IV SIMPÓSIO DE

Investigação em produção animal

ORGANIZADORES:

Thaise Pinto de Melo

Eduardo Bohrer de Azevedo

Leila Picolli da Silva

Juliana Medianeira Machado

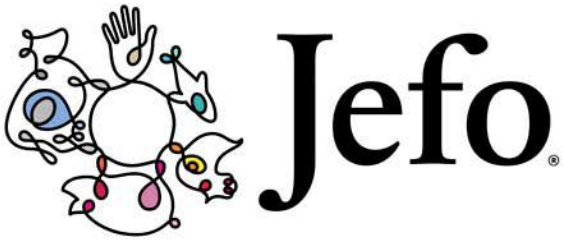
Catarina Stefanello



MÉRIDA PUBLISHERS

PATROCINADORS Y APOIADORES







IV SIMPÓSIO DE

Investigação em produção animal

ORGANIZADORES:

Thaise Pinto de Melo

Eduardo Bohrer de Azevedo

Leila Picolli da Silva

Juliana Medianeira Machado

Catarina Stefanello

Canoas

2026

MÉRIDA PUBLISHERS

IV Simpósio de Investigação em Produção Animal (SIPRA)

© 2026 Mérida Publishers

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3

Organizadores
Thaise Pinto de Melo
Eduardo Bohrer de Azevedo
Leila Picolli da Silva
Juliana Medianeira Machado
Catarina Stefanello

Adaptação da capa e desenho gráfico
José Luis Guzmán R.

Canoas - RS - Brasil
contact@meridapublishers.com
www.meridapublishers.com

Todos os direitos autorais pertencem a Mérida Publishers. A reprodução total ou parcial dos trabalhos publicados, é permitida desde que sejam atribuídos créditos aos autores.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

S612 IV Simpósio de Investigação em Produção Animal [livro eletrônico] / organizadores Thaise Pinto de Melo ... [et al.]. – 1. ed. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2026.
il. color.

Formato: PDF.
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.
Modo de acesso: World Wide Web.
Inclui bibliografia.
ISBN 978-65-84548-50-3

1. Produção animal. 2. Zootecnia. I. Melo, Thaise Pinto de. II. Azevedo, Eduardo Bohrer de. III. Machado, Juliana Medianeira. IV. Stefanello, Catarina. V. Silva, Leila Picolli da.

CDD 636

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Prefácio

É com grande alegria que apresentamos o IV Simpósio de Investigação em Produção Animal! Para quem ainda não nos conhece, somos o Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (PPGZ-UFSM), um grupo comprometido com a ciência, com o bem estar animal e com o desenvolvimento sustentável da produção agropecuária. Atuando no coração do Rio Grande do Sul, buscamos compreender os desafios do campo e contribuir com soluções inovadoras, responsáveis e alinhadas às necessidades da nossa região.

O Simpósio de Investigação em Produção Animal (SIPRA) nasceu com o propósito de promover a integração entre discentes, docentes e pesquisadores, oferecendo um espaço para a divulgação de pesquisas em desenvolvimento e para o fortalecimento da identidade do Programa. Mais do que um evento científico, o SIPRA é um encontro, um momento em que diferentes grupos de pesquisa compartilham experiências, discutem resultados e constroem novas possibilidades de colaboração.

Desde a primeira edição, percebemos que o SIPRA desempenha um papel fundamental na formação de nossos estudantes e na consolidação da pesquisa desenvolvida no PPGZ-UFSM. Chegamos agora a nossa quarta edição, com uma trajetória consolidada e com o entusiasmo de quem acredita no poder da ciência para transformar a produção animal.

Mais do que um registro de trabalhos, este volume representa a continuidade de uma comunidade acadêmica que valoriza o compartilhamento do conhecimento, o rigor científico e a colaboração entre pessoas. Que estas páginas inspirem novas perguntas, novas parcerias e novos caminhos para a pesquisa em produção animal.

Comissão organizadora

Thaise Pinto de Melo

Eduardo Bohrer de Azevedo

Leila Picolli da Silva

Juliana Medianeira Machado

Catarina Stefanello

Daniele Alves de Oliveira

Francine Basso Facco

Saymon Silva Rocha

Eduarda Ribas de Oliveira

Eduarda Proença de Oliveira

Érica Dambros de Moura

Eduarda Jahnke Kepplin

Amanda de Moura Dani

Ana Beatriz Tabaral Rodrigues

Carolayne Freire Gonçalves

Maria Eduarda Pieniz Hamerski

Estéfane Capucho

Louíse Belmonte Faverzani

Gabrielle Nunes Trindade

Índice

CAPITULO 1
Metodologias de avaliação de qualidade interna e externa de ovos

Valéria Biselo, Eduarda A. Taschetto, Guilherme L. de Godoy, Everton Luiz Albigo, Maria Eduarda V. Spatt, Camila Vuaden, Catarina Stefanello 9

CAPÍTULO 2
Formação de raça sintética: modelo aplicado a raça purunã

Milena de Freitas Silveira, Lorenza Maria Cappellesso Pinzon, Nathália Mesquita Veronezi, Bibiana Cristina Butzke, Eduarda Tibola, Maria Eduarda Gonçalves De Barros, Gabriel Schwingel Mallmann, Emanuel Gomes Lopes Dias, Kelly Murbach Ruiz, Lanna Silva Lopes, Diego Ortunio Rosa Gobo, Alexandre Leseur dos Santos, Pamela Itajara Otto. 28

CAPÍTULO 3
Bioimpedância elétrica como ferramenta para predição da mastite em vacas leiteiras

Gabrielle Nunes Trindade, Francine Basso Facco, Estefani Capucho, Gilmar Roberto Meinerz, Tiago Antonio Del Valle, Julio Viégas 46

CAPÍTULO 4
Monitoramento comportamental automatizado e desempenho reprodutivo de vacas leiteiras

Letícia Minussi Winck, Maria Eduarda Pieniz Hamerski, Francine Basso Facco, Duvan Sanabia-Bautista, Estéfani Capucho, Julio Viégas, Tiago A. Del Valle 58

CAPÍTULO 5
Importância dos ácidos orgânicos na nutrição de peixes

Danilo Gomes de Oliveira, Edirlene Andréa Arnhold, Samuel Ijabo Ogah, Mateus Luan da Rosa Bosse, Verônica Koling do Couto Santos, Rafael Lazzari 71

CAPÍTULO 6
Eucalipto e romã como imunoestimulantes e antioxidantes naturais para tilápia e pacu: mecanismos, aplicações e perspectivas

Samuel Ijabo Ogah, Mateus Luan da Rosa Bosse, Edirlene Andréa Arnhold, Danilo Gomes de Oliveira, Verônica Koling do Couto Santos, Rafael Lazzari 83

CAPÍTULO 7

Contagem diferencial de células somáticas no leite bovino: fundamentos e aplicações na avaliação da saúde da glândula mamária e da qualidade do leite

Paula Montagner, Arthur Fernandes Bettencourt, Rosiéli Martini, Juliana Medianeira Machado, Camila Soares Martins, Mayra de Barros Nascimento Oliveira, Edinara Silva de Lima, Helen Caroline Garcia Damasceno, Gian Ricardo Zuffo, André Thaler Neto, Ana Luiza Bachmann Schogor 98

CAPÍTULO 8

Metanogênese ruminal e métodos para quantificação de metano in vitro: perspectivas para uma técnica alternativa

Araxane Agne Ribeiro, Camila Ten Kathen Jung , Eduarda Ribas de Oliveira, Maria Eduarda Pieniz Hamerski, Matheus Lehnhart de Moraes, Gilberto Vilmar Kozloski..... 116

CAPÍTULO 9

Produção de forragem, manejo e desempenho animal em pastagens estivais

Eduarda Proença de Oliveira, Eliana Bordin Dutra, Eduarda Jahnke Kepplin, Bruna Fernandes Machado, Érica Dambros de Moura Bueno, Dinah Pereira Abbott Rodrigues, Fabielly de Jesus Depra Santos, Lucas Biscaglia Miranda, Luciana Pötter, Eduardo Bohrer de Azevedo 129

CAPÍTULO 10

Paraprobióticos e pós-bióticos na aquicultura: fundamentos, mecanismos e perspectivas

Maurício Antônio Paz Martins, Stéfane Silva Sauzem, Gregorio Cargnin, Diuly Bortoluzzi Falcone, Leila Picolli da Silva..... 149

CAPÍTULO 11

Teor de proteína para leitões desmamados: metabólitos da fermentação, implicações para a saúde intestinal e perfil das dietas experimentais

Leonardo T. da Rocha; Amanda M. Dani; Dejanir Pissinin; Andrea Gonzalez; Clovis E. Gewehr, Vladimir de Oliveira 170

