósforo (P), cálcio (Ca) e nitrogênio (N) em aves. Letras distinhas diferem pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Adaptado Vargas-Rodriguez *et al.* (2015).

### 6.4.3 Ácido butírico

Os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) ou ácidos graxos voláteis (AGV) são produtos da fermentação no ceco, oriundos da ação microbiana. Os produtos que são produzidos em maior quantidade, são os ácidos acético, propiônico e butírico (Araújo e Zanetti, 2019). O butirato é o principal AGCC utilizado como fonte de energia que ajuda a regular o crescimento das células epiteliais, influenciando na diferenciação e apoptose no intestino delgado, aumentando a capacidade absorptiva (Sakomura *et al.*, 2014). O ácido butírico por ser volátil, é disponibilizado em forma de sais microencapsulados (butirato de sódio e butirato de cálcio).

Estudos com a suplementação de butirato de sódio em galinhas poedeiras são encontrados com maior quantidade, ao contrário do butirato de cálcio (Ler o capítulo 7). Mais pesquisas sobre a suplementação do butirato de cálcio são necessárias para determinar a dosagem mais adequada e seus efeitos nas aves.

## 6.5. EFEITOS DA MICROENCAPSULAÇÃO

A microencapsulação é uma técnica utilizada para melhorar a viabilidade dos ácidos orgânicos e óleos essenciais durante o processamento e para a entrega direcionada no trato gastrointestinal (Jadhao *et al.*, 2019), pois os ácidos orgânicos e os óleos essenciais são produtos voláteis que durante o processamento da ração podem evaporar ou atuar no estômago ou intestino delgado proximal (Michiels *et al.*, 2008).

O método consiste na formação de pequenas partículas ou gotículas que são envolvidas por uma parede de revestimento lipídica para formar pequenas cápsulas. Os métodos de encapsulamento incluem secagem por pulverização, emulsificação, liofilização, revestimento em leito fluidizado, extrusão e tecnologias de fluidos supercríticos (Moharreri *et al.*, 2021) the development of phytobiotics, an antibiotic-replacing agent, has attracted a considerable attention as poultry feed additive. The present study aims to develop the microcapsules loaded with a blend of essential oils (thyme, peppermint, savoury, and black pepper. Permitindo que essas substâncias permaneçam inativas no estômago, sendo ativadas apenas sob a ação dos sais biliares e da lipase no intestino, onde exercem seus efeitos benéficos.

Gao *et al.* (2019), relataram que a microencapsulação de ácidos orgânicos e óleos essenciais reduziram os níveis cecais de *Escherichia coli* e *Salmonella*, maior relação altura-profundidade das criptas das vilosidades do jejunum e promoveram atividade da quimotripsina em frangos de corte (Figura 6.13). Wang *et al.* (2019), observaram que a adição de 150 mg/kg (óleos essenciais encapsulados e ácidos orgânicos) houve um aumento significativo na taxa de postura na dieta e as doses (150 a 300 mg/kg) um aumento linear na altura das vilosidades ileais em galinhas poedeiras, além de maiores contagens de *Bifidobacterium* na digestão cecal nas semanas 25 e

30 (Figura 6.14). Yang *et al.* (2019), identificaram que a adição de (0,30 g/kg ácidos orgânicos encapsulados e óleos essenciais) reduziu o pH da digesta jejunal e da digesta ileal, aumentou as concentrações de ácido butírico, ácido acético e ácidos graxos totais de cadeia curta na digesta ileal, e reduziu a contagem de *Escherichia coli* (Figuras 6.15 e 6.16).

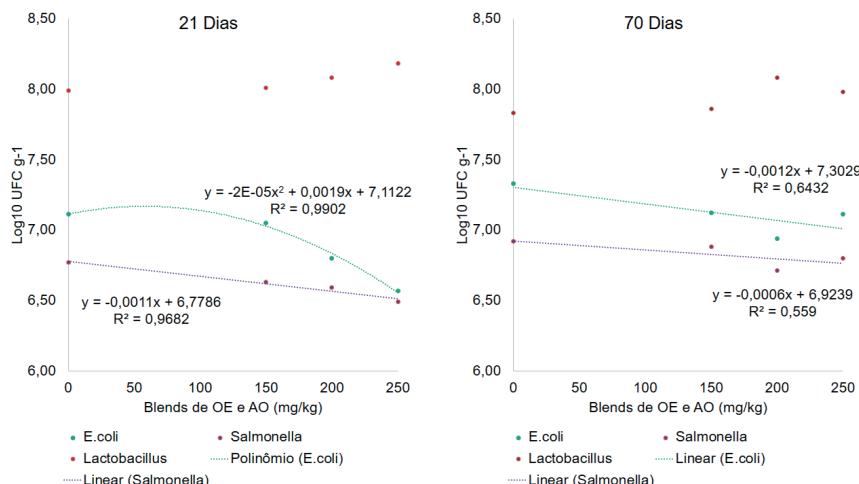


Figura 6.13. Efeitos da suplementação com misturas encapsuladas de óleos essenciais (EO) e ácidos orgânicos (OA) sobre a população cecal de *E. coli*, *Salmonella* e *Lactobacillus* em frangos aos dias 21 e 70. Adaptado de Gao *et al.* (2019).

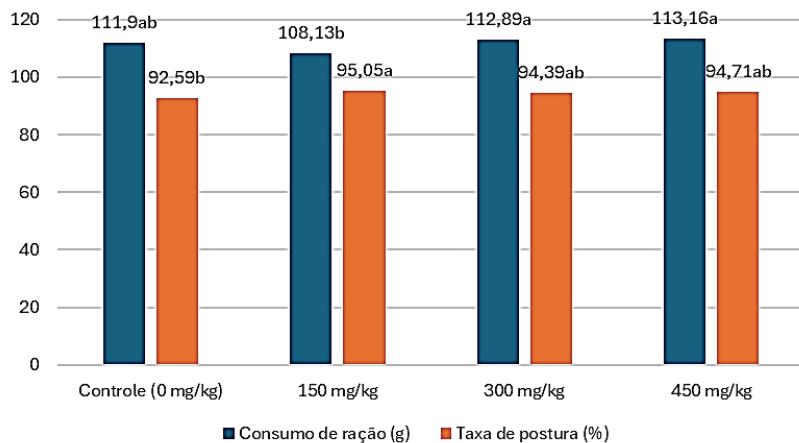


Figura 6.14. Efeitos dos óleos essenciais e ácidos orgânicos encapsulados (EOA) em diferentes dosagens no desempenho de poedeiras. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Wang *et al.* (2019).

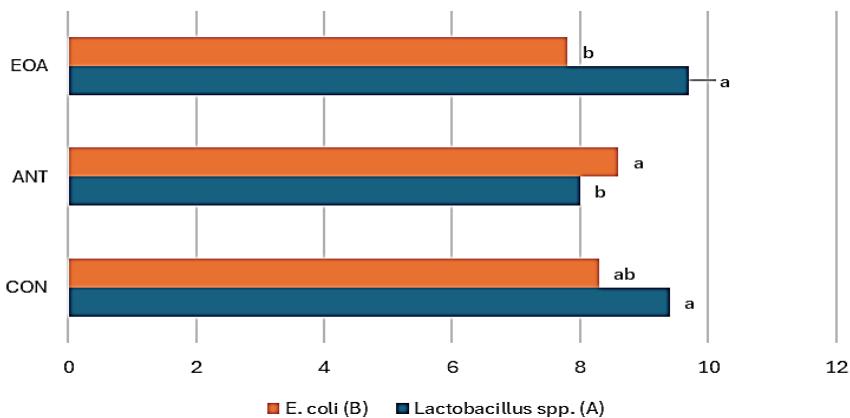


Figura 6.15. Efeito de Óleo Essencial Encapsulado (EOA) e antibiótico na microbiota intestinal. Grupo controle (CON, dieta basal), Grupo antibióticos (ANT, controle + 0,15 g/kg de enramicina) e Grupo de adição (EOA, controle + 0,30 g/kg de ácidos orgânicos encapsulados e óleos essenciais). EOA = Óleo Essencial Encapsulado; ANT = Antibiótico; CON = Controle. Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Yang et al. (2019).



Figura 6.16. Efeitos do antibiótico (ANT) e óleo essencial encapsulados (EOA) nas concentrações de ácido butírico ( $\mu\text{mol/g}$ ) no conteúdo ileal de frangos de corte no dia 42. Grupo controle (CON, dieta basal), Grupo antibióticos (ANT, controle + 0,15 g/kg de enramicina) e Grupo de adição (EOA, controle + 0,30 g/kg de ácidos orgânicos encapsulados e óleos essenciais). Letras distintas indicam diferença significativa ao nível de 5%. Adaptado de Yang et al. (2019).

Abdelli *et al.* (2021), indicaram que a técnica de microencapsulação pode ser útil para proteger o ácido fumárico e o timol, evitando a absorção precoce, garantindo sua liberação lenta em todo o TGI e melhorando seus efeitos na conversão alimentar e na morfologia intestinal. Estudo de Johnson *et al.* (2023), observaram que a mistura microencapsulada de ácidos orgânicos e vegetais provoca um fenótipo mais antiinflamatório e uma sinalização reduzida no jejuno, ao mesmo tempo que resulta em respostas imunometabólicas melhoradas no íleo.

Outra função importante é a relação de proteção contra o estresse oxidativo, no qual a microencapsulação de ácidos orgânicos e óleos essenciais melhora a atividade das enzimas responsáveis pelo controle do estresse oxidativo. Facchi *et al.* (2022), relataram melhora na atividade da glutationa peroxidase e da glutationa-S-transferase.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os óleos essenciais vêm sendo amplamente estudados na nutrição de poedeiras, com destaque para sua atuação na modulação da microbiota intestinal, ação antimicrobiana e estímulo às funções digestivas. Esses compostos, ricos em princípios ativos como carvacrol, timol e cineol, exercem efeitos positivos sobre a saúde intestinal, promovendo um ambiente mais estável e funcional no trato gastrointestinal.

A utilização de tecnologias como a microencapsulação tem ampliado a eficácia desses aditivos, garantindo maior estabilidade durante o processamento da ração e liberação direcionada ao longo do trato gastrointestinal. Isso permite um aproveitamento mais eficiente dos compostos bioativos e potencializa seus efeitos benéficos sobre o desempenho e o bem-estar das aves.

Nesse contexto, os ácidos orgânicos também são empregados como moduladores da saúde intestinal, reforçando estratégias nutricionais que priorizam a segurança alimentar e a sustentabilidade da produção. A adoção de aditivos naturais, como os óleos essenciais, representa uma alternativa ao uso de antibióticos.

## REFERÊNCIAS

ABDELLI, N., FRANCISCO PÉREZ, J., VILARRASA, E., MELO-DURAN, D., CABEZA LUNA, I., KARIMIRAD, R., SOLÀ-ORIOL, D. Microencapsulation Improved Fumaric Acid and Thymol Effects on Broiler Chickens Challenged With a Short-Term Fasting Period. *Frontiers in veterinary science*, v. 8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.686143>

ABDEL-WARETH, A. A. A. Effect of dietary supplementation of thymol, symbiotic and their combination on performance, egg quality and serum metabolic profile of Hy-Line Brown hens, *British Poultry Science*, v. 57, n. 1, p. 114-122, 2016. DOI: 10.1080/00071668.2015.1123219

ABRAHAMSOHN, P. **Histologia**. Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788527730105. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527730105/>. Acesso em: 21 jan. 2024.

ALBINO, L. F. T.; BARROS, V. R. S. M. de; MAIA, R. C.; TAVERNARI, F. de C.; SILVA, D. L. da. **Produção e nutrição de frangos de corte**. Viçosa: Ed. UFV, 2017.

ALBINO, L. F. T.; CARVALHO, B. R.; MAIA, R. C.; BARROS, V. R. S. M.; TARVENARI, F. C.; COSTA, F. G. P.; STRINGHINI, J. H. **Galinhas poedeiras: criação e alimentação**. Viçosa: Aprenda fácil. 376 f. 2014.

ADEWOLE, D. I., OLADOKUN, S., SANTIN, E. Effect of organic acids-essential oils blend and oat fiber combination on broiler chicken growth performance, blood parameters, and intestinal health. **Animal nutrition** (Zhongguo xu mu shou yi xue hui), v. 7, n. 4, p. 1039–1051, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.02.001>

ALVES, D. A.; DE AVILA, V. S.; DA SILVA, S. N.; FORGIARINI, J.; CONTREIRA, C. L.; XAVIER, E. G.; EDUARDO GONÇALVES XAVIER, U. **Efeito da nutrição de poedeiras sobre os parâmetros da qualidade interna de ovos comerciais armazenados em diferentes temperaturas**, 2017.

ARAÚJO, L. F.; ZANETTI, M. A. **Nutrição animal**. Editora Manole, 2019. E-book. ISBN 9788520463499. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520463499/>. Acesso em: 08 dez. 2024.

AARESTRUP, B. J. **Histologia Essencial**. Grupo GEN, 2012. E-book. ISBN 978-85-277-2145-5. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-277-2145-5/>. Acesso em: 12 jan. 2024.

ARSLAN, C. et al. Dietary encapsulated essential oil mixture influence on apparent nutrient digestibility, serum metabolic profile, lymphocyte histochemistry and intestinal morphology of laying hens. **Animal Bioscience**, v. 35, n. 5, p. 740, 2022.

CHENG, H.; CHEN, J. F.; TANG, S. G.; GUO, S. C.; HE, C. Q.; QU, X. Y. Effects of essential oil/palygorskite composite on performance, egg quality, plasma biochemistry, oxidation status, immune response and intestinal morphology of laying hens. **Poultry science**, v. 101, n. 4, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101632>

CHO, J. H.; KIM, I. H. Effects of microencapsulated organic acids and essential oils on growth performance and intestinal flora in weanling pigs. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 28, n. 3, p. 229–237, 2015. DOI: 10.17533/udea.rccp.324928.

CIMRİN, T.; TUNCA, R. I.; AVSAROGLU, M. D.; AYASAN, T.; KÜÇÜKERSAN, S. Effects of an antibiotic and two phytogenic substances (cinnamaldehyde and 1,8-cineole) on yolk fatty acid profile and storage period-associated egg lipid peroxidation level. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 49, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz4920190270>

COON, C.N.; LESKE, K.L.; AKAVANICHAN, O.; CHENG, T.K. Effect of oligosaccharide-free soybean meal on true metabolizable energy and fiber digestion in adult roosters. **Poult. Sci.**, v. 69, p. 787-793, 1990.

DAI, D.; QI, G. H.; WANG, J.; ZHANG, H. J.; QIU, K., WU, S. G. Intestinal microbiota of layer hens and its association with egg quality and safety. **Poultry science**, v. 101, n. 9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102008>

DIBNER, J. J.; BUTTIN, P. Use of organic acids as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism. **The Journal of Applied Poultry Research**, Oxford, v. 11, p. 453-463, 2002.

DING, X.; YU, Y.; SU, Z.; ZHANG, K. Effects of essential oils on performance, egg quality, nutrient digestibility and yolk fatty acid profile in laying hens. **Animal Nutrition**, v. 3, n. 2, p. 127-131, 2017.

DRABIK, K.; JUSTYNA, B.; TOMASZ, P.; BEATA, H. Citric acid as a factor limiting changes in the quality of table eggs during their storage. **Poult. Sci.**, v. 100, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.01.018>

DU, X.; XIANG, Y.; LOU, F.; TU, P.; ZHANG, X.; HU, X.; LYU, W.; XIAO, Y. Microbial Community and Short-Chain Fatty Acid Mapping in the Intestinal Tract of Quail. **Animals**, v. 10, n. 6, p. 1006, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10061006>

ESPÍNDOLA, G. B. **Nutrição de animais monogástricos de produção**. 1. ed. Fortalezal: Expressão gráfica e editora, 2016.

EURELL, J. A.; FRAPPIER, B. L. **Histologia veterinária de Dellmann**. – 6aEd. Editora Manole, 2012. E-book. ISBN 9788520455722. Disponível em: [https://integrada\[minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520455722/](https://integrada[minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520455722/). Acesso em: 12 jan. 2024.

FACCHI, C. S.; VALENTINI, F. D. A.; PAGNUSSATT, H.; LEITE, F.; DAL SANTO, A.; ANIECEVSKI, E.; ROSSATO, G.; ZACCARON, G.; ALBA, D. F.; MILARCH, C. F.; PETROLI, R. R.; GALLI, G. M.; DA SILVA, A. S.; TAVERNARI, F. C.; PETROLI, T. G. Effects of microencapsulated carvacrol and cinnamaldehyde on feed digestibility, intestinal mucosa, and biochemical and antioxidant parameters in broilers. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 52, 2022. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz5220220079>

FEDDERN, V.; PRÁ, M. C. D.; MORES, R.; NICOLOSO, R. DA S.; COLDEBELLA, A.; ABREU, P. G. de. Egg quality assessment at different storage conditions, seasons and laying hen strains. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 3, p. 322–333. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542017413002317>

FENG, J., et al. Dietary oregano essential oil supplementation improves intestinal functions and alters gut microbiota in late-phase laying hens. **Journal of animal science and biotechnology**, v. 12, n. 1, 72, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00600-3>

FERNANDES, R. T. V.; et al. Aditivos fitogênicos na alimentação de frangos de corte: óleos essenciais e especiarias. **PubVet**, v. 9, p. 502-557, 2015.

FLORIANO, L. S. **Anatomia e fisiologia das aves domésticas**. 1.ed. Urutáí: IF Goiano. 94p, 2013.

FUNARI JUNIOR, P. et al. Efeitos da utilização de ácidos orgânicos em ração de frangos decorte. **PUBVET**, Londrina, v. 5, n. 25, Ed. 172, Art. 1159, 2011.

GAO, Y.; et al. Encapsulated blends of essential oils and organic acids improved performance, intestinal morphology, cecal microflora, and jejunal enzyme activity of broilers. **Czech J. Anim. Sci.**, v. 64, p. 189-198, 2019.

GHOLAMI-AHANGARAN, M.; AHMADI-DASTGERDI, A.; AZIZI, S.; BASIRATPOUR, A.; ZOKAEI, M.; DERAKHSHAN, M. Thymol and carvacrol supplementation in poultry health and performance. **Veterinary medicine and science**, v. 8, n. 1, p. 267–288, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/vms3.663904-6>

GUL, M.; TUNÇ, M.; CETIN, S.; YILDIZ, A. Effect of organic acids in diet on laying hens' performance, egg quality indices, intestinal microflora, and small intestinal villi height. **Archiv fur Geflugelkunde**. v. 77, 2013. DOI: 10.1399/eps.2013.5.

HEMPE, J.K.; LAUXWN, R.C.; SAVAGE, J.E. Rapid determination of egg weight and specific gravity using a computerized data collection system. **Poultry Science**, v.67, p.902-907, 1988.

ISHAK, K., et al. Histological grading and staging of chronic hepatitis. **Journal of Hepatology**, v. 22, p. 696-699, 1995.

ISLAM, Z. et al. Effect of Organic Acids Blend, Micro- Encapsulated Phyto-Essential Oils Individually or in Combination on Growth Performance, Gut Health and Nutrients Utilization of Broilers. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 54, n. 5, p. 2391–2399, 2022.

IZUDDIN, W. I.; LOH, T. C.; AKIT, H.; NAYAN, N.; NOOR, A. M.; FOO, H. L. Influence of Dietary Palm Oils, Palm Kernel Oil and Soybean Oil in Laying Hens on Production Performance, Egg Quality, Serum Biochemicals and Hepatic Expression of Beta-Carotene, Retinol and Alpha-Tocopherol Genes. **Animals : an open access journal from MDPI**, v. 12, n. 22, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12223156>

JASIM, M. S.; TAHAN, A. Y. Effect of supplementation of probiotic and citric acid to laying hens diet on eggs quality traits". **iraqi journal of agricultural sciences**, v. 48, n. 2, 2017. DOI: [10.36103/ijas.v48i2.426](https://doi.org/10.36103/ijas.v48i2.426).

JADHAO, G. M.; SAWAI, D.; REWATKAR, H. N.; KOLHE, R.; BANSOD, A.; NANDESHWAR, J. Effect of organic acids with probiotic supplementation on immunity and blood biochemical status of broiler chicken. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 02, p. 1952-1959, 2019. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.802.227>

JOHNSON, C. N.; ARSENAULT, R. J.; PIVA, A.; GRILLI, E.; e SWAGGERTY, C. L. A microencapsulated feed additive containing organic acids and botanicals has a distinct effect on proliferative and metabolic related signaling in the jejunum and ileum of broiler chickens. **Frontiers in physiology**, v. 14, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1147483>

KELL, G.S. Density, thermal expansivity, and compressibility of liquid water from 0°C to 150°C: correlations and tables for atmospheric pressure and saturation reviewed and expressed on 1968 temperature scale. **Journal of Chemical and Engineering Data**, v.20, p.97-105, 1975.

KHAN, R. U. et al. Prospects of organic acids as safe alternative to antibiotics in broiler chickens diet. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 22, p. 32594–32604, 2022.

KHAN, S. H.; IQBAL, J. Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition. **Journal of Applied Animal Research**, v. 44, n. 1, p. 359–369, 2016.

KHAN, S.; MOORE, R. J.; STANLEY, D.; CHOUSALKAR, K. K. The Gut Microbiota of Laying Hens and Its Manipulation with Prebiotics and Probiotics To Enhance Gut Health and Food Safety. **Applied and environmental microbiology**, v. 86, n. 13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.00600-20>

KOLANI, A. et al. Effects of Dietary Palm Oil on Production Performance and Serum Parameters of Laying Hens. **International Journal of Poultry Science**, v. 18, p. 1-6, 2019. DOI: [10.3923/ijps.2019.1.6](https://doi.org/10.3923/ijps.2019.1.6)

KUNZ, A. et al. **Manejo Ambiental na Avicultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. v. 149, 2011.

LI, D.F. Interrelationship between hypersensitivity to soybean proteins and growth performance in early-weaned pigs. **Journal of Animal Science**, v.69, p. 4062–4069, 1991.

LÜCKSTÄDT, C. Acidifiers in animal nutrition: A guide for feed preservation and acidification to promote animal performance. **Nottingham: Nottingham University Press**, 2007.

MACARI, M.; LUNEDO, R.; PEDROSO, A. A. Microbiota intestinal de aves. In: MACARI, M.; MENDES, A.A.; MENTEN, J.F.; NAAS, I.A. **Produção de frango de corte**, p. 300-319, 2014.

MACARI, M.; MAIORKA, A. **Fisiologia das aves comerciais**. Jaboticabal: Funep, PROL Editora Gráfica, 806 f. 2017.

MADLALA, T.; OKPEKU, M.; ADELEKE, M. A. Understanding the interactions between *Eimeria* infection and gut microbiota, towards the control of chicken coccidiosis: a review. Comprendre l'interaction entre l'infection à *Eimeria* et le microbiote intestinal pour lutter contre la coccidiose du poulet : une synthèse. **Parasite** (Paris, France), v. 28, n. 48. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1051/parasite/2021047>

MAIORKA, A. **Impacto da saúde intestinal na produtividade avícola**. Anais do V Simpósio Brasil Sul de Avicultura. Chapecó, Santa Catarina, Brasil, p. 26–41, 2004.

MENTEN, J. F. M.; LOMGO, F. A.; VIOLA, E. S.; RIZZO, P. V. **Antibióticos, ácidos orgânicos e óleos essenciais na nutrição de monogástricos**. In: SAKOMURA, N. K.; SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. (org.). Nutrição de Não Ruminantes. Jaboticabal: Funep, p. 511-536, 2014.

