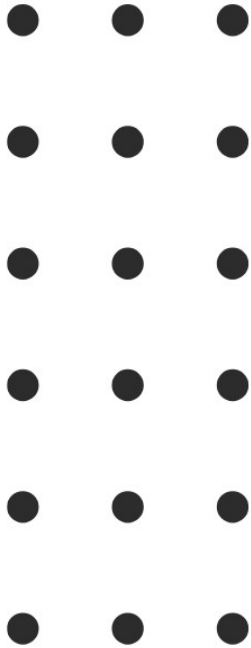




editorainvivo.com



0

MULTIPLICIDADE DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS VOLUME 5

Organizadores:

Luis de França Camboim Neto

Everton Nogueira Silva

Cibelle Mara Pereira de Freitas

Carlos Donato Barbosa Alves Júnior

Neilton Monteiro Pascoal Filho

2026



EDITORA IN VIVO

MULTIPLICIDADE DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS
VOLUME 5

Organizadores

Luis de França Camboim Neto

Everton Nogueira Silva

Cibelle Mara Pereira de Freitas

Carlos Donato Barbosa Alves Júnior

Neilton Monteiro Pascoal Filho



EDITORA IN VIVO

2026

2026 by Editora In Vivo
Copyright © Editora In Vivo
Copyright do Texto © 2026 O autor
Copyright da Edição © 2026 Editora In Vivo



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).
O conteúdo desta obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Editor Chefe

Dr. Everton Nogueira Silva

Editora Executiva

Profa. Dra. Juliana Paula Martins Alves

Editor Adjunto

Dr. Luís de França Camboim Neto

1 CIÊNCIAS AGRÁRIAS

- Dr. Aderson Martins Viana Neto
- Dra. Ana Paula Bezerra de Araújo
- Dr. Arinaldo Pereira da Silva
- Dr. Aureliano de Albuquerque Ribeiro
- Dr. Cristian Epifanio de Toledo
- MSc. Edson Rômulo de Sousa Santos
- Dra. Elivânia Maria Sousa Nascimento
- Dr. Fágner Cavalcante P. dos Santos
- MSc. Fernanda Beatriz Pereira Cavalcanti
- Dra. Filomena Nádia Rodrigues Bezerra
- Dr. José Bruno Rego de Mesquita
- Dr. Kleiton Rocha Saraiva
- Dra. Lina Raquel Santos Araújo
- Dr. Luiz Carlos Guerreiro Chaves
- Dr. Luís de França Camboim Neto
- MSc. Maria Emília Bezerra de Araújo
- MSc. Yuri Lopes Silva

2 CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

- Dra. Antônia Moemia Lúcia Rodrigues Portela
- Dr. David Silva Nogueira
- Dr. Diego Lisboa Rios

3 CIÊNCIAS DA SAÚDE

- Dra. Ana Luiza Malhado Cazaux de Souza Velho
- Msc. Cibelle Mara Pereira de Freitas
- MSc. Fabio José Antônio da Silva
- Dr. Isaac Neto Goes Silva
- Dra. Maria Verônyca Coelho Melo
- Dra. Paula Bittencourt Vago
- MSc. Paulo Abílio Varella Lisboa
- Dra. Vanessa Porto Machado
- Dr. Victor Hugo Vieira Rodrigues

4 CIÊNCIAS HUMANAS

- Dra. Alessandra Maria Sousa Silva
- Dr. Francisco Brandão Aguiar
- MSc. Julyana Alves Sales
- Dra. Solange Pereira do Nascimento

5 CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

- Dr. Cícero Francisco de Lima
- MSc. Erivelton de Souza Nunes
- DR. Janaildo Soares de Sousa
- MSc. Karine Moreira Gomes Sales
- Dra. Maria de Jesus Gomes de Lima
- MSc. Maria Rosa Dionísio Almeida
- MSc. Marisa Guilherme da Frota
- Msc. Silvia Patrícia da Silva Duarte
- MSc. Tássia Roberta Mota da Silva Castro

6 CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

- MSc. Francisco Odécio Sales
- Dra. Irvila Ricarte de Oliveira Maia
- Dra. Cleoni Virginio da Silveira

7 ENGENHARIAS

- MSc. Amâncio da Cruz Filgueira Filho
 - MSc. Eduarda Maria Farias Silva
 - MSc. Gilberto Alves da Silva Neto
 - Dr. João Marcus Pereira Lima e Silva
 - MSc. Ricardo Leandro Santos Araújo
 - MSc. Saulo Henrique dos Santos Esteves
- 9 LINGÜÍSTICA, LETRAS E ARTES.**
- MSc. Kamila Freire de Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

C176m

Multiplicidade das ciências agrárias [livro eletrônico]. / Organizadores: Luis de França Camboim Neto... [et al.] Fortaleza: Editora In Vivo, 2026.
v. 5, 54 p.

Inclui bibliografia.
ISBN: 978-65-87959-97-9

DOI: 10.47242/978-65-87959-97-9

1. Ciências agrárias. 2. Ciências agrárias - multiplicidade. 3. Agricultura. I. Título. II. Camboim Neto, Luis de França. III. Silva, Everton Nogueira. IV. Freitas, Cibelle Mara Pereira de. V. Alves Junior, Carlos Donato Barbosa. VI. Pascoal Filho, Neilton Monteiro.

CDD 630

Denise Marques Rodrigues – Bibliotecária – CRB-3/CE-001564/O

APRESENTAÇÃO

A agricultura e a pecuária passaram na atual contemporaneidade por fases de evolução e adequação, saindo de um modelo de agricultura baseado no modo de produção agroecológico para um modelo mais tecnificado e dependente de insumos agroquímicos, implementos e maquinários agrícolas, tendo por base os pacotes tecnológicos da chamada Revolução Verde que foi tão amplamente difundida a partir da segunda metade do século XX, no Brasil e no mundo. Criou-se modelos técnicos de produções agropecuários baseados na monocultura e pecuária tanto intensiva como extensivas, produtoras de royalties. Surge a partir de então uma pergunta, tais modelos foram ou são realmente sustentáveis a partir do tripé econômico, social e ambiental? No sentido de avançarmos nas atualizações das pesquisas científicas tão necessárias para o universo das ciências agrárias - Agronomia, Zootecnia e Medicina Veterinária – tem-se neste livro uma série de trabalhos acadêmicos que buscam apresentar avanços significativos que possam ampliar e vir a contribuir com o desenvolvimento do universo agrário, servindo de base para trabalhos correlatos, tornando a grande área das ciências agrárias um universo mais equilibrado e ambientalmente sustentável.

Boa Leitura!

Texto: Organizadores



Capítulo 1 – DOI: 10.47242/978-65-87959-97-9-1

ÁCIDO ANACÁRDICO COMO POTENCIAL ANTIMICROBIANO NA DIETA DE LEITÕES
NA FASE DE CRECHE: UMA REVISÃO.....05

Capítulo 2 – DOI: 10.47242/978-65-87959-97-9-2

ALTERAÇÕES NO TRATO GASTROINTESTINAL DE SUÍNOS PÓS-DESMAME: UMA
REVISÃO DE LITERATURA.....19

Capítulo 3 – DOI: 10.47242/978-65-87959-97-9-3

ASPECTOS METABÓLICOS E ENDÓCRINOS DA INTERAÇÃO NUTRIÇÃO-REPRODUÇÃO
EM OVINOS: MECANISMOS MOLECULARES E IMPLICAÇÕES PARA A EFICIÊNCIA
REPRODUTIVA.....36

Capítulo 4 – DOI: 10.47242/978-65-87959-97-9-4

NUTRIÇÃO DE OVINOS EM DIFERENTES FASES FISIOLÓGICAS: UMA
REVISÃO.....44

ÁCIDO ANACÁRDICO COMO POTENCIAL ANTIMICROBIANO NA DIETA DE LEITÕES NA FASE DE CRECHE: UMA REVISÃO

Thatila Ellinna Batista de Lima

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9571311609173283>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0118-1160>

Kilvia Karoline de Souza Viveiros Melo

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0144873251686292>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4547-1650>

Isabely Cristina de Araújo Lima

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9579843141399323>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7248-2170>

Eulália Moura Fraga

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3512365329173790>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8711-2705>

Flávia Ferreira Teodosio

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/7303874487788330>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2788-0611>

Valéria Marinho Leite Falcão

Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2462783412385100>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9412-9520>

Cícero Jorge de Medeiros

Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1042001383378796>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1964-0465>

Marcos Rafael de Sousa Rodrigues

Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2138759696019020>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8572-8337>

RESUMO

Palavras-chave:

Anacardium occidentale;
Microbiota intestinal;
Aditivos fitogênicos;
Suinocultura

O desmame é um dos períodos mais críticos da produção suína, caracterizado por estresse nutricional, imunológico e ambiental que afeta a microbiota intestinal, favorece distúrbios gastrointestinais e compromete o desempenho zootécnico. O uso de antibióticos como promotores de crescimento foi, por muito tempo, a principal estratégia para mitigar esses efeitos; entretanto, sua restrição regulatória intensificou a busca por alternativas naturais. Entre elas, destaca-se o ácido anacárdico, composto fenólico presente no líquido da casca da castanha de caju (*Anacardium occidentale*), reconhecido por suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes e moduladoras da microbiota. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre o uso do ácido anacárdico como potencial aditivo fitogênico na dieta de leitões durante a fase de creche. A metodologia consistiu em levantamento bibliográfico em bases de dados nacionais e internacionais, contemplando artigos experimentais e de revisão publicados nas últimas duas décadas. Os estudos analisados demonstram que o ácido anacárdico pode reduzir a incidência de diarreia, melhorar a morfologia intestinal, estimular mecanismos imunológicos e favorecer o equilíbrio da microbiota, refletindo em desempenho produtivo comparável ao obtido com antibióticos convencionais. Contudo, a eficácia do composto depende de fatores como dose, forma de extração e associação com outros aditivos, indicando a necessidade de padronização. Conclui-se que o ácido anacárdico apresenta potencial como alternativa natural aos antibióticos promotores de crescimento na suinocultura, especialmente na fase de creche. No entanto, estudos adicionais são essenciais para confirmar sua aplicabilidade prática, definir protocolos de uso e avaliar sua viabilidade econômica.

ANACARDIC ACID AS A POTENTIAL ANTIMICROBIAL IN THE DIET OF WEANED PIGLETS: A REVIEW

ABSTRACT

Keywords:

Anacardium occidentale;
Anacardic acid;
Intestinal microbiota;
Phytogenic additives;
Swine production

Weaning is one of the most critical periods in swine production, characterized by nutritional, immunological, and environmental stress that affects the intestinal microbiota, favors gastrointestinal disorders, and compromises zootechnical performance. The use of antibiotics as growth promoters was, for a long time, the main strategy to mitigate these effects; however, their regulatory restriction has intensified the search for natural alternatives. Among them, anacardic acid stands out, a phenolic compound present in cashew nut shell liquid (*Anacardium occidentale*), recognized for its antimicrobial, antioxidant, and microbiota-modulating properties. The objective of this work was to review the scientific literature on the use of anacardic acid as a potential phytogenic additive in the diet of piglets during the nursery phase. The methodology consisted of a bibliographic survey in national and international databases, including experimental and review articles published over the last two decades. The studies analyzed demonstrate that anacardic acid can reduce the incidence of diarrhea, improve intestinal morphology, stimulate immune mechanisms, and promote microbiota balance, resulting in productive performance comparable to that obtained with conventional antibiotics. However, the effectiveness of the compound depends on factors such as dosage, extraction method, and association with other additives, indicating the need for standardization. It is concluded that anacardic acid shows potential as a natural alternative to antimicrobials in swine production, especially during the nursery phase. Nevertheless, further studies are essential to confirm its practical applicability, define protocols of use, and assess its economic feasibility.

1 INTRODUÇÃO

O período de desmame é uma fase crítica na produção suína, marcada por importantes mudanças fisiológicas e ambientais, bem como pela transição alimentar, separação da mãe e reagrupamento com outros leitões (Xu et al., 2022). Essas mudanças afetam significativamente a microbiologia, imunologia e fisiologia do trato gastrointestinal (TGI) dos leitões (Pluske; Turpin; Kim, 2018), contribuindo para disfunções intestinais e maior suscetibilidade a doenças entéricas (Yu et al., 2024).

O leitão recém-desmamado apresenta elevadas exigências energéticas para sustentar os processos fisiológicos relacionados ao desenvolvimento corporal e a maturação do sistema imunológico (Le Dividich; Sève, 2000). Em contrapartida, a capacidade digestiva necessária para o aproveitamento eficiente de nutrientes ainda é limitada, uma vez que os órgãos do trato gastrointestinal se encontram em desenvolvimento, e a atividade das enzimas digestivas endógenas é reduzida (Denck; Hilgemberg; Lehnen, 2017). Nesse cenário, nutrientes não digeridos servem como substrato e proporcionam condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos indesejáveis no trato digestivo dos leitões (Bolduan et al., 1988).

Para promover melhorias na saúde intestinal e no desempenho zootécnico, comumente são utilizados antimicrobianos em dosagens subterapêuticas nas dietas dos leitões, denominados antimicrobianos promotores de crescimento (Névoa et al., 2013). Os efeitos da melhoria do desempenho zootécnico decorrem da ação dessas substâncias no trato digestório sobre a microbiota intestinal, que diminui a competição por nutrientes e reduz a produção de metabólitos que deprimem o crescimento dos animais. O uso de antimicrobianos como promotores de crescimento, embora comum, enfrenta restrições devido a preocupação ética com os riscos de desenvolvimento de resistência antimicrobiana e segurança do alimento (Mestrovic et al., 2022; Van Boeckel et al., 2015)

A partir de 2006, a União Europeia proibiu o uso de antibióticos como promotores de crescimento (APCs) na produção animal, e o Brasil alinhou-se às recomendações internacionais de combate à resistência antimicrobiana ao publicar a Instrução Normativa nº 1, de 13 de janeiro de 2020, na qual o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) proibiu a fabricação, importação e comercialização de produtos destinados à alimentação animal que contivessem determinados antimicrobianos utilizados como promotores de crescimento, especialmente aqueles de relevância na

terapêutica humana. Entre os compostos incluídos nessa restrição destacam-se a tiamulina, a colistina e a tilosina, tradicionalmente empregados para melhorar o desempenho produtivo em sistemas de criação intensiva. Neste cenário, os aditivos fitogênicos têm se mostrado uma alternativa viável a fim de promover o crescimento dos animais de forma segura e sustentável (Noschang et al., 2017).