CAPÍTULO 12

Vitamina A nos processos reprodutivos em fêmeas bovinas

Louíse Belmonte Faverzani, Ricardo Zambarda Vaz 189

CAPÍTULO 1

Metodologias de avaliação de qualidade interna e externa de ovos

Valéria Biselo[1], Eduarda A. Taschetto[1], Guilherme L. de Godoy[1], Everton Luiz Albigo[1], Maria Eduarda V. Spatt[1], Camila Vuaden[1], Catarina Stefanello[1]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c1

Resumo

A qualidade dos ovos de galinhas é um parâmetro de grande importância para a indústria avícola. Considerando que a qualidade interna e externa dos ovos é influenciada por diversos fatores, torna-se fundamental a utilização de metodologias adequadas para sua avaliação. Essas metodologias permitem determinar características relacionadas ao frescor, à integridade e à qualidade da casca e dos componentes internos dos ovos. Entre os principais parâmetros avaliados estão a unidade Haugh, o índice de gema, o pH, a resistência da membrana vitelínica, a coloração da gema, o teor de sólidos totais, bem como a resistência e a espessura da casca, além da gravidade específica, porcentagem de casca, translucidez e cor da casca. Dessa forma, a aplicação conjunta dessas metodologias permite uma avaliação abrangente da qualidade dos ovos, contribuindo para o melhor entendimento dos fatores e das estratégias que podem ser utilizados para sua melhoria. O presente capítulo tem como objetivo abordar as principais metodologias utilizadas na avaliação das características internas e externas dos ovos de aves, destacando seus princípios e aplicações.

[1]AvePRO, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

Palavras-chave: metodologias de avaliação; qualidade da casca; qualidade interna; qualidade dos ovos.

1. Introdução

O aumento da demanda por ovos tem ampliado a necessidade de oferta de produtos que atendam aos padrões de qualidade exigidos pelos consumidores. A qualidade dos ovos compreende o conjunto de características que determinam sua aceitação pelo consumidor e sua conformidade com os processos de processamento e comercialização na indústria. Entre essas características, destacam-se a integridade, a limpeza e a coloração da casca, bem como atributos internos relacionados ao albúmen e à gema, como aparência, consistência, coloração, odor e sabor (Oliveira; Oliveira, 2013).

Considerando que o ovo é um alimento perecível, sua qualidade pode sofrer alterações ao longo do tempo em função de fatores relacionados à ave, às condições de produção e às etapas de armazenamento, transporte e comercialização. Dessa forma, a avaliação da qualidade dos ovos envolve diferentes parâmetros capazes de caracterizar aspectos específicos de sua qualidade externa e interna. A qualidade externa está principalmente relacionada à integridade e às propriedades estruturais da casca, enquanto a qualidade interna está associada, principalmente, ao frescor e ao estado de conservação dos ovos, envolvendo características do albúmen e da gema (Montenegro *et al.*, 2019; Gao *et al.*, 2025). Assim, a utilização de diferentes metodologias é necessária para uma avaliação abrangente da qualidade dos ovos.

As metodologias atualmente utilizadas apresentam diferentes níveis de precisão, aplicabilidade e custo. Métodos não destrutivos, como a ovoscopia, a avaliação da translucidez e a determinação da gravidade específica, possibilitam análises rápidas sem a necessidade de romper a casca. Por outro lado, os métodos destrutivos permitem uma avaliação mais detalhada de características internas e externas, incluindo a qualidade do albúmen, a integridade da gema e determinadas propriedades estruturais da casca. A escolha do método depende

do objetivo da avaliação, das características a serem determinadas e da necessidade de preservação da integridade do ovo.

Embora existam diferentes metodologias descritas na literatura para a avaliação da qualidade dos ovos, são limitados os trabalhos que reúnem, em um único documento, os principais métodos utilizados em estudos científicos, contemplando de forma integrada as características internas e externas. Assim, este capítulo aborda os principais fatores que influenciam a qualidade dos ovos e apresenta as principais metodologias utilizadas na avaliação de suas características, destacando seus princípios, aplicações e limitações.

2. Fatores que afetam a qualidade dos ovos

A qualidade dos ovos pode ser influenciada por fatores intrínsecos à galinha, como genética, idade, nutrição e sanidade, e extrínsecos, relacionados às condições ambientais, ao armazenamento e ao transporte após a postura (Oliveira; Oliveira, 2013). Ambos podem atuar de forma isolada ou conjunta, tornando fundamental compreender como cada um dos fatores interfere na qualidade dos ovos para assegurar integridade e qualidade.

Entre os fatores intrínsecos, a genética influencia diferentes características dos ovos, podendo variar de acordo com as linhagens e sua seleção. Com o avanço da idade das galinhas, o tamanho dos ovos aumenta e ocorre uma redução gradual de algumas funções fisiológicas, incluindo alterações na capacidade de absorção e mobilização de cálcio, o que pode reduzir a deposição desse mineral durante a formação da casca (Li *et al.*, 2025). Como consequência, pode ocorrer redução da espessura e da resistência da casca. A nutrição das galinhas poedeiras também influencia diretamente a qualidade dos ovos, afetando características externas, como a resistência da casca, e características internas, como a composição e a coloração da gema.

A ocorrência de doenças em plantéis avícolas pode causar importantes prejuízos econômicos em decorrência da redução da produção de ovos e de

alterações em sua qualidade. Entre as doenças de maior relevância, destaca-se a bronquite infecciosa das galinhas, que pode afetar o sistema reprodutivo das aves e resultar em deformidades e alterações na qualidade da casca dos ovos (Ferreira *et al.*, 2019).

Entre os fatores ambientais, temperaturas elevadas podem provocar estresse por calor nas aves, comprometendo a produção e a qualidade da casca dos ovos. Essas alterações estão relacionadas, entre outros fatores, à redução do consumo de ração, aumento da perda de dióxido de carbono (CO_2) através da respiração e a mudanças no equilíbrio ácido-base do organismo, que podem comprometer a disponibilidade de carbonato e de cálcio para a formação da casca do ovo (Barrett *et al.*, 2019). Consequentemente, pode ocorrer redução da espessura e da resistência da casca, tornando os ovos mais suscetíveis a trincas, quebras e contaminações.

Durante o armazenamento, a estrutura porosa da casca permite trocas gasosas entre o conteúdo interno do ovo e o ambiente externo. Nesse processo, ocorre perda de CO_2, fator influenciado principalmente pela temperatura e pelo período de armazenamento, resultando em alterações nas características internas do ovo (Gao *et al.*, 2025). O armazenamento em temperatura ambiente intensifica essas alterações, resultando em maior perda de peso e redução da gravidade específica, da unidade Haugh e da qualidade da gema em comparação com ovos armazenados sob refrigeração (Jones *et al.*, 2018).

O transporte constitui uma das etapas críticas para a manutenção da qualidade dos ovos, podendo comprometer sua integridade e favorecer a ocorrência de trincas e quebras da casca. Além dos danos externos, as vibrações decorrentes do transporte podem afetar estruturas internas do ovo, reduzindo a resistência da membrana vitelínica e a unidade Haugh (Berardinelli *et al.*, 2003).

3. Metodologias de avaliação da qualidade interna dos ovos

As avaliações da qualidade interna dos ovos compreendem um conjunto de métodos que permitem analisar o albúmen e a gema, possibilitando determinar o grau de frescor, a integridade estrutural, composição e aparência do conteúdo interno. Essas avaliações podem ser realizadas por métodos não destrutivos ou por métodos destrutivos, que requerem a abertura do ovo para a mensuração direta de características específicas.

3.1 Ovoscopia

A ovoscopia é um método simples e não destrutivo que permite avaliar a casca e os componentes internos do ovo. Consiste na iluminação do ovo com uma fonte de luz, possibilitando a visualização trincas, deformações e microtrincas, além da avaliação do tamanho da câmara de ar, da posição da gema e de outras características internas. No Brasil, a ovoscopia é obrigatória em unidades de beneficiamento de ovos para a avaliação de características internas e externas e para a segregação de ovos impróprios para o consumo (Brasil, 2024). Essa avaliação deve ser realizada com os ovos em movimento de rotação, em ambiente escurecido, com incidência indireta de luz, ou por meio de equipamentos eletrônicos (Figura 1).