MIAO, S.; HONG, Z.; JIAN, H.; XU, Q.; LIU, Y.; WANG, X.; ZOU, X. Alterations in intestinal antioxidant and immune function and cecal microbiota of laying hens fed on coated sodium butyrate supplemented diets. **Animals**, v. 12, n. 5, 2022.

MICHELS, J.; et al. In vitro degradation and in vivo passage kinetics of carvacrol, thymol, eugenol and trans-cinnamaldehyde along the gastrointestinal tract of piglets. **J. Sci. Food Agric.** v. 88, p. 2371–2381, 2008.

MIGLIORINI, M. J.; BOIAGO, M. M.; STEFANI, L. M.; ZAMPAR, A.; ROZA, L. F.; BARRETA, M.; ARNO, A.; ROBAZZA, W. S.; GIURIATTI, J.; GALVÃO, A. C.; BOSCATTO, C.; PAIANO, D.; DA SILVA, A. S.; DE C. TAVERNARI, F. Oregano essential oil in the diet of laying hens in winter reduces lipid peroxidation in yolks and increases shelf life in eggs, **Journal of Thermal Biology**, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102409>

MORAIS, L. A. S. de. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura brasileira**, v. 27, n. 2, 2009.

MOHARRERI, M.; VAKILI, R.; OSKOUEIAN, E.; RAJABZADEH, G. Phytobiotic role of essential oil-loaded microcapsules in improving the health parameters in *Clostridium perfringens*-infected broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, v. 20, n. 1, p. 2075-2085, 2021. DOI: 10.1080/1828051X.2021.1993093

NABUUS, M.J.A. Microbiological, structural and function changes of the small intestine of pigs at weaning. *Pigs News and Information*, Oxfordshire, v.16, n.3, p.93-97, Sep.1995.

NITISH, J.; YADAV, S. B.; THI, T. H. V.; DRAGANA, S.; KAPIL, C.; ROBERT, J. M. The temporal fluctuations and development of faecal microbiota in commercial layer flocks. *Animal Nutrition*, v. 15, p. 197-209, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.07.006>.

NUTRIENT REQUIREMENTS OF SWINE (NRC). 11.ed. Washington, DC: **National Academy**, 2012. 400p

ORTIZ, R.W. P. **Estudo da síntese química do ácido dl-málico por hidratação do ácido fumárico**. 2018. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2018.

ORZUNA-ORZUNA, J. F., LARA-BUENO, A. Essential Oils as a Dietary Additive for Laying Hens: Performance, Egg Quality, Antioxidant Status, and Intestinal Morphology: A Meta-Analysis. *Agriculture*, v. 13, n. 7, 1294, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071294>

PARK, S. Y. et al. Effect of storage condition on bone breaking strength and bone ash in laying hens at different stages in production cycles. *Poultry Science*. v. 82, p. 1688–1691. 2003.

PEEBLES, E. D.; MCDANIEL, C. D. Practical manual for understanding the shell structure of broiler hatching eggs and measurements of their quality. *Mississippi Agric. e Forestry Experiment Station*, 2004.

PEREIRA, B. B. et al. **Aditivos alimentares: conceitos, aplicações e toxicidade**. Monte Carmelo, MG: Ed. FUCAMP, 2013. E-book. Disponível em: <https://www.unifucamp.edu.br/wpcontent/uploads/2019/06/editora-fucamp-livro-boscolli-3-2019.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2023.

PESSOA, R. A. S. **Nutrição Animal - Conceitos Elementares**. Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536521671. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521671/>. Acesso em: 08 dez. 2023.

PINHEIRO, S. G.; COSTA, F. G. P.; GUERRA, R. R.; GIVISIEZ, P. E. N.; ABREU, C. G. de; DANTAS, L. da S.; LIMA, M. R. de; CAVALCANTE, D. T.; CARDOSO, A. S. Metabolizable energy and sulfur amino acid for laying hens in the first production cycle. Research, Society and Development, [S. I.], v. 9, n. 8, p. e344984895, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.4895. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/4895>. Acesso em: 12 jan. 2024.

PIRES, M.; LEANDRO, N.; OLIVEIRA, H.; JACOB, D.; CARVALHO, F.; STRINGHINI, J.; CARVALHO, D.; ANDRADE, C. Effect of Dietary Inclusion of Protected Sodium Butyrate on the Digestibility and Intestinal Histomorphometry of Commercial Laying Hens. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 23, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1406>

RAMIREZ, S. Y.; PEÑUELA-SIERRA, L. M.; OSPINA, M. A. Effects of oregano (*Lippia origanoides*) essential oil supplementation on the performance, egg quality, and intestinal morphometry of Isa Brown laying hens. **Veterinary world**, v. 14, n. 3, p. 595–602, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.595-602>

REECE, W. O. **Dukes | Fisiologia dos Animais Domésticos**, 13<sup>a</sup> edição. Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788527731362. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527731362/>. Acesso em: 08 dez. 2023.

ROSTAGNO, H. S. et al. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: composição dos alimentos e exigências nutricionais**. 4. ed., Viçosa: UFV, 403p, 2017.

ROWE, W. O.; REECE, E. W. **Anatomia Funcional e Fisiologia dos Animais Domésticos**. Grupo GEN, 2020. E-book. ISBN 9788527736886. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527736886/>. Acesso em: 08 dez. 2023.

SAKOMURA, N. K.; SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 678 f. 2014.

SAMINATHAN, M.; MOHAMED, W. N. W.; NOH, A. M. D.; IBRAHIM, N. A.; FUAT, M. A.; DIAN, N. L. H. M.; RAMIAH, S. K. Potential of feeding crude palm oil and co-products of palm oil milling on laying hens' performance and egg quality: A review. **Journal of Oil Palm Research**, v. 32, n. 4, p. 547-558, 2020. DOI:10.21894/jopr.2020.0059

SANTOS, R. R.; SEGURA, C. J.; SARMIENTO, F. L. Egg quality during storage of eggs from hens fed diets with crude palm oil. **Revista MVZ Córdoba**, v. 24, n. 3, 2019.

SEEDOR, J. G. et al. The biophosphonate alendronate (MK – 217) inhibits bone loss due to ovariectomy in rats. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 6, n.4, p. 339-346. 1991.

SHAHIR, M; MOHAMADI, M.; GHAZI, S.; AFSARIAN, O.; MORADI, S. Effects of probiotic and calcium butyrate on production performance, egg quality, blood parameters and immune response in laying hens. **Journal of Veterinary Research**. v. 67, p. 313-323, 2012.

SILVA, E. I. C. **Anatomia e Fisiologia das Aves Domésticas-Anatomia da Galinha**. Instituto Federal de Pernambuco – Campus Belo Jardim. 2020.

SILVA, T. R. et al. **Acidificantes como aditivos em dietas de animais não ruminantes**. In: XI AMOSTRA CIENTÍFICA FAMEZ/UFMS, 11., 2018, Campo Grande. Anais... Campo Grande: XI MOSTRA FAMEZ, 2018.

SOBCZAK, A.; KOZŁOWSKI, K. Effect of dietary supplementation with butyric acid or sodium butyrate on egg production and physiological parameters in laying hens. **Archiv für Geflügelkunde**. v. 80, 2016. DOI: 10.1399/eps.2016.122.

SOLOMON, S. E. Egg and eggshell quality. London: Wolfe Publishing, 149 f., 1997.

SOLTAN, M. A. Effect of Dietary Organic Acid Supplementation on Egg Production, Egg Quality and Some Blood Serum Parameters in Laying Hens. **International Journal of Poultry Science**, v. 7, p. 613-621, 2008.

SONG, M.; JIAO, H.; ZHAO, J.; WANG, X.; LI, H.; WANG, P.; MA, B.; SUN, S.; LIN, H. Dietary Supplementation of Calcium Propionate and Calcium Butyrate Improves Eggshell Quality of Laying Hens in the Late Phase of Production. **The journal of poultry science**, v. 59, n. 1, p. 64–74, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2141/jpsa.0200127>

STAMILLA, A.; et al. Effects of Microencapsulated Blends of Organics Acids (OA) and Essential Oils (EO) as a Feed Additive for Broiler Chicken. A Focus on Growth Performance, Gut Morphology and Microbiology. **Animals (Basel)**. v. 10, n. 3, p. 442. DOI: 10.3390/ani10030442.

VARGAS-RODRIGUEZ, L. M.; HERRERA, J. G.; MORALES, E. J.; ARCOS-GARCIA, J. L.; LOPEZ-POZOS, R.; RUELAS, G. Effect of Citric Acid, Phytase and Calcium in Diets of Laying Hens on Productive Performance, Digestibility and Mineral Excretion. **International Journal of Poultry Science**, v. 14, p. 222-228, 2015. DOI:10.3923/ijps.2015.222.228

VERTIPRAKHOV, V. G.; GROZINA, A. A.; BORISENKO, K.V. Effects of Biologically Active Substances on Blood's Biochemical Properties of Laying Hens in Pre- and Postprandial Phases. **Russ. Agricult. Sci.** v. 45, p. 470–473, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068367419050185>

WANG, H.; et al. Effects of encapsulated essential oils and organic acids on laying performance, egg quality, intestinal morphology, barrier function, and microflora count of hens during the early laying period. **Poultry Science**. Ciência Avícola, v. 98, n. 12, 2019.

WANG, Y.; WANG, Y.; SU, C.; et al. Dietary cinnamaldehyde with carvacrol or thymol improves the egg quality and intestinal health independent of gut microbiota in post-peak laying hens. **Frontiers in Veterinary Science**. 2022. DOI: 10.3389/fvets.2022.994089.

WATANABE, G. C. A. **Anacardato de cálcio e suas associações com ácido cítrico na alimentação de poedeiras comerciais**. 2021. 101 f. Tese (Tese em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

WESLEY, R.; STADELMAN, W. Measurements of Interior Egg Quality. **Poultry Science**. v. 38, p. 474-481, 1959. DOI: 10.3382/ps.0380474.

WILKINSON, N.; HUGHES, R. J.; BAJAGAI, Y. S.; ASPDEN, W. J.; HAO VAN, T. T. MOORE RJ, STANLEY D. Reduced environmental bacterial load during early development and gut colonisation has detrimental health consequences in Japanese quail. **Helijon**. v. 16, n. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03213>.

YANG, X. et al. Effects of encapsulated organic acids and essential oils on intestinal barrier, microbial count, and bacterial metabolites in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 98, n. 7, p. 2858–2865, 2019.

YESILBAG, D.; COLPAN, I. Effects of Organic Acid Supplemented Diets on Growth Performance, Egg Production and Quality and on Serum Parameters in Laying Hens. **Revue De Médecine Vétérinaire**, v. 157, p. 280-284, 2006.

WALTON, K.D. et al. Vilification in the mouse: Bmp signals control intestinal villus patterning. **Development**, v. 143, p. 427-436, 2016.

ZHANG, L.; GE, J.; GAO, F. et al. Rosemary extract improves egg quality by altering gut barrier function, intestinal microbiota and oviductal gene expressions in late-phase laying hens. **J Animal Sci Biotechnol**, v. 14, n. 121, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00>

ZHANG, Q.; ZHANG, K.; WANG, J.; BAI, S.; ZENG, Q.; PENG, H.; ZHANG, B.; XUAN, Y.; DING, X. Effects of coated sodium butyrate on performance, egg quality, nutrient digestibility, and intestinal health of laying hens. **Poultry science**, v. 101, n. 9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102020>



## C A P Í T U L O 7

# EFEITOS DO BUTIRATO DE SÓDIO NA SAÚDE INTESTINAL DAS AVES

**Paloma Eduarda Lopes de Souza**

**Adiel Vieira de Lima**

**Aline Beatriz Rodrigues**

**Carlos Henrique do Nascimento**

**Maria Isabelli Leite Maia**

**Humberto de Araújo Brito Filho**

**José de Arimatéia de Freitas Pinto**

**Valéria Marinho Leite Falcão**

**Danilo Vargas Gonçalves Vieira**

**Isabelle Naemi Kaneko**

**Danilo Teixeira Cavalcante**

**Fernando Guilherme Perazzo Costa**

A legislação brasileira (MAPA) proibiu o uso de antibióticos como promotores de crescimento devido à resistência bacteriana, conforme a Instrução Normativa nº 13 de 30/11/2004. Os aditivos zootécnicos são utilizados para melhorar o desempenho dos animais, que incluem enzimas exógenas, prebióticos, probióticos e ácidos orgânicos (Sakomura *et al.*, 2014). Dentre as alternativas mais viáveis, destaca-se os ácidos orgânicos que são considerados antimicrobianos, potencializadores imunológicos e promotores de crescimento (Khan *et al.*, 2022; Islam *et al.*, 2022).

Os ácidos orgânicos são substâncias acidificantes que reduzem o pH na porção inicial do trato digestório em que melhoram os níveis de pepsina e potencializam um efeito bactericida ou bacteriostática ao reduzir a capacidade das bactérias ligarem-

se a parede intestinal da ave e aumentar a disponibilidade de cálcio, magnésio, ferro, cobre e zinco (Albino *et al.*, 2017). São ácidos fracos que se dissociam apenas parcialmente e podem atuar como antibacterianos, potencializadores imunológicos e promotores de crescimento (Khan *et al.*, 2022).

O butirato é fonte de energia que ajuda a regular o crescimento das células epiteliais, influenciando na diferenciação e apoptose no intestino delgado, aumentando a capacidade absorptiva (Sakomura *et al.*, 2014). O ácido butírico por ser volátil, é disponibilizado de forma livre ou revestida, e como sais (butirato de sódio e butirato de cálcio) que são mais fáceis de manusear, estáveis e menos odoríferos (Michiels *et al.*, 2008; Ahsan *et al.*, 2016).

Os resultados encontrados por Zhang *et al.* (2022) observaram que a inclusão de butirato de sódio revestido (800 mg/kg) na dieta de galinhas melhorou a conversão alimentar e a produção de ovos, a altura das vilosidades do jejuno e íleo e maiores concentrações de butirato no ceco e no íleo e diversidade microbiana benéfica. A pesquisa de Elnesr; Ropy; Abdel-Razik (2019) identificaram aos 42 dias que a suplementação com butirato de sódio em codornas japonesas melhorou significativamente a maioria dos constituintes séricos, parâmetros hematológicos, altura das vilosidades e largura do intestino e morfometria dos órgãos imunológicos.

O uso de butirato de sódio na dieta de poedeiras comerciais apresenta-se como uma estratégia promissora para melhorar a saúde intestinal, o desempenho produtivo e a qualidade dos ovos. Além disso, mais pesquisas são necessárias para entender completamente os mecanismos de ação do butirato de sódio e para determinar as dosagens ideais para diferentes contextos de produção. Nesta revisão, serão discutidos dados publicados relativos ao uso e benefício do butirato de sódio em dietas para aves.

## 7.1. CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DO ÁCIDO BUTÍRICO E BUTIRATO DE SÓDIO

As enzimas intestinais presentes nas microvilosidades atuam sobre o alimento à medida que ele passa pelo trato digestório. As próprias enzimas digestivas são proteínas, que são sensíveis ao pH e à temperatura (Kardong, 2016). O ácido butírico, com peso molecular de 88,12 g/mol, densidade de 0,958 g/ml e pKa de 4,82. O pKa é o valor de pH de um ácido no qual metade das moléculas desse ácido são dissociadas em íons positivos e negativos (Ahsan *et al.*, 2016).

A regulação do pH é essencial para a atividade dos seres vivos e a capacidade máxima de tamponamento está situada uma unidade de pH acima ou abaixo de seu pKa (Motta, 2011). O pH ideal para o desenvolvimento de microbiota benéfica e atividade enzimática em alguns segmentos é de extrema importância para a digestão e absorção dos nutrientes. O pH duodeno, jejuno e íleo é em torno de 6-7; do proventrículo 4,2; da moela 3,5 e do ceco 6,3 (Figura 7.1) (Khan *et al.*, 2020).

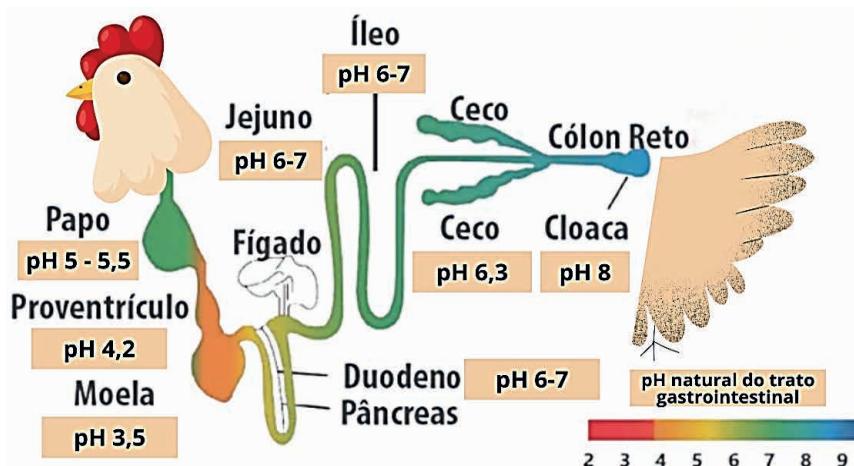


Figura 7.1 - pH natural do trato gastrointestinal da ave. Adaptado de Khan et al. (2020).

O pH do meio e o pKa do ácido butírico determina a dissociação, visto que seu pKa é de 4,82 (equilíbrio), pH menor que o pKa apresenta forma não dissociada, o que acontece no proventrículo e moela. Ao chegar no intestino delgado proximal, é dissociado em íons butirato e hidrogênio, devido o pH do meio ser maior que o pKa do ácido butírico. Quanto menor o valor de pKa, mais forte é o ácido, determinando a sua capacidade de reduzir o pH do ambiente. Os ácidos usados como aditivos alimentares têm valores de pKa entre 3 e 5, e são classificados como sendo de resistência intermediária (Lückstädt, 2007).

O ácido butírico é absorvido pelos enterócitos e atua no citosol e na matriz mitocondrial de muitos tecidos, sendo uma principal fonte de energia (Motta, 2011). Participa na diferenciação e apoptose no intestino delgado, aumentando a capacidade absorptiva (Sakomura et al., 2014). Estudos de Miao et al. (2021) relataram que as dosagens de 500 e 750 mg/kg de butirato de sódio melhorou a taxa de postura e a conversão alimentar, aumentaram as atividades de tripsina e amilase no pâncreas e duodeno e a altura das vilosidades e a razão altura das vilosidades/profundidade das criptas (V/C) no jejuno e íleo (Figuras 7.2, 7.3 e 7.4).

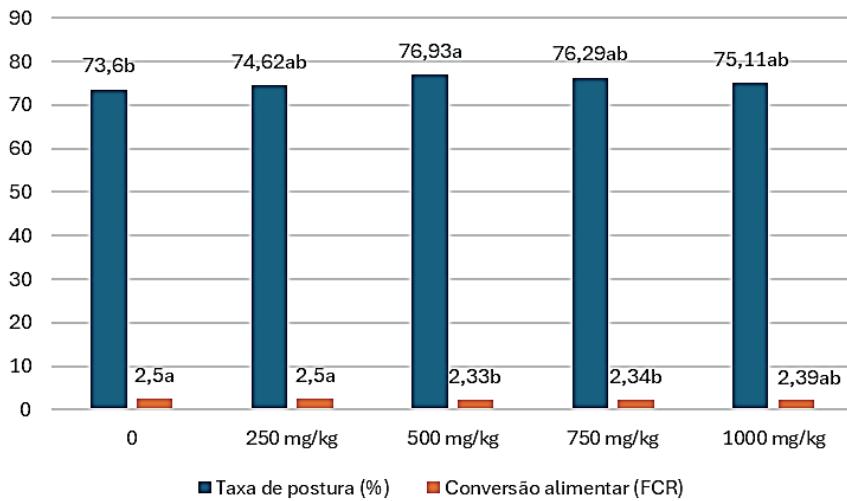


Figura 7.2 - Efeito da suplementação com diferentes níveis de butirato de sódio revestido sobre o desempenho produtivo de galinhas poedeiras. Letras distintas indicam diferença estatística ao nível de 5%. Adaptado de Miao et al. (2021).

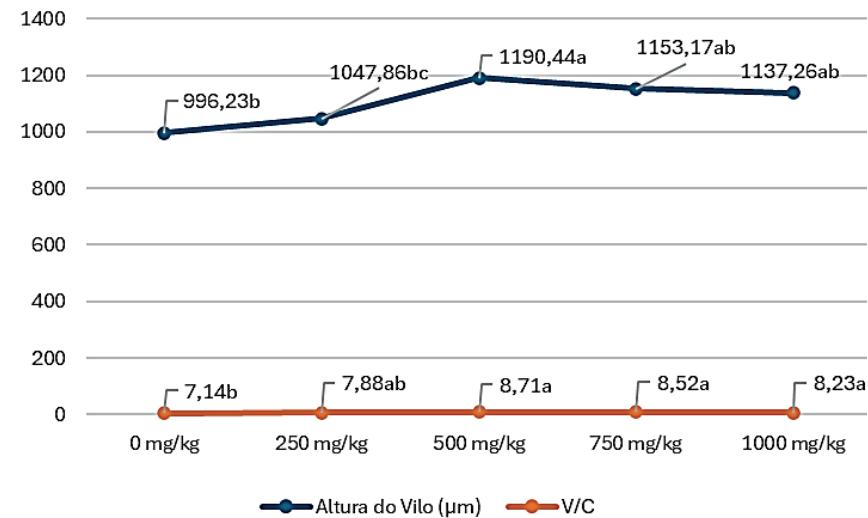


Figura 7.3 - Efeito da suplementação com diferentes níveis de butirato de sódio revestido sobre a morfologia do jejunum de galinhas poedeiras. V/C = relação vilos cripta. Letras distintas indicam diferença estatística ao nível de 5%. Adaptado de Miao et al. (2021).

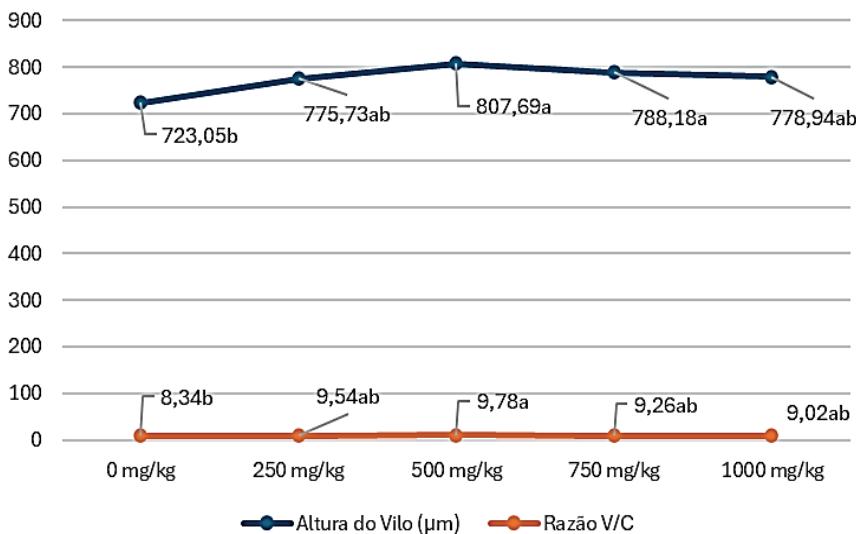


Figura 7.4 - Efeito da suplementação com diferentes níveis de butirato de sódio revestido sobre a morfologia do íleo de galinhas poedeiras. V/C = relação vilo:cripta. Letras distintas indicam diferença estatística ao nível de 5%. Adaptado de Miao et al. (2021).