Segundo Yang et al. (2015), probióticos, enzimas, bacteriófagos e extratos vegetais são alguns produtos que podem ser utilizados como alternativa aos antimicrobianos para melhorar a saúde e o desempenho produtivo em animais domésticos. Dentre eles, tem se destacado o extrato de casca de castanha de caju, um subproduto com atividade antibacteriana contra bactérias gram-positivas (Kubo; Lee; Kubo, 1999; Watanabe et al., 2010).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desafios nutricionais pós desmame

O desmame é reconhecido como um dos períodos mais críticos no manejo de suínos, pois os leitões enfrentam simultaneamente a interrupção abrupta da interação social com a porca e com os irmãos de ninhada, além do estresse relacionado à adaptação a um novo ambiente (Connolly; Sweeney; O'Doherty, 2025; Lallès et al., 2007). A transição da alimentação líquida, baseada no leite materno, para a dieta sólida constitui um fator adverso ao ambiente intestinal dos leitões, frequentemente resultando em digestão ineficiente, disbiose e ocorrência de diarreia pós-desmame (DPD), sendo este último um dos principais desafios sanitários e econômicos da suinocultura (Gilbert et al., 2018; Heo et al., 2013). Essa combinação de fatores impõe grande pressão aos animais, sendo comumente acompanhada por alterações na morfologia intestinal, comprometimento da função de barreira e desequilíbrios na microbiota (Jayaraman; Nyachoti, 2017).

O leitão recém-desmamado apresenta elevadas demandas energéticas para sustentar os processos fisiológicos associados ao crescimento corporal e à maturação do sistema imunológico (Le Dividich; Sève, 2000). Em contrapartida, a capacidade digestiva necessária para o aproveitamento eficiente dos nutrientes ainda é limitada, uma vez que os órgãos do trato gastrointestinal permanecem em desenvolvimento, e a atividade das enzimas digestivas endógenas encontra-se reduzida (Denck; Hilgemberg; Lehnen, 2017). Essa limitação é especialmente relevante no caso das proteínas de origem vegetal, que são menos susceptíveis

à hidrólise enzimática quando comparadas às proteínas animais (Berrazaga et al., 2019). Assim, durante o período pós-desmame, quando o leitão inicia o consumo de dietas sólidas compostas por ingredientes vegetais, aumenta a suscetibilidade a distúrbios gastrointestinais (Bolduan et al., 1988).

Durante a lactação, os leitões utilizam predominantemente a lactose como principal fonte de energia. A fermentação desse carboidrato leva à produção de ácido láctico, que contribui para a manutenção da acidez gástrica, compensando a imaturidade na secreção de ácido clorídrico. Com o desmame e a introdução da ração sólida, a produção de ácido láctico é significativamente reduzida, elevando o pH gástrico para aproximadamente 5,0 — valor insuficiente para a ativação ideal da pepsina e, conseqüentemente, para uma digestão proteica adequada (Suiryarayna; Ramana, 2015).

Como consequência, quantidades consideráveis de proteínas não digeridas alcançam o cólon distal, onde são fermentadas por microrganismos proteolíticos. Esse processo gera metabólitos nitrogenados tóxicos que prejudicam a homeostase intestinal, favorecem processos inflamatórios e comprometem a integridade da barreira epitelial intestinal (O'Doherty; Bouwhuis; Sweeney, 2017; Pieper et al., 2016; Zhang et al., 2020).

Considerando a alimentação como um dos principais moduladores da microbiota intestinal, alterações na dieta impactam diretamente a disponibilidade de substratos fermentáveis, promovendo mudanças no microbioma e no metaboloma (Han et al., 2024). Dessa forma, a composição da dieta exerce papel crucial na manutenção da saúde intestinal dos leitões desmamados, influenciando sua resposta fisiológica e imunológica durante esse período crítico (De Souza; Landín; García, 2010).

Além disso, o estresse decorrente do desmame compromete a resposta imune dos leitões, tornando o trato gastrointestinal mais suscetível à ação de patógenos como *Escherichia coli enterotoxigênica* (ETEC) e vírus entéricos, frequentemente associados à inflamação intestinal e à diarreia pós-desmame (Lodemann et al., 2017). Nessas condições, a capacidade de regular o ambiente intestinal é consideravelmente reduzida, especialmente na presença de múltiplos estressores, dificultando o controle do volume de fluidos no lúmen e agravando os distúrbios digestivos (Tang et al., 2024).

2.2 O uso de antibióticos promotores de crescimento

Uma proporção considerável da suinocultura mundial utiliza antibióticos como promotores de crescimento incorporados à ração, com o objetivo de mitigar os desafios fisiológicos e sanitários enfrentados pelos leitões durante o período pós-desmame (Nhara; Marume; Nantapo, 2024). Esses antibióticos promovem melhoria na conversão alimentar dos animais, embora não apresentem efeito significativo sobre a qualidade da carcaça (Li, 2017). O efeito positivo sobre o crescimento está relacionado à ação antibacteriana dos fármacos, que ocorre principalmente pela inibição de funções celulares essenciais, como a síntese de parede celular, proteínas ou DNA, resultando na morte bacteriana ou na inibição do seu crescimento (Cromwell, 2002; Nhara; Marume; Nantapo, 2024). Consequentemente, ocorre redução da competição por nutrientes no intestino e menor produção de metabólitos microbianos que poderiam prejudicar o desempenho zootécnico dos animais (Li, 2017). No entanto, a eficácia desses efeitos varia consideravelmente devido à diversidade química e ao espectro de ação dos diferentes antibióticos (Li, 2017).

O uso excessivo de antibióticos na pecuária tem sido um fator central na disseminação de genes de resistência antimicrobiana (RAM) entre bactérias patogênicas, podendo contribuir para o aumento de infecções resistentes em humanos (Mestrovic et al., 2022; Van Boeckel et al., 2015). Além do impacto sobre a saúde pública, o uso abusivo de antibióticos pode comprometer o desenvolvimento intestinal dos animais, afetar a homeostase metabólica e até gerar efeitos transgeracionais (Cox et al., 2014; De Greeff et al., 2020; Zarrinpar et al., 2018). O problema se intensifica quando os fármacos são administrados continuamente e em baixas doses, prática que exerce forte pressão seletiva sobre a microbiota, favorecendo o surgimento de resistência, contaminação ambiental e presença de resíduos nos alimentos de origem animal, podendo gerar novos genes e cepas resistentes (Aslam et al., 2021; Rahman; Fliss; Biron, 2022).

A crescente preocupação da comunidade científica com a segurança do alimento tem enfatizado os riscos do uso de antibióticos em rações animais (Santos et al., 2016). O uso indiscriminado desses fármacos contribui para resistência bacteriana e contaminação ambiental (López-Gálvez et al., 2021). Nesse contexto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) passou a recomendar restrição do uso de antimicrobianos como promotores de crescimento, permitindo sua aplicação apenas para fins terapêuticos mediante prescrição veterinária, com monitoramento da resistência em animais de produção (Titto; Brandi, 2022).

Seguindo essa diretriz, a União Europeia banuiu, em 2006, o uso de antibióticos como melhoradores de desempenho, enquanto Estados Unidos e Canadá iniciaram restrições similares a partir de janeiro de 2017 (FDA, 2012; Gaggia; Mattarelli; Biavati, 2010). No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) tem implementado regulamentações progressivas para limitar o uso de substâncias com potencial risco à saúde pública e ao meio ambiente, especialmente quando aplicadas como promotores de crescimento (Chaves et al., 2024).

A proibição do uso de antibióticos como promotores de crescimento em dietas de leitões representa um grande desafio para a indústria suínica (Nuamah et al., 2024). Esse contexto estimulou o interesse da comunidade científica na busca e desenvolvimento de alternativas naturais capazes de manter a saúde intestinal dos leitões durante o desmame (Attia et al., 2019).

2.3 Líquido da casca da castanha de caju (LCC)

O fruto verdadeiro do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é a castanha, composta por um epicarpo fino que forma a camada externa macia, de coloração marrom-escura (Diaz et al., 2015). Abaixo do epicarpo situa-se o mesocarpo, uma estrutura esponjosa e alveolar que contém alta concentração de um óleo viscoso e cáustico, de tonalidade marrom-escura, denominado líquido da casca da castanha de caju (LCC), reconhecido como uma fonte natural de lipídeos fenólicos (Mazzetto; Lomonaco; Mele, 2009; Paiva; Garrutti; Silva Neto, 2000).

A principal característica do LCC é a presença de compostos fenólicos como os ácidos anacárdicos, seguidos pelos cardois, e em menores teores de cardanois (Agostini-Costa; Lima; Lima, 2003). Diferentes processos são usados para obter o LCC, sendo os mais relevantes a extração a frio, a extração por solvente e o processo térmico-mecânico, com os dois últimos sendo os mais utilizados pela indústria (Mazzetto; Lomonaco; Mele, 2009).

Na extração a frio, o LCC contém ácido anacárdico (60-65%), cardol (15-20%), cardanol (10%), sendo chamado de LCC natural (Kumar et al., 2002). No processo térmico-mecânico, a temperatura (180-200°C) rompe a casca externa, liberando o LCC. O aumento da temperatura altera a composição química do LCC, pois o ácido anacárdico perde o grupo carboxila, convertendo-se em cardanol, que é 32 vezes menos ativo (Himejima; Kubo, 1991; Watanabe et al., 2010). Assim, o LCC técnico, obtido por esse processo, tem menor atividade

antimicrobiana que o LCC natural, pois contém principalmente cardanol (60-65%) e cardol (15-20%), compostos menos potentes que o ácido anacárdico (Mazzetto; Lomonaco; Mele, 2009).

O mecanismo bactericida do LCC ainda não foi totalmente esclarecido, mas sua ação antibacteriana parece estar relacionada ao caráter anfipático dos lipídios fenólicos. A interação dos grupos hidroxílicos do anel aromático com fosfolipídios por ligações de hidrogênio confere ao LCC alta afinidade pelas membranas bacterianas (Kozubek; Tyman, 1999). Ao se incorporarem às membranas celulares, os lipídios fenólicos danificam suas proteínas, aumentando a permeabilidade e causando a saída de componentes citoplasmáticos, resultando em lise celular (Burt, 2004; Himejima; Kubo, 1991).

Além disso, compostos fenólicos podem inibir a síntese de piruvato ao interferirem na ação da enzima glicerol-3-fosfato-desidrogenase (Swamy Parasa et al., 2011). Ao interferir na ação da glicerol-3-fosfato-desidrogenase, os compostos fenólicos reduzem a disponibilidade de piruvato, prejudicando a geração de ATP e comprometendo processos vitais como a respiração celular e a síntese de biomoléculas.

O LCC também pode quelar ferro (Fe^{2+}) e cobre (Cu^{2+}), reduzindo sua biodisponibilidade para as bactérias. O Fe^{2+} é essencial para a formação de moléculas envolvidas na respiração celular (citocromos), enquanto o Cu^{2+} participa do metabolismo energético e atua como cofator de enzimas como citocromo oxidase e superóxido dismutase (Tsujimoto et al., 2007).

2.4 Ácido anacárdico

O ácido anacárdico destaca-se por sua atividade antitumoral, antibacteriana, antifúngica e antioxidante, e sua capacidade de inibir as enzimas tirosinase, prostaglandina sintase e lipoxigenase (Toyomizu et al., 2003). Também foi demonstrado que o ácido anacárdico exibe atividade antimicrobiana direta contra uma série de espécies bacterianas, incluindo *Staphylococcus*, *Salmonella* e *Escherichia coli* (Eslami et al., 2014; Kubo; Lee; Kubo, 1999).

Hollands et al., (2016), ao avaliarem a capacidade antibacteriana do ácido anacárdico, em uma forma comercial totalmente saturada e na forma natural extraída da casca da castanha, descobriram que o ácido anacárdico estimula a produção de espécies reativas de oxigênio e armadilhas extracelulares de neutrófilos, dois mecanismos utilizados pelos neutrófilos para matar bactérias invasoras.

De acordo com Duarte e Kim (2022), os produtos da casca da castanha de caju podem modular a microbiota intestinal, atuando diretamente na eliminação de bactérias ou modulando o sistema imunológico do hospedeiro, o que, por sua vez, interage com a microbiota. Contribuindo para o equilíbrio da microbiota intestinal ao inibir o crescimento de bactérias patogênicas e induzir a apoptose celular (Muzaffar; Chattoo, 2017).

De Matos et al. (2017) investigaram o uso de anacardato de cálcio na dieta de leitões na fase de creche e verificaram que os animais alimentados com dietas contendo antibiótico ou anacardato de cálcio apresentaram maior ganho de peso e melhor conversão alimentar em comparação àqueles que receberam dietas sem promotor de crescimento. De forma complementar, (Ferreira et al., 2020) avaliaram os efeitos da suplementação dietética com anacardato de cálcio associado ao ácido cítrico em leitões desmamados, observando impactos positivos no desempenho de crescimento, na incidência de diarreia, no pH gastrointestinal, na morfometria intestinal, no perfil sanguíneo e em marcadores imunohistoquímicos ao longo de três períodos experimentais.

Moita et al. (2021), ao estudarem a suplementação com óleos funcionais contendo óleo de rícino e LCC, observaram melhoria na eficiência alimentar de suínos na fase de creche durante os primeiros dias, sem efeitos negativos sobre o desempenho de crescimento ao longo do período experimental. No mesmo estudo, os autores também demonstraram que a suplementação com óleos funcionais promoveu alterações na microbiota intestinal, aumentando a abundância relativa de *Firmicutes* e *Bacteroidetes* e reduzindo a razão *Firmicutes/Bacteroidetes*. Além disso, houve redução na abundância relativa de Proteobacteria e aumento de *Firmicutes*. Essas alterações podem ser atribuídas ao cardol e ao ácido anacárdico presentes no LCC, que atuam como ionóforos monovalentes, causando danos à membrana celular de bactérias Gram-negativas e, conseqüentemente, diminuindo sua população (Abbas; Colwell; Gilleard, 2012).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ácido anacárdico, presente na casca da castanha de caju, tem se mostrado uma alternativa potencial aos antimicrobianos convencionais em dietas de leitões na fase de creche. Suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes, associadas à modulação da microbiota intestinal, indicam efeitos positivos sobre o desempenho produtivo. No entanto,

são necessários mais estudos para consolidar sua eficácia, segurança e viabilidade como aditivo fitogênico de uso rotineiro na suinocultura.

REFERÊNCIAS

ABBAS, R. Z.; COLWELL, D. D.; GILLEARD, J. **Botanicals: An alternative approach for the control of avian coccidiosis.** *World's Poultry Science Journal*, 2012.

AGOSTINI-COSTA, Tânia da Silveira; LIMA, Andréa; LIMA, Marcelo Victor. Determinação de tanino em pedúnculo de caju: método da vanilina versus método do butanol ácido. *Química Nova*, v. 26, n. 5, 2003.