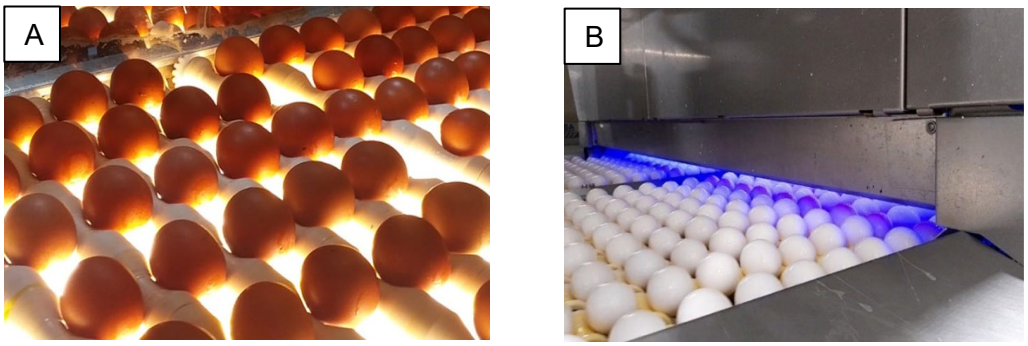


Figura 1: Ovoscopia realizada em câmara escurecida (A) e com auxílio de equipamento eletrônico (B).

3.2 Unidade Haugh

A redução do frescor do ovo é um processo natural que ocorre após a postura, tornando a avaliação desse parâmetro fundamental para a caracterização da qualidade do produto destinado ao consumidor. A perda de frescor dos ovos está associada a alterações físico-químicas, como mudanças no pH, redução da viscosidade do albúmen e migração de água do albúmen para a gema e menor qualidade da casca (Gao *et al.*, 2025).

A unidade Haugh (UH) é um dos principais indicadores utilizados para avaliar o frescor dos ovos. Ela relaciona a altura do albúmen em milímetros (mm), com o peso do ovo. De modo geral, os maiores valores de UH estão associados à maior qualidade do albúmen e ao maior frescor do ovo. Para realizar essa avaliação, o ovo é pesado e, posteriormente, quebrado sobre uma superfície plana para medir a altura do albúmen espesso na região da chalaza com um paquímetro (Figura 2). A unidade Haugh é calculada pela seguinte equação:

$$UH = 100\ log\ log\ (H + 7{,}57 - 1{,}7\ W^{0{,}37})$$

em que, UH = unidade Haugh; H = altura do albúmen (mm); W = peso do ovo (g).



Figura 2: Altura do albúmen para cálculo da unidade Haugh (ORKA, 2026).

3.3 Índice de gema

O índice de gema está relacionado às alterações na qualidade dos ovos durante o período pós-postura. Com o avanço do período de armazenamento, principalmente em temperatura ambiente, ocorre redução da altura da gema e aumento de seu diâmetro, resultando na redução do índice de gema (Jones *et al.*, 2018). Esse parâmetro é determinado pela razão entre a altura (mm) e o diâmetro da gema (mm), obtidos com o auxílio de um paquímetro (Figura 3). Valores considerados ideais variam de 0,39 a 0,45 mm (Oliveira; Oliveira, 2013).

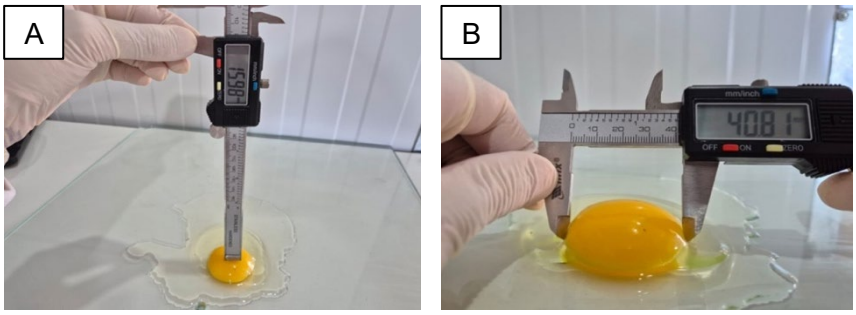


Figura 3: Medição da altura (A) e diâmetro de gema (B) para determinação do índice de gema.

3.4 pH da gema e albúmen

Os valores de pH da gema e do albúmen são indicadores do frescor dos ovos. A avaliação desse parâmetro é realizada com o uso de um pHmetro devidamente calibrado com solução-tampão antes da análise. Em ovos frescos, o albúmen apresenta caráter levemente alcalino (pH 7,6 a 7,9), enquanto a gema apresenta valores de pH mais próximos da neutralidade (6,0 a 6,2) (Oliveira; Oliveira, 2013). Durante o armazenamento, principalmente em temperaturas mais elevadas, ocorre aumento gradual do pH do albúmen, influenciado pelas trocas gasosas através dos poros da casca, enquanto esse aumento é menos acentuado na gema (Kim *et al.*, 2024).

3.5 Cor de gema

A cor da gema é um dos principais atributos físicos considerados pelos consumidores e pode influenciar a aceitabilidade do produto. Entretanto, a preferência pela intensidade da coloração da gema varia de acordo com a região geográfica e está relacionada a aspectos culturais. A avaliação da coloração pode ser realizada por meio de dois métodos principais.

O primeiro método consiste na utilização de um leque colorimétrico, que apresenta uma escala de 15 cores, variando do amarelo-claro ao laranja-escuro. O avaliador compara visualmente a coloração da gema com as numerações do leque, obtendo um valor que representa a intensidade da pigmentação (Figura 4). Essa metodologia é rápida e de baixo custo; entretanto, apresenta caráter subjetivo e pode ser influenciada pela percepção visual do avaliador.



Figura 4: Avaliação visual da cor de gema com o auxílio de um leque colorimétrico.

O segundo método utiliza um colorímetro digital, permitindo uma análise mais objetiva da coloração da gema, com menor influência da percepção do avaliador. Os valores de cor são apresentados em dados numéricos no espaço de cores CIE Lab* (Figura 5). Nesse sistema, o valor L* indica a luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco). A coordenada a* representa o eixo de coloração entre verde (valores negativos) e vermelho (valores positivos), enquanto a coordenada b* representa o eixo entre azul (valores negativos) e amarelo (valores positivos). O colorímetro deve ser calibrado com um padrão de

ladrilho branco antes das medições. Recomenda-se realizar as medições pelo menos em dois pontos distintos da gema.

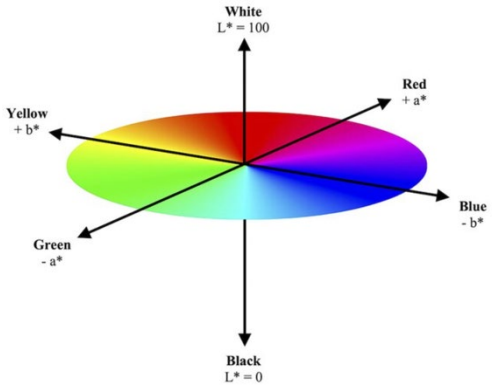


Figura 5: Coordenadas do espaço de cores CIE Lab*em colorímetro.

3.6 Resistência da membrana vitelina

A resistência da membrana vitelínica é uma característica importante da qualidade interna dos ovos, pois seu enfraquecimento pode dificultar a separação entre a gema e o albúmen e aumentar a possibilidade de rompimento da gema. A resistência tende a diminuir com o aumento do tempo de armazenamento, sendo essa redução mais acentuada em ovos mantidos à temperatura ambiente (Jones *et al.*, 2018). Além de ser uma medida importante em ovos de mesa, também é fundamental em ovos incubáveis.

A avaliação da resistência da membrana vitelínica é realizada com o auxílio de um texturômetro equipado com uma sonda cilíndrica de aço inoxidável (Souza *et al.*, 2021). O ovo deve ser quebrado e colocado sobre uma placa, e a gema deve ser posicionada de forma centralizada, evitando que a sonda entre em contato com as extremidades. Em seguida, realiza-se a compressão até o rompimento da membrana, e a força máxima registrada no momento da ruptura é utilizada como medida da resistência da membrana vitelínica (Figura 6).

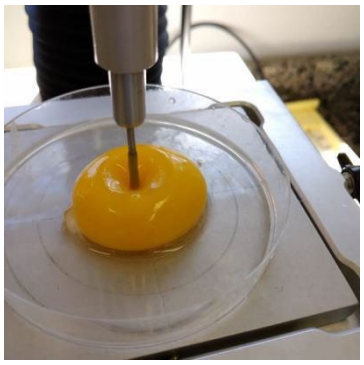


Figura 6: Avaliação da resistência da membrana vitelina em texturômetro.

3.7 Sólidos totais

A determinação dos sólidos totais dos ovos inteiros ou de suas frações separadas apresenta grande importância para a indústria, pois está relacionada ao rendimento e à qualidade dos produtos. Para a análise, as amostras de gema, albúmen ou ovo inteiro devem ser homogeneizadas e pesadas. Em seguida, deve-se realizar a secagem em estufa para determinação do teor de umidade e, posteriormente, a determinação dos sólidos totais, conforme os métodos descritos por Souza *et al.* (2021) (Figura 7).