A absorção de ácidos orgânicos nos enterócitos, as células presentes no intestino, ocorre através de vários mecanismos. Pode difusão passiva quando estão na sua forma não dissociada por ser lipofílica e pode atravessar facilmente a membrana lipídica dos enterócitos. O pH do conteúdo intestinal pode influenciar a proporção de ácidos orgânicos na forma não dissociada (Van et al., 2005). Transportados ativamente através da membrana dos enterócitos por transportadores específicos, conhecidos como transportadores de monocarboxilatos (MCTs). Esses transportadores facilitam a passagem dos ácidos na sua forma ionizada (Gill et al., 2005). Ou através do cotransporte com íons sódio, um transporte ativo secundário que utiliza a energia do gradiente de sódio para mover os ácidos orgânicos contra seu próprio gradiente de concentração (Ronholt, 2011).

## 7.2. ÁCIDOS ORGÂNICOS PROTEGIDOS OU ENCAPSULADOS

Os ácidos orgânicos são compostos que possuem átomos de carbono ligados a um grupo funcional ácido (Ortiz, 2018). Estão presentes naturalmente em organismos vivos ou podem ser produzidos em laboratório (industriais). Os carboidratos passam por um ataque enzimático microbiano, que os fermenta e produz ácidos orgânicos (principalmente ácidos graxos de cadeia curta, como os ácidos acético, propiônico e butírico). Esses ácidos podem ser absorvidos e são uma importante fonte de energia para o animal (Araújo; Zanetti, 2019).

São produtos voláteis e que durante o processamento da ração podem evaporar ou atuar no estômago e no intestino delgado proximal (Michiels *et al.*, 2008). Os ácidos orgânicos mais conhecidos são o ácido acético, o ácido propiônico e o ácido butírico, também chamados de ácidos graxos voláteis (AGV) ou de cadeia curta (AGCC). O ácido butírico, com peso molecular de 88,12 g/mol, densidade de 0,958 g/ml e pKa de 4,82, possui características interessantes, mas é corrosivo e volátil. Portanto, utiliza-se seu sal sódico, que é mais fácil de manusear, estável e menos odorífero (Ahsan *et al.*, 2016).

No intestino delgado, o butirato é liberado do glicerol pela ação da lipase, ficando assim protegido da absorção no trato gastrointestinal superior. O butirato de sódio, sal do ácido butírico, pode ser suplementado de duas formas: livre, para estimular o desenvolvimento no trato gastrointestinal superior, ou protegida, permitindo uma liberação mais lenta e alcançando o trato gastrointestinal inferior (Bedford; Gong, 2018).

O encapsulamento é uma técnica utilizada para melhorar a viabilidade dos ácidos orgânicos durante o processamento e para uma entrega direcionada no trato gastrointestinal (Jadhao *et al.*, 2019). Para uma utilização mais eficiente, essa tecnologia tornou-se uma alternativa para a proteção de um material (agente ativo) por meio do revestimento (material de parede) com o uso geralmente de polissacarídeos, proteínas e lipídeos (Barroso *et al.*, 2021).

Estudos de Pires *et al.* (2021) avaliaram a adição de butirato de sódio revestido em galinhas poedeiras com 76 semanas de idade sobre a histomorfometria intestinal e identificaram aumento na capacidade de absorção de nutrientes e menores perdas de energia quando foi utilizado butirato de sódio protegido, e que o uso de 300 g/t de butirato de sódio foi o mais eficiente, pois resultou nas maiores alturas de vilosidades do duodeno e do jejuno, bem como nas maiores relações vilos:cripta nos três segmentos do intestino delgado (Figuras 7.5, 7.6 e 7.7)

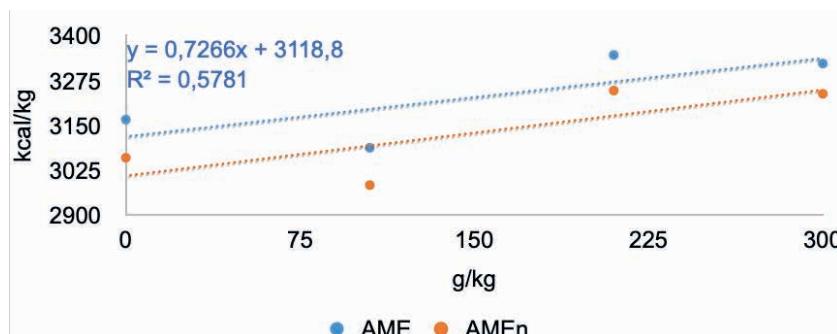


Figura 7.5 - Energia metabolizável aparente (AME) e energia metabolizável aparente corrigida pelo nitrogênio (AMEn) da ração de galinhas poedeiras leves contendo butirato de sódio protegido. Adaptado de Pires *et al.* (2021).

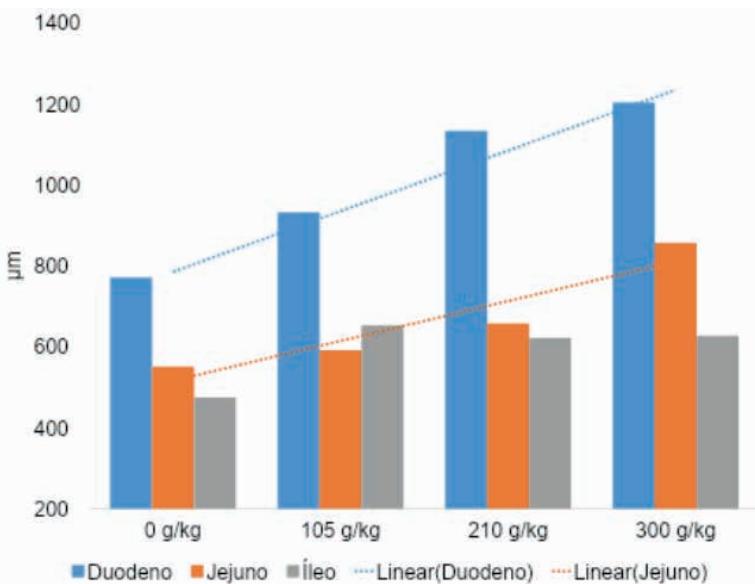


Figura 7.6 – Altura de vilosidade dos segmentos do intestino delgado de galinhas poedeiras leves contendo butirato de sódio protegido. Adaptado de Pires et al. (2021).

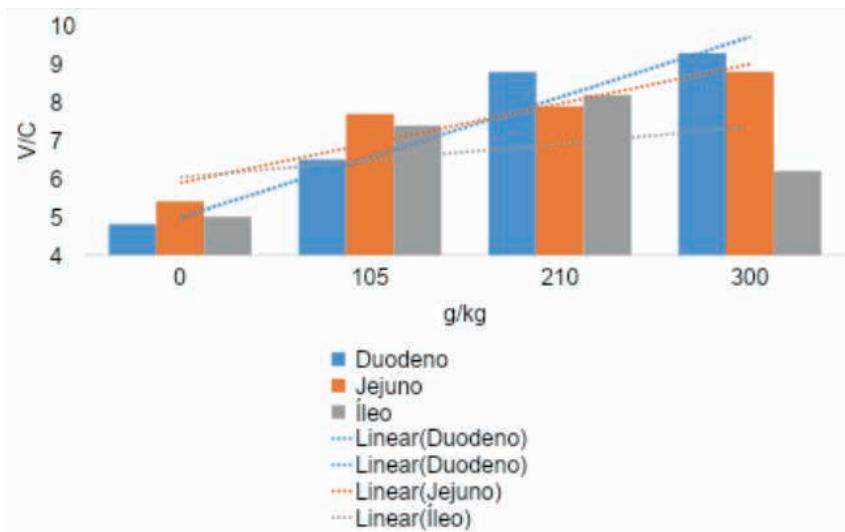


Figura 7.7 - Relação profundidade de vilo: profundidade de cripta (V/C) de galinhas poedeiras leves contendo butirato de sódio protegido. Adaptado de Pires et al. (2021).

Os efeitos bactericidas do ácido butírico exigem que ele não esteja dissociado para entrar na célula bacteriana. Portanto, é necessário usar butirato de sódio em uma forma que o proteja da dissociação, portanto, foram desenvolvidas formas de butirato de sódio com revestimento entérico (Ahsan *et al.*, 2016).

### 7.3. BUTIRATO DE SÓDIO NA MODULAÇÃO DA MICROBIOTA INTESTINAL E INFLUÊNCIA NA IMUNIDADE

No ceco ocorre a digestão de alguns substratos pela ação das bactérias, produzindo os ácidos graxos de cadeia curta que são utilizados pelo hospedeiro para manter a homeostase energética e os processos biológicos. A ave nas fases iniciais de vida, apresentam uma diversidade e densidade de microrganismos baixa e que aumenta à medida que se desenvolve. A colonização de microrganismos no trato gastrointestinal, sendo ela comensal, é essencial para a saúde e o bem-estar do hospedeiro (Sakomura *et al.*, 2014; Macari; Maiorka, 2017; Du *et al.*, 2020; Wilkinson *et al.*, 2020).

As modificações na microbiota podem ser influenciadas por inclusão de aditivos na dieta, diferentes práticas de manejo, processamento da matéria-prima, estresse e presença de patógenos (Macari; Maiorka, 2017). Nesse sentido, os aditivos utilizados alternativas mais viáveis aos antibióticos, nos quais destacam-se os ácidos orgânicos, possuem função antimicrobiana (Islam *et al.*, 2022).

Em razão da presença de microrganismos benéficos e patogênicos, são utilizados moduladores da microbiota visto que podem influenciar o desempenho e metabolismo do hospedeiro. Os mecanismos possíveis compreendem a produção de bacteriocinas, redução da taxa de crescimento dos patógenos, inibição dos fatores de colonização do patógenos e competição ou modificação por locais de aderência (Macari; Lunedo; Pedroso, 2014).

A acidificação no intestino (Figura 7.8) inibe as bactérias patogênicas que competem com o hospedeiro pelos nutrientes disponíveis e reduz a produção de metabólitos bacterianos tóxicos (Kunz *et al.*, 2011). Os ácidos graxos de cadeia curta, os ácidos graxos de cadeia média e outros ácidos orgânicos exibem diferentes níveis de atividade antimicrobiana, dependendo tanto da concentração do ácido quanto da espécie bacteriana exposta (Khan; Iqbal, 2016).

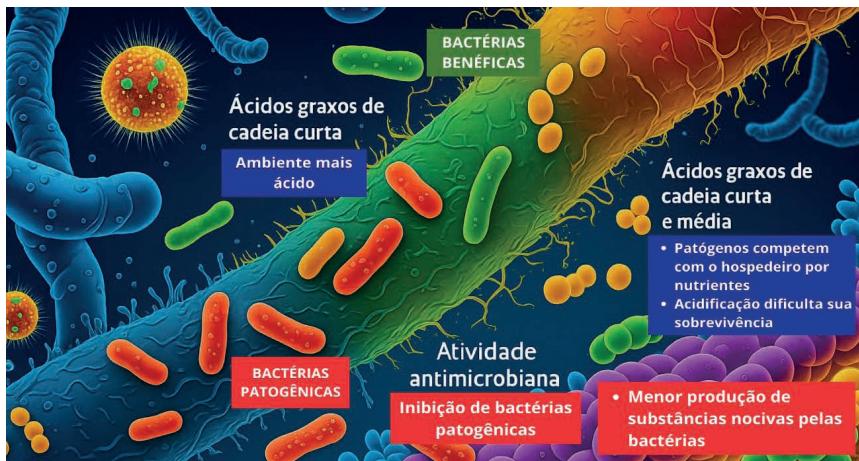


Figura 7.8 - Efeitos da acidificação no trato gastrointestinal da ave e a influência nas bactérias patogênicas. Adaptado de Kunz et al. (2011) e Khan e Iqbal (2016).

Os ácidos orgânicos pertencem a diversas classes (butírico, acético, cítrico, fórmico, láctico, propiônico e outros) em que estimulam a atividade enzimática e possuem ação antimicrobiana (Funari Junior et al., 2011). Os ácidos orgânicos são capazes de atravessar a membrana das bactérias Gram-negativas e diminuir o pH intestinal, ocasionando um enfraquecimento dessas células e um aumento na eficácia das bacteriocinas produzidas pelas bactérias láticas (Macari; Lunedo; Pedroso, 2014).

Há estudos que comprovam que o butirato de sódio reduz a presença de bactérias que causam impactos negativos para o meio ambiente. Liu et al. (2023) identificaram que o butirato de sódio regulou as bactérias produtoras de amônia no ceco das galinhas poedeiras. Destacaram a grande importância para a redução das emissões de amônia na indústria de criação de poedeiras e para pesquisas futuras.

Xiong et al. (2024) revelaram que o butirato de sódio revestido na dieta a longo prazo melhorou a morfologia intestinal e aliviou a lesão intestinal e a colonização do ceco por *Salmonella* de galinhas poedeiras infectadas com *S. Enteritidis*. Além disso, a suplementação a longo prazo em galinhas poedeiras resultou numa melhor barreira intestinal, o que protegeu eficazmente a saúde intestinal das galinhas poedeiras e reduziu os desafios de *Salmonella*.

## 7.4. EFEITOS DO BUTIRATO DE SÓDIO NA MORFOLOGIA INTESTINAL E DIGESTIBILIDADE DOS NUTRIENTES

O intestino delgado é onde ocorre a maior parte da digestão e absorção e é composto de três segmentos: duodeno, jejuno e íleo. O duodeno recebe as secreções pancreáticas e a bile do fígado para a digestão e absorção de gorduras e vitaminas. No lúmen do intestino delgado há exposição de uma grande área da superfície de absorção, que é recoberta com vilosidades e as células epiteliais individuais que reveste as vilosidades apresentam suas próprias microvilosidades na superfície luminal. As microvilosidades amplificam a área da superfície de absorção e compõe uma estrutura denominada bordo em escova (Rowe e Reece, 2020).

O intestino grosso está envolvido no processo de reabsorção de água, e ao realizar esse processo, ajuda na manutenção do equilíbrio de água no organismo e em todo o corpo da ave. No ceco, ocorre uma pequena quantidade de digestão de carboidratos e proteínas, além da fermentação microbiana da fibra dietética (Silva, 2020). Os ácidos orgânicos além da ação antimicrobiana, estimula a atividade enzimática (Funari Junior *et al.*, 2011).

Os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) ou ácidos graxos voláteis (AGV) são produtos da fermentação no ceco, oriundos da ação microbiana. Os produtos que são produzidos em maior quantidade, são os ácidos acético, propiônico e butírico (Araújo; Zanetti, 2019). O butirato é o principal AGCC utilizado como fonte de energia que ajuda a regular o crescimento das células epiteliais, influenciando na diferenciação e apoptose no intestino delgado, aumentando a capacidade absorptiva (Sakomura *et al.*, 2014). O ácido butírico por ser volátil, é disponibilizado em forma de sais microencapsulados (butirato de sódio e butirato de cálcio).

Conforme afirmado por Menten *et al.* (2014), essa diminuição do valor de pH tem a capacidade de ampliar a atividade proteolítica, colaborando, assim, com a aprimoração da digestão e absorção das proteínas e aminoácidos. Embora o mecanismo de ação dos ácidos orgânicos ainda esteja sendo estudado, é inquestionável que eles trazem vantagens, tais como o aumento da digestibilidade e, por conseguinte, um melhor desempenho (Espíndola, 2016).

As moléculas chegam parcialmente degradadas no intestino delgado, que sofrem ação de enzimas produzidas pelo pâncreas reduzindo em partículas menores e de melhor absorção para as células intestinais, os enterócitos. As vilosidades intestinais são projeções da mucosa, que são revestidos por epitélio superficial constituído por células intercaladas entre si: células absorptivas (ou enterócitos) e células caliciformes (produtoras de muco) (Abrahamsohn, 2016).

Os enterócitos atuam no processo de absorção de monossacarídios, lipídios e aminoácidos e as células caliciformes secretam um muco de consistência viscosa, rico em glicoproteínas ácidas que conferem ao produto ação protetora e lubrificante. As vilosidades do duodeno são mais longas e estreitas; o epitélio gradualmente apresenta mais células caliciformes quanto mais próximo ao intestino grosso (Aarestrup, 2012).

Segundo Reece (2017), as criptas são revestidas por enterócitos que apresentam microvilosidades em sua superfície apical, aumentando consideravelmente a sua área de superfície. Auxilia na secreção de cloreto, sódio e água dentro do lúmen da cripta para facilitar a absorção pelos enterócitos absorтивos na vilosidade.

Dentre os segmentos intestinais, o jejuno se destaca em tamanho e ocorre a maior parte da absorção dos nutrientes, água e íons. A absorção acontece mais eficiente quando a área de superfície absorтивa é maior, essa capacidade estar relacionada com a altura e largura das vilosidades (Walton *et al.*, 2016). Quando a profundidade de cripta é alta, indica que houve uma constante renovação celular que demanda energia para ser realizadas. A relação desejável entre as vilosidades e criptas intestinais acontece quando as vilosidades são altas e as criptas são rasas, pois quanto maior for a relação altura das vilosidades: profundidade da cripta, melhor será a absorção de nutrientes e menores serão as perdas energéticas com a renovação celular (Li, 1991; Nabuus, 1995).

Sobczak e Kozłowski (2016) avaliaram a suplementação de ácido butírico e butirato de sódio na linhagem Lohmann Brown com 48 semanas de idade e identificaram que a suplementação contribuiu para um aumento significativo na espessura da casca do ovo, no peso da casca, maior atividade de enzimas bacterianas no ceco e maiores concentrações de ácido butírico no conteúdo cecal. Identificaram a suplementação de ácido butírico protegido apresentou maiores concentrações de cálcio nos ossos e menores concentrações de amônia no ceco.

O estudo de Miao *et al.* (2021) afirma que o uso de ácidos melhorou a razão entre alturas de vilosidades e profundidade de criptas, promovendo uma absorção mais eficiente sendo os recursos direcionados para a produção e qualidade de ovos. Shahir *et al.* (2012), relataram que a suplementação de ácidos melhorou a qualidade da casca dos ovos de galinhas poedeiras. De acordo com Sakomura *et al.* (2014), os ácidos orgânicos ajudam na disponibilidade de alguns minerais como o cálcio, ferro, cobre e magnésio. O cálcio participa em grande proporção da formação da casca do ovo. O aumento da espessura da mucosa intestinal está correlacionado com o aumento da função digestiva e absorтивa do intestino delgado devido ao aumento da área de superfície absorтивa (Arslan, 2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ácido butírico melhora o aproveitamento de nutrientes/energia, a saúde intestinal e o desempenho da produção em aves, melhorando a absorção de minerais, a imunidade e reduzindo as populações e produtos tóxicos de bactérias patogênicas. No entanto, são necessários mais estudos para explorar o efeito do butirato de sódio na dieta de poedeiras comerciais.

## REFERÊNCIAS

- AARESTRUP, B. J. **Histologia Essencial**. Grupo GEN, 2012. E-book. ISBN 978-85-277-2145-5. Disponível em: [https://integrada\[minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-277-2145-5/](https://integrada[minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-277-2145-5/). Acesso em: 12 mai. 2024.
- ABRAHAMSOHN, P. **Histologia**. Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788527730105. Disponível em: [https://integrada\[minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527730105/](https://integrada[minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527730105/). Acesso em: 21 mai. 2024.
- AHSAN, U.; et al. Sodium butyrate in chicken nutrition: the dynamics of performance, gut microbiota, gut morphology, and immunity. **World's Poultry Science Journal**. v. 72, n. 2, p. 265-275, 2016. doi:10.1017/S0043933916000210.
- ALBINO, L. F. T.; et al. **Galinhas poedeiras: criação e alimentação**. Viçosa: Aprenda fácil. 376 f. 2014.
- ARAÚJO, L.F.; ZANETTI, M.A. **Nutrição animal**. Editora Manole, 2019. E-book. ISBN 9788520463499. Disponível em: [https://integrada\[minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520463499/](https://integrada[minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520463499/). Acesso em: 05 mai. 2024.
- ARAÚJO, L. F.; ZANETTI, M. A. **Nutrição animal**. Editora Manole, 2019. E-book. ISBN 9788520463499. Disponível em: [https://integrada\[minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520463499/](https://integrada[minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520463499/). Acesso em: 08 mai. 2024.
- ARSLAN, C. et al. Dietary encapsulated essential oil mixture influence on apparent nutrient digestibility, serum metabolic profile, lymphocyte histochemistry and intestinal morphology of laying hens. **Animal Bioscience**, v. 35, n. 5, p. 740, 2022
- BARROSO, T. L. C. T.; et al. Tecnologia de encapsulamento na área de alimentos: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, 2021. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16240>
- BEDFORD, A.; GONG, J. Implications of butyrate and its derivatives for gut health and animal production. **Animal nutrition (Zhongguo xu mu shou yi xue hui)**, v. 4, n. 2, p. 151-159, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.08.010>

DU, X.; et al. Microbial Community and Short-Chain Fatty Acid Mapping in the Intestinal Tract of Quail. **Animals**, v. 10, n. 6, p. 1006, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10061006>

ELNESR, S. S., ROPY, A., ABDEL-RAZIK, A. H. Effect of dietary sodium butyrate supplementation on growth, blood biochemistry, haematology and histomorphometry of intestine and immune organs of Japanese quail. **Animal: an international journal of animal bioscience**, v. 13, n. 6, p. 1234–1244. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731118002732>

ESPÍNDOLA, G. B. **Nutrição de animais monogástricos de produção**. 1. ed. Fortaleza: Expressão gráfica e editora, 2016.

FUNARI JUNIOR, P. et al. Efeitos da utilização de ácidos orgânicos em ração de frangos decorte. **PUBVET**, Londrina, v. 5, n. 25, Ed. 172, Art. 1159, 2011.

GILL, R. K.; et al. Expression and membrane localization of MCT isoforms along the length of the human intestine. **American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology**, v. 289, n. 5, 2005.

ISLAM, Z. et al. Effect of Organic Acids Blend, Micro- Encapsulated Phyto-Essential Oils Individually or in Combination on Growth Performance, Gut Health and Nutrients Utilization of Broilers. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 54, n. 5, p. 2391–2399, 2022.

KARDONG, K. V. **Vertebrados - Anatomia Comparada, Função e Evolução**. Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788527729697. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527729697/>. Acesso em: 06 mai. 2024.

KHAN, R. U. et al. Prospects of organic acids as safe alternative to antibiotics in broiler chickens diet. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 22, p. 32594–32604, 2022.

KHAN, S. H.; IQBAL, J. Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition. **Journal of Applied Animal Research**, v. 44, n. 1, p. 359–369, 2016.

KHAN, S.; MOORE, R. J.; STANLEY, D.; CHOUSALKAR, K. K. The Gut Microbiota of Laying Hens and Its Manipulation with Prebiotics and Probiotics To Enhance Gut Health and Food Safety. **Applied and environmental microbiology**, v. 86, n. 13, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.00600-20>

KUNZ, A. et al. **Manejo Ambiental na Avicultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. v. 149, 2011.

LI, D.F. Interrelationship between hypersensitivity to soybean proteins and growth performance in early-weaned pigs. **Journal of Animal Science**, v.69, p. 4062–4069, 1991.