ASLAM, Bilal *et al.* **Antibiotic Resistance: One Health One World Outlook.** *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2021.

ATTIA, Youssef A. *et al.* Evaluation of the carryover effect of antibiotic, bee pollen and propolis on growth performance, carcass traits and splenic and hepatic histology of growing rabbits. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v. 103, n. 3, 2019.

BERRAZAGA, Insaf *et al.* **The role of the anabolic properties of plant-versus animal-based protein sources in supporting muscle mass maintenance: a critical review.** *Nutrients*, 2019.

BOLDUAN, von G. *et al.* Recent advances in the nutrition of weaner piglets. 1988.

BURT, Sara. **Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review.** *International Journal of Food Microbiology*, 2004.

CHAVES, Lídia Ketry Moreira *et al.* Impacto da resistência antimicrobiana em animais de produção: Uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, v. 13, n. 9, p. e11413946963, 28 set. 2024.

CONNOLLY, Kathryn Ruth; SWEENEY, Torres; O'DOHERTY, John V. **Sustainable Nutritional Strategies for Gut Health in Weaned Pigs: The Role of Reduced Dietary Crude Protein, Organic Acids and Butyrate Production.** *Animals* Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , 1 jan. 2025.

COX, Laura M. *et al.* Altering the intestinal microbiota during a critical developmental window has lasting metabolic consequences. *Cell*, v. 158, n. 4, 2014.

CROMWELL, Gary L. Why and how antibiotics are used in swine production. *Animal Biotechnology*, v. 13, n. 1, 2002.

DE GREEFF, Astrid *et al.* The effect of maternal antibiotic use in sows on intestinal development in offspring. *Journal of Animal Science*, v. 98, n. 6, 2020.

DE MATOS, Amanda Veruska Silva *et al.* Calcium anacardate as growth promoter for piglets at the nursery phase. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 52, n. 12, 2017.

DE SOUZA, Tércia Cesária Reis; LANDÍN, Gerardo Mariscal; GARCÍA, Konisgmar Escobar. **Some physiological and nutritional factors affecting the incidence of post-weaning diarrhea in piglets.** *Veterinaria*, 2010.

DENCK, F. M.; HILGEMBERG, J. O.; LEHNEN, C. R. **Uso de acidificantes em dietas para leitões em desmame, e creche.** *Archivos de Zootecnia*, 2017.

DIAZ, Tatiana Garcia *et al.* **Artigo de Revisão LÍQUIDO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU EM DIETAS PARA RUMINANTES CASHEW NUT SHELL LIQUID IN DIETS FOR RUMINANTS** *Revista Campo Digit@l*. [S.l.: S.n.]. Disponível em: <<http://revista.grupointegrado.br/revista/index.php/campodigital>>.

DUARTE, Marcos Elias; KIM, Sung Woo. **Intestinal microbiota and its interaction to intestinal health in nursery pigs.** *Animal Nutrition*, 2022.

ESLAMI, Gita *et al.* Comparison of the inhibitory effects of antibiotics with that of pistachio skin extract on enteric bacteria. **Archives of Clinical Infectious Diseases**, v. 9, n. 2, 2014.

FDA. **Guidance for Industry -The Judicious Use of Medically Important Antimicrobial Drugs in Food-Producing Animals** *Federal Register*. [S.l.: S.n.].

FERREIRA, J. L. *et al.* Calcium anacardate and citric acid as growth promoters for weaned piglets. **Livestock Science**, v. 238, 2020.

GAGGIÀ, Francesca; MATTARELLI, P.; BIAVATI, Bruno. **Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production.** *International Journal of Food Microbiology*, 2010.

GILBERT, Myrthe S. *et al.* Protein fermentation in the gut; implications for intestinal dysfunction in humans, pigs, and poultry. **American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology**, v. 315, n. 2, 2018.

HAN, Mengmeng *et al.* Effects of Dietary *Eucommia ulmoides* Leaf Extract Supplementation on Growth Performance, Meat Quality, Antioxidant Capacity, and Lipid Metabolism of Finishing Pigs. **Antioxidants**, v. 13, n. 3, 2024.

HEO, J. M. *et al.* **Gastrointestinal health and function in weaned pigs: A review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds.** *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2013.

HIMEJIMA, Masaki; KUBO, Isao. Antibacterial Agents from the Cashew *Anacardium occidentale* (Anacardiaceae) Nut Shell Oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, n. 2, 1991.

HOLLANDS, Andrew *et al.* Natural product anacardic acid from cashew nut shells stimulates neutrophil extracellular trap production and bactericidal activity. **Journal of Biological Chemistry**, v. 291, n. 27, 2016.

JAYARAMAN, Balachandar; NYACHOTI, Charles M. **Husbandry practices and gut health outcomes in weaned piglets: A review.** **Animal Nutrition**, 2017.

KOZUBEK, Arkadiusz; TYMAN, John H. P. Resorcinolic lipids, the natural non-isoprenoid phenolic amphiphiles and their biological activity. **Chemical Reviews**, v. 99, n. 1, 1999.

KUBO, Jun; LEE, Jae Ran; KUBO, Isao. Anti-*Helicobacter pylori* agents from the cashew apple. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 2, 1999.

KUMAR, P. Phani *et al.* Process for isolation of cardanol from technical cashew (*Anacardium occidentale* L.) Nut shell liquid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 16, 2002.

LALLÈS, Jean Paul *et al.* Weaning - A challenge to gut physiologists. **Livestock Science**, v. 108, n. 1–3, 2007.

LE DIVIDICH, J.; SÈVE, B. Effects of underfeeding during the weaning period on growth, metabolism, and hormonal adjustments in the piglet. *In*: 2000.

LI, Junyou. Current status and prospects for in-feed antibiotics in the different stages of pork production - A review. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 30, n. 12, 2017.

LODEMANN, Ulrike *et al.* Effects of Ex Vivo Infection with ETEC on Jejunal Barrier Properties and Cytokine Expression in Probiotic-Supplemented Pigs. **Digestive Diseases and Sciences**, v. 62, n. 4, 2017.

LÓPEZ-GÁLVEZ, Gloria *et al.* **Alternatives to antibiotics and trace elements (copper and zinc) to improve gut health and zootechnical parameters in piglets: A review.** **Animal Feed Science and Technology**, 2021.

MAZZETTO, Selma Elaine; LOMONACO, Diego; MELE, Giuseppe. Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial. **Química Nova**, v. 32, n. 3, 2009.

MESTROVIC, Tomislav *et al.* The burden of bacterial antimicrobial resistance in the WHO European region in 2019: a cross-country systematic analysis. **The Lancet Public Health**, v. 7, n. 11, 2022.

- MOITA, Vitor Hugo C. *et al.* Supplemental effects of functional oils on the modulation of mucosa-associated microbiota, intestinal health, and growth performance of nursery pigs. **Animals**, v. 11, n. 6, 2021.
- MUZAFFAR, Suhail; CHATTOO, Bharat B. Apoptosis-inducing factor (Aif1) mediates anacardic acid-induced apoptosis in *Saccharomyces cerevisiae*. **Apoptosis**, v. 22, n. 3, 2017.
- NÉVOA, M. L. *et al.* Antimicrobianos e Prebióticos nas Dietas de Animais Não Ruminantes. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 2, 2013.
- NHARA, Rumbidzai Blessing; MARUME, Upenyu; NANTAPO, Carlos Wyson Tawanda. **Potential of Organic Acids, Essential Oils and Their Blends in Pig Diets as Alternatives to Antibiotic Growth Promoters**. **Animals**, 2024.
- NOSCHANG, Joana Piagetti *et al.* Growth promoters (antibiotics) in swine feeding – Review. **Revista eletrônica de Veterinaria**, v. 18, 2017.
- NUAMAH, Emmanuel *et al.* **Dietary Supplementation of Tannins: Effect on Growth Performance, Serum Antioxidant Capacity, and Immunoglobins of Weaned Piglets—A Systematic Review with Meta-Analysis**. **Antioxidants**, 2024.
- O'DOHERTY, J. V.; BOUWHUIS, M. A.; SWEENEY, T. **Novel marine polysaccharides and maternal nutrition to stimulate gut health and performance in post-weaned pigs**. **Animal Production Science**, 2017.
- PAIVA, Francisco Fábio de Assis; GARRUTTI, Deborah dos Santos; SILVA NETO, Raimundo Marcelino da. **Aproveitamento Industrial do caju**. [S.l.: S.n.].
- PIEPER, R. *et al.* **Health relevance of intestinal protein fermentation in young pigs**. **Animal Health Research Reviews**, 2016.
- PLUSKE, John R.; TURPIN, Diana L.; KIM, Jae Cheol. **Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig**. **Animal Nutrition**, 2018.
- RAHMAN, Md Ramim Tanver; FLISS, Ismail; BIRON, Eric. **Insights in the Development and Uses of Alternatives to Antibiotic Growth Promoters in Poultry and Swine Production**. **Antibiotics**, 2022.
- SANTOS, A. V. *et al.* Additive antibiotic, probiotic and prebiotic for early weaned piglets. **Ciencia Animal Brasileira**, v. 17, n. 1, 2016.
- SUIRYANRAYNA, Mocherla V. A. N.; RAMANA, J. V. **A review of the effects of dietary organic acids fed to swine**. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, 2015.

SWAMY PARASA, Lakshmana *et al.* Acetone extract of Cashew (*Anacardium occidentale*, L.) nuts shell liquid against Methicillin resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) by minimum inhibitory concentration (MIC). **J. Chem. Pharm. Res**, v. 3, n. 5, 2011.

TANG, Qingsong *et al.* Nutrition strategies to control post-weaning diarrhea of piglets: From the perspective of feeds. **Animal Nutrition**, v. 17, p. 297–311, 1 jun. 2024.

TITTO, Cristiane Gonçalves;; BRANDI, Roberta Ariboni. **O papel da zootecnia no cenário mundial**. [S.l.]: Universidade de São Paulo. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, 2022.

TOYOMIZU, Masaaki *et al.* Reducing effect of dietary anacardic acid on body fat pads in rats. **Animal Science Journal**, v. 74, n. 6, 2003.

TSUJIMOTO, Kazuo *et al.* Anacardic acids and ferric ion chelation. **Zeitschrift fur Naturforschung - Section C Journal of Biosciences**, v. 62, n. 9–10, 2007.

VAN BOECKEL, Thomas P. *et al.* Global trends in antimicrobial use in food animals. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 18, 2015.

WATANABE, Y. *et al.* In vitro evaluation of cashew nut shell liquid as a methane-inhibiting and propionate-enhancing agent for ruminants. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 11, 2010.

XU, Qianqian *et al.* Early Weaning Stress Induces Intestinal Microbiota Disturbance, Mucosal Barrier Dysfunction and Inflammation Response Activation in Pigeon Squabs. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, 2022.

YANG, Chengbo *et al.* **Phytogenic compounds as alternatives to in-feed antibiotics: Potentials and challenges in application**. **Pathogens**, 2015.

YU, Sung Joon *et al.* Pioneering gut health improvements in piglets with phytogenic feed additives. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 108, n. 1, 2024.

ZARRINPAR, Amir *et al.* Antibiotic-induced microbiome depletion alters metabolic homeostasis by affecting gut signaling and colonic metabolism. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, 2018.

ZHANG, Hanlu *et al.* **Impact of fermentable protein, by feeding high protein diets, on microbial composition, microbial catabolic activity, gut health and beyond in pigs**. **Microorganisms**, 2020.

ALTERAÇÕES NO TRATO GASTROINTESTINAL DE SUÍNOS PÓS-DESMAME: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Thatila Ellinna Batista de Lima

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9571311609173283>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0118-1160>

Kilvia Karoline de Souza Viveiros Melo

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0144873251686292>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4547-1650>

Isabely Cristina de Araújo Lima

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9579843141399323>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7248-2170>

Eulália Moura Fraga

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3512365329173790>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8711-2705>

Flávia Ferreira Teodosio

Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/7303874487788330>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2788-0611>

Valéria Marinho Leite Falcão

Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2462783412385100>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9412-9520>

Cícero Jorge de Medeiros

Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1042001383378796>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1964-0465>

Marcos Rafael de Sousa Rodrigues

Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2138759696019020>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8572-8337>

RESUMO

Palavras-chave:

Leitões desmamados;
Creche;
Morfologia intestinal;
Desbiose;
Desempenho produtivo

O desmame é uma etapa crítica na produção suinícola, marcada por intensas mudanças ambientais, nutricionais e sociais que afetam negativamente a fisiologia intestinal dos leitões. O objetivo desta revisão foi reunir e discutir as principais alterações morfofuncionais, microbiológicas e fisiológicas que ocorrem no trato gastrointestinal de leitões após o desmame, bem como suas consequências produtivas e sanitárias. Foram consultadas publicações científicas nacionais e internacionais disponíveis em bases de dados especializadas, priorizando estudos relevantes para a temática. Observou-se que o desmame promove rápida atrofia das vilosidades, hiperplasia de criptas e redução da atividade enzimática intestinal, resultando em menor capacidade digestiva e absorptiva. Além disso, ocorre desestabilização da microbiota intestinal, caracterizada pela diminuição de microrganismos benéficos, como *Lactobacillus*, e pelo aumento de patógenos, como *Escherichia coli*, favorecendo quadros de disbiose e inflamação. Essas mudanças estruturais e microbianas prejudicam a integridade da mucosa intestinal, aumentam a permeabilidade e favorecem a ocorrência de diarreia pós-desmame, um dos principais desafios sanitários e econômicos da suinocultura moderna. Conclui-se que o desmame desencadeia um conjunto complexo de alterações fisiológicas que comprometem a saúde e o desempenho dos leitões, reforçando a importância de estratégias nutricionais e de manejo que minimizem esses efeitos adversos e promovam melhor adaptação à dieta sólida e ao novo ambiente.

CHANGES IN THE GASTROINTESTINAL TRACT OF POST-WEANING PIGS: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

Keywords:

Weaned piglets;
Nursery phase;
Intestinal morphology;
Dysbiosis;
Productive performance

Weaning is one of the most critical periods in swine production, characterized by nutritional, immunological, and environmental stress that affects the intestinal microbiota, favors gastrointestinal disorders, and compromises zootechnical performance. The use of antibiotics as growth promoters was, for a long time, the main strategy to mitigate these effects; however, their regulatory restriction has intensified the search for natural alternatives. Among them, anacardic acid stands out, a phenolic compound present in cashew nut shell liquid (*Anacardium occidentale*), recognized for its antimicrobial, antioxidant, and microbiota-modulating properties. The objective of this work was to review the scientific literature on the use of anacardic acid as a potential phyto-genic additive in the diet of piglets during the nursery phase. The methodology consisted of a bibliographic survey in national and international databases, including experimental and review articles published over the last two decades. The studies analyzed demonstrate that anacardic acid can reduce the incidence of diarrhea, improve intestinal morphology, stimulate immune mechanisms, and promote microbiota balance, resulting in productive performance comparable to that obtained with conventional antibiotics. However, the effectiveness of the compound depends on factors such as dosage, extraction method, and association with other additives, indicating the need for standardization. It is concluded that anacardic acid shows potential as a natural alternative to antimicrobials in swine production, especially during the nursery phase. Nevertheless, further studies are essential to confirm its practical applicability, define protocols of use, and assess its economic feasibility.