O teor de sólidos totais é calculado pela relação entre a massa da amostra após a secagem e a massa inicial da amostra, conforme a equação:

$$SÓLIDOS\ TOTAIS\ \% = \frac{peso\ amostra\ seca}{peso\ amostra\ in\ natura} \times 100$$



Figura 7: Secagem de gema em estufa, para determinação de sólidos totais.

4. Metodologias de avaliação da qualidade da casca dos ovos

A qualidade externa dos ovos está diretamente relacionada à redução de perdas ao longo de toda a cadeia produtiva. Além disso, a casca atua como uma barreira física, protegendo o conteúdo interno do ovo contra possíveis contaminações. Os métodos de avaliação da qualidade da casca variam desde técnicas rápidas e não destrutivas, que não requerem a quebra do ovo, até métodos que envolvem a quebra dos ovos, mas permitem uma avaliação mais detalhada de suas características e podem requerer equipamentos específicos.

4.1 Gravidade específica

A gravidade específica consiste em um método indireto de avaliação da qualidade da casca dos ovos, amplamente utilizado por ser rápido, de baixo custo e apresentar correlação com a resistência da casca (Montenegro *et al.*, 2019). Os valores de gravidade específica podem diminuir linearmente com o período de armazenamento, tanto em temperatura ambiente quanto sob refrigeração (Jones *et al.*, 2018).

Devem ser utilizados apenas ovos íntegros. A determinação é realizada pelo método de imersão em soluções salinas, no qual os ovos são imersos em soluções com diferentes densidades. As soluções são preparadas pela adição de sal à água, e a densidade é determinada com o auxílio de um densímetro. As soluções utilizadas normalmente apresentam densidades entre 1,060 e 1,100 g/cm³. Os ovos são imersos sequencialmente, da solução de menor para a de maior densidade, e retirados à medida que flutuam completamente. Dessa forma, a gravidade específica do ovo corresponde à densidade da solução na qual ele flutua (Figura 9). Maiores valores de gravidade específica estão associados à melhor qualidade da casca.



Figura 9: Imersão de ovos em solução salina para avaliação da gravidade específica.

4.2 Porcentagem e peso de casca por superfície de área

A porcentagem de casca é considerada um método indireto de avaliação da qualidade da casca, apresentando correlação com sua resistência (Montenegro *et al.*, 2019). A determinação da porcentagem de casca é realizada após a quebra do ovo e a retirada dos componentes internos, incluindo as membranas e a câmara de ar. Em seguida, a casca é lavada e seca em temperatura ambiente por 72 horas e, posteriormente, pesada em balança digital de precisão (Stefanello *et al.,* 2014). O cálculo é realizado de acordo com a seguinte equação:

$$\%\ CASCA = \frac{peso\ da\ casca}{peso\ do\ ovo} \times 100$$

Além da porcentagem de casca, é possível determinar o peso de casca por superfície de área (PCSA), obtido pela relação entre o peso da casca e a superfície do ovo. Essa avaliação apresenta alta correlação com outros parâmetros de qualidade da casca, sendo uma alternativa para sua avaliação quando não há equipamentos específicos disponíveis (Montenegro *et al.*, 2019). O cálculo é realizado de acordo com a equação proposta por Abdallah *et al.* (1993):

$$PCSA = \frac{PC}{3{,}9782 \times PO^{0{,}7056}}$$

Onde: PC = peso da casca, PO = peso do ovo, expressos em mg/cm².

4.3 Espessura de casca

A mensuração da espessura da casca é geralmente realizada após a secagem da casca e a remoção da membrana interna da casca. A espessura deve ser determinada em pelo menos 3 diferentes pontos da casca, preferencialmente na região denominada equatorial, com o auxílio de um micrômetro (Stefanello *et al.,* 2014) (Figura 10). A espessura pode variar ao longo do ovo, sendo a região próxima à extremidade pontiaguda geralmente mais espessa, enquanto a região próxima à extremidade arredondada, onde se localiza a câmara de ar, apresenta menor espessura (Sun *et al.*, 2012). Sun *et al.* (2012) também observaram associação positiva entre a espessura da casca e a resistência à quebra, indicando que ovos com maior espessura tendem a apresentar maior resistência à quebra, embora esses parâmetros sejam influenciados por outros fatores.



Figura 10: Medição da espessura da casca do ovo com micrômetro.

4.4 Resistência de casca

Uma das principais análises utilizadas para avaliar a qualidade da casca é a determinação de sua resistência à quebra. Cascas com maior resistência apresentam menor risco de trincas e quebras durante o processamento e o transporte dos ovos (Montenegro *et al.*, 2019). No entanto, diferentemente de

outros parâmetros relacionados à qualidade da casca, como espessura, porcentagem de casca e gravidade específica, a determinação da resistência pode apresentar maior custo em razão da necessidade de equipamentos específicos (Montenegro *et al.*, 2019).

A resistência da casca corresponde à força necessária para provocar a quebra do ovo, sendo que valores mais elevados indicam maior resistência. Os resultados podem ser expressos em newtons (N) ou quilograma-força (kgf). Essa avaliação pode ser realizada com o auxílio de um texturômetro equipado com uma sonda (Souza *et al.,* 2021) ou por meio de equipamentos específicos, como os analisadores de textura e de qualidade dos ovos. Para a correta avaliação, o ovo deve ser posicionado de modo que a sonda exerça pressão sobre a região lateral da casca (Figura 11).

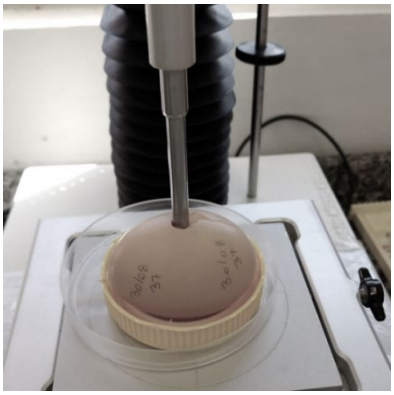


Figura 11: Medição de resistência da casca do ovo em texturômetro.

4.5 Microscopia da casca do ovo

A microscopia pode ser utilizada para avaliar características estruturais e ultra estruturais da casca do ovo, permitindo a análise de aspectos como a organização das camadas da casca, a superfície externa, os poros e a estrutura das membranas. Essa metodologia possibilita uma avaliação mais detalhada das

características morfológicas da casca e pode ser empregada para investigar alterações estruturais associadas à qualidade dos ovos.

Os ovos devem ser quebrados e lavados, e amostras da região equatorial da casca devem ser separadas para retirada das membranas. Posteriormente, as amostras são analisadas por microscopia eletrônica de varredura, sendo avaliadas na seção transversal, espessura da camada paliçada e mamilar, a espessura total (paliçada + mamilar) e a proporção de cada camada em relação a espessura total (Stefanello *et al.,* 2014). Na superfície interna, é contabilizado o número de botões mamilares/mm² (Figura 12).

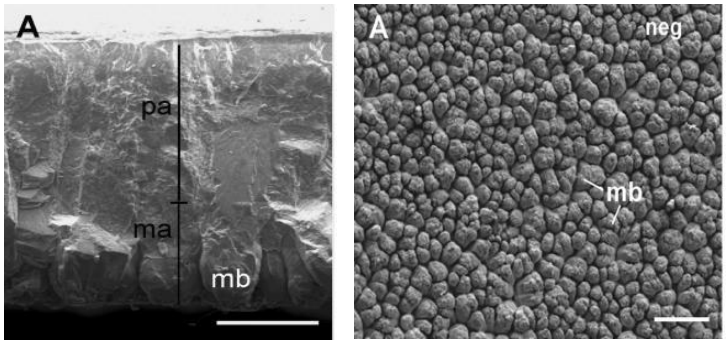


Figura 12: Microscopia eletrônica de varredura da seção transversal da casca de ovo (A, esquerda) sendo, camada paliçada (pa), mamilar (ma) e vista vertical dos botões mamilares (mb) e vista dos botões mamilares (mb) na superfície interna a direita (Stefanello *et al.,* 2014).

4.6 Translucidez da casca

A formação de ovos com casca translúcida pode estar relacionada a alterações na formação da casca e nas membranas internas que, quando apresentam maior facilidade de ruptura, podem favorecer a penetração de umidade proveniente do ambiente externo. Embora a maior translucidez da casca não afete necessariamente a qualidade interna dos ovos, essa característica pode estar associada a maior risco de contaminação por *Salmonella* spp. e *Escherichia coli* através da casca (Chousalkar *et al.*, 2010).