LIU, S.; et al. Sodium butyrate reduces ammonia production in the cecum of laying hens by regulating ammonia-producing bacteria. **Poultry science**, v. 102, n. 5, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102241>

LÜCKSTÄDT, C. Acidifiers in animal nutrition: A guide for feed preservation and acidification to promote animal performance. **Nottingham: Nottingham University Press**, 2007.

MACARI, M.; LUNEDO, R.; PEDROSO, A. A. Microbiota intestinal de aves. In: MACARI, M.; MENDES, A.A.; MENTEN, J.F.; NAAS, I.A. Produção de frango de corte, p. 300-319, 2014.

MACARI, M.; MAIORKA, A. **Fisiologia das aves comerciais**. Jaboticabal: Funep, PROL Editora Gráfica, 806 f. 2017.

MENTEN, J. F. M.; LOMGO, F. A.; VIOLA, E. S.; RIZZO, P. V. **Antibióticos, ácidos orgânicos e óleos essenciais na nutrição de monogástricos**. In: SAKOMURA, N. K.; SILVA, J. H. V.; COSTA, F. G. P.; FERNANDES, J. B. K.; HAUSCHILD, L. (org.). Nutrição de Não Ruminantes. Jaboticabal: Funep, p. 511-536, 2014.

MIAO, S.; et al. Alterations in intestinal antioxidant and immune function and cecal microbiota of laying hens fed on coated sodium butyrate supplemented diets. **Animals**, v. 12, n. 5, 2022.

MIAO, S.; et al. Effects of coated sodium butyrate on production performance, egg quality, sérum biochemistry, digestive enzyme activity, and intestinal health of laying hens, **Italian Journal of Animal Science**, v.20, n. 1, p. 1452-1461, DOI: 10.1080/1828051X.2021.1960209

MICHELS, J.; et al. In vitro degradation and in vivo passage kinetics of carvacrol, thymol, eugenol and trans-cinnamaldehyde along the gastrointestinal tract of piglets. **J. Sci. Food Agric.** v. 88, p. 2371–2381, 2008.

MOTTA, V. **Bioquímica**. MedBook Editora, 2011. E-book. ISBN 9786557830208. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786557830208/>. Acesso em: 10 mai. 2024.

NABUUS, M.J.A. Microbiological, structural and function changes of the small intestine of pigs at weaning. **Pigs News and Information, Oxfordshire**, v. 16, n. 3, p. 93-97, Sep.1995.

ORTIZ, R.W. P. **Estudo da síntese química do ácido dl-málico por hidratação do ácido fumárico**. 2018. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2018.

PIRES, M.; et al. Effect of Dietary Inclusion of Protected Sodium Butyrate on the Digestibility and Intestinal Histomorphometry of Commercial Laying Hens. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 23, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1406>

REECE, W. O. **Dukes | Fisiologia dos Animais Domésticos**, 13<sup>a</sup> edição. Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788527731362. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527731362/>. Acesso em: 08 mai. 2024.

RØNHOLT, S., ROSTGAARD, N., MÜLLER, H. K. Sodium-dependent short-chain fatty acid transporters are expressed in ruminant forestomach. **Research in Veterinary Science**, v. 90, n. 1, p. 125-127, 2011.

ROWE, W. O.; REECE, E. W. **Anatomia Funcional e Fisiologia dos Animais Domésticos**. Grupo GEN, 2020. E-book. ISBN 9788527736886. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788527736886/>. Acesso em: 08 mai. 2024.

SAKOMURA, N. K.; et al. **Nutrição de não ruminantes**. Jaboticabal: Funep, 678 f. 2014.

SHAHIR, M; et al. Effects of probiotic and calcium butyrate on production performance, egg quality, blood parameters and immune response in laying hens. **Journal of Veterinary Research**. v. 67, p. 313-323, 2012.

SILVA, T. R. et al. **Acidificantes como aditivos em dietas de animais não ruminantes**. In: XI AMOSTRA CIENTÍFICA FAMEZ/UFMS, 11., 2018, Campo Grande. Anais... Campo Grande: XI MOSTRA FAMEZ, 2018.

SOBCZAK, A.; KOZŁOWSKI, K. Effect of dietary supplementation with butyric acid or sodium butyrate on egg production and physiological parameters in laying hens. **Archiv für Geflügelkunde**. v. 80, 2016. DOI: 10.1399/eps.2016.122.

VAN I. F.; et al. Supplementation of coated butyric acid in the feed reduces colonization and shedding of *Salmonella* in poultry. **Poultry Science**, v. 84, n. 2, p. 185-190, 2005.

WALTON, K.D. et al. Vilification in the mouse: Bmp signals control intestinal villus patterning. **Development**, v. 143, p. 427-436, 2016.

WILKINSON, N.; et al. Reduced environmental bacterial load during early development and gut colonisation has detrimental health consequences in Japanese quail. **Helijon**. v. 16, n. 6, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03213>.

XIONG, S.; et al. Effects of Long-Term Coated Sodium Butyrate Supplementation on the Intestinal Health and Colonization of Cecal *Salmonella* of Laying Hens Infected with *Salmonella enteritidis*. **Animals**, v. 14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14091356>

ZHANG, Q.; et al. Effects of coated sodium butyrate on performance, egg quality, nutrient digestibility, and intestinal health of laying hens. **Poultry science**, v. 101, n. 9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102020>



## CAPÍTULO 8

# POTENCIAL DE PLANTAS DA CAATINGA NA ALIMENTAÇÃO DE AVES

**Adiel Vieira de Lima**

**Raiane dos Santos Silva**

**Carlos Henrique do Nascimento**

**Weslla da Silva Dias**

**Paloma Eduarda Lopes de Souza**

**Aline Beatriz Rodrigues**

**José de Arimatéia de Freitas Pinto**

**Humberto de Araújo Brito Filho**

**Amanda Fabrício Dantas**

**Danilo Vargas Gonçalves Vieira**

**Germano Augusto Jerônimo do Nascimento**

**Fernando Guilherme Perazzo Costa.**

As irregularidades nas chuvas e os longos períodos de estiagem são características marcantes da região semiárida, particularmente no Nordeste brasileiro. Essas condições climáticas adversas resultam em uma significativa redução da disponibilidade de alimentos para os animais, impactando diretamente a produtividade e a viabilidade econômica da produção animal na região. A escassez de água e a baixa qualidade dos pastos nativos durante as épocas de seca impõem um desafio constante aos produtores, que precisam buscar alternativas eficientes para manter a alimentação e o desempenho dos animais.

Neste contexto, o bioma Caatinga, que ocupa grande parte da região semiárida nordestina, torna-se um recurso fundamental para a produção animal. Caracterizada por uma vegetação xerófila adaptada às condições de baixa umidade e solo pobre, a Caatinga apresenta uma biodiversidade singular, com inúmeras espécies de plantas que possuem potencial nutricional para a alimentação animal. Essas plantas têm desenvolvido mecanismos fisiológicos e morfológicos que lhes permitem sobreviver e crescer mesmo em períodos prolongados de seca, tornando-as fontes alternativas valiosas de alimento para os animais.

É importante destacar que a alimentação animal no semiárido não se baseia exclusivamente em plantas nativas da Caatinga. Ao longo dos anos, diversas espécies exóticas foram introduzidas e naturalizadas na região, mostrando-se altamente adaptáveis às condições ambientais locais. Essas espécies exóticas vêm complementando a flora nativa e ampliando as opções de forrageiras disponíveis para os produtores, o que pode contribuir para a diversificação e a estabilidade da oferta alimentar ao longo do ano.

A combinação do uso de plantas nativas e exóticas adaptadas à região constitui uma estratégia sustentável e economicamente viável para enfrentar os desafios impostos pelas condições climáticas adversas. Além de reduzir os custos com alimentação, essa prática promove o aproveitamento racional dos recursos naturais locais, evitando a dependência excessiva de insumos externos e diminuindo os impactos ambientais negativos.

Entre as plantas utilizadas na alimentação animal na Caatinga, destacam-se grupos botânicos como as leguminosas, as euforbiáceas e as cactáceas, que apresentam características distintas e adaptadas ao semiárido. As leguminosas, por exemplo, são valorizadas por seu alto teor proteico e capacidade de fixar nitrogênio no solo, contribuindo para a fertilidade e produtividade das áreas de cultivo. No entanto, muitas plantas nativas e exóticas da região apresentam fatores antinutricionais, como taninos, alcaloides e compostos fenólicos, que podem limitar a digestibilidade e o aproveitamento dos nutrientes pelos animais, exigindo o desenvolvimento de técnicas de processamento ou manejo alimentar para minimizar seus efeitos.

A produtividade dessas plantas varia conforme as condições ambientais, espécie e manejo, mas em geral são adaptadas para sobreviver em solos pobres e condições climáticas adversas, apresentando ciclos de crescimento e produção de biomassa que permitem sua utilização estratégica na alimentação durante períodos críticos. A utilização equilibrada dessas plantas, considerando seu potencial nutritivo e fatores antinutricionais, é fundamental para garantir dietas eficientes e seguras para os animais não ruminantes, além de promover a sustentabilidade dos sistemas produtivos no semiárido.

Além disso, o emprego dessas plantas na alimentação de animais não ruminantes, como aves, suíños e coelhos, tem ganhado destaque devido às especificidades fisiológicas desses animais e à crescente demanda por produtos de origem animal produzidos de forma sustentável. A utilização de forrageiras adaptadas pode melhorar a qualidade nutricional das dietas, influenciar positivamente o desempenho produtivo e contribuir para a saúde e bem-estar dos animais.

Diante desses aspectos, compreender o potencial e as características das plantas nativas e exóticas disponíveis na Caatinga para a alimentação de animais não ruminantes é fundamental para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais resilientes e adaptados às condições do semiárido. Investir na pesquisa e na disseminação de tecnologias que promovam o uso eficiente dessas plantas é uma oportunidade para fortalecer a produção animal regional, melhorar a segurança alimentar e apoiar a sustentabilidade socioeconômica dos produtores.

Assim, o presente capítulo aborda as características e o potencial das principais plantas nativas e exóticas utilizadas na alimentação de animais não ruminantes na Caatinga, destacando sua importância como alternativas estratégicas para minimizar os efeitos da escassez de alimentos e fortalecer a produção animal no semiárido brasileiro.

## 8.1. FEIJÃO BRAVO

### 8.1.1. Origem

O *Capparis flexuosa L.*, popularmente chamado de feijão bravo, feijão brabo, mororó de tabuleiro, feijão de boi é pertencente à família *Capparaceae*, considerada como uma espécie de porte médio/alto, podendo alcançar alturas de até a 6 metros, apresentando em sua copa folhas permanentes muito apreciadas por animais de produção; o feijão bravo é considerado uma planta de fácil propagação, possuindo como método natural a dispersão das sementes na natureza por pássaros e por mamíferos. (ALMEIDA NETO et al. 2009 e FABRICANTE et al. 2009).

O feijão bravo pode ser encontrado na América do Norte, América central e América do Sul, no Brasil além da caatinga pode ser encontrado nos estados do Pará, Minas Gerais e São Paulo (UFERSA 2021). As maiores disposições territoriais do feijão bravo ocorrem em áreas semiáridas brasileira ostentando características adaptativas que possibilita o seu desenvolvimento nos períodos secos, e isso garante para a planta uma produção independente em relação as chuvas para o alcance de índices produtivos (FABRICANTE et al. 2009). Na Tabela 8.1, podemos ver a classificação botânica da planta.

Tabela 8.1. Classificação botânica do *Capparis flexuosa* L.

Classe	Equisetopsida C. Agardh
Subclasse	Magnoliidae Novák ex Takht.,
Ordem	Brassicales Bromhead
Superordem	Rosanae Takht.
Família	Capparaceae Juss
Gênero	<i>Capparis</i> L

Fonte: UFERSA (2021).

### 8.1.2. Composição química

Costa et al., (2007a), em estudo realizado para determinar o valor energético e composição química de plantas com potencial forrageiro nas dietas de aves, avaliaram o feno de feijão bravo (*Capparis flexuosa*) e encontraram teores de 86,73% de matéria seca, 37,10% de fibra bruta, 2,61% de nitrogênio, 16,28% de proteína bruta, 7,08% de cinzas e 4.542 kcal/kg de energia.

Valores semelhantes foram encontrados por Almeida Neto et al., (2011), para análise realizada com partes da planta de feijão bravo (*Capparis flexuosa L.*) oriundos da cidade de Barra da Rosa – PB/ Região de Caatinga Paraibana, determinaram 47,1% de matéria seca, 32,32% de fibra bruta, 8,13% de proteína bruta, 8,05% de cinzas, 5,37% de extrato etéreo, 5.015 cal g<sup>-1</sup> e 91,95% de matéria orgânica.

Embrapa (2014), demonstrou em cartilha a composição química bromatológica do feno de feijão bravo (*Capparis flexuosa L.*) e os valores encontrados para os nutrientes foram de 78,29% matéria seca, um teor de proteína bruta igual a 11,13%, 50,86% de nutrientes digestíveis totais, 91,63% de matéria orgânica e 8,37% de matéria mineral.

Lopes et al. (2009) avaliaram a composição química do feijão bravo em distintas categorias (árvores, adultas podadas e regeneração), e encontraram valores médios para matéria seca 49,5%, proteína bruta 15,4%, fibra em detergente neutro 54,1%, fibra em detergente ácido 35,6%, matéria mineral 8,9%, matéria orgânica 91,1%, hemicelulose 18,4%, celulose 27,6% e lignina 7,2%. Os valores dos diferentes resultados encontrados sobre a composição química bromatológica do feno de feijão bravo está descrito na Tabela 8.2.

Tabela 8.2. Composição química bromatológica do feno de feijão bravo.

Categoria	Feno	In natura	Feno	In natura
MS	49,5	86,73	47,1	78,29
PB	15,4	16,28	8,13	11,13
FDN	54,1	-	-	-
FDA	35,6	-	-	-
MM	8,9	-	-	8,37
MO	91,1	-	92	91,6
HEM	18,4	-	-	-
CEL	27,6	-	-	-
LIG	7,2	-	-	-
FB	-	37,1	32,32	-
N	-	2,61	-	-
Cinza	-	7,08	8,05	-
EB	-	4.542	-	-
EE	-	-	5,37	-
NDT	-	-	-	50,86
Autores	(Lopes et al., 2009)	(Costa et al. 2007a)	(Almeida neto et al. 2011)	(Embrapa (2014)

MS: matéria seca, PB: proteína bruta, FDA: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, MM: matéria mineral, MO: matéria orgânica, HEM: hemicelulose, CEL: celulose, LIG: lignina, FB: fibra bruta, N: nitrogênio, CINZ: cinzas, EB: energia bruta, EE: extrato etéreo, NDT: nutrientes digestíveis totais.

### 8.1.3. Fatores antinutricionais

O uso de forrageiras nativas para compor a alimentação de aves pode ser limitado devido a presença de fatores antinutricionais que por diversas vezes são desconhecidos, com por exemplo o tanino (COSTA et al., 2007b).

Chubb (1992) classifica os fatores antinutricionais como sendo compostos que atrapalha a digestibilidade, ou inibindo as enzimas da digestão ou ainda substâncias que reduzem a solubilidade e assim atrapalham o uso dos minerais da dieta.

Monteiro et al. (2005) classificam os taninos como sendo compostos de interesse na química e ecologia, apresentando também efeitos na digestibilidade dos alimentos e consequentemente comprometendo o desempenho dos animais.

### 8.1.4. Produtividade

Araújo Filho e Carvalho (1997), enfatizam que o conhecimento sobre produtividade de forrageiras nativas é até então desconsiderado e pouco estudado e isso acarreta para uso somente extrativista dessas plantas, assim a demanda por novos conhecimentos de manejo e produção são essenciais para uma produção satisfatória e sustentável.

### 8.1.5. Uso nas dietas

O uso do feijão bravo na dieta de animais é tido como uma excelente alternativa de alimentação para esses, principalmente nos períodos de estiagem, além disso a disponibilidade dessa forrageira ao longo de todo ano é o fator mais importante para sua utilização, aliada a composição química que é capaz de suprir as demandas nutricionais de muitos animais (LOPES et al 2009).

Costa et al., (2007a) em pesquisas para determinação dos valores de energia metabolizável e energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço e nitrogênio do feno de feijão bravo na dieta alimentar de aves de corte, foram usadas aves de 17 dias de idade com peso aproximado de 470g, realizando a substituição de 15% e 30% da dieta referência por feno de feijão bravo. A composição da dieta referência atendia as exigências nutricionais da categoria e foi seguido as recomendações de (ROSTAGNO et al. 2000). Os valores encontrados para energia metabolizável e energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço e nitrogênio com substituição de 15 e 30 % podem ser vistos na Tabela 8.3.

Tabela 8.3. Valores de energia metabolizável e energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço e nitrogênio na matéria natural do feno de feijão bravo.

Feno de feijão bravo	Nível de substituição (%)	
	15	30
EMA (kcal/kg de MN)	2.990	2.875
EMAn (kcal/kg de MN)	2.648	2.523

Onde: EMA (kcal/kg de MN = energia metabolizável por kg de matéria natural, EMAn (kcal/kg de MN) energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço e nitrogênio por kg de matéria natural. Fonte: Adaptada Costa et al. 2007a.

Almeida Neto et al., (2011), concluem que a utilização de feijão bravo como fonte alimentar para animais é uma boa alternativa quando se compara ao uso de outras forrageiras nativas.

## 8.2. JUREMINHA

### 8.2.1. Origem

A jureminha pertence ao gênero *Desmanthus*, sendo considerado como uma leguminosa de interesse forrageira para os trópicos e o semiárido. As espécies deste gênero são preferidas demasiadamente pelos animais, sendo consumidas na forma *in natura* ou na forma de feno (SANTOS et al., 2010).

Entre as espécies desse gênero, destaca-se a *Desmanthus virgatus* (jureminha), por ser uma leguminosa arbustiva, perene, que abrange a região Nordeste, cujas rusticidades, agressividade e persistência, que possibilita o pastejo direto, formação de bancos de proteína, sozinha ou em consórcio com gramíneas, como também pode ser utilizada na forma de feno (CARVALHO JUNIOR et al., 2010). A jureminha apresenta boa palatabilidade, com alto teor de matéria mineral e proteína, não apresenta princípio tóxico para os animais, possibilitando o uso na alimentação dos mesmos (COSTA et al., 2008).

A quebra da dormência da semente da jureminha pode ser feita através da submersão das sementes na água quente (temperatura média de 80 a 90° C) e com a escarificação (CARVALHO JUNIOR et al., 2010).

### 8.2.2. Classificação

A jureminha (*Desmanthus virgatus* L.) é uma leguminosa nativa de regiões semiáridas e tem despertado crescente interesse na alimentação animal, especialmente de aves, devido ao seu potencial como fonte de proteína e fibra. Além de sua rusticidade e adaptação às condições edafoclimáticas da Caatinga, destaca-se por apresentar bom valor nutricional e disponibilidade ao longo do ano.

Do ponto de vista taxonômico, a jureminha pertence à classe das dicotiledôneas, ordem Fabales, família Leguminosae e gênero *Desmanthus*, sendo classificada como *Desmanthus virgatus* L. Essa caracterização botânica é importante para a identificação adequada da planta, manejo correto e aplicação em sistemas de produção animal. A Tabela 8.4 apresenta sua classificação botânica detalhada.

Tabela 8.4. Classificação botânica da Jureminha

Classe	Dicotiledóneas
Ordem	Fabales
Família	Leguminosae
Gênero	<i>Desmanthus</i>
Espécie	<i>Desmanthus virgatus</i> L.

Fonte: Picturethisai.com

### 8.2.3. Características

As características nutritivas da espécie jureminha (*Desmanthus virgatus*) têm possibilitado seu aproveitamento, normalmente na forma de feno, no fornecimento no período de estiagem principalmente para as espécies de caprinos e ovinos (Nascimento et al., 1996; Silva e Medeiros, 2003).

Em estudo Cruz et al, (2007), analisando a digestibilidade in vitro da matéria seca da jureminha e o da flor-de-seda, constatou que a jureminha apresenta o menor valor dentre as forrageiras estudadas e o da flor-de-seda o mais alto, o que aponta que a jureminha possui constituintes de difícil digestão ou fatores antinutricionais que a dificultam. Outros autores citam a associação do alto valor concentrado de tanino total com a diminuição da digestibilidade dos nutrientes (Cruz et al, 2007; Beelen et al., 2006; Vitti et al., 2005).

### 8.2.4. Produtividade

A jureminha se apresenta como uma boa forragem, apresentando boa produtividade por hectare. Carvalho Junior et al., (2010) em estudo observaram que a jureminha apresenta boa produtividade mesmo irrigadas com água contendo alto teor de sais ou com água provenientes de tanques de piscicultura e carcinocultura.

### 8.2.5. Fatores antinutricionais

Cruz et al (2007) realizaram em seus estudos a caracterização dos taninos condensados das espécies maniçoba, flor-de-seda, feijão- e jureminha e chegaram à conclusão de que a jureminha apresentou os maiores índices de tanino na sua composição sendo encontrado valores de 2,4%, quando comparado as demais plantas estudadas essa apresentou o maior nível. O que pode ser prejudicial ao processo de digestão e consequentemente absorção dos nutrientes pelos animais.

### 8.2.6. Uso na dieta

Em estudos realizados por Costa et al. (2007a), avaliaram a composição bromatológica do feno de jureminha com alternativa para utilização na alimentação de aves e constataram valores (Tabela 8.5) que indicam a possibilidade de inclusão do feno de jureminha na alimentação das aves caipiras.

Tabela 8.5. Composição química do feno de jureminha

Feno Jureminha	MS (%)	FB (%)	N (%)	PB (%)	Cinzas (%)	EB (kcal/kg)
	84,77	37,29	1,78	11,13	4,57	4.390

Onde: MS: Matéria seca; FB: Fibra bruta; N: Nitrogênio; PB: Proteína bruta; EB: Energia bruta. Adaptado de Costa et al. (2007a).

Costa et al., (2008) estudando a inclusão da jureminha em diferentes níveis na dieta de frangos caipiras, constataram que o feno de jureminha em até 15% é uma alternativa viável em substituição da ração em frangos caipiras, principalmente quando a ração estiver apresentando elevado custo ou quando o valor do frango abatido estiver baixo (Figura 8.1).

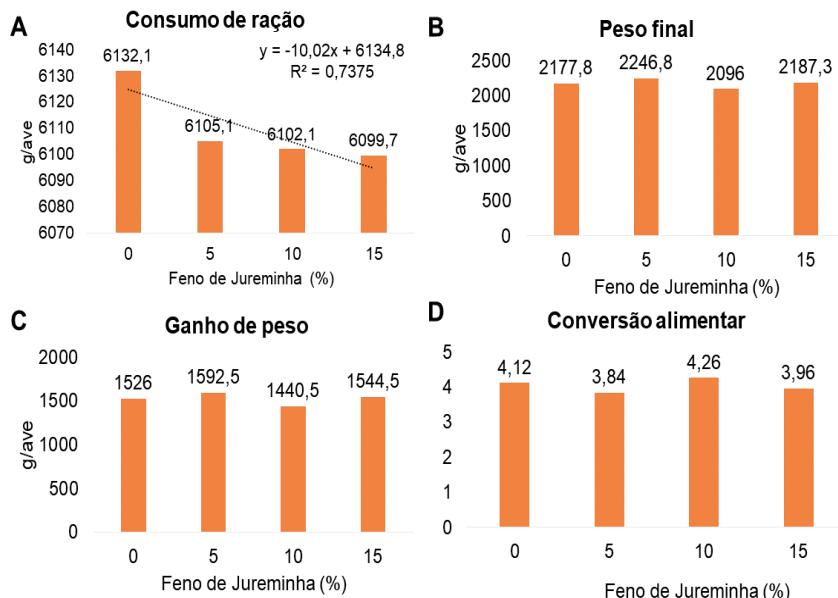


Figura 8.1. Desempenho de frangos de corte tipo caipira de acordo com os níveis de substituição de feno de jureminha na dieta. A: Consumo de ração, B: Peso final, C: Ganho de peso e D: Conversão alimentar. Adaptado de Costa et al. (2008).