1 INTRODUÇÃO

O desmame é considerado um dos períodos mais críticos no manejo de suínos (Zheng et al., 2021), pois está associado a estresses de ordem ambiental, social e alimentar (Lallès et al., 2004; Shen et al., 2012). Esses fatores resultam em baixa ingestão de ração, perda de peso corporal e elevada incidência de diarreia, podendo, conseqüentemente, levar à mortalidade (Hampson, 1986; Heo et al., 2013).

O desmame precoce é uma estratégia utilizada para aumentar a produtividade das porcas, porém pode gerar significativo estresse nos leitões (Upadhaya; Kim, 2021). Em condições naturais, os leitões são desmamados entre 12 e 17 semanas de idade (Jensen, 1986; Milk and Dairy Products in Human Nutrition, 2013). No entanto, em sistemas de produção comercial, o desmame é realizado de forma muito mais precoce, geralmente entre 3 e 4 semanas de idade.

Após esse manejo, os animais são expostos a múltiplos estressores decorrentes da separação da porca, da realocação com novos companheiros de lote e da transição abrupta da dieta líquida para a alimentação sólida (Kim, 2017). A ingestão insuficiente de ração nesse período compromete a utilização dos nutrientes da dieta e promove inflamação local (McCracken et al., 1999; Pluske; Hampson; Williams, 1997; Weaver et al., 2014). O intestino, sendo o principal local de digestão e absorção de nutrientes, apresenta distúrbios caracterizados por mudanças na arquitetura e na função, como atrofia de vilosidades, hiperplasia de criptas e aumento da permeabilidade intestinal (Spreeuwenberg et al., 2001).

Além disso, o estresse do desmame frequentemente compromete a função imunológica dos leitões, tornando o intestino mais suscetível a ataques de patógenos como *Escherichia coli* e vírus causadores de diarreia, que podem facilmente provocar inflamação intestinal (Lodemann et al., 2017). Nessas condições, torna-se difícil para o leitão processar de maneira eficiente grandes volumes de fluido no lúmen intestinal, especialmente quando enfrenta múltiplos fatores de estresse (Tang et al., 2024a).

A diarreia pós-desmame é um distúrbio entérico de grande impacto econômico na suinocultura, devido às perdas financeiras associadas (Amezcuca et al., 2002). Estima-se que cerca de 49% das mortes de leitões estejam relacionadas a infecções diarreicas, as quais representam uma das principais causas de prejuízos à indústria suinícola em escala mundial (Yang et al., 2017).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Morfologia intestinal

A integridade da estrutura intestinal é a garantia da digestão e absorção de nutrientes dos leitões (Tang et al., 2022). O revestimento epitelial do intestino delgado possui vilosidades, que aumentam a área de superfície disponível para a digestão e absorção de nutrientes. Na base dessas vilosidades, localizam-se as criptas, que se abrem no lúmen intestinal. As vilosidades são revestidas predominantemente por enterócitos, células caliciformes e células enteroendócrinas, enquanto as criptas constituem o principal local de células-tronco, células proliferativas e indiferenciadas, além de abrigarem um subconjunto de células secretoras diferenciadas, como as células de Paneth, caliciformes e enteroendócrinas (Peterson; Artis, 2014).

A morfologia intestinal, incluindo altura das vilosidades, profundidade das criptas e a proporção entre altura das vilosidades e profundidade das criptas refletem o estado de saúde e absorção da função intestinal (Tang; Xiong, 2022a). Após o desmame, ocorre uma série consistente de alterações no intestino (Zheng et al., 2021). Dentro de 24 horas, observa-se uma redução de 75% na altura das vilosidades em comparação ao período pré-desmame (Hampson, 1986). Essa redução é decorrente do aumento na perda celular e/ou da diminuição na produção de células das criptas (Hampson, 1986).

A atrofia das vilosidades, associada à menor produção celular nas criptas durante o período pós-desmame, resulta na perda de enterócitos maduros, o que pode comprometer a absorção de nutrientes (Hedemann; Højsgaard; Jensen, 2003; Moeser et al., 2007; Moeser; Pohl; Rajput, 2017). Além disso, a menor ação enzimática da borda em escova, como lactase e peptidases, bem como à diminuição na expressão de transportadores de nutrientes, o que tem sido associado à redução da altura das vilosidades intestinais (Hampson; Kidder, 1986; Tsukahara et al., 2013).

A redução na altura das vilosidades e na relação vilosidade:cripta é indicativa de comprometimento da função da mucosa intestinal, culminando em menor eficiência nos processos de digestão e absorção (Tang et al., 2022). Em contraste, o aumento da altura das vilosidades e da relação vilosidade:cripta, aliado à redução da profundidade das criptas, reflete melhor condição morfofuncional e maior eficiência do intestino (Qin et al., 2019; Tang; Xiong, 2022b).

Como é bem conhecido, alterações na estrutura viloso-cripta são universais em animais desmamados, como a eliminação de vilosidades intestinais, hiperplasia de cripta e atrofia da mucosa intestinal, o que destrói ainda mais a função de barreira da mucosa intestinal e a capacidade digestiva e de absorção (Heo et al., 2013; Qin et al., 2019; Tang et al., 1999, 2021; Tang; Xiong, 2022b). Por exemplo, um estudo de Bomba et al. (2014) mostrou que, 5 dias após o desmame (33 dias de idade), a altura das vilosidades e a proporção entre altura das vilosidades e profundidade das criptas no íleo dos leitões eram significativamente menores do que antes do desmame (28 dias de idade).

Da mesma forma, Hu et al. (2013) Verificaram a deterioração da morfologia intestinal induzida pelo desmame, caracterizada pela redução na altura das vilosidades e na relação vilosidade:cripta nos dias 3 e 7 pós-desmame, em comparação ao período pré-desmame, sem recuperação completa desses parâmetros até o dia 14 pós-desmame. Além disso, Boudry et al. (2004) relataram que o desmame induziu mudanças estruturais duradouras no intestino delgado dos leitões, o que mostrou que a altura das vilosidades do jejuno ainda era significativamente menor no dia 15 pós-desmame do que antes do desmame. Além disso, verificou-se que o estresse associado ao desmame resultou em diminuição do peso relativo do intestino delgado, de modo que o peso total intestinal aos 15 dias pós-desmame representou aproximadamente 50% daquele registrado antes do desmame (Montagne et al., 2007). De forma geral, o desmame precoce está associado a alterações morfológicas adversas no intestino de leitões, incluindo vilosidades mais curtas, criptas mais profundas, menor relação vilosidade:cripta e redução do peso relativo intestinal, indicando comprometimento da estrutura e da função intestinal.(Tang et al., 2022) .

2.2 Permeabilidade intestinal

O intestino é um órgão dinâmico que interage constantemente com substâncias externas (Han et al., 2024). Por meio da secreção de enzimas digestivas, mucinas (MUC) e imunoglobulinas, realiza a absorção seletiva de nutrientes e a eliminação de toxinas e patógenos (Wijtten; Meulen; Verstegen, 2011). O funcionamento ideal desse processo depende da integridade da barreira intestinal (Tang; Xiong, 2022c, 2022a).

A barreira intestinal é constituída principalmente pela camada de muco intestinal, células imunes, microrganismos intestinais e seus metabólitos (Pluske; Turpin; Kim, 2018). Dessa forma, costuma-se considerá-la composta pela barreira mucosa, barreira imune e

barreira microbiana, que atuam de forma cooperativa para manter a homeostase intestinal (Gou et al., 2022; Suzuki, 2020; Xu et al., 2022).

Estudos demonstraram que o desmame pode diversas alterações na morfologia intestinal dos leitões (Heo et al., 2013). Essas mudanças na estrutura e função intestinal comprometem as defesas intestinais dos leitões, levando ao aumento da permeabilidade intestinal, inflamação e disfunção da barreira (Hu et al., 2013; McLamb et al., 2013).

As proteínas de junção estreita entre células epiteliais constituem barreiras que vedam o espaço paracelular, regulando a permeabilidade através da camada epitelial (Ulluwishewa et al., 2011). Essas estruturas são formadas por proteínas transmembrana, como ocludina e claudinas, além de proteínas citoplasmáticas, como a zonula occludens (Hartsock; Nelson, 2008). Atuando como barreira entre os compartimentos luminal e basolateral, as proteínas de junção estreita controlam a difusão passiva de íons e outros solutos de baixo peso molecular pela via paracelular (McKay; Baird, 1999). Essas proteínas funcionam como um filtro, permitindo a translocação de nutrientes essenciais da dieta, eletrólitos e água do lúmen intestinal para a circulação sistêmica (Blikslager et al., 2007; Bröer, 2008; Kunzelmann; Mall, 2002).

O aumento da permeabilidade intestinal pode desencadear respostas inflamatórias, facilitando a entrada de toxinas, compostos alergênicos ou microrganismos patogênicos (Arrieta; Bistriz; Meddings, 2006; Asmar et al., 2002). A integridade da barreira intestinal pode ser comprometida por diversos fatores, incluindo idade, dieta, presença de patógenos e doenças (Mullin et al., 2002; Sander; Cummins; Powell, 2005).

O desmame está associado à disfunção da barreira epitelial, favorecendo a passagem de bactérias patogênicas e compostos alergênicos do lúmen para o organismo (Pié et al., 2004; Spreeuwenberg et al., 2001). Esse processo compromete a função de barreira paracelular (Kim et al., 2019; Wijtten; Meulen; Verstegen, 2011). A absorção ativa é reduzida quando os suínos são desmamados com três semanas de idade ou antes, como parte do processo de maturação intestinal induzido pelo desmame (Zheng et al., 2021). Entretanto, quando o desmame ocorre após três semanas, a absorção ativa deixa de ser afetada, sugerindo que o desmame precoce pode prejudicar de forma significativa a função de barreira (Wijtten; Meulen; Verstegen, 2011).

2.3 Microbiota intestinal

Em mamíferos, o trato gastrointestinal abriga bilhões de microrganismos que colonizam a mucosa intestinal, formando a barreira microbiana e exercendo funções essenciais para a homeostase do hospedeiro (Bauer et al., 2006; Zhou et al., 2020). A microbiota intestinal participa dos processos digestivos e absorptivos ao modular a expressão gênica de enzimas digestivas nas células epiteliais (Willing; Van Kessel, 2009). Além disso, contribui para a nutrição do hospedeiro por meio da produção de ácidos graxos de cadeia curta (Duranti et al., 2015).

Outro papel importante da microbiota é a proteção contra microrganismos patogênicos, competindo por substratos e sítios de adesão e produzindo substâncias antimicrobianas. Essas ações colaboram para a regulação imunológica e para a manutenção da integridade funcional do intestino (Fanning et al., 2012). O desenvolvimento e a estabilização da microbiota intestinal dependem de uma complexa interação entre o genótipo do hospedeiro e fatores ambientais, entre os quais se destacam o microbioma materno, a microbiota do leite e a dieta consumida após o desmame (Bauer et al., 2006).

A dieta de leitões desmamados precocemente consiste em alimento sólido, de difícil digestão e aproveitamento pelo sistema digestivo imaturo, favorecendo o crescimento e a reprodução de determinadas bactérias patogênicas, o que resulta em disbiose da microbiota intestinal e na destruição da barreira microbiana (Shin et al., 2019).

Estudos demonstraram que a microbiota intestinal de leitões pré-desmamados e desmamados é composta predominantemente pelos filos *Firmicutes*, *Bacteroides* e *Proteobacteria*, que representam, respectivamente, 51%, 25% e 16% da composição microbiana (Cremonesi et al., 2019). As *Proteobactérias* incluem diversas espécies patogênicas, como *Escherichia*, *Salmonella*, *Vibrio* e *Helicobacter* (Chen et al., 2017).

Embora o estresse do desmame não altere os filos predominantes, ele modifica de forma significativa os níveis de microrganismos nas categorias de família e gênero. Probióticos como *Lactobacillus laurentii*, *Lactobacillus acidophilus*, *Alloprevotella* e *Oscillospira*, reconhecidos pela produção de ácidos graxos de cadeia curta e por suas funções anti-inflamatórias e de fortalecimento da barreira intestinal, sofrem acentuada redução após o desmame (Downes et al., 2013; Gophna; Konikoff; Nielsen, 2017; Konstantinov et al., 2006; Li et al., 2018).

Como as bactérias ácido-láticas desempenham papel fundamental na prevenção de doenças (Sugimoto et al., 2023), a sua redução abrupta pode favorecer a proliferação de bactérias patogênicas, como *Campylobacteraceae*, *Campylobacter* e *Escherichia coli* (Li et al., 2018; Tanghe et al., 2023; Xie et al., 2011). Além disso, *Prevotella copri* tem se destacado como a espécie mais variável em leitões desmamados, exercendo papel relevante na adaptação à nova dieta (Xiong et al., 2022). A redução na abundância de Bacteroides e sua disfunção metabólica também têm sido apontadas como potenciais marcadores microbianos da diarreia fisiológica pós-desmame (Ren et al., 2022).

2.4 Consequências das alterações do TGI

Nos primeiros dias após o desmame, a ingestão de ração tende a reduzir, e os leitões podem apresentar anorexia temporária, cuja duração e intensidade dependem das práticas de manejo e da formulação da dieta (Le Dividich; Sève, 2000). Estudos indicam que a ingestão alimentar reduzida na primeira semana pós-desmame está fortemente associada ao aumento do risco de doenças nesse período (Madec et al., 1998). Essa restrição nutricional compromete o desempenho de crescimento dos leitões, favorece respostas inflamatórias intestinais e afeta negativamente parâmetros morfológicos, como a altura das vilosidades e a profundidade das criptas (McCracken et al., 1999). Essas alterações estruturais da mucosa intestinal favorecem a multiplicação de bactérias patogênicas, como *Escherichia coli*, além de facilitar a translocação de toxinas e microrganismos pelo epitélio intestinal em decorrência da inflamação (Campbell; Crenshaw; Polo, 2013).