A translucidez geralmente é determinada por meio de ovoscopia. Na avaliação baseada em quatro níveis, são consideradas as seguintes categorias:

ausência de translucidez; translucidez leve, caracterizada pela presença de poucas e pequenas manchas; translucidez moderada, caracterizada por maior número de manchas translúcidas distribuídas pela casca; e translucidez intensa, caracterizada pela presença de várias manchas e áreas maiores de translucidez distribuídas pela superfície da casca (Wang *et al.*, 2019), conforme apresentado na Figura 13.

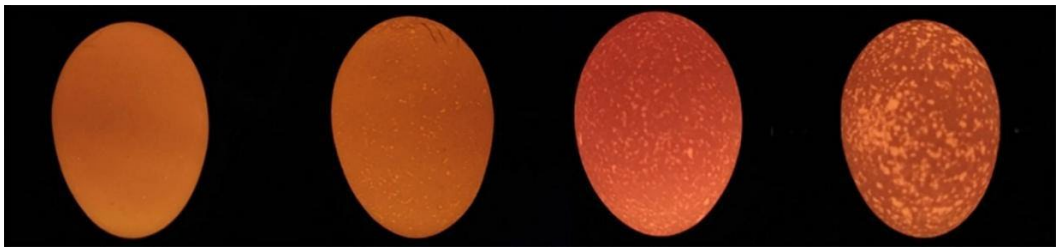


Figura 13: Avaliação de translucência, sendo respectivamente, as pontuações de 1, 2, 3 e 4, da menor para maior (Wang *et al.*, 2019).

4.7 Cor da casca

A coloração da casca do ovo é determinada principalmente pela deposição de pigmentos, como a protoporfirina IX e a biliverdina. Dessa forma, a tonalidade da casca está diretamente relacionada à quantidade e à composição dos pigmentos depositados durante sua formação. A avaliação da cor da casca pode ser realizada por meio de leques colorimétricos, que permitem uma avaliação visual e prática da intensidade da coloração, ou por meio de colorímetro, que possibilita uma avaliação objetiva baseada no sistema de coordenadas CIE Lab*, proporcionando maior precisão e reduzindo a influência da percepção visual do avaliador.

5. Considerações finais

A avaliação da qualidade dos ovos requer a combinação de diferentes métodos capazes de caracterizar os atributos da casca e do conteúdo interno. Métodos como a determinação da gravidade específica e a ovoscopia, permitem avaliações rápidas, de baixo custo e de fácil aplicação. Por outro lado,

metodologias como a determinação da unidade Haugh, da cor da gema, da resistência da membrana vitelínica, da espessura e da resistência da casca, possibilitam uma avaliação mais detalhada das características dos ovos, embora demandem maior tempo e recursos. Dessa forma, a utilização conjunta de diferentes métodos permite uma avaliação abrangente da qualidade dos ovos, contemplando diferentes aspectos relacionados às características internas e externas.

6. Referências bibliográficas

ABDALLAH, A.G. *et al*. Various methods of measuring shell quality in relation to percentage of cracked eggs. **Poult. Sci**. 72:2038–2043, 1993. https://doi.org/https://doi.org/10.3382/ps.0722038.

BARRETT, N.W. *et al*. Effects of acute and chronic heat stress on the performance, egg quality, body temperature, and blood gas parameters of laying hens. **Poult. Sci**. 98:6684–6692, 2019. https://doi.org/10.3382/ps/pez541.

BERARDINELLI, A. *et al*. Effects of transport vibrations on quality indices of shell eggs. **Biosyst. Eng.** 86:495–502, 2003. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.08.017.

BRASIL. 2024. **Portaria SDA/MAPA nº 1.179**, de 5 de setembro de 2024.

CHOUSALKAR, K. K. *et al.* Recovery of *Salmonella* and *Escherichia coli* from commercial eggshells and effect of translucency on bacterial penetration in eggs. **Int. J. Food Microbiol.** 142:207–213, 2010. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.06.029.

FERREIRA, A. J. P. *et al*. Principais enfermidades de poedeiras comercias II. Pages 0–608 in Produção e processamento de ovos de poedeiras comerciais. D.E. de Faria, D.E. de Faria Filho, M.R. Mazalli, and M. Macari, ed. **FACTA,** 2019.

GAO, Z., J. Zheng, and G. Xu. 2025. Research progress and technological application prospects of comprehensive evaluation methods for egg freshness. **Foods,** 14., 2015. https://doi.org/10.3390/foods14091507.

JONES, D.R. *et al*. Impact of egg handling and conditions during extended storage on egg quality. **Poult. Sci.** 97:716–723, 2018. https://doi.org/10.3382/ps/pex351.

KIM, Y. *et al*. Effects of storage temperature and egg washing on egg quality and physicochemical properties. **Discover Applied Sciences.** 6:111, 2024. https://doi.org/10.1007/s42452-024-05760-1.

LI, S, *et al*. Study on changes in egg quality traits and genetic parameters of white leghorn hens from 35 to 100 weeks of age. **Poult. Sci.** 104, 2025.. https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105502.

MONTENEGRO, A.T. *et al.* Methods to evaluate the eggshell quality of table eggs. **Brazilian Poult. Sci.** 21, 2019. https://doi.org/10.1590/1806-9061-2019-1046.

OLIVEIRA, B.L., OLIVEIRA, D.D. Qualidade e Tecnologia de Ovos. 1st ed. **UFLA**, Lavras, 2013.

ORKA Food Technology LLC. Haugh unit. **EggTester.com.** Accessed September 24, 2026. https://eggtester.com/haugh-unit/.

SOUZA, O. *et al.* 2021. The impact of bacillus subtilis PB6 and chromium propionate on the performance, egg quality and nutrient metabolizability of layer breeders. **Animals,** 11, 2021. https://doi.org/10.3390/ani11113084.

STEFANELLO, C. *et al.* Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens fed diets supplemented with organic trace minerals. **Poultry Sci.** 93:104–113, 2014. https://doi.org/10.3382/ps.2013-03190

SUN, C. J. *et al.* Global variation and uniformity of eggshell thickness for chicken eggs. **Poult. Sci.** 91:2718–2721, 2012. https://doi.org/10.3382/ps.2012-02220.

WANG, D. H. *et al*. Study of measurement methods on phenotype of translucent eggs. **Poult. Sci.** 98:6677–6683. 2019. https://doi.org/10.3382/ps/pez539.

CAPÍTULO 2

Formação de raça sintética: modelo aplicado a raça purunã

Milena de Freitas Silveira[1], Lorenza Maria Cappellesso Pinzon[2], Nathália Mesquita Veronezi[1], Bibiana Cristina Butzke[1], Eduarda Tibola[1], Maria Eduarda Gonçalves De Barros[1], Gabriel Schwingel Mallmann[1], Emanuel Gomes Lopes Dias[2], Kelly Murbach Ruiz[2], Lanna Silva Lopes[2], Diego Ortunio Rosa Gobo[3], Alexandre Leseur dos Santos[2], Pamela Itajara Otto[1].

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c2

Resumo

Dentre as principais ferramentas utilizadas no melhoramento animal, em especial na bovinocultura de corte, o uso de cruzamentos ganha destaque. Através de diferentes sistemas de cruzamentos, pode-se obter animais e/ou novas raças, com maior eficiência produtiva, por meio da heterose e complementariedade das raças, relacionada a soma das características desejáveis dos rebanhos zebuínos e europeus. O Purunã, raça sintética originada na região Sul do país, se destaca por sua capacidade adaptativa e alta produção de carne. Por meio dos programas de incentivo à criação, associados à aplicação de biotecnologias reprodutivas e de ferramentas de melhoramento genético, como a avaliação genômica, tem sido possível promover o desenvolvimento de animais geneticamente superiores, com maior potencial produtivo e reprodutivo. Dessa forma, o aprimoramento genético contínuo da raça Purunã representa uma importante estratégia para elevar a produção dos rebanhos, ampliar sua competitividade e atender às exigências do mercado.

[1]Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.
[2]Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Paraná, Palotina, Brasil.
[3]Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Jaboticabal, SP, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

Palavras-chaves: avaliação genômica; complementariedade; heterose; raça sintética.

1. Introdução

A produção brasileira de carne bovina encontra-se em destaque mundial devido a detenção de 20,25% do rebanho global de acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2025). Entretanto, há uma crescente demanda pelos produtos derivados da pecuária de corte à nível global, fato que fomenta discussões sobre a necessidade de expansão da produção e aumento da eficiência reprodutiva dos rebanhos.

O Brasil possui uma grande diversidade de biomas, os quais interferem diretamente na adaptação e capacidade produtiva de raças bovinas puras (Santos *et al*., 2015). Frente a isso, as raças sintéticas vêm sendo utilizadas com o objetivo de explorar os benefícios da heterose e da complementariedade das características oriundas de suas raças fundadoras (Caetano, 2020).