## 8.3. MORINGA

### 8.3.1. Caracterização botânica

A Moringa (*Moringa oleifera*) é uma planta tropical que se destaca pelo alto teor de proteínas, aminoácidos essenciais, vitaminas e minerais (AYSSIWEDE et al., 2010, ABOU-ELEZZ et al., 2011). Planta considerada rústica, por ter uma boa adaptação a solos pobres, como em regiões áridas e semiáridas, menos em solos encharcados, podendo ser cultivadas em até 1.400 metros de altitude (JESUS et al., 2013; MOREKI et al., 2014).

Originária da Índia, Pasquistão e Nepal, a Moringa também é cultivada em países da África, Caribe, América do Sul e África tropical. Planta pertencente à família Moringaceae com 14 espécies conhecidas, vêm sendo amplamente estudada, visto que apresenta potencial para ser utilizada como ingrediente alternativo na alimentação animal (MACAMBIRA et al., 2018). A espécie mais cultivada no Brasil é a *Moringa Oleifera* Lam., tem como características produtivas boa adaptação a solos brasileiros, como as condições climáticas e também aos solos áridos (GUALBERTO et al., 2014), típicos, por exemplo, do sertão Nordestino.

Planta de porte médio, a Moringa é de fácil propagação, com altura que varia de 5,0 à 12,0 m (GUALBERTO et al., 2014). Composta por uma raiz pivotante, tuberosa e espessa de coloração amarelada, cuja principal função é armazenar água e energia, para atender as exigências das plantas, no período de estiagem (SANTOS, 2010). A sua casca apresenta coloração bege-clara e branca sendo espessa e mole, o lenho possui pouca resistência de coloração amarelado e poroso, suas flores são de coloração creme a branca, perfumadas, agrupadas em inflorescências terminais (GUALBERTO et al., 2014). Suas sementes apresentam boa capacidade para sedimentação de impurezas da água, no qual vem sendo explorada para purificação de água ao consumo humano (BARRETO et al., 2009).

### 8.3.2. Composição química

Com relação a composição química, todas as partes da planta podem ser aproveitadas desde caules, flores, frutos e sementes. Segundo Qwele et al., (2013) a Moringa é mundialmente conhecida pelo seu valor e medicinal, apresentando valores consideráveis de minerais, vitaminas e aminoácidos essenciais. É uma planta presente tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal. Segundo Oliveira et al. (2020) a Moringa é 1,3 vezes mais rica em vitamina A que a cenoura, 7,3 vezes mais rica em vitamina C que a laranja, 3,6 vezes mais rica em cálcio que o leite de vaca, 2,9 vezes mais rica em potássio que a banana e 2 vezes mais rica em proteína que o leite.

A composição nutricional desta planta é influenciada pelas estações do ano, densidade de plantio e através dos fatores do solo, como uso de fertilizantes, irrigação e frequências de colheita (EL-HACK et al., 2022). Pesquisadores relatam que o teor proteico das folhas de Moringa pode variar de 20 a 25% (MOURA et al., 2010), a 17 a 32%, ricas em aminoácidos essenciais (MOYO et al., 2011). Além disso, pode ser consumida frescas ou cozidas, podendo ainda ser armazenadas na forma de farinha por vários meses sem perder seu valor nutricional, sendo ricas também em compostos antioxidantes tais como polifenóis e carotenoides, sendo este último composto um precursor das vitaminas (NKAKWANA et al., 2014).

### 8.3.3. Fatores antinutricionais

A Moringa apresenta algumas substâncias que podem afetar negativamente o valor nutricional da planta, como a presença de fatores antinutricionais que quando não são tratados corretamente podem comprometer o desempenho animal. Os fatores antinutricionais são substâncias que reduzem ou impedem totalmente a absorção de um nutriente, seja no nível digestivo ou no nível metabólico, afetando o desempenho animal (JAYASENA e JO, 2013).

Dentre essas substâncias podemos encontrar os compostos fenólicos totais, saponinas e alcaloides, presentes principalmente nas flores e na torta da Moringa após extração do óleo da semente (OLIVEIRA et al., 2020), no entanto, ainda são encontrados em menores concentrações fitatos e taninos nas folhas da planta. Por exemplo, segundo Oliveira et al. (2020) os taninos afetam a alimentação animal tanto no sabor do alimento, tornando amargo, e diminuindo a quantidade de proteínas, aminoácidos essenciais como a metionina e colina e também a presença de vitaminas disponíveis para absorção.

### 8.3.4. Produtividade

A Moringa tem altos rendimentos de biomassa de 4,2 a 8,3 toneladas métricas/hectare (ha) (EL-HACK et al., 2022), podendo ser usada como um substituto parcial do milho e da soja, e também como um substituto total para a farinha de forragem de alfafa nas dietas de aves, suínos e coelhos (VALDIVIÉ-NAVARRO et al., 2020). Na qual contribuiria para redução dos custos de ração, com a redução dos ingredientes principais, principalmente para os pequenos agricultores familiares, que em muitos casos desconhecem a importância desses alimentos alternativos.

Na nutrição de aves, as folhas de Moringa são consideradas como uma fonte alimentar de alto valor nutricional. No qual, segundo Abou-Elezz et al. (2011) a inclusão de até 10% de farinha de folhas de Moringa na ração de galinhas poedeiras não afeta o desempenho produtivo, além de aumentar a pigmentação da gema.

### 8.3.5. Uso na dieta

Diversas pesquisas foram desenvolvidas com o uso da Moringa na dieta de animais ruminantes e não ruminantes, por exemplo, Macambira et al. (2018), avaliando o uso da farinha de folhas de *Moringa Oleifera* cultivadas na cidade de Caraúbas – RN, nos níveis 10%, 20%, 30% e 40% da ração referência sobre a digestibilidade de frangos de corte no período de 14 a 22 dias verificaram que a adição dos níveis nas dietas melhorou o aproveitamento dos nutrientes. Cui et al. (2018) avaliando a utilização das folhas de Moringa no desempenho, qualidade da carne e estabilidade oxidativa da carne em frangos de corte, verificaram que a inclusão das folhas pode melhorar os teores de PUFAS (ácidos graxos poli-insaturados) e aumentar o tempo de vida útil da carne, sugerindo a inclusão de 1,56% de suplementação das folhas na dieta dos frangos.

Neste cenário, o uso das folhas de Moringa pode ser uma alternativa viável para os pequenos e grandes produtores visando redução dos custos de ração, além da utilização de fontes de alimentação que estejam disponíveis durante o ano todo e seja de fácil acesso. Além disso, Silva (2017) avaliando o uso das folhas de Moringa na dieta de galinhas poedeiras verificaram que pode ser utilizada em até 6% de inclusão sem afetar o desempenho produtivo e a qualidade dos ovos, intensificando a coloração da gema (Figura 8.2).

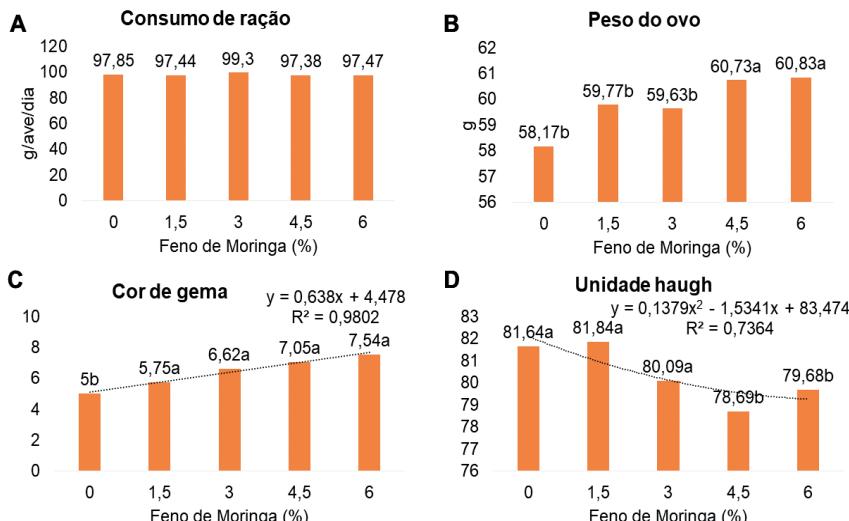


Figura 8.2. Desempenho e parâmetros de qualidade do ovo de galinhas poedeiras alimentadas com diferentes níveis de moringa durante o período de 62 às 77 semanas de idade. A: consumo de ração, B: peso do ovo, C: cor de gema e D: unidade haugh. Letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Adaptado de Silva et al. (2017).

Na nutrição de coelhos, pesquisas indicam que a Moringa pode ser incluída em até 40% nas dietas de coelhos em crescimento, sem qualquer efeito prejudicial no desempenho da carne (SAFWAT et al., 2014). Por exemplo, Caro et al. (2018), avaliando a digestibilidade aparente de nutrientes em dietas de forragem de Moringa nos níveis 0, 15 e 30% para coelhos em crescimento verificaram que a digestibilidade fecal aparente de proteína, fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro e celulose aumentaram com a inclusão da farinha de forragem (folhas mais caules) de moringa. Em suínos, a Moringa também pode ser uma fonte alternativa para suplementação dos animais, por exemplo, Lima (2016), avaliando a utilização do feno de Moringa na alimentação de suínos em crescimento e terminação afirmaram que a Moringa pode ser incluída em até 7% na dieta, sem apresentar prejuízos ao rendimento de carne e a qualidade da carne dos suínos na terminação (Figura 8.3).

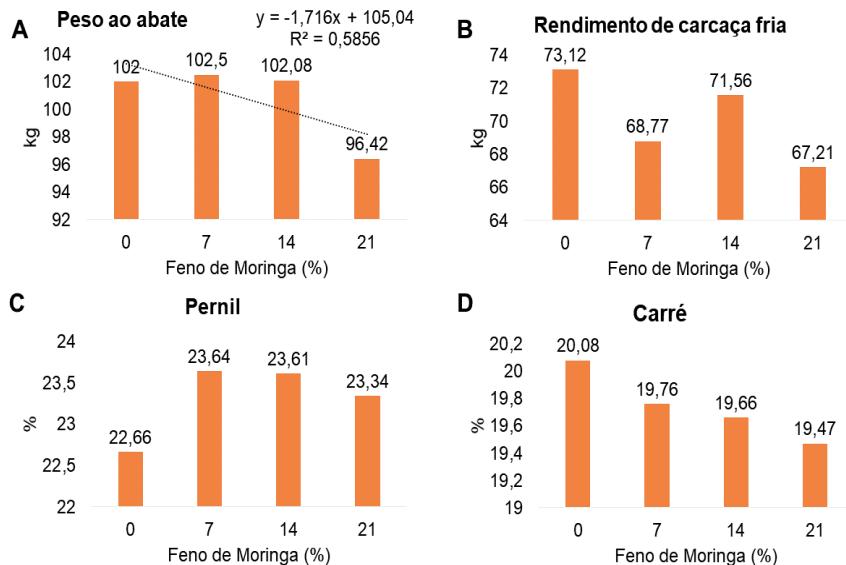


Figura 8.3. Média das características de carneça e rendimento de carneça função do peso vivo e rendimento dos cortes em função da carneça fria de suínos em fase de terminação alimentados com diferentes níveis de inclusão de feno de moringa. A: peso ao abate, B: rendimento de carneça fria, C: Pernil e D: carré. Adaptado de Lima (2016).

## 8.4. PALMA FORRAGEIRA

### 8.4.1. Caracterização botânica

As cactáceas, em geral, são caracterizadas pela alta eficiência de uso da água, e segundo Silva et al. (2012) habitam em condições edafoclimáticas caracterizadas por elevadas temperaturas, precipitações pluviométricas irregulares e baixa fertilidade natural do solo. Neste contexto, segundo Bravo (1978) as palmas forrageiras pertencem à classe *Liliataeae*; família *Cactaceae*; subfamília *Opuntioideae*, tribo *Opuntiae*; gênero *Opuntia*, subgênero *Opuntia* e *Nopalea*; do reino *Vegetabilia*; sub-reino *Embryophyta*; divisão *Angiospermae*. Nomes vulgares: nopal (Espanhol); palma-forrageira, palma doce, palma miúda (Português). O gênero *Opuntia* tem como centro de origem o México (CARVALHO et al., 2018). Segundo Oliveira et al. (2011) os gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, são às espécies de palma mais utilizadas como forrageiras.

No Brasil, as espécies mais cultivadas são a *Opuntia ficus – indica* Mill sendo considerada mais rústica e a *Nopalea cochenillifera* Salm – Diyck, mais exigente em umidade (SANTOS et al., 2014). Neste contexto, as variedades mais cultivadas em solos brasileiros são: a palma gigante, palma redonda, palma orelha de elefante e a palma miúda (SILVA et al. 2015). Caracterizadas por não apresentarem espinhos, de crescimento rápido e alto teor de umidade quando comparada as outras cactáceas existentes (SANTOS et al., 2014).

### 8.4.2. Composição química

As principais características químicas da palma forrageira são, o alto conteúdo de água, minerais ácidos orgânicos e de carboidratos, e baixo teor de proteína (NETO et al., 2016). A composição da palma forrageira pode diferir de acordo com tipos e cultivares de palma, solo, clima, adubação, período de corte e também aos tratos culturais (RODRIGUES et al., 2016).

É importante ressaltar que independente do gênero, a palma apresenta baixos teores de matéria seca, e proteína, sendo necessário uma suplementação de uma fonte proteica oriunda de outros alimentos, ou através de aminoácidos sintéticos. A composição da palma forrageira inclui baixa concentração de matéria seca (5 a 15% MS), proteína bruta e também de fibra, no entanto, apresenta digestibilidade maior do que outras forrageiras de clima quente (MONTEIRO et al., 2019; INÁCIO et al., 2020).

### 8.4.3. Fatores antinutricionais

A palma forrageira é uma importante fonte de alimentação dos animais, no entanto, é necessário cuidado na hora de ofertar ao animal, pois a palma possui fatores antinutricionais que podem comprometer o desempenho animal, podendo levar o animal a morte, por uma intoxicação mais grave. Por exemplo, O fitato é um fator antinutricional presente nos ingredientes de origem vegetal podendo comprometer o desempenho animal e consequentemente prejudicar a produção.

O fitato é um sal formado pelo ácido fitico, ligados a íons ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Zn}^{++}$ ), no entanto, quando estes minerais estão ligados ao ácido fitico, eles se tornam indisponíveis e os animais não conseguem solubilizá-los (SILVA et al., 2015). Por isso, é de grande importância conhecer bem os alimentos que oferecemos aos animais, com o intuito de reduzir os problemas que possam vir a surgir nas produções.

### 8.4.4. Produtividade

A palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*) é uma importante fonte de alimentação animal, principalmente para as regiões do Semiárido brasileiro (CARVALHO et al., 2018) devido à grande produção de biomassa nas épocas com baixos índices de chuvas (NETO et al., 2016). Segundo Oliveira et al. (2011) o semiárido é uma região com a presença de algumas localidades de solos rasos, pedregosos e arenosos, com pouca matéria orgânica, ricos em minerais solúveis, no entanto, existem localidades no semiárido onde os solos são mais profundos e com uma fertilidade maior. Neste contexto, para que a palma forrageira apresente seu máximo potencial produtivo, é necessário que seja cultivada nos melhores solos, pois sua alta produtividade dependerá da fertilidade do solo (CARVALHO et al., 2018).

Apesar de não ser uma planta nativa, a palma forrageira se adapta bem às condições do semiárido brasileiro, e apresentam altas proporções de matéria seca por unidade de área (Silva e Santos 2006). Neste contexto, Cavalcante et al. (2014) obtiveram produtividades médias de 379,83, 392,83 e 480,17 t MV/ha a cada 02 anos para as cultivares Gigante, Redonda e Miúda respectivamente, a diferentes densidades de cultivo, e produtividade de matéria seca média de 24,07, 23,32 e 37,52 t MS/ha a cada 02 anos. Peixoto et al. (2018) verificaram uma produtividade média de 41,16 t MV ha<sup>-1</sup> para variedade Gigante exposto ao sol e com adubação orgânica, e de 9,0 t MS e 8,96 t MS/ha<sup>-1</sup> para o plantio exposto ao sol e adubado, respectivamente. Rocha et al. (2017) avaliando as características produtivas de genótipos de palma forrageira irrigada em intervalos de corte, obtiveram maior massa de forragem aos 16 meses após o plantio para Orelha de Elefante Mexicana (763,50 t de MV/ha), em relação a Miúda (388,75 t de MV/ha) e ao IPA 20 (426,75 t de MV/ha).

#### 8.4.5. Uso na dieta

A palma forrageira pode ser encontrada em todos os continentes, com a finalidade de uso na alimentação animal, em alguns países a palma é usada também na alimentação humana, considerada um prato requintado com preço elevado (SANTOS et al., 2014). No território brasileiro a palma é encontrada principalmente na região Nordeste, devido ser uma planta resistente a altas temperaturas e também a longas estiagens, muito utilizada na alimentação dos ruminantes, no entanto, vêm crescendo o uso na alimentação de suínos e aves (CARVALHO et al., 2018).

A maior utilização da palma forrageira é na alimentação de ruminantes, no entanto, existem pesquisas desenvolvidas na área de não ruminantes, no qual sugere que também pode ser utilizada na alimentação de suínos e aves, como substituto parcial do milho. Por exemplo, Santos et al. (2014) avaliaram a qualidade da carcaça de frangos alimentados com níveis crescentes de farelo de palma (0%, 3%, 6%, 9% e 12%) na qual foram abatidos aos 45 dias no município de Catolé do Rocha/PB. Estes autores verificaram que à medida que aumenta a quantidade de farelo de palma, aumenta a proporção de ácidos graxos e proteína na carne, e concluíram que a substituição do milho pelo farelo de palma, pode ser uma alternativa viável para frangos de corte, principalmente se estiver disponível da propriedade (Figura 8.4).

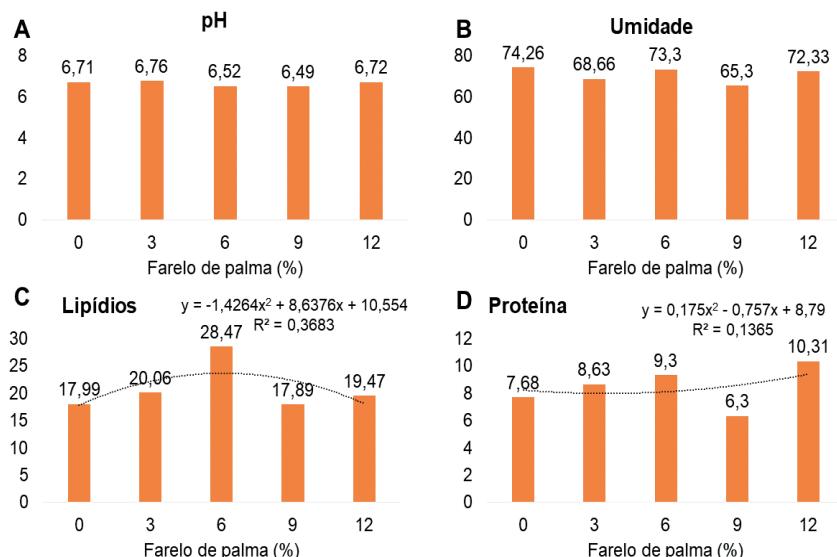


Figura 8.4. Análises físico-químicas do peito de frango alimentado com farelo de palma em substituição parcial ao farelo de milho. A: pH; B: umidade, C: lipídios e D: proteína. Adaptado de Santos et al. (2014).

Ludke et al. (2006) avaliaram a substituição do milho por farelo de palma em níveis de 0%, 7%, 14% e 21% sobre o desempenho, custo de alimentação por kg de ganho de peso e rentabilidade em dietas para suínos. Os autores observaram ser possível a inclusão de 21% do farelo de palma sem afetar a qualidade da carne e os rendimentos de cortes da carcaça e que, nesse nível de substituição, ocorre redução de 8,1% no custo de alimentação por kg de ganho de peso no período total de crescimento do animal.

Uma outra pesquisa encontrada na literatura foi de Santos et al. (2017) estes autores avaliaram a inclusão do farelo de palma na alimentação de codornas japonesas e recomendaram um plano de alimentação descrito em três fases 1<sup>a</sup> fase - 0 a 7 dias oferecendo ração comercial, 2<sup>a</sup> fase 8 a 21 dias com a inclusão de até 10% do farelo de palma e 3<sup>a</sup> fase 22 a 35 dias com inclusão de até 20% do farelo de palma (Figura 8.5). Neste contexto podemos observar os avanços do uso de forrageiras nativas na alimentação de não ruminantes, como forma não somente de baratear o custo das rações, mas também, como forma de utilizar alimentos alternativos disponíveis na propriedade, principalmente nos períodos em que a forragem verde predominante é menor, e é necessário a compra dos ingredientes de outros estados.

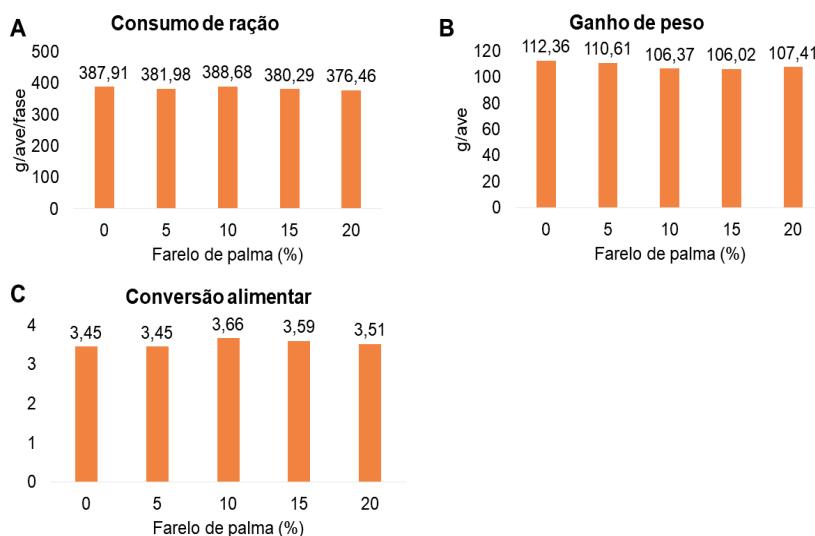


Figura 8.5. Consumo de ração (g), ganho de peso (g) e conversão alimentar de codornas submetidas a diferentes níveis de inclusão de farelo de palma na ração. Adaptado de Santos et al. (2017).

## 8.5. MANIÇOBA

### 8.5.1. Caracterização botânica

A maniçoba (*Manihot* sp.) é uma planta nativa da caatinga com alta resistência à seca, devido principalmente a um sistema altamente desenvolvido de raízes tuberculadas em que armazena suas reservas (SOARES, 1995).