Diversos agentes patogênicos podem estar envolvidos na etiologia da diarreia pós desmame (DPD), como *Escherichia coli*, *Campylobacter spp.*, *Clostridium perfringens*, *Salmonella spp.*, rotavírus do grupo A, coronavírus, além de parasitas nematódeos e protozoários (Ruiz et al., 2016). A *Salmonella spp.* utiliza proteínas efetoras que são introduzidas nas células do hospedeiro por meio dos sistemas de secreção do tipo III (T3SSs), estruturas moleculares semelhantes a agulhas, que permitem a injeção dessas proteínas diretamente nos tecidos epiteliais intestinais dos suínos (Deng et al., 2017). Os T3SSs secretam uma subunidade proteica chamada "*translocon*", capaz de formar um poro na membrana da célula hospedeira, facilitando a entrega dos efetores de virulência e, conseqüentemente, comprometendo as células epiteliais intestinais, o que contribui para a disseminação da infecção (Guignot; Tran Van Nhieu, 2016; Jennings; Thurston; Holden, 2017).

Uma vez no interior da célula hospedeira, a *Salmonella* estimula a expressão de citocinas e quimiocinas pró-inflamatórias por meio do reconhecimento de padrões moleculares associados ao patógeno, como peptidoglicano, lipopolissacarídeo e flagelina. A bactéria consegue invadir rapidamente a lâmina própria intestinal e desencadear um processo inflamatório agudo (Chirullo et al., 2015). A resposta inflamatória modifica o microambiente intestinal, criando condições propícias à proliferação de microrganismos indesejáveis e impactando negativamente a composição da microbiota benéfica (Saha et al., 2024).

Embora a *Salmonella* represente um agente importante na etiologia da DPD, a infecção por *Escherichia coli enterotoxigênicas* (ETEC) é considerada uma das causas mais recorrentes de diarreia e mortalidade em leitões desmamados (Tang et al., 2024b). A maioria das ETEC associadas à DPD em leitões apresenta fímbrias F4 (K88) ou F18, sendo responsáveis por 92,7% dos casos (Frydendahl, 2002). Após a ingestão, a ETEC coloniza o intestino delgado, aderindo ao epitélio por meio de adesinas ou recobrando o muco, onde se multiplica e secreta grandes quantidades de enterotoxinas (Rhouma et al., 2017). Essas toxinas, termoestáveis e/ou termolábeis, aumentam os níveis de nucleotídeos cíclicos intracelulares, ativando o canal CFTR (regulador de condutância transmembrana da fibrose cística) e o cotransportador NKCC1 (sódio-potássio-cloreto), o que intensifica a secreção de Cl^- e reduz a absorção de Na^+ , resultando em perda excessiva de fluidos (De Haan; Hirst, 2004; Rao et al., 1980; Thiagarajah; Verkman, 2003). Além disso, a enterotoxina estimula a liberação de citocinas pró-inflamatórias e reduz a expressão de proteínas de junção celular, promovendo inflamação, aumento da permeabilidade intestinal e agravamento da diarreia (Dreyfus et al., 1993; Mukiza; Dubreuil, 2013).

Além da colonização por agentes patogênicos, o desequilíbrio eletrolítico desempenha um papel central na fisiopatologia da DPD. Foi comprovado que patógenos entéricos estimulam a secreção intestinal de eletrólitos e água, e o equilíbrio eletrolítico da dieta, geralmente expresso pelas relações Na^+/H^+ e $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$, é fortemente influenciado pelas proporções de cátions e ânions monovalentes (Farahat et al., 2013; Magnoni et al., 2017; Suzuki, 2013; Viswanathan; Hodges; Hecht, 2009). Esse equilíbrio é essencial para a função intestinal, e sua ruptura, comum no período pós-desmame, contribui para a DPD ao causar distúrbios eletrolíticos severos, perda excessiva de água e sais, e redução no desempenho de crescimento dos leitões (Guzmán-Pino et al., 2015; Patience; Austic; Boyd, 1987; Wedenoja; Höglund; Holmberg, 2010).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desmame induz alterações estruturais, fisiológicas e imunológicas no intestino dos leitões, comprometendo a absorção de nutrientes e o desempenho produtivo. A atrofia das vilosidades, a hiperplasia das criptas e o desequilíbrio da microbiota intestinal contribuem para a ocorrência de diarreia pós-desmame. Estratégias de manejo e nutrição que reduzam o estresse e promovam a estabilidade intestinal são essenciais para a saúde e crescimento dos animais.

REFERÊNCIAS

AMEZCUA, Rocio *et al.* Presentation of postweaning Escherichia coli diarrhea in southern Ontario, prevalence of hemolytic E. coli serogroups involved, and their antimicrobial resistance patterns. **Canadian Journal of Veterinary Research**, v. 66, n. 2, 2002.

ARRIETA, M. C.; BISTRITZ, L.; MEDDINGS, Jon B. **Alterations in intestinal permeability.** *Gut*, 2006.

ASMAR, Rahzi El *et al.* Host-dependent zonulin secretion causes the impairment of the small intestine barrier function after bacterial exposure. **Gastroenterology**, v. 123, n. 5, 2002.

BAUER, Eva *et al.* Influence of dietary components on development of the microbiota in single-stomached species. **Nutrition Research Reviews**, v. 19, n. 1, 2006.

BLIKSLAGER, Anthony T. *et al.* **Restoration of barrier function in injured intestinal mucosa.** *Physiological Reviews*, 2007.

BOMBA, Lorenzo *et al.* Gut response induced by weaning in piglet features marked changes in immune and inflammatory response. **Functional and Integrative Genomics**, v. 14, n. 4, 2014.

BOUDRY, Gaëlle *et al.* Weaning induces both transient and long-lasting modifications of absorptive, secretory, and barrier properties of piglet intestine. *In*: 2004.

BRÖER, Stefan. **Amino acid transport across mammalian intestinal and renal epithelia.** *Physiological Reviews*, 2008.

CAMPBELL, Joy M.; CRENSHAW, Joe D.; POLO, Javier. **The biological stress of early weaned piglets.** *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2013.

CHEN, Limei *et al.* The maturing development of gut microbiota in commercial piglets during the weaning transition. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. SEP, 2017.

CHIRULLO, Barbara *et al.* Salmonella Typhimurium exploits inflammation to its own advantage in piglets. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. SEP, 2015.

CREMONESI, Paola *et al.* Gut microbiome response to dietary prevention regimes in pre-weaning piglets. **Italian Journal of Animal Science**, v. 18, n. sup1, p. 1–239, 18 jul. 2019.

DE HAAN, Lolke; HIRST, Timothy R. **Cholera toxin: A paradigm for multi-functional engagement of cellular mechanisms (Review)**. **Molecular Membrane Biology**, 2004.

DENG, Wanyin *et al.* **Assembly, structure, function and regulation of type III secretion systems**. **Nature Reviews Microbiology**, 2017.

DOWNES, Julia *et al.* Description of *Alloprevotella rava* gen. nov., sp. nov., isolated from the human oral cavity, and reclassification of *Prevotella tannerae* Moore et al. 1994 as *Alloprevotella tannerae* gen. nov., comb. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 63, n. PART4, 2013.

DREYFUS, Lawrence A. *et al.* Calcium influx mediated by the *Escherichia coli* heat-stable enterotoxin B (STB). **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 90, n. 8, 1993.

DURANTI, Sabrina *et al.* Insights from genomes of representatives of the human gut commensal *Bifidobacterium bifidum*. **Environmental Microbiology**, v. 17, n. 7, 2015.

FANNING, Saranna *et al.* Bifidobacterial surface-exopolysaccharide facilitates commensal-host interaction through immune modulation and pathogen protection. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 6, 2012.

FARAHAT, M. H. *et al.* Effect of dietary corn dried distillers grains with solubles, canola meal, and chloride on electrolyte balance, growth performance, and litter moisture of growing turkeys. **Poultry Science**, v. 92, n. 5, 2013.

FRYDENDAHL, Kai. Prevalence of serogroups and virulence genes in *Escherichia coli* associated with postweaning diarrhoea and edema disease in pigs and a comparison of diagnostic approaches. **Veterinary Microbiology**, v. 85, n. 2, 2002.

GOPHNA, Uri; KONIKOFF, Tom; NIELSEN, Henrik Bjørn. *Oscillospira* and related bacteria – From metagenomic species to metabolic features. **Environmental Microbiology**, v. 19, n. 3, 2017.

GOU, Hong Zhong *et al.* **How do intestinal probiotics restore the intestinal barrier?** **Frontiers in Microbiology**, 2022.

GUIGNOT, Julie; TRAN VAN NHIEU, Guy. **Bacterial control of pores induced by the type III secretion system: Mind the gap**. **Frontiers in Immunology**, 2016.

GUZMÁN-PINO, S. A. *et al.* Influence of dietary electrolyte balance on feed preference and growth performance of postweaned piglets. **Journal of Animal Science**, v. 93, n. 6, 2015.

HAMPSON, D. J. Alterations in piglet small intestinal structure at weaning. **Research in veterinary science**, v. 40, n. 1, 1986.

HAMPSON, D. J.; KIDDER, D. E. Influence of creep feeding and weaning on brush border enzyme activities in the piglet small intestine. **Research in veterinary science**, v. 40, n. 1, 1986.

HAN, Xuebing *et al.* **Dietary nutrition, intestinal microbiota dysbiosis and post-weaning diarrhea in piglets.** **Animal Nutrition**, 2024.

HARTSOCK, Andrea; NELSON, W. James. **Adherens and tight junctions: Structure, function and connections to the actin cytoskeleton.** **Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes**, 2008.

HEDEMANN, M. S.; HØJSGAARD, S.; JENSEN, B. B. Small intestinal morphology and activity of intestinal peptidases in piglets around weaning. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 87, n. 1–2, 2003.

HEO, J. M. *et al.* **Gastrointestinal health and function in weaned pigs: A review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds.** **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 2013.

HU, C. H. *et al.* Early weaning increases intestinal permeability, alters expression of cytokine and tight junction proteins, and activates mitogen-activated protein kinases in pigs. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 3, 2013.

JENNINGS, Elliott; THURSTON, Teresa L. M.; HOLDEN, David W. **Salmonella SPI-2 Type III Secretion System Effectors: Molecular Mechanisms And Physiological Consequences.** **Cell Host and Microbe**, 2017.

JENSEN, Per. Observations on the maternal behaviour of free-ranging domestic pigs. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 16, n. 2, 1986.

KIM, Sung Woo. Meeting amino acid requirements in pig nutrition. *In: [S.l.: S.n.]*.

KIM, Sung Woo *et al.* Efficacy of a yeast cell wall extract to mitigate the effect of naturally co-occurring mycotoxins contaminating feed ingredients fed to young pigs: Impact on gut health, microbiome, and growth. **Toxins**, v. 11, n. 11, p. 633, 2019.

KONSTANTINOV, Sergey R. *et al.* Post-natal development of the porcine microbiota composition and activities. **Environmental Microbiology**, v. 8, n. 7, 2006.

KUNZELMANN, Karl; MALL, Marcus. **Electrolyte transport in the mammalian colon: Mechanisms and implications for disease.** **Physiological Reviews**, 2002.

LALLÈS, Jean Paul *et al.* Gut function and dysfunction in young pigs: Physiology. *In: 2004*.

LE DIVIDICH, J.; SÈVE, B. Effects of underfeeding during the weaning period on growth, metabolism, and hormonal adjustments in the piglet. *In: 2000*.

LI, Yuan *et al.* Weaning Stress Perturbs Gut Microbiome and Its Metabolic Profile in Piglets. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, 2018.

LODEMANN, Ulrike *et al.* Effects of Ex Vivo Infection with ETEC on Jejunal Barrier Properties and Cytokine Expression in Probiotic-Supplemented Pigs. **Digestive Diseases and Sciences**, v. 62, n. 4, 2017.

MADEC, F. *et al.* Measurement of digestive disorders in the piglet at weaning and related risk factors. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 35, n. 1, 1998.

MAGNONI, Leonardo J. *et al.* Dietary electrolyte balance affects growth performance, amylase activity and metabolic response in the meagre (*Argyrosomus regius*). **Comparative Biochemistry and Physiology Part - B: Biochemistry and Molecular Biology**, v. 211, 2017.

MCCRACKEN, Barbara A. *et al.* Weaning anorexia may contribute to local inflammation in the piglet small intestine. **Journal of Nutrition**, v. 129, n. 3, 1999.

MCKAY, D. M.; BAIRD, A. W. **Cytokine regulation of epithelial permeability and ion transport.** *Gut*, 1999.

MCLAMB, Brittney L. *et al.* Early Weaning Stress in Pigs Impairs Innate Mucosal Immune Responses to Enterotoxigenic *E. coli* Challenge and Exacerbates Intestinal Injury and Clinical Disease. **PLoS ONE**, v. 8, n. 4, 2013.

Milk and Dairy Products in Human Nutrition. [*S.l.: S.n.*].

MOESER, Adam J. *et al.* Stress signaling pathways activated by weaning mediate intestinal dysfunction in the pig. **American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology**, v. 292, n. 1, 2007.

MOESER, Adam J.; POHL, Calvin S.; RAJPUT, Mrigendra. **Weaning stress and gastrointestinal barrier development: Implications for lifelong gut health in pigs.** *Animal Nutrition*, 2017.

MONTAGNE, Lucile *et al.* Main intestinal markers associated with the changes in gut architecture and function in piglets after weaning. **British Journal of Nutrition**, v. 97, n. 1, 2007.

MUKIZA, Clément Ngendahayo; DUBREUIL, Daniel J. *Escherichia coli* heat-stable toxin b impairs intestinal epithelial barrier function by altering tight junction proteins. **Infection and Immunity**, v. 81, n. 8, 2013.

MULLIN, J. M. *et al.* Age- and diet-related increase in transepithelial colon permeability of Fischer 344 rats. **Digestive Diseases and Sciences**, v. 47, n. 10, 2002.

PATIENCE, J. F.; AUSTIC, R. E.; BOYD, R. D. Effect of dietary electrolyte balance on growth and acid-base status in swine. **Journal of animal science**, v. 64, n. 2, 1987.

PETERSON, Lance W.; ARTIS, David. **Intestinal epithelial cells: Regulators of barrier function and immune homeostasis.** *Nature Reviews Immunology*, 2014.

PIÉ, S. *et al.* Weaning Is Associated with an Upregulation of Expression of Inflammatory Cytokines in the Intestine of Piglets. *In*: 2004.

PLUSKE, John R.; HAMPSON, David J.; WILLIAMS, Ian H. **Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: A review.** *Livestock Production Science*, 1997.

PLUSKE, John R.; TURPIN, Diana L.; KIM, Jae Cheol. **Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig.** *Animal Nutrition*, 2018.

QIN, Longshan *et al.* Effects of dietary supplementation with yeast glycoprotein on growth performance, intestinal mucosal morphology, immune response and colonic microbiota in weaned piglets. *Food and Function*, v. 10, n. 5, 2019.