Dentre as raças sintéticas originadas no Brasil, o Purunã foi desenvolvido no estado do Paraná nos anos 80, através de um trabalho experimental para avaliação do cruzamento duplo entre quatro raças. A raça se destaca pela associação das características de adaptabilidade e rusticidade herdadas dos bovinos zebuínos e de carcaça e fertilidade vindas dos rebanhos europeus.

Atualmente, projetos voltados para criação do Purunã, associados às biotecnologias reprodutivas e avaliação genômica elevam a produção da raça e amplia sua participação no mercado de carnes nobres, consolidando sua relevância para uma pecuária sustentável e sua disseminação pelo país.

2. Desenvolvimento

2.1 Cruzamentos no melhoramento animal e seus efeitos

Dentre as principais ferramentas utilizadas no melhoramento animal, em especial na bovinocultura de corte, o uso de cruzamentos ganha destaque. Estes, por meio da heterose e complementariedade, permitem a combinação de características de diferentes raças e criação de animais mais produtivos e resistentes. Na prática, poucos tipos de cruzamentos são utilizados: simples ou industrial, triplo ou *tricross*, duplo entre quatro raças e o contínuo ou absorvente, além de cruzamentos específicos para formação de raças específicas.

O cruzamento simples ou industrial é um dos mais utilizados a nível nacional, por meio do acasalamento de machos e fêmeas de duas raças puras e distintas, com a produção da primeira linhagem de mestiços denominados F1 (Euclides Filho, 1997). É um cruzamento que possibilita o aproveitamento da complementariedade das duas raças, com 100% de heterose, obtendo-se uma uniformidade na progênie, sendo essa destinada inteiramente para o abate.

O cruzamento triplo ou tricross, também muito utilizado na bovinocultura de corte, acasala fêmeas meio sangue com reprodutor de uma terceira raça pura. Segundo Kinghorn *et al*. (2006) o resultado deste cruzamento é um indivíduo com alto grau de heterose e alto nível de produção devido os pares de genes apresentarem diferença pela raça de origem.

Já o cruzamento duplo entre quatro raças consiste na combinação de quatro raças puras, através do acasalamento de fêmeas meio sangue com machos meio sangue, o qual obtém como resultado um indivíduo, com ¼ (25%) de cada raça pura e máximo de heterose individual, materna e paterna.

O cruzamento contínuo ou absorvente faz uso de reprodutores de uma mesma raça geneticamente superior ao longo das gerações, até a absorção da raça nativa/geneticamente inferior. Assim, são produzidos indivíduos denominados Puros por Cruza (PC), a partir do grau de sangue de 31/32 da raça de maior interesse (Euclides Filho, 1997).

A definição do tipo de cruzamento a ser utilizado depende de vários fatores, desde a região e sistema de criação utilizado, infraestrutura e mão de obra, raças e principalmente, do objetivo de seleção do rebanho. Porém, quando realizados corretamente, todos visam o aproveitamento dos ganhos resultantes da heterose e complementariedade entre as raças utilizadas.

A heterose, também conhecida como vigor híbrido, é a superioridade média de animais cruzados em relação à média de desempenho dos pais puros (Kanaka *et al*., 2023). Ela é resultado da heterozigose e representa a proporção média de loci (regiões genômicas) que contém alelos distintos (Perotto *et al*., 1999), representando a diversidade de genes oriundos das diferentes raças utilizadas no cruzamento.

O desempenho produtivo de rebanhos mestiços pode ser otimizado com a obtenção dos valores desejáveis de heterose, graças a complementaridade das raças, a qual permite a combinação das características de interesse através da implementação de diferentes genes na progênie oriunda dos cruzamentos. Isto permite a produção de animais com bons índices produtivos, resistentes e adaptados às regiões, que seriam desafiadoras para a criação das raças puras. Entretanto, a utilização de cruzamentos requer a utilização de um bom controle zootécnico, de identificação e registros dos animais, para a correta utilização dos reprodutores de raças puras, nas diferentes gerações, além da aquisição de reprodutores das diferentes raças utilizadas e uma criteriosa seleção das fêmeas na propriedade para a reposição no rebanho.

A criação de animais de raças sintéticas apresenta uma série de vantagens, pois combina o desempenho de diferentes raças em uma nova, possibilitando inclusive o reconhecimento como raça sintética registrada pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) do Brasil. Desta forma, produtores e técnicos podem fazer a seleção e compra de matrizes e reprodutores com avaliação genética oficial, beneficiando o manejo reprodutivo ao longo das gerações e contribuindo para o avanço genético do plantel.

2.2 Formação de raças sintéticas

Na bovinocultura, as raças sintéticas são produtos gerados a partir de cruzamentos entre animais das subespécies *Bos taurus* e *Bos indicus* (Rosa *et al*., 2021), animais formados a partir de duas ou mais raças geneticamente distintas, produzidas visando alto desempenho em uma região de criação, frequentemente desafiadora. As novas raças sintéticas buscam o aproveitamento da heterose e da complementariedade entre as linhagens dos acasalamentos originais, muitas vezes entre linhagens distantes.

Historicamente, a formação dessas raças não tinha como principal objetivo explorar a heterose. O foco estava na combinação e fixação de características desejáveis, provenientes das raças fundadoras, por meio do aproveitamento dos efeitos genéticos aditivos (Euclides Filho, 2000). Dessa forma, buscava-se combinar características desejáveis presentes nas raças fundadoras em uma única população.

Os cruzamentos são planejados e direcionados na busca da fixação de uma composição genética, sendo ⅝ produtiva + ⅜ adaptada, quando utilizadas duas raças, ou ¼ (25%) quando utilizadas quatro (Leal, 2001), permitindo uma padronização morfológica, produtiva e a consolidação dos animais como uma nova raça sintética (Euclides Filho, 2000). Como um dos principais exemplares de raças sintéticas formadas originalmente no Brasil, que vem ganhando destaque ao longo dos anos, pode-se citar o Purunã.

2.3 Raça Purunã

2.3.1 Histórico

O desenvolvimento da raça Purunã iniciou-se em 1980, na Estação Experimental Fazenda Modelo do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) em Ponta Grossa-PR. Teve como objetivo avaliar um trabalho experimental que utilizou as raças Aberdeen Angus, Canchim, Caracu e Charolês, com os

esquemas de cruzamento alternados Aberdeen Angus x Canchim e Charolês x Caracu (IDR-PARANÁ, 2026).

O processo teve início com a formação do plantel fundador, onde o antigo IAPAR (Instituto Agronômico do Paraná), hoje IDR-Paraná (Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná) adquiriu bovinos da raça Aberdeen Angus originados da região de Ponta Grossa-PR e de Júlio de Castilhos-RS. Com o decorrer dos anos, o rebanho foi melhorado através da implementação de animais oriundos da Estância São Bibiano, na cidade de Uruguaiana-RS, associado a aquisição de sêmen importado de touros com alto mérito genético.

O rebanho Charolês apresentou sua formação em 1976, quando a Fazenda Modelo recebeu animais da Secretaria de Agricultura do Paraná. Através da aquisição de novos animais oriundos do Rio Grande do Sul, aplicaram-se as ferramentas de seleção e acasalamento para a melhoria do plantel. Atualmente, a inseminação artificial tem permitido a implantação da genética oriunda de diversas regiões do mundo como Canadá e França.

O rebanho da raça Canchim estava disponível desde 1979, devido a uma transferência realizada pela EMBRAPA à Estação Experimental Fazenda Modelo. Atualmente, utiliza-se o sêmen fornecido pela Associação Brasileira de Criadores de Canchim (ABCCAN). A raça Caracu foi adquirida dos principais rebanhos do Paraná e Santa Catarina e, com o passar dos anos, novos animais foram adicionados ao rebanho. Atualmente, a genética do Instituto de Zootecnia de São Paulo e de propriedades dos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo foram introduzidas ao plantel através da inseminação artificial.

O rebanho fundador era composto por 284 animais, onde 78 eram da raça Charolês, 52 Caracu, 46 Aberdeen Angus e 17 Canchim, além de 91 matrizes cruzadas. Ao longo do experimento, mais 122 matrizes foram adicionadas ao rebanho, sendo 53 Canchim, 47 Caracu, 1 Charolês, 11 Angus e 10 cruzadas.

Em 1995, após a coleta de dados, procedeu-se a avaliação do experimento, onde os resultados revelaram que os cruzamentos Aberdeen Angus x Canchim e Charolês x Caracu, a cada geração que se avançava,

resultava na retenção de características relevantes para o avanço da pesquisa, como, por exemplo, o peso do bezerro à desmama e os níveis de heterose acima do esperado. Com base nos resultados positivos, em 1996 iniciou-se a segunda fase, composta pela formação de uma raça sintética.