São cinco as espécies de *Manihot* encontradas no Semi-rido da América do Norte: 1) *Manihot diamantinensis* Allem (mandioca Brava); 2) *Manihot jacobinensis* Muell. Arg. (mandioca Brava); 3) *Manihot janiphoides* Muell. Arg. (mandioca Brava); 4) *Manihot maracasensis* Ule (maniçoba); e 5) *Manihot* sp. (mandioca Tapuio). Além das espécies de *Manihot* mencionadas acima, existe um híbrido natural entre maniçoba e mandioca conhecido como Pornunça, Pornuncia, Mandioca de Sete Anos e Maniçoba de Jardim, que é amplamente utilizado como planta decorativa e já foi usado para fazer farinha (ARAÚJO e CAVALCANTI, 2002).

É encontrada nas diversas áreas que compõem o semiárido do Nordeste brasileiro. Normalmente é heliófila, vegetando e áreas abertas e se desenvolve na maioria dos solos, tanto calcários e bem drenados, como também naqueles pouco profundos e pedregoso, das elevações e das chapadas (SOARES, 1995).

### 8.5.2. Produtividade

Apesar de ser uma planta nativa e pouco explorada, a maniçoba tem uma alta produtividade em cultivo. Segundo Soares (1995) o cultivo em densidade elevada (espaçamento de 1m x 1m) e realização de dois cortes durante o ano (três meses antes e três meses após o período chuvoso) é possível obter aproximadamente 4,5 toneladas de matéria seca por hectare.

### 8.5.3. Composição química

Há uma grande variação na composição química do feno de maniçoba, conforme mostra a Tabela 8.6.

Tabela 8.6. Levantamento da composição bromatológica do feno de maniçoba

MS	PB	EB	ED	EE	FB	FDN	ENN	MM	Autores
-	20,88	-	-	8,3	13,96	-	49,98	6,88	Soares, 1995
93,3	12	-	2000	-	-	58,6	-	7,5	Araújo e Cavalcante, 2002
92,82	23,32	4674,44	-	3,83	-	-	-	7,8	Araújo, 2010
92,17	23,47	4727,72	-	3,14	-	-	-	5,6	Santos et al., 2014
86,29	18,03	4390	-	-	17,83	-	-	9,73	Costa et al., 2007a

#### 8.5.4. Fator antinutricional

A utilização da maniçoba na alimentação animal é limitada pelas grandes quantidades de glicosidóis cianogênicos (linamarina e lotaustralina), que, ao sofrerem ação da enzima linamarase, dão origem ao ácido cianídrico (SOARES, 1995). O ácido cianídrico é tóxico para os animais, e dependendo da quantidade ingerida, pode levar ao óbito.

Com a danificação das estruturas físicas do tecido da planta, a linamarina e a lotaustralina entra em contato com a enzima linamerase (encontram-se separadas quando o tecido vegetal está íntegro) e, na presença de água, ocorre a produção do ácido cianídrico (Araújo, 2010). De acordo com McMahon et al. (1995), as substâncias cianogênicas são localizadas nos vacúolos, enquanto a linamerase localiza-se na parede celular vegetal. Na primeira fase são produzidos acetona cianidrina e glicose, já na segunda fase há uma degradação da acetona cianidrina, através da enzima  $\alpha$ -hidroxinitrila liase, resultando em ácido cianídrico e acetona. A enzima  $\alpha$ -hidroxinitrila liase também encontra-se na parede vegetal, e a reação pode ocorrer em pH acima de 4 e temperatura maior que 30°C.

#### 8.5.5. Utilização em dietas

Mesmo a maniçoba tendo um fator antinutricional altamente tóxico, é possível utilizá-la na alimentação dos animais, desde que seja bem tratada. De acordo com Furtado et al. (2011) a maniçoba pode ser incluída na ração de animais na forma de feno ou silagem, uma vez que, a desidratação da planta reduz o teor de ácido cianídrico para níveis abaixo de 300 mg kg<sup>-1</sup> de matéria seca – quantidade incapaz de promover efeito tóxicos aos animais.

Costa et al. (2007b) analisaram o efeito da utilização do feno de maniçoba sobre o desempenho, rendimento de carcaça e viabilidade econômica de aves “pescoço pelado”. Os autores observaram que não houve efeito da inclusão do feno de maniçoba na ração sobre o ganho de peso, conversão alimentar, peso final, peso relativo e absoluto dos cortes nobres, e concluíram que a inclusão de 10% pode ser viável quando os insumos para ração estiverem com preços elevados (Figura 8.6).

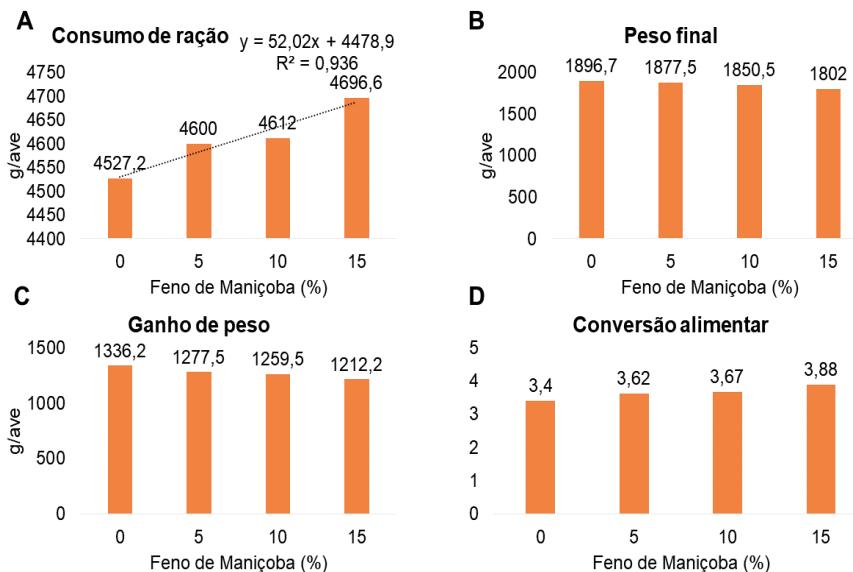


Figura 8.6. Consumo e desempenho de frangos de corte tipo caipira de acordo com os níveis de substituição de feno de maniçoba na dieta. A: consumo de ração, B: peso final, C: ganho de peso e D: conversão alimentar. Adaptado de Costa et al. (2007b).

Furtado et al. (2011) também avaliaram o efeito da substituição parcial da ração pelo feno de maniçoba para frangos de corte tipo caipira. Observaram que em 15% de inclusão de feno de houve menor ganho de peso, maior conversão alimentar, menor rendimento de carcaça e menor peso absoluto do peito, entretanto concluíram que o uso de até 7,5% de substituição da ração convencional pelo feno de maniçoba não influiu no desempenho e na qualidade da carcaça.

Brito et al. (2013) substituíram parcialmente (0, 25, 50 e 75%) a proteína bruta do feno de alfafa pela proteína bruta do feno de maniçoba em dietas de coelhos em crescimento. O aumento dos níveis de proteína do feno de maniçoba promoveu um aumento linear no consumo de ração e no ganho de peso de forma quadrática. Os autores concluíram que a proteína do feno de maniçoba pode substituir a proteína do feno de alfafa em até 58% (Figura 8.7).

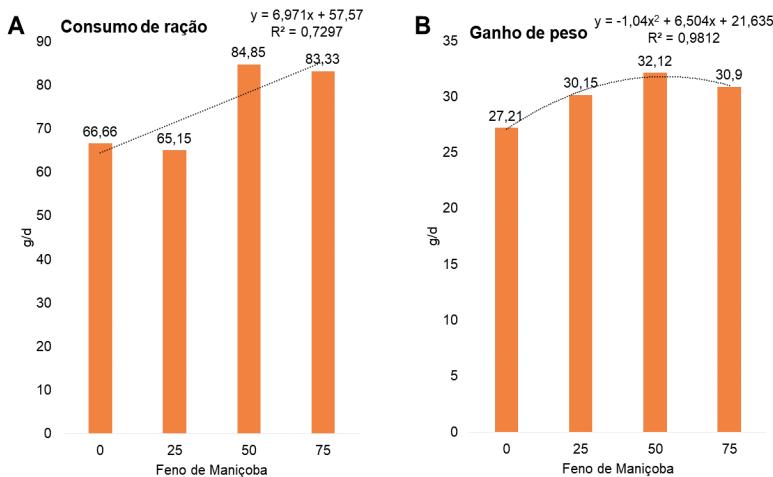


Figura 8.7. Desempenho de coelhos em crescimento em função dos níveis de substituição da proteína bruta (PB) do feno de alfafa pela PB do feno de maniçoba. A: consumo de ração e B: ganho de peso. Adaptado de Brito et al. (2013).

Araújo (2010) ao avaliar o coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta, energia bruta e extrato etéreo das farinhas dos fenos de maniçoba, leucena, folha de mandioca, além da raspa da mandioca e dos resíduos de vitivinícola para tilápia do Nilo, concluiu que os fenos da folha da mandioca e da maniçoba apresentam baixa utilização dos seus nutrientes e energia por essa espécie de peixe.

## 8.6. ALGAROBRA

### 8.6.1. Caracterização botânica

A algarobeira é uma árvore que pertence à família das leguminosas (Leguminosae, subfamília Mimosoideae), com nome científico *Prosopis juliflora* (SW.) DC. Possui uma diversidade de nomes comuns como por exemplo, algarobeira (Brasil), mesquita (México), Cuji (Venezuela) entre outros. A algaroba está presente em várias regiões pelo mundo com cerca de 50 espécies: *Prosopis glandulosa* (EUA), *Prosopis laevigata* (Mexico), *Prosopis juliflora* (Brasil), *P. africana* (África). A grande maioria é encontrada em zonas áridas e secas da América do Sul, na Argentina é encontrada uma maior diversidade, aproximadamente 27 espécies (FAO, 2006).

A *Prosopis juliflora* chegou no Brasil na década de quarenta, é cultivada principalmente, na região nordeste, sendo encontrada em todos os estados do Nordeste. A introdução dessa leguminosa ocorreu por volta de 1942, em Serra Talhada, PE, através das sementes originárias de Piura, no Peru. Mas existe relatos de outras duas introduções, efetuadas em Angicos, RN, por volta de 1946, através de semente vindas do Peru, e em 1948, sementes provenientes do Sudão. Depois disto, a expansão para outros estados ocorreu por meio da regeneração natural e plantios.

A algaroba é uma leguminosa arbórea, o seu valor nutritivo é concentrado nas vagens (frutos), compondo-se como rica fonte de carboidratos e proteínas, com um valor energético bruto comparável ao milho. Sendo assim, a sua utilização é bem diversificada, indo desde a produção de madeira e reflorestamento, utilizada para produção de carvão vegetal, álcool, melaço, apicultura, alimentação animal, por isto é considerada como sendo uma cultura de valor social e econômico. Quanto a sua floração e frutificação o início ocorre durante a estação seca, e finaliza em meados do período chuvoso (LIMA, 2005).

### 8.6.2. Composição química

Com relação a sua composição bromatológica, as vagens além de serem compostas por sementes, também possuem o exocarpo, mesocarpo e endocarpo. Os teores de matéria seca (MS) são basicamente consecutivos (90%), já a proteína bruta (PB) apresenta uma amplitude maior, com uma variância de 7 a 17% (PASIECZNIK, et al., 2001). A algarobeira produz uma grande quantidade de vagens que possuem uma boa palatibilidade e digestibilidade, com uma composição química de 25-28% de glicose, 11-17% de amido, 7-11% de proteínas, 14-20% de ácidos orgânicos, pectinas e demais substâncias. Tem um teor de cinzas em aproximadamente 3,75%, uma umidade variando de 16-20% (SILVA, 2001).

Gomes (1987) citado por (Rebouças 2007), depois que analisou a vagem de algaroba, chegou à conclusão que ela é composta, em média, por 12,93% de proteína bruta (PB), 4,06% de extrato etéreo (EE), 19,08% de fibra bruta (FB), 43,16% de extratos não nitrogenados (ENN), 3,75% de matéria mineral (MM) e 17,02% de umidade.

### 8.6.3. Fatores antinutricionais

Apesar desse valor produtivo a algarobeira tem sido alvo de discussões, porque as suas vagens causam intoxicação, por causa de alguns fatores antinutricionais, como mimosina, e tanino, além disso é uma espécie invasora, esta leguminosa retira muita água do solo, quando é mal manejada ela pode se disseminar e com isto inibir a regeneração de outras espécies, dessa maneira acaba reduzindo a biodiversidade

vegetal (VILAR, 2006). No entanto, a algaroba é um recurso florestal importante, por ser fixadora de nitrogênio, possui resistência a longos períodos de estiagem, mantendo-se verde ao longo do ano todo, é uma alternativa de aproveitamento de solos pobres, entre outras qualidades. Também é uma alternativa viável para a nutrição animal no semiárido nordestino, se destacando pela qualidade nutricional das vagens, usadas na alimentação de várias espécies de animais domésticos (AZEVEDO, 1999). Com relação à produção das vagens, tem uma variância de 2 a 8 t/ha, possuindo uma produção de 2 a 3 t/ha/ano para as zonas de sequeiro.

#### 8.6.4. Utilização em dietas

O farelo da vagem de algaroba (FVA) é considerado um concentrado energético, além disso tem um alto teor de sacarose, induzindo os animais a consumir por sua alta palatabilidade (VALADARES FILHO et al., 2006). Porém, a ureia que é fonte de nitrogênio não proteico, possui sabor abstringente e uma baixa palatabilidade, causando uma possível redução no consumo quando adicionado em altos níveis na dieta. O (FVA) é adquirido através da secagem das vagens, em temperaturas que variam entre 60 e 80 °C, e em seguida a moagem (SILVA et al., 2002). Almeida et al. (2008), relataram que o FVA demonstrou ser um alimento alternativo de destaque.

A utilização da algaroba sozinha ou associada com outros ingredientes, vem sendo preconizada na alimentação de diferentes animais domésticos, em grande parte para os ruminantes (SAWAL et al., 2004). Porém, resultados adquiridos em animais não ruminantes são variáveis em função da espécie estudada. Quando se realizou uma inclusão de até 30% de farelo de algaroba, resultou na redução do desempenho e piorou as características da carcaça de suínos (PINHEIRO et al., 1993). Já para equinos em manutenção quando foi feita a substituição total do milho desintegrado com palha e sabugo por farelo de algaroba demonstrou-se ser viável (STEIN et al., 2005) (Figura 8.8). Gomes (1961) indica um consumo de 2 a 6 kg diários de vagem de algaroba, por equinos e muares, porém Martin-Rosset (1993) relata que cavalos podem consumir cerca de 1,2 kg/100 kg de PV/dia desse fruto, que é bem aceito por esses animais.

Uma inclusão de até 20% de farelo de algaroba, com concentrações constantes (8%) de milho dietético, mostrou que não houve comprometimento do crescimento de juvenis de tilápias do Nilo cultivadas a 26,2 °C (SENA et al., 2012). Em contrapartida, efeitos sobre a substituição total do milho pelo farelo de algaroba em dietas para tilápia do Nilo não são conhecidos. De acordo com o mesmo autor uma inclusão de até 20% (100% de substituição) de FVA, não influenciou o desempenho zootécnico da tilápia do Nilo.

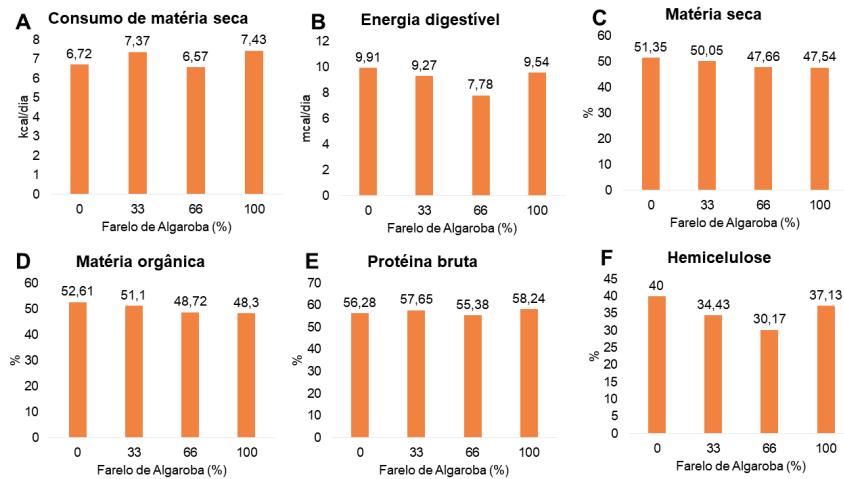


Figura 8.8. Consumo diário de nutrientes e coeficientes de digestibilidade aparente de éguas alimentadas com dietas com diferentes níveis de substituição total do milho desintegrado com palha e sabugo por farelo de algaroba. A: consumo de matéria seca, B: energia digestível, C: matéria seca, D: matéria orgânica, E: proteína bruta e F: hemicelulose. Adapatado de Stein et al. (2005).

No estudo realizado por Silva et al. (2002a), avaliou-se o efeito da inclusão de farinha integral de vagem de algaroba (FVA) em rações isoenergéticas e isoprotéicas sobre o desempenho de codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*). Foram testados seis níveis de FVA (0; 5; 10; 15; 20 e 25%). Os resultados indicaram que o consumo de ração e a massa de ovos foram significativamente reduzidos no tratamento com 25% de FVA, em comparação ao controle. Quando se exclui o grupo controle da análise, observou-se efeito quadrático para consumo de ração, produção de ovos, massa de ovos e conversão alimentar por massa de ovos (Figura 8.9). Os autores atribuem a redução no consumo ao aumento do teor de fibra das rações, o que pode ter provocado limitação física de ingestão, especialmente nos níveis mais elevados de inclusão. Consequentemente, a menor ingestão de nutrientes teria comprometido o atendimento das exigências para máximo desempenho, explicando a redução observada na produção de ovos. Dessa forma, os autores recomendam a inclusão de até 15% de FVA (150 g/kg) nas dietas, sem prejuízo ao desempenho produtivo das codornas.

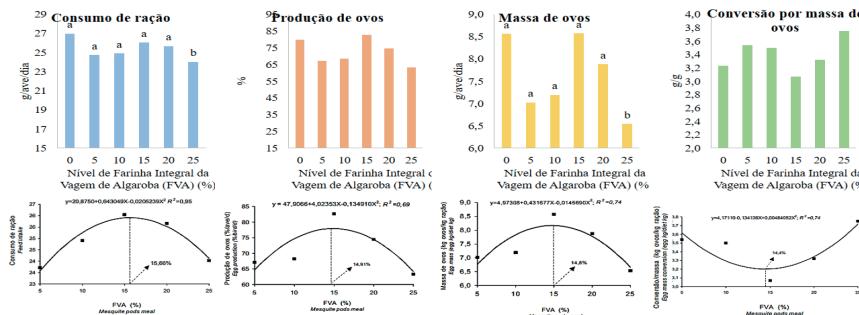


Figura 8.9. Uso da farinha integral da vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*) na alimentação de codornas japonesas. As letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de 0,05% pelo teste de Dunnet. Adaptado de Silva et al. (2002a).

Em estudos realizados por Sila e Ribeiro (2001), eles observaram um pequeno atraso na taxa de passagem de uma mistura com cerca de 30% de FVA isto em substituição a essa mesma porcentagem de uma ração à base de milho e farelo de soja (63 vs. 60 minutos).

Silva et al. (2002b) realizaram um estudo para avaliar os efeitos da inclusão da farinha integral de vagem de algaroba (FVA) em dietas para poedeiras comerciais, com níveis crescentes de 0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30%, em substituição ao milho. Inicialmente, os autores conduziram um ensaio de metabolismo com galos cecectomizados para estimar a energia metabolizável da FVA e permitir a formulação de rações isoenergéticas. O experimento de desempenho foi conduzido em delineamento inteiramente ao acaso, com sete tratamentos correspondentes aos diferentes níveis de inclusão da FVA. O nível ótimo de inclusão da FVA foi estimado por meio de modelo quadrático, desconsiderando-se a dieta controle.

Posteriormente, os autores realizaram uma análise de variância adicional, extraíndo o quadrado médio residual para comparação entre as médias de cada tratamento e a média da dieta controle. Os autores observaram que o nível de 30% de FVA comprometeu a produção e a massa de ovos, além de piorar a conversão alimentar em comparação ao controle (Figura 8.10).

Esses efeitos foram atribuídos, principalmente, ao aumento no teor de fibra das dietas com maior inclusão de FVA. A maior concentração de fibra pode reduzir a digestibilidade do amido, da proteína e da gordura nas aves, ao interferir na taxa de passagem da digesta, na secreção digestiva e no acesso das enzimas hidrolíticas aos substratos solúveis. Ainda de acordo com os autores, a possibilidade de a conversão alimentar por massa de ovos ter sido afetada pela presença de inibidores de proteases resistentes ao calor permanece desconhecida.

Além disso, embora em baixas concentrações, fatores antitripsina, antequimotripsina e taninos já foram identificados na vagem in natura da algaroba, podendo também contribuir para os efeitos observados. Com isso, os autores concluíram que não se recomenda a inclusão da farinha integral de vagem de algaroba acima de 13,6%, em rações isoprotéicas e isoenergéticas, para poedeiras comerciais.

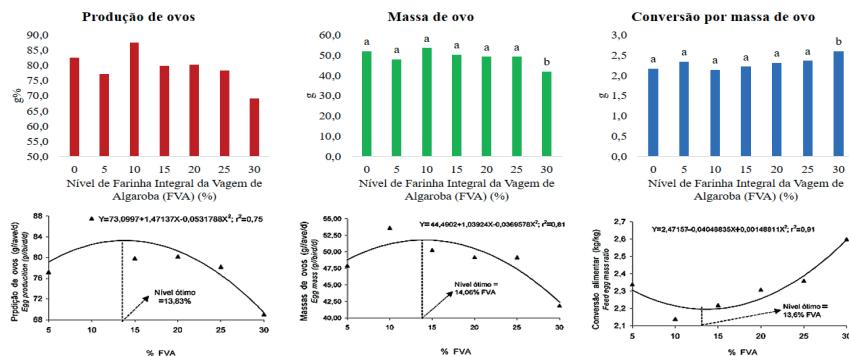


Figura 8.10. Uso da farinha integral da vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*) na alimentação de galinhas poedeiras. As letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de 0,05% pelo teste de Dunnet. Adaptado de Silva et al. (2002b).

## 8.7. LEUCENA

### 8.7.1. Caracterização botânica

A leucena (*leucaena leucocephala*) é uma leguminosa perene, com um porte arbustivo ou arbóreo, oriunda da América central e hoje em dia disseminada por toda região tropical, principalmente na região nordeste, isto por causa das suas múltiplas formas de utilização por exemplo, forragem, produção de madeira, carvão vegetal, melhoramento do solo, sombreamento, quebra-vento e cerca viva. Segundo o National Academy of Sciences (1997) são conhecidas cerca de 10 espécies de leucena: *L. leucocephala*; *L. pulverulenta*; *L. diversifolia*; *L. lanceolata*; *L. collinsii*; *L. esculenta*; *L. macrophylla*; *L. retusa*; *L. shananii* e *L. trichodes*.

Um diferencial da Leucena são as micorrizas presentes em seu sistema radicular, que é uma junção de fungos com as raízes, que transforma o fósforo inorgânico presente no solo na forma orgânica, e com isto ser absorvida pela planta. Lima et al. (2006) relata que a leucena é uma das forrageiras mais promissoras para o semi-árido, devido a sua capacidade de rebrota durante a época seca, por sua excelente adaptação às condições de solo e clima do Nordeste.