RAO, Mrinalini C. *et al.* Mode of action of heat-stable Escherichia coli enterotoxin Tissue and subcellular specificities and role of cyclic GMP. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, v. 632, n. 1, 1980.

REN, Wen *et al.* Lower abundance of Bacteroides and metabolic dysfunction are highly associated with the post-weaning diarrhea in piglets. *Science China Life Sciences*, v. 65, n. 10, 2022.

RHOUMA, Mohamed *et al.* **Post weaning diarrhea in pigs: Risk factors and non-colistin-based control strategies.** *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2017.

RUIZ, Vera L. A. *et al.* Case-control study of pathogens involved in piglet diarrhea Veterinary Research. *BMC Research Notes*, v. 9, n. 1, 2016.

SAHA, Sudeb *et al.* **Role of immunomodulatory probiotics in alleviating bacterial diarrhea in piglets: a systematic review.** *Journal of Animal Science and Biotechnology* BioMed Central Ltd, , 1 dez. 2024.

SANDER, Guy R.; CUMMINS, Adrian G.; POWELL, Barry C. Rapid disruption of intestinal barrier function by gliadin involves altered expression of apical junctional proteins. *FEBS Letters*, v. 579, n. 21, 2005.

SHEN, Yan Bin *et al.* Dietary L-tryptophan supplementation with reduced large neutral amino acids enhances feed efficiency and decreases stress hormone secretion in nursery pigs under social-mixing stress. *Journal of Nutrition*, v. 142, n. 8, 2012.

SHIN, Donghyun *et al.* Beneficial roles of probiotics on the modulation of gut microbiota and immune response in pigs. *PLoS ONE*, v. 14, n. 8, 2019.

SPREEUWENBERG, M. A. M. *et al.* Small intestine epithelial barrier function is compromised in pigs with low feed intake at weaning. *Journal of Nutrition*, v. 131, n. 5, 2001.

SUGIMOTO, Atsushi *et al.* Identification of novel lactic acid bacteria with enhanced protective effects against influenza virus. **PLoS ONE**, v. 18, n. 8 August, 2023.

SUZUKI, Takuya. **Regulation of intestinal epithelial permeability by tight junctions. Cellular and Molecular Life Sciences**, 2013.

SUZUKI, Takuya. **Regulation of the intestinal barrier by nutrients: The role of tight junctions. Animal Science Journal**, 2020.

TANG, M. *et al.* Effect of segregated early weaning on postweaning small intestinal development in pigs. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. 12, 1999.

TANG, Qingsong *et al.* Nutrition strategies to control post-weaning diarrhea of piglets: From the perspective of feeds. **Animal Nutrition**, v. 17, p. 297–311, 1 jun. 2024a.

TANG, Qingsong *et al.* Nutrition strategies to control post-weaning diarrhea of piglets: From the perspective of feeds. **Animal Nutrition**, v. 17, p. 297–311, 1 jun. 2024b.

TANG, Wenjie *et al.* Impairment of Intestinal Barrier Function Induced by Early Weaning via Autophagy and Apoptosis Associated With Gut Microbiome and Metabolites. **Frontiers in Immunology**, v. 12, 2021.

TANG, Xiaopeng *et al.* **Weaning stress and intestinal health of piglets: A review. Frontiers in Immunology**, 2022.

TANG, Xiaopeng; XIONG, Kangning. Intrauterine Growth Retardation Affects Intestinal Health of Suckling Piglets via Altering Intestinal Antioxidant Capacity, Glucose Uptake, Tight Junction, and Immune Responses. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2022, 2022a.

TANG, Xiaopeng; XIONG, Kangning. Epidermal growth factor activates EGFR/AMPK signalling to up-regulate the expression of SGLT1 and GLUT2 to promote intestinal glucose absorption in lipopolysaccharide challenged IPEC-J2 cells and piglets. **Italian Journal of Animal Science**, v. 21, n. 1, 2022b.

TANG, Xiaopeng; XIONG, Kangning. Dietary Epidermal Growth Factor Supplementation Alleviates Intestinal Injury in Piglets with Intrauterine Growth Retardation via Reducing Oxidative Stress and Enhancing Intestinal Glucose Transport and Barrier Function. **Animals**, v. 12, n. 17, 2022c.

TANGHE, Sofie *et al.* Araceae root and citrus fibers tend to decrease Escherichia coli adhesion and myeloperoxidase levels in weaned piglets. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 10, 2023.

THIAGARAJAH, Jay R.; VERKMAN, A. S. **CFTR pharmacology and its role in intestinal fluid secretion. Current Opinion in Pharmacology**, 2003.

TSUKAHARA, Takamitsu *et al.* Correlation between villous height and the disaccharidase activity in the small intestine of piglets from nursing to growing. **Animal Science Journal**, v. 84, n. 1, 2013.

ULLUWISHEWA, Dulantha *et al.* **Regulation of tight junction permeability by intestinal bacteria and dietary components.** **Journal of Nutrition**, 2011.

UPADHAYA, Santi Devi; KIM, In Ho. **The impact of weaning stress on gut health and the mechanistic aspects of several feed additives contributing to improved gut health function in weanling piglets—A review.** **Animals**, 2021.

VISWANATHAN, V. K.; HODGES, Kim; HECHT, Gail. **Enteric infection meets intestinal function: How bacterial pathogens cause diarrhoea.** **Nature Reviews Microbiology**, 2009.

WEAVER, A. C. *et al.* Efficacy of dietary spray dried plasma protein to mitigate the negative effects on performance of pigs fed diets with corn naturally contaminated with multiple mycotoxins. **Journal of Animal Science**, v. 92, n. 9, 2014.

WEDENOJA, S.; HÖGLUND, P.; HOLMBERG, C. **Review article: The clinical management of congenital chloride diarrhoea.** **Alimentary Pharmacology and Therapeutics**, 2010.

WIJTEN, Peter J. A.; MEULEN, Jan Van Der; VERSTEGEN, Martin W. A. **Intestinal barrier function and absorption in pigs after weaning: A review.** **British Journal of Nutrition**, 2011.

WILLING, B. P.; VAN KESSEL, A. G. Intestinal microbiota differentially affect brush border enzyme activity and gene expression in the neonatal gnotobiotic pig. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 93, n. 5, 2009.

XIE, Yanping *et al.* Antibacterial activity and mechanism of action of zinc oxide nanoparticles against *Campylobacter jejuni*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 77, n. 7, 2011.

XIONG, Xinwei *et al.* Identifying biomarkers of the gut bacteria, bacteriophages and serum metabolites associated with three weaning periods in piglets. **BMC Veterinary Research**, v. 18, n. 1, 2022.

XU, Qianqian *et al.* Early Weaning Stress Induces Intestinal Microbiota Disturbance, Mucosal Barrier Dysfunction and Inflammation Response Activation in Pigeon Squabs. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, 2022.

YANG, Qiaoli *et al.* Structure and function of the fecal microbiota in diarrheic neonatal piglets. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. MAR, 2017.

ZHENG, Lan *et al.* **Intestinal Health of Pigs Upon Weaning: Challenges and Nutritional Intervention.** *Frontiers in Veterinary Science*, 2021.

ZHOU, Bolun *et al.* **Intestinal Flora and Disease Mutually Shape the Regional Immune System in the Intestinal Tract.** *Frontiers in Immunology*, 2020.

ASPECTOS METABÓLICOS E ENDÓCRINOS DA INTERAÇÃO NUTRIÇÃO-REPRODUÇÃO EM OVINOS: MECANISMOS MOLECULARES E IMPLICAÇÕES PARA A EFICIÊNCIA REPRODUTIVA

Carolina de Fátima Melo Facó

Graduanda em Medicina Veterinária
Centro Universitário Christus-UNICHRISTUS, Fortaleza/CE, Brasil
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1486777532811895>

Victor Licínio Bezerra de Menezes Nunes

Graduando em Medicina Veterinária
Centro Universitário Christus-UNICHRISTUS, Fortaleza/CE, Brasil
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9748996035898254>

Juliana Paula Martins Alves

Docente do curso de Medicina Veterinária
Centro Universitário Christus-UNICHRISTUS, Fortaleza/CE, Brasil
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1218138987708290>

RESUMO

Palavras-chave:

Metabolismo,
Endocrinologia,
Mecanismos Moleculares,
Eficiência Reprodutiva

A presente revisão de literatura aborda a complexa interação entre nutrição e reprodução em ovinos, com foco nos mecanismos metabólicos, endócrinos e moleculares que governam essa relação. A eficiência reprodutiva é um pilar fundamental para a sustentabilidade da ovinocultura, e a compreensão aprofundada de como o estado nutricional influencia os processos reprodutivos é crucial para o desenvolvimento de estratégias de manejo que visem otimizar a produtividade. Serão explorados os principais hormônios, metabólitos e vias de sinalização envolvidos, bem como as implicações práticas desses conhecimentos para a eficiência reprodutiva de fêmeas e machos. A análise integra resultados de pesquisas recentes, incluindo estudos de transcriptômica e metabolômica, que têm elucidado os mecanismos subjacentes a essa interação.

METABOLIC AND ENDOCRINE ASPECTS OF THE NUTRITION-REPRODUCTION INTERACTION IN SHEEP: MOLECULAR MECHANISMS AND IMPLICATIONS FOR REPRODUCTIVE EFFICIENCY

ABSTRACT

Keywords:

Metabolism,
Endocrinology,
Molecular Mechanisms,
Reproductive Efficiency

The present literature review addresses the complex interaction between nutrition and reproduction in sheep, focusing on the metabolic, endocrine, and molecular mechanisms that govern this relationship. Reproductive efficiency is a fundamental pillar for the sustainability of sheep farming, and a deep understanding of how nutritional status influences reproductive processes is crucial for developing management strategies aimed at optimizing productivity. The main hormones, metabolites, and signaling pathways involved will be explored, as well as the practical implications of this knowledge for the reproductive efficiency of females and males. The analysis integrates results from recent research, including transcriptomic and metabolomic studies, which have elucidated the mechanisms underlying this interaction."

1 INTRODUÇÃO

A ovinocultura desempenha um papel socioeconômico de grande relevância em diversas regiões do mundo, sendo uma fonte de proteína animal de alta qualidade, lã e outros produtos. Estima-se que existam aproximadamente 1 bilhão de ovinos no mundo, com o consumo mundial de carne ovina atingindo cerca de 2,5 kg por pessoa anualmente (MORRIS, 2017). A eficiência reprodutiva do rebanho é um dos principais determinantes da rentabilidade dessa atividade, sendo diretamente influenciada por uma série de fatores, dentre os quais a nutrição se destaca como um dos mais importantes e manejáveis. A interação entre o estado nutricional e a função reprodutiva em ovinos é um fenômeno complexo e multifatorial, mediado por uma intrincada rede de sinais metabólicos e endócrinos que atuam em diferentes níveis do eixo hipotálamo-hipófise-gônadas (HHG).

Historicamente, a relação entre nutrição e reprodução tem sido observada na prática, com técnicas como o flushing nutricional sendo amplamente utilizadas para aumentar a taxa de ovulação e, conseqüentemente, a prolificidade das ovelhas.

O flushing consiste em um aumento temporário mas proposital no nível de nutrição durante o período de acasalamento, visando estimular a ovulação, a concepção e o desenvolvimento embrionário (YILDIRIR et al., 2022). No entanto, os mecanismos moleculares e celulares que governam essas respostas fisiológicas só começaram a ser desvendados mais recentemente, com o avanço de tecnologias ômicas como a genômica, a transcriptômica e a metabolômica. Esses avanços têm permitido uma compreensão mais

profunda de como os nutrientes e o balanço energético modulam a expressão de genes, a síntese de hormônios e a atividade de vias de sinalização que são cruciais para a gametogênese, a maturação folicular, a ovulação, a fertilização e o desenvolvimento embrionário inicial.

Esta revisão de literatura tem como objetivo sintetizar o conhecimento científico atual sobre os aspectos metabólicos e endócrinos da interação nutrição-reprodução em ovinos. Serão abordados os principais mecanismos moleculares envolvidos, desde a regulação central no hipotálamo até as ações locais nas gônadas. Além disso, serão discutidas as implicações desses mecanismos para a eficiência reprodutiva, tanto em fêmeas quanto em machos, e como a modulação nutricional pode ser utilizada como uma ferramenta para melhorar os índices zootécnicos na ovinocultura. A melhoria genética da eficiência reprodutiva pode resultar em aumentos significativos na margem bruta por ovelha reprodutora, com incrementos de 37-50% observados em alguns estudos (NOTTER, 2012). A compilação e análise crítica das informações apresentadas visam fornecer uma base sólida para pesquisadores, técnicos e produtores que buscam otimizar o manejo reprodutivo de seus rebanhos.

2 MECANISMOS ENDÓCRINOS DA INTERAÇÃO NUTRIÇÃO-REPRODUÇÃO

A regulação da função reprodutiva é orquestrada pelo eixo neuroendócrino HHG, que por sua vez é finamente modulado por sinais metabólicos que informam o sistema nervoso central (SNC) sobre o estado energético do organismo. Em ovinos, a nutrição exerce uma influência profunda sobre a secreção pulsátil do hormônio liberador de gonadotrofinas (GnRH) pelo hipotálamo, que é o principal regulador da liberação do hormônio luteinizante (LH) e do hormônio foliculo-estimulante (FSH) pela hipófise anterior.

2.1 Regulação Central no Eixo Hipotálamo-Hipófise

O sistema kisspeptina, um conjunto de neuropeptídeos codificados pelo gene *KISS1*, emergiu como um elo crucial entre o metabolismo e a reprodução. Neurônios produtores de kisspeptina, localizados em áreas específicas do hipotálamo, integram informações sobre o balanço energético e transmitem esses sinais aos neurônios de GnRH, modulando sua atividade (MARTIN, 2022). Estudos demonstram que a subnutrição pode

suprimir a expressão de *KISS1*, levando a uma redução na frequência dos pulsos de LH e, conseqüentemente, a uma menor estimulação das gônadas.

Além da kisspeptina, outros neuropeptídeos e neurotransmissores, como o neuropeptídeo Y (NPY) e a dopamina, também participam dessa regulação. A dopamina, por exemplo, pode afetar a secreção de GnRH, e vias de sinalização dopaminérgicas foram encontradas enriquecidas em estudos de transcriptômica do hipotálamo de ovelhas com alta prolificidade (WANG et al., 2024). Esses achados sugerem que a nutrição pode modular a atividade de múltiplas vias neurais para influenciar a função reprodutiva.