A partir de 2001, o IAPAR fez uma distribuição controlada de alguns touros e sêmen vindos do projeto de formação da raça tetra-mestiça, o que permitiu a coletados de dados da raça, não sendo registrado nenhum fato limitante ao uso dos mestiços como touros reprodutores. Isto contribuiu para a formação de uma base de dados robusta até 2008, que demonstrava o desempenho satisfatório do Purunã, composto pelas características de carcaça, ganho de peso, peso ao desmame e qualidade de carne. Baseado nos resultados satisfatórios, realizou-se um trabalho de difusão desses animais através da distribuição e exposição de touros, matrizes e sêmen.

O IAPAR, credenciado pelo MAPA em 2012, emitiu a Certificação Especial de Identificação e Produção após a raça Purunã ter recebido o reconhecimento de composto estabilizado. Finalmente, em 2016, por meio da publicação no Diário Oficial da União, PORTARIA N°249 no dia 30/11/2016, sob o número 23 de registro no MAPA, o Purunã foi reconhecido como uma nova raça sintética nacional e concedeu à associação de criadores a autorização para realizar o registro genealógico destes animais.

A escolha do nome da raça é uma homenagem à Serra do Purunã, localizada próximo à Fazenda Modelo, a qual delimita os Campos Gerais do Paraná, precursora no desenvolvimento da pesquisa do bovino Purunã (IAP, 2004).

2.3.2 Formação da Raça

A raça Purunã apresenta uma estrutura populacional originada de um cruzamento duplo entre quatros raças. A composição racial final é composta por 40% Charolês, 25% Caracu, 25% Aberdeen Angus e 10% Zebuíno, devido ao

Canchim ser uma raça sintética 5/8 Charolês e 3/8 Zebu. As raças formadoras foram escolhidas devido às suas características produtivas de interesse e sua criação no Paraná, contribuindo para a pecuária local.

O gado Aberdeen Angus contribui com precocidade, temperamento dócil, qualidade de carne e excelente rendimento de carcaça. O Caracu com animais compactos, de bom volume muscular, resistente a parasitoses e a doenças, bons aprumos e adaptação a diversas regiões do Brasil. O gado Charolês, contribui com maciez da carne, excelente cobertura de gordura e carcaças grandes e pesadas. Por fim, o Canchim, por ser uma raça composta parcialmente por zebuínos, tem excelente resistência e adaptabilidade ao clima tropical, sem perder em produtividade e qualidade de carne, rusticidade e alta libido.

O desenvolvimento da raça Purunã atende a uma necessidade estratégica de ocupação produtiva em regiões declivosas do Paraná, como partes do Sudoeste, região Central e Sul, onde o relevo acidentado inviabiliza a produção de grãos, além de locais para criação intensiva ou semi-intensiva. Nessas áreas, busca-se um animal que suporte a constante subida e descida de encostas para acessar fontes de água em níveis inferiores, nos rios encaixados típicos dessas formações geológicas, com alto rendimento de carcaça e ganho de peso quando confinados. O Purunã torna-se uma excelente escolha para esses cenários devido ao seu físico equilibrado, apresentando membros de ossatura forte com bons aprumos, o que confere segurança à sustentação e funcionalidade ao animal em terrenos difíceis (ACP, 2011; IDR-PARANÁ, 2026).

2.3.3 Padrão racial

O padrão racial do Purunã compreende o conjunto de características fenotípicas utilizadas para identificação, padronização e seleção dos animais, o qual encontra-se descrito no estatuto da Associação de Criadores de Bovinos Purunã (ACP). De modo geral, são desejáveis bovinos de conformação típica para corte, com corpo retangular, boa distribuição das massas musculares, lombo longo e nivelado, aprumos corretos e temperamento dócil e alerta,

características associadas à funcionalidade, ao rendimento de carcaça e à eficiência produtiva (Santos *et al*., 2021).

Os animais apresentam pelagem curta, lisa e brilhante, predominando a coloração branca, cinza ou avermelhada (Foto 1). Durante as gerações intermediárias de formação da raça são admitidas diferentes colorações, entretanto, a partir da terceira geração somente são aceitos animais enquadrados no padrão racial estabelecido (Santos *et al*., 2021).

Embora o padrão racial seja baseado principalmente na avaliação fenotípica, o programa de melhoramento da raça também realiza avaliação genética do rebanho, disponibilizando os resultados por meio da publicação do Sumário da raça, com as Diferenças Esperadas na Progênie (DEPs) para características de crescimento e desempenho.

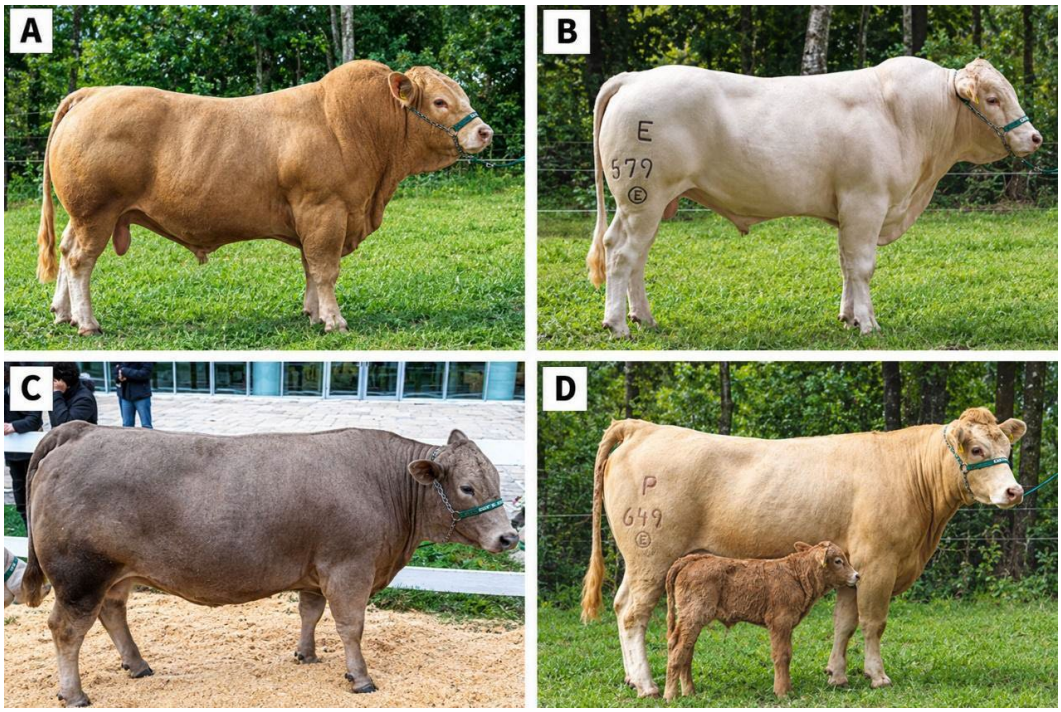


Foto 1. Animais Purunã representando os padrões morfológicos da raça: (A) reprodutor de coloração avermelhada; (B) reprodutor de coloração branca; (C) matriz cinza; e (D) matriz com bezerro ao pé de coloração avermelhada.

O primeiro sumário, com resultados da avaliação genética da raça Purunã (AGPUR), foi publicado no ano de 2016. Dentre as características avaliadas

encontram-se o peso aos 120 dias (fase materna), 210 dias (desmama), 420 dias (sobreano) e o ganho médio diário da desmama ao sobreano, além do efeito materno aos 120 e 210 dias e Índice de Qualificação Genética Purunã (IQG). Atualmente, um novo sumário está sendo trabalhando com base em análise genômicas, onde serão publicados os resultados da primeira avaliação genômica da raça. A seleção genômica é ferramenta utilizada com o objetivo de aumentar a precisão na identificação de animais geneticamente superiores, contribuindo para maior uso de touros jovens, aumento do ganho genético ao longo das gerações e progresso da raça.

Estudos conduzidos na população utilizada para a formação do Purunã demonstraram variabilidade genética para pesos à desmama e ao sobreano, evidenciando o potencial de resposta à seleção (Otto *et al*., 2021). Além disso, análises genômicas demonstraram que o Purunã apresenta estrutura genética própria, com regiões genômicas associadas a características de crescimento, qualidade de carcaça, adaptação ao calor, eficiência alimentar e reprodução, reforçando seu potencial como raça composta, destinada à produção eficiente de carne bovina (Mulim *et al*., 2022).