## 8.7.2. Composição química

O material foliar da leucina é uma ótima fonte de  $\beta$ -caroteno, o precursor da vitamina A, sendo muito importante na época seca, devido o pasto geralmente está seco e a leucena verde. O teor de proteína bruta entre as folhas e vagens é em torno de 21% e 23%, já nas hastes varia de 8% a 10% (Barreto et al., 2010).. A fração que é utilizável para forragem é uma mistura de 50% de folhas + vagens e 50 % de hastes finas, dessa maneira a forragem a ser consumida apresenta teores médios de proteína bruta entre 25,6 e 26,4% como apresenta a Tabela 8.7.

Tabela 8.7. Composição bromatológica da leucena

Nutriente	Média
MS	31,98
PB	21,19
EB	4,58
EE	3,87
FB	23,85
CHO	64,21
CNF	31,16
ENN	50,08
MM	6,17
Ca	0,86
P	0,18
MG	0,14

MS = Matéria Seca; PB = Proteína Bruta; EB = Energia Bruta; EE = Extrato Etéreo; FB = Fibra Bruta; CHO = Carboidratos; CNF = Carboidratos Não Fibrosos; ENN = Extrativos Não Nitrogenados; MM = Matéria Mineral; Ca = Cálcio; P = Fósforo; Mg = Magnésio. Fonte: Valadares Filho, et al. (2018).

## 8.7.3. Fator Antinutricional

Fatores antinutricionais causam redução da digestibilidade dos nutrientes da dieta, e com isto, compromete o desempenho animal. O processamento para inativação dessas substâncias as vezes não é eficaz, além disso o custo destes procedimentos pode tornar a utilização desses alimentos economicamente inviável (Barreto et al., 2010).

Esses fatores similarmente são denominados como fatores anticrescimento, ou ainda como substâncias não fibrosas que ocasionam impactos negativos ao crescimento e evolução dos animais. Alguns deles são o tanino, as saponinas, as gomas de galactomananas, inibidores de tripsina e o aminoácido chamado mimosina. Leucena é uma planta altamente nutritiva, palatável e com uma boa digestibilidade, mas a sua utilização se torna limitada por causa desses componentes antinutricionais.

## 8.7.4. Produtividade

A Leucena possui boa produtividade, variando em torno de dois a oito toneladas de matéria seca (MS) e produz até 750 kg de sementes/há/ano. Segundo análises realizadas com as folhas e ramos finos desta leguminosa apresentam teores médios de proteína bruta (PB) superior a 20% (LIMA et al., 2006). A quantidade de proteína bruta nas folhas é cerca de 20%, mas as folhagens e os frutos mais novos chegam a apresentar teores em torno de 35%.

## 8.7.5. Utilização em dietas

Segundo D'Mello e Acamovic (1989) no Brasil são poucas pesquisas relativos ao uso do feno da folha de leucena (FFL) na ração de aves, não tem uma definição quanto ao nível da manipulação deste produto na dieta desses animais. Utiliza o feno da folha de leucena após o corte do arbusto e secagem das folhas, tem 2 maneiras de realizar a secagem, ao sol ou em estufa a 60°C. A agregação à ração é feita depois da moagem deste feno.

Mesmo com impactos antinutricionais e tóxicos, este alimento pode ser utilizado em rações de aves, porém em níveis limitados, objetivando essencialmente a utilização da proteína e seu poder de pigmentação. Dessa forma, certos estudos foram realizados definir os níveis exatos de FFL a serem utilizados.

Oliveira et al. (2000) consideraram duas espécies de leucena (*L. luecocephala* e *L. cunningan*) com níveis de até 6% de inclusão nas rações, com isto perceberam a queda considerável no ganho de peso de frangos de corte. Eles concluíram que o desempenho foi afetado por causa do efeito dos fatores antinutricionais da leucena no epitélio intestinal das aves.

Agbede (2003) examinou uma alteração da proteína da farinha de peixe pela do FFL nas rações de frangos, com níveis de 25, 50, 75 e 100% e constataram uma redução no ganho de peso e no consumo de ração, além disso ainda resultou em uma pior conversão alimentar quando foi realizado essa substituição. Ele atribuiu essas respostas à diminuição de alguns aminoácidos na ração, como a lisina, a metionina e a cistina, de acordo quando ocorreu a substituição.

Wee e Wang (1987) e Rocha (2004) alimentaram tilápias *Oreochromis niloticus* com farinha de folha de leucena e constataram que pode incluir este ingrediente nas rações, sem que ocorra um comprometimento do ganho de peso. Segundo eles esse bom desempenho das tilápias está correlacionado com a degradação da mimosina durante o processo da farinha de folha de leucena.

O autor Bairagi et al. (2004) observou melhores resultado no ganho de peso quando peixes foram alimentados com dietas que continham farinha de folha de leucena inoculada com bactérias intestinais de peixes. Estes autores chegaram à conclusão que as folhas de leucena inoculadas com bactérias intestinais de peixe demonstram um decréscimo nos conteúdos de mimosina e tanino, induzindo que estes microorganismos são capazes de degradar os fatores antinutricionais.

## 8.8. FEIJÃO GUANDÚ

### 8.8.1. Caraterização botânica

O feijão guandu é uma planta da tribo Phaseoleae, família Leguminosae, subfamília Papilionoidae e espécie *Cajanus cajan* (PEREIRA, 1985). É um vegetal de porte arbustivo, perene com produção de sementes anualmente. É cultivado facilmente e cresce tanto em regiões tropicais como subtropicais (CASTRO JÚNIOR et al., 1984), além do mais, é resistente à seca, que uma característica importante para o cultivo no semiárido (VIEIRA et al., 2001).

É uma planta que pode chegar a idade de dois a três anos, quando a poda é realizada anual. A depender da latitude do local de cultivo, o período do ciclo pode variar de 150 a 360 dias, atingindo até 4 metros nos ciclos mais longos (PEREIRA, 1985).

### 8.8.2. Produtividade

A produtividade de uma planta depende o tipo de solo, clima, tratos culturais aplicados à cultura, espaçamento de plantio, cultivar e etc. Teixeira et al. (1985) afirmam que o feijão guandu tem baixa exigência com relação a fertilidade do solo, alta tolerância a seca e tem capacidade de produzir até 4 toneladas de grãos/ha. Com relação a produção de folhas, o feijão guandu tem potencial para produzir 14 ton/ha/ano se a planta for colhida no estágio de maturação das vargens (SKERMAN, 1977).

### 8.8.3. Composição química

A composição química dos alimentos varia de acordo com fatores intrínsecos do próprio alimento, dos tratos culturais aplicados, das variações climáticas, das características do solo e das diversas cultivares (SILVA et al., 2017). Além disso, a parte da planta e os tratamentos que os grãos recebem também variam a composição bromatológica, como mostra a Tabela 8.8.

#### 8.8.4. Fator antinutricional

O feijão guandu, assim como outras plantas da família Leguminosae, apresenta fatores antinutricionais, como inibidores de tripsina, quimotripsina, hemaglutininas, lecitinas e taninos o que afeta o desempenho dos animais por diminuir a digestibilidade dos nutrientes (PRICE et al., 1980; OLIVEIRA et al., 2000; ALENCAR et al., 2014).

Segundo Bierolai (1973) esses compostos reduzem a atividade proteolítica e utilização e aminoácidos livres, Sklan et al., (1973) afirmam que causam uma diminuição da absorção de lipídios, comprovado pelo aumento na excreção de gordura nas fezes. Há também alteração na atividade metabólica do pâncreas, pois aumenta a secreção enzimática, e por consequência a hiperplasia e hipertrofia do órgão (BRITO et al., 2006; LEITE et al., 2012).

O tratamento térmico é uma alternativa para a utilização do feijão na alimentação dos animais, entretanto há um aumento nos custos de produção (MIZUBUTI et al., 1984; OLIVEIRA et al., 2000; HAJOS e OSAGIE, 2004).

#### 8.8.5. Utilização em dietas

Mizuburiti et al. (1984) ao incluirem diferentes níveis de feijão guandu cru moído em dietas de frangos de corte, observaram que no período de 1 a 45 dias não houve diferença no ganho de peso das aves, sendo viável a inclusão de até 50%. Oliveira et al. (2000) avaliaram uma dieta para frangos de corte com 20% de feijão guandu e não observaram diferenças para consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar na fase inicial, crescimento e no período total. Alencar et al. (2014) substituíram até 20% do farelo de soja na ração de frangos caipiras criados em sistema semi-intensivo e não observaram diferença no rendimento de carcaça, peso de pâncreas e parâmetros de qualidade de carne e no nível de 15,45% não compromete o ganho de peso das aves.

Fonseca et al. (1995) tiveram como objetivo avaliar a utilização de feijão guandu cru moído (FGCM) na alimentação de poedeiras com 33 semanas de idade, utilizando cinco tratamentos. Os tratamentos foram quatro rações experimentais contendo 10% (T1), 20% (T2), 30% (T3) e 40% (T4) de FGCM, além de uma ração testemunha (T0) à base de milho e farelo de soja. As características avaliadas durante o período experimental de 8 semanas foram número de ovos (NO), peso médio dos ovos (PMO), massa de ovos (MO), consumo de ração (CR) e eficiência alimentar, que incluiu eficiência alimentar relativa (EAD = massa de ovos / consumo de ração), eficiência alimentar ponderada pelo peso corporal médio (EAI = massa de ovos / peso corporal médio) e eficiência alimentar ajustada pela unidade de tamanho metabólico (EAU = massa de ovos / Unidade de Tamanho Metabólico).

Foi observado efeito quadrático dos tratamentos ( $P < 0,01$ ) sobre NO, MO, EAD, EAI e EAIU (Figura 8.11), com melhores médias de eficiência para o tratamento T1. Eles concluíram que a utilização de até 10% de FGCM nas rações de poedeiras comerciais, de modo geral, não prejudicou o desempenho em termos de produção, massa de ovos e eficiência alimentar, tanto direta quanto indireta; que o peso médio dos ovos e o consumo de ração não foram influenciados pelos diferentes níveis de FGCM na ração; e que níveis mais elevados de FGCM na ração levaram a uma redução gradativa no desempenho das poedeiras. Os autores justificam que essa queda no desempenho, observada de modo geral em quase todas as características para níveis crescentes de inclusão de feijão guandu na ração, pode ter sido ocasionada pela presença de fatores antinutricionais no feijão guandu cru, tais como fatores inibidores de tripsina, inibidores de amilase e altos teores de tanino, entre outros. Segundo Nesheim e Garlich (1966), as poedeiras são particularmente sensíveis aos fatores antinutricionais mesmo em períodos curtos.

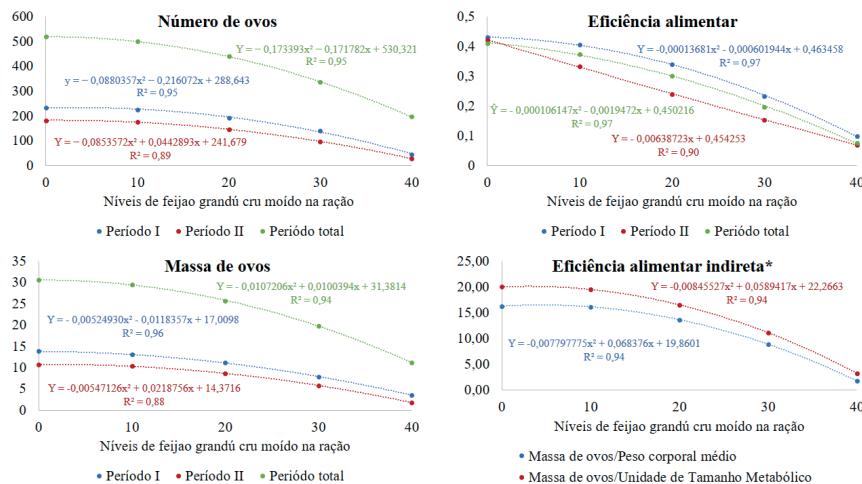


Figura 8.11. Efeito dos níveis de utilização do Feijão Guandu Cru Moído, na ração, sobre o desempenho de galinhas poedeiras. Adaptado de Fonseca et al. (1995).

No estudo conduzido por Castro Júnior et al. (1984), avaliou-se a substituição crescente da mistura de milho (68,2%) e farelo de soja (31,8%) por grãos de guandu (*Cajanus indicus*), crus e moídos, com base no teor proteico. Foram utilizados cinco níveis de substituição: 0, 25, 50, 75 e 100%. Verificou-se que o aumento dos níveis de inclusão do guandu promoveu redução no consumo de ração e no ganho de peso dos suínos, além de elevação linear significativa na conversão alimentar, sendo o pior desempenho observado com 100% de substituição (Figura 8.12). Dietas com até 50% de guandu não diferiram entre si, indicando viabilidade de uso nesse limite.

De acordo com os autores, a redução no consumo, contudo, evidencia a necessidade de tratamentos térmicos, como cozimento, torração ou autoclavagem, visando à inativação de fatores antinutricionais presentes no grão cru.

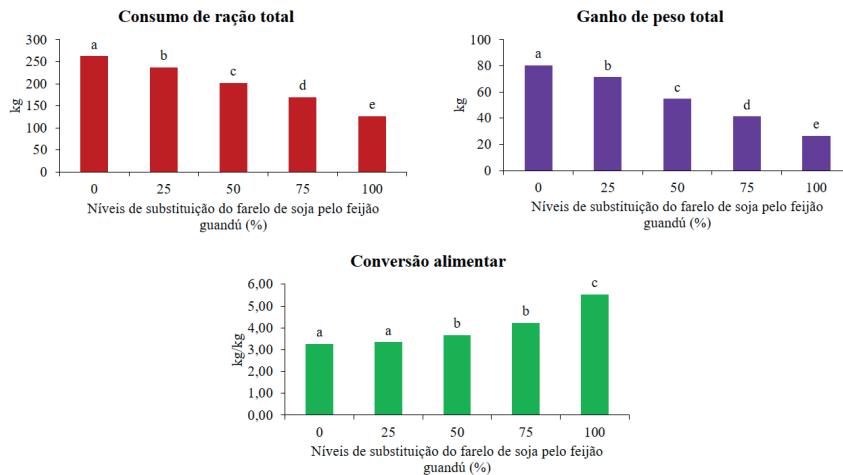


Figura 8.12. Uso de grãos de feijão-guandu (*Cajanus indicus*) cru em substituição à mistura de milho e farelo de soja para suínos em crescimento e terminação. As letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de 0,05% pelo teste de DUCAN. Adaptado de Castro Júnior (1984).

Crespi et al. (1992) avaliaram o efeito da substituição do feno de alfafa por 25%, 50%, 75% e 100% de feno de guandu na dieta de 25 coelhos machos mestiços das raças Nova Zelândia Branca e Califórnia, dos 42 aos 70 dias de idade. Conforme mostra a (Figura 8.13), a substituição não afetou significativamente ( $P > 0,05$ ) o ganho de peso, consumo de ração ou rendimento de carneça. No entanto, a conversão alimentar piorou com a substituição total (100%), diferindo significativamente dos demais tratamentos ( $P < 0,05$ ), o que pode estar relacionado ao maior teor de fibra nos tratamentos T4 e T5. Diante disso, os autores recomendam o feno de guandu como alternativa viável ao feno de alfafa, por ser mais acessível, de menor custo e adaptado a climas tropicais.

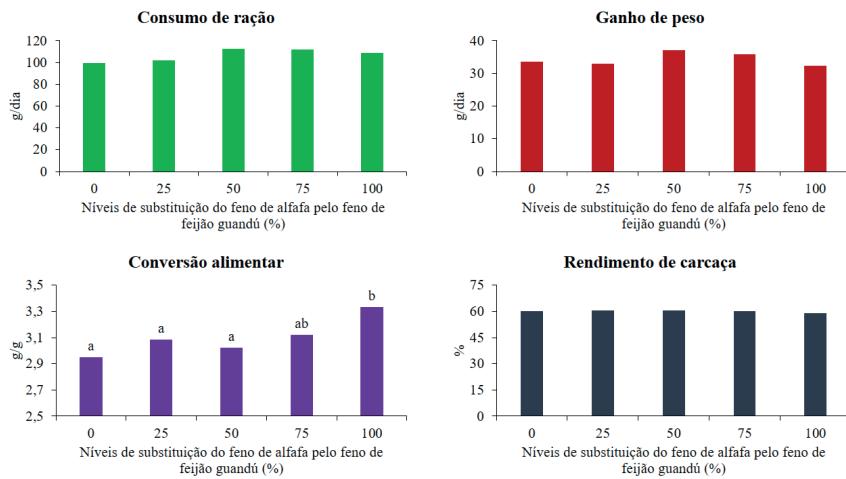


Figura 8.13. Desempenho zootécnico de coelhos em crescimento alimentados com diferentes níveis de substituição do feno de alfafa por feno de guaraná (*Cajanus cajan*). As letras diferentes indicam diferença estatística ao nível de 0,05% pelo teste de Tukey. Adaptado de Crespi et al. (1992).

Tabela 8.8. Levantamento da composição bromatológica do feijão guarandu

Categoria	MS	PB	FB	EE	MM	ENN	EB	EMAves	Ca	P	Lis.	Met.	Trip.	Autores
In natura	89,57	21,39	9,56	1,28	3,84	-	-	-	0,11	0,33	-	-	-	Albino et al., 1984
In natura	88,98	23,11	-	1,34	-	-	-	-	-	-	2,8	0,12	-	Teixeira et al., 1985
In natura	-	21,39	-	-	-	-	-	2,160	0,11	0,33	1,26	0,27	0,10	Fialho e Albino, 1983
In natura	88,54	21,06	8,32	0,78	3,77	-	4,015	2,160	0,10	0,32	1,26	0,27	0,22	Embrapa, 1991
Tostado	90,49	20,32	9,55	0,82	3,55	-	-	-	0,09	0,31	-	-	-	Albino et al., 1984
Tostado	89,34	20,29	8,52	0,72	3,52	-	4,012	2,240	0,09	0,31	1,18	0,26	0,17	Embrapa, 1991
Cozido	89,38	20,58	9,18	0,94	3,04	-	-	-	0,08	0,31	-	-	-	Albino et al., 1984
Cozido	88,91	20,59	8,88	0,81	3,30	-	4,008	2,510	0,08	0,30	1,31	0,27	0,18	Embrapa, 1991
Feno	90,51	16,74	28,42	4,36	5,06	35,94	4,561	-	0,81	0,16	-	-	-	Crespi et al., 1992
Planta	35,20	-	-	6,90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Silva et al., 2017

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As plantas da caatinga são uma importante alternativa de convivência com a seca para a alimentação dos animais não ruminantes, no entanto para se fazer uso dessas plantas é necessários estudos mais aprofundados, como teor de nutrientes, fatores antinutricionais, fatores tóxicos e ensaios de digestibilidade, para garantir que esses animais estão consumindo e apresentando resultados satisfatório sem afetar o desempenho produtivo. Essas plantas também podem ser utilizadas principalmente por pequenos agricultores como forma de minimizar os custos com ração e melhorar a lucratividade nas unidades de produção.

## REFERÊNCIAS

- ABOU-ELEZZ, F. M. K et al. Efectos nutricionales de la inclusión dietética de harina de hojas de *Leucaena leucocephala* y *Moringa Oleifera* em el comportamiento de gallinas Rhode Island Red. **Revista Cubana de Ciéncia Agrícola**, v. 45, n. 2, 2011.
- AGBEDE, J. O. Equi-protein replacement of fishmeal with leucaena leaf protein concentrate: Na assessment of performance characterísticas na muscle development in the chicken. **International Jourbal of Poultry Science**, v. 6, p. 421-429, 2003.
- ALBINO, L. F. T. et al. Composição química e valores energéticos de alguns alimentos para frangos de corte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n. 7, p. 897-903, 1984.
- ALENCAR, D. P. et al. Feijão guandu cru na alimentação de frangos caipiras criados em sistema semi-intensivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 9, p. 737-744, 2014.
- ALMEIDA NETO J. X. et al. Composição florística, estrutura e análise populacional do feijão bravo (*Capparis flexuosa* L.) no Semiárido Paraibano, no Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.22, n.4, p.187-194, out.-dez. ISSN: 1983-2125. 2009.
- ALMEIDA NETO, J. X. et al. Crescimento e bromatologia do feijão-bravo (*Capparis flexuosa* L.) em área de Caatinga no Curimataú paraibano, Brasil. **Revista Ciéncia Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 488–494. doi:10.1590/s1806-66902011000200031. 2011.
- ALMEIDA, P. J. P. et al. Desempenho Econômico de Ovinos Santa Inês Alimentados com Farelo da Vagem de Algaroba (*Prosopis juliflora*). In: Congresso Brasileiro de Zootecnia – Zootec. 2008, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa – PB. 2008.
- ARAÚJO FILHO, J. A. e CRAVALHO, F.C. **Desenvolvimento sustentado da caatinga**. Sobral: EMBRAPA-CNPC, 1997. 19p. (Circular Técnico, 13).
- ARAÚJO, E. C. et al. Valor nutritivo e consumo voluntário de forrageiras nativas da região semi-árida do Estado de Pernambuco: VI Feijão Bravo (*Capparis flexuosa*, L.). In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 37., Viçosa. **Anais...**viçosa: sbz, 2000.

ARAÚJO, G.G.L.; CAVALCANTI, J. Potencial de utilização da maniçoba. In: SIMPÓSIO PARAIBANO DE ZOOTECNIA, 3, 2002, Areia-PB, **Anais...** Areia, 2002.

ARAÚJO, Josivânia Rodrigues. **Avaliação de alimentos alternativos regionais para a tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*)**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2010.

AYSSIWEDE, S. B. et al. Nutrient composition of some unconventional and local feed resources available in Senegal and recoverable in indigenous chickens or animal feeding. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 10, n. 8, p. 707-717, 2011.

AZEVEDO C. F. **Algarobeira na alimentação animal e humana. Informativo Técnico, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte**. Natal: Emparn. 63p; 1999.

BAIRAGI, A. et al. Evaluation of the nutritive value of Leucaena leucocephala leaf meal, inoculated with fish intestinal bacteria *Bacillus subtilis* and *Bacillus circulans* in formulated diets for rohu, Labeo rohita. **Aquaculture Research**, v. 35, p. 436-446; 2004.

BARRETO, M. B. et al. Constituintes químicos voláteis e não voláteis de *Moringa Oleifera* Lam., Moringaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.19, n.4, p. 893-897, 2009.

BARRETO, M. L. J. et al. Utilização de leucena (*Leucaena leucocephala*) na alimentação de ruminantes. **Revista Verde**, v. 5, p. 7-16, 2010.

BATISTA, Â. M. V. et al. **A palma forrageira na alimentação de ruminantes no semiárido brasileiro**. II Simpósio Brasileiro de Produção de Ruminantes, UESB, Itapetinga-BA, p. 166-196, 2013.

BEELEN, P.M.G.; et al. Influence of condensed tannins from Brazilian semi-arid legumes on ruminal degradability, microbial colonization and enzymatic activity. **Small Rum. Res**, v. 61, p. 35-44, 2006.

BIELORAI, R. et al. Digestion and absorption of protein along intestinal tract of chick fed raw and heated soybean meal. **Journal Nutrition**, v. 103, n. 9, p. 1201- 1226.

BRAVO, H. **Las cactáceas de México**. 2.ed. México: Uni. Nac, Aut. México, 1978. v.1.