2.2 Hormônios Metabólicos como Sinais Periféricos

Diversos hormônios metabólicos, cujas concentrações circulantes refletem o estado nutricional e as reservas energéticas do animal, atuam como sinais periféricos que informam o SNC e as gônadas sobre a disponibilidade de energia para a reprodução. Entre os mais importantes estão:

- Leptina: Produzida pelo tecido adiposo, a leptina é um hormônio anorexígeno que sinaliza o estado das reservas de gordura corporal. Em ovinos, a leptina tem um efeito permissivo sobre a reprodução, sendo necessária para o início da puberdade e a manutenção da ciclicidade estral. Atua tanto a nível central, estimulando os neurônios de kisspeptina, quanto diretamente nas gônadas (DUPONT; SCARAMUZZI; REVERCHON, 2014).

- Insulina e Fator de Crescimento Semelhante à Insulina I (IGF-I): Estes hormônios estão envolvidos no metabolismo da glicose e no crescimento celular. A insulina e o IGF-I podem potencializar a ação das gonadotrofinas nas células ovarianas, promovendo o crescimento folicular e a esteroidogênese. A nutrição, especialmente a ingestão de carboidratos, modula os níveis de insulina e IGF-I, influenciando diretamente a função ovariana (DUPONT; SCARAMUZZI; REVERCHON, 2014).

- Grelina e Adiponectina: A grelina, produzida no estômago, tem um efeito inibitório sobre o eixo reprodutivo, enquanto a adiponectina, outra adipocina, parece ter efeitos complexos, tanto estimulatórios quanto inibitórios, dependendo do contexto fisiológico (DUPONT; SCARAMUZZI; REVERCHON, 2014).

Um estudo de correlação em ovelhas submetidas a superovulação demonstrou que os níveis séricos de FSH, estradiol (E2) e hormônio anti-Mülleriano (AMH) estavam positivamente correlacionados com o número de embriões coletados, enquanto o LH e a progesterona (P4) mostraram uma correlação negativa inicial (XU et al., 2022). Isso evidencia

a complexa interação hormonal que determina o sucesso da resposta ovariana à estimulação, sendo que essa interação é diretamente influenciada pelo status metabólico do animal.

3 MECANISMOS MOLECULARES E VIAS DE SINALIZAÇÃO

O avanço das ferramentas de biologia molecular tem permitido a identificação de genes e vias de sinalização que são modulados pela nutrição e que desempenham papéis críticos na função reprodutiva. Esses mecanismos atuam tanto no SNC quanto periféricamente, nas gônadas, mediando os efeitos do estado nutricional sobre a fertilidade.

3.1 Sensores de Energia Celular e Vias de Sinalização

Dentro das células, existem sistemas de detecção do estado energético que são fundamentais para a regulação de processos que demandam alto gasto de energia, como a reprodução. Dois dos principais sensores de energia são a Proteína Quinase Ativada por AMP (AMPK) e os Receptores Ativados por Proliferadores de Peroxissoma (PPARs) (DUPONT; SCARAMUZZI; REVERCHON, 2014).

A AMPK é ativada quando a razão AMP/ATP aumenta, sinalizando um estado de baixa energia. Uma vez ativada, a AMPK inibe vias anabólicas (como a síntese de proteínas e esteroides) e ativa vias catabólicas para restaurar o balanço energético. No ovário, a ativação da AMPK pode inibir a esteroidogênese e o crescimento folicular. Os PPARs, por sua vez, são receptores nucleares que regulam a expressão de genes envolvidos no metabolismo de lipídios e na diferenciação celular, sendo também importantes para a função ovariana.

Estudos de transcriptômica do hipotálamo de ovelhas com diferentes taxas de prolificidade identificaram um enriquecimento significativo de genes em vias de sinalização chave, como a via PI3K-Akt, a via MAPK e a via mTOR (WANG et al., 2024). Essas vias são centrais para a regulação do crescimento, proliferação e sobrevivência celular, e sua modulação pela nutrição representa um mecanismo direto pelo qual o estado metabólico pode influenciar a atividade neuronal e, conseqüentemente, a secreção de GnRH.

3.2 Genes-Chave e Regulação da Expressão Gênica

A análise de redes de interação proteína-proteína permitiu a identificação de genes-chave que parecem orquestrar a resposta reprodutiva à nutrição. Entre eles, destacam-se

GSK3B, MAP2K1 e FOXO1 (WANG et al., 2024). O gene GSK3B, por exemplo, está envolvido em múltiplas vias de sinalização (mTOR, WNT) e pode regular o ciclo celular e o desenvolvimento embrionário. O FOXO1 é um fator de transcrição que integra sinais de insulina/IGF-I e estresse oxidativo, regulando o desenvolvimento folicular e a formação do corpo lúteo.

Em machos, a nutrição também afeta a expressão gênica testicular. A subnutrição pode levar a uma desorganização das junções oclusivas entre as células de Sertoli e reverter sua diferenciação, processos que estão associados a alterações na expressão de pequenos RNAs não codificantes (microRNAs) e no *splicing* alternativo de pré-mRNAs. Esses mecanismos baseados em RNA representam uma nova perspectiva sobre como os processos intratesticulares são regulados pela nutrição, afetando a eficiência da espermatogênese e a qualidade do sêmen (MARTIN, 2022).

3.3 Metabolômica e Identificação de Biomarcadores

A metabolômica, que é o estudo do conjunto de metabólitos em um sistema biológico, tem se mostrado uma ferramenta poderosa para entender a interação nutrição-reprodução. Em ovelhas, a análise do metaboloma sérico revelou que metabólitos do metabolismo de aminoácidos e de ácidos graxos, bem como a esteroidogênese ovariana, são as vias mais significativamente alteradas em resposta a diferentes estados nutricionais e hormonais (XU et al., 2022). Metabólitos específicos, como certas espécies de fosfatidilcolina (PC) e o ácido pentadecanoico, foram identificados como potenciais biomarcadores do rendimento embrionário. A identificação desses biomarcadores abre a possibilidade de desenvolver testes para avaliar o status reprodutivo e prever o sucesso de técnicas reprodutivas, permitindo um manejo mais preciso do rebanho.

4 IMPLICAÇÕES PARA A EFICIÊNCIA REPRODUTIVA

A compreensão dos mecanismos que ligam a nutrição à reprodução tem implicações diretas para o manejo da eficiência reprodutiva em ovinos, tanto em fêmeas quanto em machos.

4.1 Eficiência Reprodutiva em Fêmeas

Em fêmeas, o estado nutricional afeta praticamente todas as fases do ciclo reprodutivo. Uma nutrição adequada é essencial para o início da puberdade, a manutenção da ciclicidade estral, a taxa de ovulação, a qualidade dos oócitos, a fertilização, a sobrevivência embrionária e o desenvolvimento fetal. O manejo nutricional estratégico, como o *flushing*, pode ser utilizado para aumentar a taxa de ovulação, mas é crucial que o plano nutricional seja bem ajustado, pois tanto a subnutrição quanto a sobrenutrição podem ser prejudiciais.

A subnutrição durante a gestação pode ter efeitos duradouros na prole, um fenômeno conhecido como programação fetal. Estudos em ovinos mostram que a restrição nutricional materna pode induzir alterações epigenéticas nas gônadas em desenvolvimento, afetando a fertilidade da prole na vida adulta (MARTIN, 2022). Isso ressalta a importância do manejo nutricional não apenas da ovelha, mas também das borregas de reposição desde a fase fetal.

4.2 Eficiência Reprodutiva em Machos

Embora muitas vezes negligenciada, a nutrição do carneiro também tem um impacto significativo na eficiência reprodutiva do rebanho. Alterações no plano nutricional podem causar variações reversíveis na massa testicular, na produção diária de espermatozoides e na qualidade do sêmen (MARTIN, 2022). A subnutrição pode aumentar a apoptose de células germinativas e comprometer a integridade do DNA dos espermatozoides, reduzindo as taxas de fertilização e aumentando a mortalidade embrionária precoce. Portanto, garantir um escore de condição corporal adequado para os reprodutores antes e durante a estação de monta é fundamental.

5 CONCLUSÃO

A interação entre nutrição e reprodução em ovinos é um processo biológico complexo, regulado por uma sofisticada rede de comunicação endócrina e molecular. O estado nutricional é traduzido em sinais metabólicos, como hormônios (leptina, insulina) e nutrientes (glicose, ácidos graxos, aminoácidos), que atuam em múltiplos níveis do eixo HHG para modular a função reprodutiva. Mecanismos moleculares envolvendo sensores de energia celular (AMPK, PPARs), vias de sinalização intracelular (PI3K-Akt, MAPK, mTOR)

e a regulação da expressão de genes-chave (GSK3B, FOXO1) são fundamentais para mediar os efeitos da nutrição.

O avanço das tecnologias ômicas tem proporcionado uma visão sem precedentes sobre esses mecanismos, identificando biomarcadores potenciais que podem ser usados para monitorar e prever a performance reprodutiva. O conhecimento gerado a partir dessas pesquisas tem implicações práticas importantes, permitindo o desenvolvimento de estratégias de manejo nutricional mais precisas e eficazes para otimizar a eficiência reprodutiva em ovinos, tanto em fêmeas quanto em machos. A contínua investigação nessa área é essencial para enfrentar os desafios da segurança alimentar e garantir a sustentabilidade da produção ovina.

REFERÊNCIAS

DUPONT, J.; SCARAMUZZI, R. J.; REVERCHON, M. The effect of nutrition and metabolic status on the development of follicles, oocytes and embryos in ruminants. **Animal**, v. 8, n. 7, p. 1031-1044, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731114000937>.

MARTIN, G. B. Frontiers in sheep reproduction - making use of natural responses to environmental challenges to manage productivity. **Animal Reproduction**, v. 19, n. 4, e20220088, 2022. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9731180/>.

MORRIS, S. T. Overview of sheep production systems. In: *Advances in sheep welfare*. Elsevier, 2017. p. 19-35. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081007181000029>.

NOTTER, D. R. Genetic improvement of reproductive efficiency of sheep and goats. *Animal Reproduction Science*, v. 130, n. 3-4, p. 147-151, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378432012000346>.

WANG, T. et al. Identification of reproduction-related genes in the hypothalamus of sheep (*Ovis aries*) using the nanopore full-length transcriptome sequencing technology. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 27884, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-79140-5>. Acesso em: 21 ago. 2025.

XU, Q. et al. Correlation analysis of serum reproductive hormones and metabolites during multiple ovulation in sheep. **BMC Veterinary Research**, v. 18, n. 1, p. 290, 2022. Disponível em: <https://bmcvetres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12917-022-03387-1>.

YILDIRIR, M.; ÇAKIR, D. Ü.; YURTMAN, İ. Y. Effects of restricted nutrition and flushing on reproductive performance and metabolic profiles in sheep. *Livestock Science*, v. 258, p. 104875, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871141322000506>.

NUTRIÇÃO DE OVINOS EM DIFERENTES FASES FISIOLÓGICAS: UMA REVISÃO

Érica Linhares Sousa

Graduanda em Medicina Veterinária
Centro Universitário Christus-UNICHRISTUS, Fortaleza/CE, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7318457296218216>

Hugo Lopes Martins

Graduando em Medicina Veterinária
Centro Universitário Christus-UNICHRISTUS, Fortaleza/CE, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1912294348635373>

Juliana Paula Martins Alves

Docente do curso de Medicina Veterinária
Centro Universitário Christus-UNICHRISTUS, Fortaleza/CE, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1218138987708290>

RESUMO

Palavras-chave:

Ovinocultura
Exigências Nutricionais
Fases fisiológicas
Alimentação animal
Pequenos ruminantes

A nutrição adequada de ovinos é fundamental para o sucesso da ovinocultura, variando significativamente conforme a fase fisiológica do animal. Esta revisão analisa as exigências nutricionais específicas de ovinos durante as fases de manutenção, gestação, lactação e crescimento, baseando-se em estudos científicos recentes publicados em revistas de impacto internacional. Durante a manutenção, as exigências são mínimas, focando na preservação das funções vitais básicas. Na gestação, especialmente no terço final, há aumento substancial das demandas energéticas e proteicas para suportar o desenvolvimento fetal. A lactação representa o período de maior exigência nutricional, com demandas elevadas de energia e proteína para sustentar a produção de leite rico em gordura. Cordeiros em crescimento apresentam alta eficiência de conversão alimentar e necessitam de dietas com elevado teor proteico e energético. Estratégias nutricionais alternativas, incluindo o uso de subprodutos agroindustriais e suplementação com lipídios, têm demonstrado potencial para otimizar o desempenho produtivo. A implementação de sistemas de alimentação intensiva, como confinamento, permite melhor controle nutricional e redução da idade de abate. O conhecimento das exigências específicas de cada fase fisiológica é essencial para maximizar a eficiência produtiva, a qualidade dos produtos e a sustentabilidade da ovinocultura.

NUTRITION OF SHEEP ACROSS DIFFERENT PHYSIOLOGICAL STAGES: A REVIEW

ABSTRACT

Keywords:

Sheep farming.

Nutritional requirements.

Physiological stages.

Animal feeding.

Small ruminants.

Adequate nutrition for sheep is fundamental to the success of sheep farming, varying significantly according to the animal's physiological phase. This review analyzes the specific nutritional requirements of sheep during the maintenance, gestation, lactation, and growth phases, based on recent scientific studies published in international high-impact journals. During maintenance, the requirements are minimal, focusing on the preservation of basic vital functions. In gestation, especially in the last third, there is a substantial increase in energy and protein demands to support fetal development. Lactation represents the period of highest nutritional demand, with elevated requirements for energy and protein to sustain the production of fat-rich milk. Growing lambs exhibit high feed conversion efficiency and require diets with high protein and energy content. Alternative nutritional strategies, including the use of agro-industrial byproducts and lipid supplementation, have shown potential to optimize productive performance. The implementation of intensive feeding systems, such as confinement (feedlot), allows for better nutritional control and reduction of the slaughter age. Knowledge of the specific requirements for each physiological phase is essential to maximize productive efficiency, product quality, and the sustainability of sheep farming.

1 INTRODUÇÃO

A ovinocultura mundial tem experimentado transformações significativas nas últimas décadas, impulsionada pela crescente demanda por produtos de origem animal e pela necessidade de sistemas produtivos mais eficientes e sustentáveis. Neste contexto, a nutrição animal emerge como um dos pilares fundamentais para o sucesso da atividade, influenciando diretamente a produtividade, a qualidade dos produtos e a viabilidade econômica dos sistemas de produção (BOUDALIA et al., 2024).

Os ovinos, como ruminantes, possuem características fisiológicas únicas que lhes permitem converter forragens de baixa qualidade em produtos de alto valor nutricional, como carne e leite. No entanto, para que essa conversão seja otimizada, é essencial compreender as variações nas exigências nutricionais ao longo das diferentes fases do ciclo produtivo (TORRES et al., 2024). Estas exigências são influenciadas por múltiplos fatores, incluindo idade, peso corporal, estado reprodutivo, condições ambientais e objetivos de produção.