BRITO, C.O. et al. Adição de complexo multienzimático em dietas à base de soja extrusada e desempenho de pintos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 457-461, 2006.

BRITO, M. S. et al. Estudo comparativo da proteína do feno de maniçoba em relação à proteína do feno de alfafa na ração de coelhos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.65, n. 1, p. 267-274, 2013.

CARO, Y. et al. Apparent digestibility of nutrients from diets containing *Moringa oleifera* forage for growing rabbits. **Livestock Research for Rural Development**, v. 30, n. 1, 2018.

CARVALHO JÚNIOR, S. B. et al. Composição florística, estrutura e análise populacional do feijão bravo (*Capparis flexuosa* L.) no Semiárido Paraibano, no Brasil. **Revista Caatinga** v. 14, n. 10, p. 1045-1051, 2010.

CARVALHO, C. B. M. et al. Uso de cactáceas na alimentação animal e seu armazenamento após colheita. **Archivos de zootecnia**, v. 67, n. 259, p. 440-446, 2018.

CASTRO JÚNIOR, F. G. et al. Grão de feijão-guandu cru em substituição à mistura de milho e farelo de soja para suínos em crescimento e terminação. **Boletim de Indústria Animal**, v. 41, n. 1, p. 103-110, 1984.

CAVALCANTE, L. A. D. et al. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.

CHUBB, L.G. Anti-nutritive factors in animal feedstuffs. In: HARESIGN, W. (Eds.) *Studies in the agricultural and food sciences butterworths. Recent advances in animal nutrition*. Philadelphia: W. Haresign Butterworths, 1982. p.21-37.

CORDOVA-TORRES, A.V. et al. Nutritional composition. in vitro degradability and das production of *Opuntia ficus indica* and four other wild cacti species. **Life Science Journal**, v. 12, n. 2, 2015.

COSTA, F. G. P. et al. Avaliação do feno de maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii* Paz e Hoffman) na alimentação de aves caipiras. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 3, p. 43-49, 2007b.

COSTA, F. G. P. et al. Utilização do feno de jureminha (*Desmanthus virgatus*) na alimentação de frangos caipiras. **Agropecuária Técnica**, v.29, n.1-2, p.11-16, 2008.

COSTA, F. G. P. et al. Valores energéticos e composição bromatológica dos fenos de jureminha, feijão bravo e maniçoba para aves. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 4, p. 813-817, 2007a.

CRESPI, M. P. A. L. Uso do feno de guandu (*Cajanus cajan*) como fonte de fibra e proteína na alimentação de coelhos em crescimento. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 21, n. 1, 1992.

CRUZ, S.E.S.B.S., et al. Caracterização dos taninos condensados das espécies maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*), flor-de-seda (*Calotropis procera*), feijão-bravo (*Capparis flexuosa*, L) e jureminha (*Desmanthus virgatus*). **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** 59 (4) • Ago 2007.

CUI, Y. M. et al. Effect of dietary supplementation with *Moringa oleifera* leaf on performance, meat quality, and oxidative stability of meat in broilers. **Poultry Science**, v. 97, n. 8, p. 2836-2844, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pey122>.

D'MELLO, J. P. F and Acamovic, T. *leucaena leucocephala* in poultry nutrition. A review. **Animal Feed Science Technology**, v. 26, p. 1-28, 1989.

EL-HACK, M. E. A. et al. Pharmacological, nutritional and antimicrobial uses of *Moringa oleifera* Lam. leaves in poultry nutrition: an updated knowledge. **Poultry Science**, [S.L.], v. 101, n. 9, p. 102031, set. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psj.2022.102031>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves**. 3.ed. Concordia: EMBRAPA-CNPSA, 1991. 97p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tabelas nordestinas de composição de alimentos para bovinos leiteiros**. Brasília -DF – 2014.

FABRICANTE, J. R., Andrade. L. A., Oliveira, L. S. B., Fenologia de *Capparis flexuosa* L. (Capparaceae) no Cariri Paraibano. **Rev. Bras. Ciênc. Agrár.** Recife, v. 4, n. 2, p. 133-139, 2009.

FAO REGIONAL OFFICE FOR ASIA. **Rapid Growth of Selected Asian Economies: Lessons and Implications for Agriculture and Food Security**. Food e Agriculture Org., 2006.

FERREIRA, M. A. et al. Estratégias na suplementação de vacas leiteiras no semiárido do Brasil. **Revista Brasileira De Zootecnia**, v. 38, p. 322-329, 2009.

FIALHO, E. T.; ALBINO, L. F. T. **Tabela de composição química e valores energéticos de alimentos para suínos e aves**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1983.

FONSECA, N. A. N. et al. Efeito do uso do feijão guardú cru moído (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) sobre o desempenho de poedeiras comerciais. **Semina: Ciencias Agraria**, v. 16, n. 1, p. 115-121, 1995.

FROTA, M. N. L. et al. **Palma forrageira na alimentação animal**. Embrapa Meio-Norte-Documentos (INFOTECA-E), 2015.

FURTADO, D. A. et al. Desempenho de frangos alimentados com feno de maniçoba no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 722-728, 2011.

GOMES, P. A algarobeira. Rio de Janeiro: **Ministério da Agricultura**, 1961. 49p (SIA 865)

GUALBERTO, A. F. et al. Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleifera* Lam.): Aspectos agroecológicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 19-25, 2014.

HAJOS, G.; OSAGIE, A. U. Technical and biotechnological modifications of antinutritional factors in legume and oilseeds. In: MUSQUIZ, M.; HILL, G.D.; CUADRADO, C.; PEDROSA, M.M.; BURBANO, C. (Ed.). **Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds and oilseeds**. Wageningen: Wageningen Academic, 2004. p.293-305.

INÁCIO, J. G. et al. Nutritional and performance viability of cactus Opuntia-based diets with different concentrate levels for Girolando lactating dairy cows. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 33, n. 1, p. 35, 2020.

JAYASENA, D. D.; JO, C. Essential oils as potential antimicrobial agents in meat and meat products: A review. **Trends in Food Science e Technology**, 34(2):96-108, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2013.09.002>.

JESUS, A. R. de; MARQUES et al. **Cultivo da Moringa Oleifera**. Instituto Euvaldo Lodi –IEL/BA. 2013.

LEITE, P.R. S. C. et al. Limitações da utilização da soja integral e farelo de soja na nutrição de frangos de corte. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, p.1138-1157, 2012.

LIMA, G. F. C. et al. **Produção e conservação de forragens para caprinos e ovinos**. In: **Criação Familiar de caprinos e ovinos no Rio Grande do Norte**. NATAL: EMPARN, 2006. p.145-191.

LIMA, P. C. F. **Espécies vegetais exóticas com potencialidade para o semi-árido brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa Semi-Árido, 340 p. 2005.

LIMA, Tayara Soares de. **Utilização do feno de Moringa (*Moringa Oleifera Lam*) na alimentação de suínos em crescimento e terminação**. 2016.

LOPES, W. B. et al. Caracterização de uma população de plantas de feijão bravo (*Capparis flexuosa L.*) No cariri paraibano. **Revista Caatinga**, ISSN: 0100-316X, v. 22, n. 2, p. 125-131,2009.

LUDKE, J. V. et al. Farelo de palma forrageira na alimentação de suínos em crescimento e terminação: desempenho e avaliação econômica. In: Congresso Nordestino de Produção Animal, 4.; Simpósio Nordestino de Alimentação de Ruminantes, 10.; Simpósio de Produção Animal do Vale do São Francisco, 1., 2006, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Sociedade Nordestina de Produção Animal; Embrapa Semiárido, 2006. p. 759-761.

MACAMBIRA, G. M. et al. Caracterização nutricional das folhas de *Moringa oleifera* (MOL) para frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 2, p. 570-578, 2018.

MARTIN-ROSSET, W. **La alimentacion de los caballos**. Traduzido por Dr. Antonio Conceillón Martinez, 1993. p.174.

McMAHON, J. M. et al. Cyanogenesis in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Journal of Experimental Botany**, v. 46, n. 288, p. 731-741, 1995.

MIZUBUTI, I. Y. et al. Efeito da utilização de feijão-guandú cru moído (*Cajanus cajan* (L.) Millsp) sobre o desempenho de frangos de corte. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 24, n. 4, 1995.

MONTEIRO, C. C. F. et al. A new cactus variety for dairy cows in areas infested with *Dactylopius opuntiae*. **Animal Production Science**, v. 59, n. 3, p. 479-485, 2019.

MONTEIRO, J. M. et al. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. **Química Nova**, v. 28, n. 5, p. 892-896, 2005.

MOREKI, J. C.; GABANAKGOSI, K. Potential use of *Moringa oleifera* in poultry diets, Global. **Journal Animal Scientific Research**, v.2, n. 2, 2014.

MOURA, A. S. et al. Caracterização físico-química da folha, flor e vagem de *Moringa* (*Moringa olifera* Lam). **Anais**. Encontro Nacional de *Moringa*, Aracaju, Sergipe, 2010.

MOYO, Busani et al. Nutritional characterization of *Moringa* (*Moringa Oleifera* Lam.) leaves. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 60, p. 12925-12933, 2011.

NASCIMENTO, M.P.S.C.B., et al. Forrageiras da bacia do Parnaíba: usos e composição química. Teresina: **EMBRAPA CPAMN/Recife**, 1996. 86p.

National Academy of Science, Washington, EUA. **Leucaena promising forage and tree-crop for the tropics**. Washington, National Research Council, 115p, 1997.

NESHEIM, M.C.; GARLICH, J.D. Digestibility of unheated soybean meal for laying hens. **J. Nutr.**, v.88, p.187-192, 1966.

NETO, J. et al. Balanço hídrico e excreção renal de metabólitos em ovinos alimentados com palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 36, p. 322-328, 2016.

NKAKWANA, T.T. et al. Effect on *Moringa oleifera* leaf meal on growth performance, apparent digestibility, digestive organ size and carcass yield in broiler chickens. **Livest. Sci.**, v.161, p.139-146, 2014.

NOZELLA, E.F. **Determinação de tanino em plantas com potencial forrageiro para ruminantes**. 2001. 58f. Dissertação, (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

OLIVEIRA, A. S. C. et al. A palma forrageira: alternativa para o semi-árido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 3, p. 6, 2011.

OLIVEIRA, P. B. et al. Influência de fatores antinutricionais da leucena (*Leucaena leucocephala* e *Leucaena cunningham*) e do feijão guandu (*Cajanus cajan*) sobre o epitélio intestinal e o desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zooecnia**, v. 29, n. 6, p. 1759-1769, 2000.

OLIVEIRA, P. B. et al. Influência de fatores antinutricionais da Leucena (*Leucaena leucocephala* e *Leucaena Cunningham*) e do feijão Guandu (*Cajanus cajan*) sobre o epitélio intestinal e o desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.6, n.29, p.: 1769,200.

OLIVEIRA, P. V. C. et al. Utilização de Moringa Oleifera na alimentação animal. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 53881-53893, 2020.

OLIVEIRA, V. S. et al. Substituição total do milho e parcial do feno de capimtifton por palma forrageira em dietas para vacas em lactação. Consumo e digestibilidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 36. n. 5. p. 1419-1425. 2007.

PASIECZNIK, N. M. et al. **The *Prosopis juliflora* – *Prosopis pallida* Complex:** a monograph. Coventry UK, HDRA, 2001. 172 p.

PEIXOTO, M. J. A. et al. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio, **Archivos de Zootecnia**, vol. 67, no. 257, pp. 35-39, 2018.

PEREIRA, J. **O feijão guandu:** uma opção para a agropecuária brasileira. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1985. 27p. (Embrapa-CPAC. Circular técnica, 20).

PICTURETHISAI. **Jureminha** Uma espécie de Desmanthus. 2022. Disponível em: <[https://www.picturethisai.com/pt/wiki/Desmanthus\\_virgatus.html](https://www.picturethisai.com/pt/wiki/Desmanthus_virgatus.html)>. Acesso em: 17 de Ago. de 2022.

PINHEIRO, M. J. P. et al. Efeitos da adição de farelo de vagem de algaroba em rações para suínos na fase de terminação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.12, p.1443-1449, 1993.

PRICE, M.L. et al. Tannin content of cow peas, chickpeas, pigeon peas and mung beans. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 28, n. 2, p. 459-461, 1980.

QWELE, K. et al. Effect of dietary mixtures of moringa (*Moringa oleifera*) leaves, broiler finisher and crushed maize on anti-oxidative potential and physico- chemical characteristics of breast meat from broilers. **African Journal of Biotechnology**, v. 12, 16 January, 2013.

REBOUÇAS, G. M. N. **Farelo de vagem de algaroba (*Prosopis juliflora*) na alimentação de ovinos Santa Inês. Itapetinga:** UESB, 2007. 44p. (Dissertação – Mestrado em Zootecnia – Produção de Ruminantes).

ROCHA, A.S. **Substituição do farelo de soja por feno de leucena (*Leucaena leucocephala*) na alimentação de tilápias (*Oreochromis niloticus*)**. Monografia de graduação, Universidade Federal do Piauí. 49pp, 2004.

ROCHA, R. S. et al. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte, **Archivos de Zootecnia**, vol. 66, no. 255, pp. 363-371, 2017.

RODRIGUES, A. M. Nutritional value of *Opuntia ficus-indica* cladodes from Portuguese ecotypes, **Bulgarian Journal of Agricultural Sciences**, vol. 22, no. 1, pp. 40-45, 2016.

ROSTAGNO, H.S. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.

SAFWAT, A. M., L. Sarmiento-Franco, R. H. Santos-Ricalde, and D. Nieves. Determination of tropical forage preferences using two offering methods in rabbits. **Asian Australas. Journal Animal Science**, v. 27, p. 524-529, 2014.

SANTANA NETO, J. A., **Potencial das cactáceas como alternativa alimentar para ruminantes no semiárido**. v. 12, n. 06, ISSN: 1983-9006 nov/dez de 2015.

SANTOS, J. S. et al. Farelo de palma da alimentação de codornas. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 14, p. 5093-5099, 2017.

SANTOS, L. D. et al. Efeitos da peletização e extrusão sobre a digestibilidade de ingredientes alternativos do Semi-árido Nordestino para a tilápia do Nilo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 3367-3376, 2014.

SANTOS, M.V.F. et al. Potencial de plantas forrageiras da Caatinga na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.204-215, 2010.

SANTOS, M.V.F. et al. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 204-215.2010.

SANTOS, S. L. et al. Avaliação físico-química do peito de frango alimentado com farelo de palma forrageira. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 1, p. 1-6, 2014.

SAWAL, R. et al. Mesquite (*Prosopis juliflora*) pods as a feed resource for livestock-a review. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, v.17, n.5, p.719- 725, 2004.

SENA, M. F. et al. Mesquite bean and cassava leaf in diets for Nile tilapia in growth. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.34, n.3, p.231-237, 2012.

SILVA JUNIOR, Rogerio Ventura da. **Uso da Moringa Oleifera na alimentação de galinhas poedeiras.** 2017.

SILVA S.A. Estudo Termogravimétrico e Calorimétrico da Algaroba. **Quim. Nova**, v. 24, n. 4, p. 460-464, 2001.

SILVA, C. C. F e SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes'. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 7, n. 10, p. 1-13, 2006.

SILVA, J. G. M. et al. Características morfofisiológicas e produção do mandacaru cultivado em diferentes densidades. **Revista Centauro**, v. 3, n.1, p. 33-43, 2014.

SILVA, J. H. V. et al. Uso da farinha integral da vagem de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) na alimentação de codornas japonesas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.4, p.1789-1794, 2002a.

SILVA, J. H. V. et al. Valores energéticos e efeitos da inclusão da farinha integral da vagem de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) em ração de poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2255-2264, 2002b.

SILVA, J.H.V.; RIBEIRO, M.L.G. **Tabela nacional de exigência nutricional de codornas.** Bananeiras, PB: DAP/UFPB, 2001. 21p.

SILVA, S. P. et al. Análise bromatológica do feijão guandu para predição da composição química para o uso nos modelos de calibração do NIRS. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA CAPRINOS E OVINOS, 6., 2017, Sobral. *Anais...* Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2017. p. 31-32.

SILVA, T. G. F. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SKERMAN, P. J. **Tropical Forage Legumes.** Roma: FAO, 1977.

SKLAN, P. et al. Lipid absorption and secretion in chick. **The Journal of Nutrition**, v. 103, p. 1299-1305, 1973.

SOARES, J.G.G. **Cultivo da maniçoba para produção de forragem no semiárido brasileiro.** Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1995, 4p. (EMBRAPACPATSA. Comunicado Técnico, 59).

STEIN, R. B. S. et al. Uso do farelo de vagem de algaroba (*Prosopis juliflora* (Swartz) D.C.) em dietas para equinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.4, p.1240-1247, 2005.

TEIXEIRA, J. P. F. Composição química de grãos de feijão-guandu cultivar kaki. **Bragantia**, v. 44, n. 1., p. 457-463, 1985.

UFERSA. **Projeto Caatinga**, 2018. Disponível em: <<https://projetocaatinga.ufersa.edu.br>>. Acesso em: 09, agosto de 2022.

VALADARES FILHO, S. C. et al. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. Viçosa: UFV, 2006.

VALADARES FILHO, S.C., LOPES, S.A. et al., **CQBAL 4.0**. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. 2018. Disponível em: [www.cqbal.com.br](http://www.cqbal.com.br)

VALDIVIÉ-NAVARRO, M. et al. Review of *Moringa Oleifera* as forage meal (leaves plus stems) intended for the feeding of non-ruminant animals. **Animal Feed Science And Technolog**, v. 260, 2020.

VIEIRA, R.F.; VIEIRA, C.; VIEIRA, R.F. **Leguminosas graníferas**. Viçosa: Editora da UFV, 2001. 206p.

VILAR F.C.R. 2006. **Impactos da invasão da algaroba [*Prosopis juliflora (SW.) DC.*] Sobre o estrato herbáceo da caatinga: florística, fitossociologia e citogenética**. Tese de Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências agrárias (CCA), Universidade Federal da Paraíba. 45p.

VITTI, D. M. S. S. et al. The effect of drying and urea treatment on nutritional and anti-nutritional components of browses collected during wet and dry seasons. **Anim. Feed Sci. Techn**, v.122, p.123-133, 2005.

WEE, K.L.; WANG, S.S. Nutritive value of *Leucaena* leaf meal in pelleted feed for Nile tilapia. **Aquaculture**, v. 62, p. 97-108, 1987.

## SOBRE OS ORGANIZADORES

**ADIEL VIEIRA DE LIMA:** Graduado em Zootecnia (2018) pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada-UFRPE/UAST. MBA em Agronegócios (2019), pela Universidade Norte do Paraná. Mestre em Zootecnia (2023) pela Universidade Federal da Paraíba. Atualmente é doutorando no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba – PPGZ/UFPB. Atua principalmente nos seguintes temas: Produção, Nutrição, Formulação de Ração e Manejo de Aves e Suínos.

**FERNANDO GUILHERME PERAZZO COSTA:** Possui graduação (1991) e mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal da Paraíba (1996), doutorado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa (2000) e Pós-doutorado na University of Arkansas (EUA) em 2008. Professor Titular do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal da Paraíba, orientador de alunos de mestrado e doutorado no curso de Pós-Graduação em Zootecnia. Ex-Membro do Comitê da Área de Zootecnia (CA-ZT) do CNPq. Pesquisador do CNPq com Bolsa de Produtividade em Pesquisa, nível 1B. Revisor “Ad hoc” de várias revistas Qualis A e B, Internacional e Nacional. Desenvolve pesquisas com alunos da graduação e pós-graduação em exigências nutricionais, avaliação de alimentos e aditivos para rações de frangos de corte, poedeiras comerciais e codornas japonesas e europeias. Tem parcerias com várias empresas multinacionais na área de nutrição avícola. Ocupou a função de Pró-reitor de Pós-Graduação da UPFB durante o período de 2020-2022.

# SOBRE OS AUTORES

## **Adiel Vieira de Lima**

Zootecnista, MSc., Doutorando em Zootecnia  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

## **Aline Beatriz Rodrigues**

Zootecnista, Mestranda em Zootecnia  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

## **Amanda Fabrício Dantas**

Licenciada em Ciências Agrárias, MSc., Doutoranda em Zootecnia  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

## **Carlos Henrique do Nascimento**

Zootecnista, MSc., Doutorando em Zootecnia  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

## **Danilo Teixeira Cavalcante**

Zootecnista, DSc., Professor Adjunto  
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco  
Garanhuns – Pernambuco – Brasil

## **Danilo Vargas Gonçalves Vieira**

Zootecnista, DSc., Professor Associado  
Universidade Federal do Norte do Tocantins  
Araguaína – Tocantins – Brasil

**Edijanio Galdino da Silva**

Médico Veterinário, DSc., Técnico de Laboratório  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

**Edilson Paes Saraiva**

Zootecnista, DSc., Professor Associado  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

**Fernando Guilherme Perazzo Costa**

Zootecnista, DSc., Professor Titular  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

**Germano Augusto Jerônimo do Nascimento**

Zootecnista, DSc., Professor Titular  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

**Humerto de Araújo Brito Filho**

Zootecnista  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

**Isabelle Naemi Kaneko**

Médica Veterinária, DSc., Professora Adjunta  
Fundação Universidade Federal de Rondônia  
Presidente Médici – Rondônia – Brasil

**José de Arimatéia de Freitas Pinto**

Engenheiro Agrônomo, MSc., Doutorando em Zootecnia  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

**Lucas Nunes de Melo**

Zootecnista, DSc.

Universidade Federal da Paraíba

Areia – Paraíba – Brasil

**Marcos Cicero Pereira dos Santos**

Zootecnista, MSc., Doutorando em Zootecnia

Universidade Federal da Paraíba

Areia – Paraíba – Brasil

**Maria Isabelli Leite Maia**

Zootecnista, MSc., Doutoranda em Zootecnia

Universidade Federal da Paraíba

Areia – Paraíba – Brasil

**Matheus Ramalho de Lima**

Licenciado em Ciências Agrárias, DSc., Professor Associado

Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Mossoró – Rio Grande do Norte – Brasil

**Paloma Eduarda Lopes de Souza**

Zootecnista, MSc., Doutoranda em Zootecnia

Universidade Federal da Paraíba

Areia – Paraíba – Brasil

**Raiane dos Santos Silva**

Zootecnista, MSc., Doutoranda em Zootecnia

Universidade Federal da Paraíba

Areia – Paraíba – Brasil

**Raul da Cunha Lima Neto**

Zootecnista, DSc., Professor Associado  
Universidade Federal do Oeste do Pará  
Santarém – Pará – Brasil

**Ricardo Romão Guerra**

Zootecnista, DSc., Professor Associado  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

**Valéria Marinho Leite Falcão**

Licenciada em Ciências Agrárias, MSc., Doutoranda em Zootecnia  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

**Vania Maria Bernardo De Araújo**

Zootecnista  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

**Weslla da Silva Dias**

Zootecnista, MSc., Doutoranda em Zootecnia  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

**Willyane de Souza Santos**

Zootecnista, MSc., Doutoranda em Zootecnia  
Universidade Federal da Paraíba  
Areia – Paraíba – Brasil

# Tópicos Especiais na Nutrição de Aves

1

- 
- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
  - ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
  - ⌚ [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
  - ⌚ [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# Tópicos Especiais na Nutrição de Aves

1

- 
- A close-up photograph of a white chicken's head, showing its eye, comb, and beak. The background is slightly blurred.
- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
  - ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
  - ⌚ [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
  - ⌚ [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)