A literatura científica recente tem demonstrado que estratégias nutricionais inadequadas podem resultar em perdas significativas na produtividade, comprometendo o crescimento de cordeiros, a fertilidade de reprodutores, a produção de leite de ovelhas lactantes e a qualidade final dos produtos (FERREIRA et al., 2024). Por outro lado, o manejo

nutricional criterioso, baseado no conhecimento das exigências específicas de cada fase fisiológica, pode maximizar a eficiência de conversão alimentar e reduzir os custos de produção.

Estudos meta-analíticos recentes têm revelado que a implementação de sistemas de alimentação intensiva, combinada com o uso estratégico de ingredientes alternativos e suplementos nutricionais, pode resultar em melhorias substanciais no desempenho produtivo (TORRES et al., 2024). Além disso, a crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental tem direcionado pesquisas para o desenvolvimento de estratégias nutricionais que reduzam a pegada de carbono da ovinocultura, mantendo ou melhorando os índices produtivos.

Neste contexto, a presente revisão tem como objetivo compilar e analisar informações científicas atualizadas sobre a nutrição de ovinos nas diferentes fases fisiológicas, fornecendo subsídios técnicos para a tomada de decisões no manejo nutricional de rebanhos ovinos.

2 FUNDAMENTOS DA NUTRIÇÃO DE RUMINANTES

2.1 Características do Sistema Digestivo de Ovinos

Os ovinos, como ruminantes, possuem um sistema digestivo complexo e altamente especializado, caracterizado pela presença de quatro compartimentos gástricos: rúmen, retículo, omaso e abomaso. O rúmen, sendo o maior compartimento, abriga uma população microbiana diversificada que desempenha papel fundamental na digestão de carboidratos estruturais e na síntese de proteína microbiana (BOUDALIA et al., 2024).

Esta característica anatômica confere aos ovinos a capacidade única de converter materiais fibrosos de baixa qualidade nutricional em produtos de alto valor biológico. No entanto, para que este processo seja otimizado, é necessário manter um ambiente ruminal adequado, com pH estável, disponibilidade de nutrientes e população microbiana equilibrada.

2.2 Exigências Nutricionais Básicas

As exigências nutricionais de ovinos podem ser categorizadas em cinco grupos principais: energia, proteína, minerais, vitaminas e água. Cada um destes nutrientes desempenha funções específicas no organismo animal e suas necessidades variam conforme a fase fisiológica, o peso corporal, a raça e as condições ambientais.

2.2.1 Energia

A energia é o nutriente mais limitante na produção animal e sua adequada disponibilidade é fundamental para o desempenho produtivo. Em ovinos, as exigências energéticas são expressas em termos de energia metabolizável (EM) ou nutrientes digestíveis totais (NDT). Estudos recentes demonstram que deficiências energéticas podem comprometer significativamente o crescimento, a reprodução e a produção de leite (FERREIRA et al., 2024).

2.2.2 Proteína

A proteína é essencial para a formação e manutenção dos tecidos corporais, além de participar de processos metabólicos vitais. Em ruminantes, a proteína dietética é parcialmente degradada no rúmen, sendo convertida em proteína microbiana, que constitui a principal fonte de aminoácidos para o animal. A eficiência desta conversão é influenciada pela sincronização entre a disponibilidade de energia e nitrogênio no rúmen (BOUDALIA et al., 2024).

2.2.3 Minerais e Vitaminas

Os minerais desempenham funções estruturais e metabólicas essenciais, atuando como cofatores enzimáticos e componentes de estruturas corporais. As vitaminas, por sua vez, são necessárias em pequenas quantidades, mas são fundamentais para o funcionamento adequado do metabolismo. Ruminantes são capazes de sintetizar a maioria das vitaminas do complexo B e vitamina K, mas necessitam de suplementação de vitaminas A, D e E.

2.3 Fatores que Influenciam as Exigências Nutricionais

As exigências nutricionais de ovinos são influenciadas por diversos fatores, incluindo genética, idade, peso corporal, estado fisiológico, condições ambientais e sistema de manejo. A compreensão destes fatores é fundamental para a formulação de dietas adequadas e economicamente viáveis (TORRES et al., 2024).

3 NUTRIÇÃO NAS DIFERENTES FASES FISIOLÓGICAS

3.1 Fase de Manutenção

A fase de manutenção compreende animais adultos que não estão em gestação, lactação ou crescimento ativo. Nesta fase, as exigências nutricionais são direcionadas exclusivamente para a manutenção das funções vitais básicas, incluindo metabolismo basal, atividade física mínima e termorregulação.

As exigências de energia para manutenção em ovinos adultos variam entre 7 a 9 MJ de energia metabolizável por dia para animais de 50 kg de peso corporal, dependendo das condições ambientais e do nível de atividade. As necessidades proteicas situam-se entre 8 a 12% de proteína bruta na matéria seca da dieta, sendo suficientes para manter o balanço nitrogenado positivo (BOUDALIA et al., 2024).

Durante esta fase, é importante manter o escore de condição corporal adequado, especialmente em fêmeas que serão submetidas à estação de monta. O manejo nutricional inadequado pode resultar em perda de peso excessiva, comprometendo a eficiência reprodutiva subsequente.

3.2 Gestação

A gestação em ovinos tem duração média de 150 dias e pode ser dividida em três períodos distintos: terço inicial (0-50 dias), terço médio (51-100 dias) e terço final (101-150 dias). As exigências nutricionais variam significativamente entre estes períodos, sendo o terço final o mais crítico do ponto de vista nutricional.

3.2.1 Terço Inicial e Médio da Gestação

Durante os primeiros 100 dias de gestação, as exigências nutricionais são apenas ligeiramente superiores às de manutenção, uma vez que o crescimento fetal é ainda limitado. Neste período, é fundamental evitar restrições nutricionais severas que possam comprometer a implantação embrionária e o desenvolvimento inicial do feto.

3.2.2 Terço Final da Gestação

O terço final da gestação é caracterizado por crescimento fetal acelerado, com aproximadamente 70% do desenvolvimento fetal ocorrendo neste período.

Conseqüentemente, as exigências nutricionais aumentam substancialmente, podendo atingir 60% de NDT e 11-14% de proteína bruta na matéria seca da dieta.

Estudos recentes demonstram que a inadequação nutricional neste período pode resultar em toxemia da prenhez, redução do peso ao nascimento dos cordeiros e comprometimento da produção de colostro (FERREIRA et al., 2024). A suplementação adequada com energia e proteína é essencial para garantir o desenvolvimento fetal adequado e preparar a fêmea para a lactação subsequente.

3.3 Lactação

A lactação representa o período de maior demanda nutricional no ciclo produtivo de ovelhas. A produção de leite ovino é caracterizada por alto teor de gordura (6-8%) e proteína (5-6%), resultando em elevadas exigências energéticas e proteicas para a fêmea lactante.

3.3.1 Pico de Lactação

O pico de produção de leite ocorre entre a segunda e quarta semana pós-parto, período em que as exigências nutricionais atingem seus valores máximos. Nesta fase, as necessidades podem alcançar 70% de NDT e 16-18% de proteína bruta na matéria seca da dieta (TORRES et al., 2024).

Fêmeas com partos múltiplos apresentam exigências ainda maiores, podendo produzir 20-40% mais leite que aquelas com parto simples. Esta diferença deve ser considerada no manejo nutricional, especialmente em sistemas intensivos onde é possível o manejo individualizado dos animais.

3.3.2 Estratégias Nutricionais na Lactação

Estudos recentes têm demonstrado que a suplementação com citrulina pode melhorar significativamente a produção de leite em ovelhas lactantes, atuando como precursor da arginina e melhorando o fluxo sanguíneo mamário (DIETARY, 2025). Além disso, a utilização de silagens mistas contendo subprodutos agroindustriais tem se mostrado eficaz na substituição parcial de concentrados, mantendo a produção de leite e reduzindo os custos de alimentação.

3.4 Crescimento (Cordeiros)

Os cordeiros representam a categoria de maior eficiência de conversão alimentar, apresentando rápido ganho de peso e elevada velocidade de crescimento. As exigências nutricionais nesta fase são proporcionalmente maiores que em animais adultos, refletindo as demandas para deposição de tecidos.

3.4.1. Fase de Aleitamento

Durante as primeiras semanas de vida, o leite materno constitui a principal fonte de nutrientes para os cordeiros. A qualidade e quantidade do leite produzido pela ovelha influenciam diretamente o crescimento dos cordeiros neste período. Cordeiros de partos múltiplos podem apresentar crescimento mais lento devido à menor disponibilidade de leite per capita.

3.4.2. Fase Pós-Desmame

Após o desmame, os cordeiros necessitam de dietas com 14-18% de proteína bruta e 70-78% de NDT para manter taxas de crescimento adequadas. O consumo de matéria seca nesta fase situa-se entre 4-5% do peso corporal, significativamente superior ao de animais adultos.

Meta-análises recentes demonstram que cordeiros terminados em confinamento apresentam 19,23% maior deposição de gordura intramuscular comparado àqueles terminados em pastagem, resultando em carcaças de melhor qualidade (TORRES et al., 2024). A utilização de dietas com alto teor de concentrado permite reduzir a idade de abate de 12-18 meses para 4-6 meses, melhorando a eficiência do sistema produtivo.

4 ESTRATÉGIAS NUTRICIONAIS INOVADORAS

4.1. Utilização de Ingredientes Alternativos

A crescente preocupação com a sustentabilidade e os custos de produção tem impulsionado pesquisas sobre a utilização de ingredientes alternativos na alimentação de ovinos. Boudalia et al. (2024) demonstraram que o uso de resíduos de culturas, silagens, subprodutos agroindustriais e folhas de plantas pode melhorar significativamente a produtividade e reduzir a pegada de carbono dos sistemas de produção.

Estes ingredientes alternativos possuem propriedades antioxidantes, antimicrobianas e antissépticas que podem melhorar a qualidade da carne e do leite produzidos. Além disso, ao impactar as bactérias envolvidas na biohidrogenação ruminal, estes ingredientes podem reduzir as emissões de metano, contribuindo para a sustentabilidade ambiental da ovinocultura.

4.2. Suplementação Lipídica

A suplementação com lipídios tem demonstrado potencial para melhorar a deposição de gordura intramuscular em ovinos, resultando em carcaças de melhor qualidade. Torres et al. (2024) observaram que a inclusão de fontes lipídicas na dieta aumentou o conteúdo de gordura intramuscular, embora os efeitos variem conforme a fonte lipídica utilizada.

4.3 Uso de Taninos

Embora os taninos tenham demonstrado efeitos marginalmente negativos sobre a deposição de gordura intramuscular, estudos recentes sugerem que sua utilização pode ser benéfica para o controle de parasitas gastrintestinais e melhoria da eficiência de utilização da proteína dietética (TORRES et al., 2024).

4.4 Sistemas de Alimentação Intensiva

A implementação de sistemas de confinamento permite maior controle sobre a ingestão de nutrientes e pode resultar em melhorias significativas no desempenho produtivo. Cordeiros terminados em confinamento apresentam maior deposição de gordura intramuscular e melhor qualidade de carcaça comparado àqueles terminados em pastagem (TORRES et al., 2024).

5 CONSIDERAÇÕES SOBRE EFICIÊNCIA ALIMENTAR

A eficiência alimentar, expressa como consumo alimentar residual (CAR), tem recebido crescente atenção na ovinocultura. Ferreira et al. (2024) compilaram informações atualizadas sobre CAR em ovinos, demonstrando que animais mais eficientes apresentam menor consumo de alimento para o mesmo ganho de peso, resultando em maior rentabilidade do sistema produtivo.

A seleção de animais com melhor eficiência alimentar pode contribuir significativamente para a sustentabilidade da ovinocultura, reduzindo os custos de alimentação e o impacto ambiental da atividade.

6 CONCLUSÃO

A nutrição de ovinos nas diferentes fases fisiológicas representa um campo de conhecimento em constante evolução, com novas descobertas científicas contribuindo para o aprimoramento das práticas de manejo. A literatura científica recente demonstra claramente que as exigências nutricionais variam significativamente entre as fases de manutenção, gestação, lactação e crescimento, sendo essencial o ajuste das dietas conforme estas particularidades.

A lactação emerge como o período de maior demanda nutricional, exigindo dietas com elevado teor energético e proteico para sustentar a produção de leite rico em sólidos. O terço final da gestação também requer atenção especial, uma vez que a inadequação nutricional neste período pode comprometer o desenvolvimento fetal e a produção subsequente de leite.

Estratégias nutricionais inovadoras, incluindo o uso de ingredientes alternativos, suplementação lipídica e sistemas de alimentação intensiva, têm demonstrado potencial para melhorar o desempenho produtivo e a sustentabilidade da ovinocultura. A utilização de subprodutos agroindustriais não apenas reduz os custos de alimentação, mas também contribui para a economia circular e redução do impacto ambiental.

A eficiência alimentar emerge como um critério importante na seleção de animais, podendo contribuir significativamente para a rentabilidade dos sistemas produtivos. A implementação de programas de melhoramento genético focados na eficiência alimentar, combinada com estratégias nutricionais adequadas, pode resultar em sistemas de produção mais sustentáveis e economicamente viáveis.

Por fim, é fundamental que produtores e técnicos mantenham-se atualizados com os avanços científicos na área de nutrição de ovinos, adaptando as práticas de manejo às particularidades de cada sistema produtivo e às condições locais. O investimento em conhecimento técnico e a implementação de estratégias nutricionais baseadas em evidências científicas são essenciais para o sucesso e sustentabilidade da ovinocultura moderna.

REFERÊNCIAS

BOUDALIA, S. et al. Alternative approaches to feeding small ruminants and their potential benefits. *Animals*, v. 14, n. 6, p. 904, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14060904>.

DIETARY citrulline supplementation enhances milk production in lactating ewes. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, v. 16, p. 1187, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-025-01187-9>.

FERREIRA, J. et al. Compilations and updates on residual feed intake in sheep. *Tropical Animal Health and Production*, v. 56, p. 4018, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-024-04018-7>.

TORRES, R. N. S. et al. Potential of different strategies to increase intramuscular fat deposition in sheep: a meta-analysis study. *Small Ruminant Research*, v. 234, p. 107258, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2024.107258>.

ULLAH, H. et al. Productive performance of Balkhi, Mazai, and Waziri sheep breeds under different feeding intensities. *Journal of Applied Animal Research*, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2025.2519783>.



EDITORIA IN VIVO



Instagram



Juntos Somos +