A seleção baseada em informações genéticas permite, portanto, complementar a avaliação visual dos animais. Essa integração é particularmente relevante em uma raça composta, na qual o objetivo não é apenas manter características morfológicas padronizadas, mas também promover progresso genético para características diretamente relacionadas à eficiência produtiva.

2.3.4 Cenário atual e disseminação da raça

Atualmente, o Purunã apresenta um processo de expansão para além de seu núcleo original em Ponta Grossa-PR, que permanece como principal núcleo histórico e científico da raça Purunã, por concentrar a Fazenda-Modelo, considerada a “Casa do Purunã”, sendo referência para pesquisa, conservação e melhoramento genético. O IDR-Paraná mantém atividades relacionadas ao

acompanhamento técnico, controle de desempenho, melhoramento genético e disponibilização de material genético do Purunã (IDR-PARANÁ, 2026).

A cidade de Cascavel-PR destaca-se pela criação e divulgação da raça, devido a presença da raça em eventos agropecuários, como o Show Rural Coopavel (IDR-PARANÁ, 2025). Paranavaí-PR apresenta potencial de utilização em uma região pecuária com condições ambientais mais quentes e Sapezal-MT demonstra a expansão da raça para o Brasil Central (IDR-PARANÁ, 2026). Existem também propriedades na região do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) e região norte no estado de Rondônia. A utilização da raça fora do Paraná é relevante, pois demonstra o interesse por animais capazes de apresentar bom desempenho em diferentes condições de ambiente (IDR-PARANÁ, 2023).

Desta forma, a disseminação do Purunã ocorreu inicialmente no Paraná e posteriormente alcançou outras regiões do país. Informações institucionais do IDR-Paraná indicam que a raça é recomendada para o Paraná e o Brasil Central como raça pura e, em outras regiões, pode ser utilizada em cruzamentos com vacas Nelore e aneloradas visando à produção de carne (IDR-PARANÁ, 2026).

A região centro-oeste é uma das áreas mais importantes para a expansão do Purunã. A presença da raça na região está associada principalmente à busca por animais que apresentem bom desempenho em condições tropicais e ao uso em cruzamentos com rebanhos zebuínos (IDR-PARANÁ, 2026). Assim como o estado do Mato Grosso do Sul, que também recebeu a raça durante seu processo de expansão nacional e apresentam a criação fortemente baseada em bovinos zebuínos, oferecendo condições para utilização do Purunã em cruzamentos industriais (Secretaria da Agricultura, 2016).

A introdução de animais Purunã em Rondônia representa uma etapa relevante da expansão da raça para a região Norte. A presença da raça em ambiente tropical demonstra o interesse por suas características de rusticidade e tolerância ao calor (Secretaria da Agricultura, 2016). Ainda, bovinos Purunã já estão sendo criados no Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, demonstrando que a raça alcançou regiões importantes da produção pecuária brasileira (IDR-

PARANÁ, 2021). Isto consolida a aptidão de criação desta raça em diferentes regiões do Brasil, em virtude de sua rusticidade, tolerância ao calor e adaptação a diferentes ambientes, características alvo de interesse e selecionadas durante a formação do Purunã (IDR-PARANÁ, 2024).

2.3.5 Avaliação genética genômica e perspectivas para o futuro

A raça Purunã vem passando por uma nova etapa de melhoramento genético com o objetivo de aumentar a precisão na identificação de animais geneticamente superiores. Em 2024, a Associação dos Criadores de Purunã iniciou um processo de recadastramento de animais puros e cruzados, buscando conhecer melhor a dimensão e a qualidade genética da população. A proposta inclui a identificação genética dos animais e a utilização dessas informações para acelerar o processo de seleção (IDR-PARANÁ, 2024).

No final de 2024 o IDR-Paraná anunciou a aprovação do “Projeto Purunã – Genômica”, desenvolvido em parceria com a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Universidade Estadual do Norte Paranaense (UENP), com investimento aproximado de R$ 1,27 milhões do Governo do Paraná, por meio da Secretaria da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior e da Fundação Araucária. O projeto utiliza ferramentas de genômica, reprodução e avaliação genética para aprimorar características de importância econômica, como ganho de peso, eficiência alimentar, precocidade e rendimento de carcaça (IDR-PARANÁ, 2025).

A parceria entre IDR-Paraná e UFPR/UENP prevê a ampliação da base de dados genômicos da raça, a elaboração de catálogo atualizado de touros melhoradores, com divulgação de valores genéticos genômicos, a produção e comercialização de embriões de alta qualidade genética e o desenvolvimento de protocolos de manejo reprodutivo e nutricional.

Paralelamente ao melhoramento genético, o IDR-Paraná desenvolveu programas para fomentar e disseminar a criação do Purunã entre produtores

rurais. Em 2021 foram implantadas Unidades de Referência (URs), inicialmente nos Campos Gerais e no Vale do Ribeira-PR, com participação de produtores acompanhados pela pesquisa e pela extensão rural (IDR-PARANÁ, 2021).

O objetivo do programa é facilitar o acesso dos pecuaristas à genética Purunã por meio do fornecimento de touros registrados. A cada 30 matrizes, o IDR disponibiliza um reprodutor para ser utilizado durante a estação de monta, permitindo dessa forma a produção de bezerros mestiços Purunã, sem que o produtor tenha de realizar inicialmente a compra de um touro de alto valor genético. A partir do terceiro ano, como forma de pagamento pelo reprodutor disponibilizado, o produtor deve entregar três machos desmamados com no mínimo 220 kg de peso vivo (IDR-PARANÁ, 2021).

As perspectivas para o futuro da raça Purunã são fundamentadas em um forte investimento em biotecnologias e na expansão estratégica de mercado. Um dos pilares centrais é o programa genômico iniciado recentemente, que visa mapear todo o genoma da raça para identificar as melhores características e acelerar o melhoramento genético. Este trabalho de alta complexidade técnica conta com a colaboração da UFPR, UENP e da Universidade de Guelph no Canadá.

No ano de 2026, uma parceria entre as Universidades UFPR e UENP aprovaram juntamente com o IDR-Paraná, o projeto para multiplicação dos animais da raça Purunã, com a criação de dois laboratórios de alta tecnologia e melhoramento genético em regiões distintas do estado visando a produção de 4.500 embriões da raça, com o aporte de R$ 4,5 milhões. Os embriões serão utilizados no fomento em parceria com os criadores associados à ABCP (Associação Brasileira dos Criadores de Bovinos da Raça Purunã), criadores atendidos pelo IDR-Paranã e o próprio rebanho das estações do IDR-PR. Os laboratórios devem iniciar suas atividades a partir do ano de 2027.

No âmbito comercial, a raça projeta uma consolidação no mercado de carnes nobres, com foco em atender consumidores exigentes e mercados internacionais, como do Japão. O interesse dos frigoríficos tem crescido significativamente devido ao alto rendimento de carcaça e à qualidade da carne

(marmoreio e maciez), levando a uma busca pela organização e aumento da escala de produção para suprir essa demanda.

A evolução genética da raça é contínua, pois, embora já esteja estabilizada, mantém-se o uso de cruzamentos contínuos (duplo entre quatro raças) das raças formadoras (Charolês, Caracu, Angus e Canchim). Essa estratégia permite que o Purunã incorpore constantemente as novas tecnologias e progressos genéticos de cada uma dessas linhagens, garantindo que o animal permaneça moderno e competitivo.

Atualmente, com cerca de 9.500 animais registrados no histórico da raça, o objetivo é ampliar essa base por meio de programas de incentivo ao registro e do uso intensivo de inseminação artificial (IA) e transferência de embriões (TE). A visão a longo prazo para o Purunã é seguir o modelo de eficiência das indústrias de aves e suínos, focando na maximização da produtividade "do pasto ao garfo" e mantendo sua característica de extrema rusticidade e adaptação aos diversos climas do Brasil.

3. Considerações finais

A pecuária de corte em regiões tropicais enfrentou o desafio de conciliar a alta produtividade taurina com a rusticidade zebuína. Embora os cruzamentos industriais explorem a heterose, a complexidade no manejo de rebanhos puros e a necessidade de rígido controle zootécnico dificultam a prática. Nesse cenário, a formação de uma raça sintética estabilizada surge como uma solução científica estratégica para fixar ganhos genéticos e perpetuar a máxima eficiência de forma viável no campo.

A raça Purunã consolida com sucesso o modelo quadrimestiço (40% Charolês, 25% Caracu, 25% Angus e 10% Zebu), integrando as virtudes de suas quatro raças fundadoras. O resultado sintetiza elevado ganho de peso, rendimento de carcaça e marmoreio com habilidade materna, docilidade e bons aprumos. Ademais, a rusticidade e a tolerância ao calor herdadas do Canchim e

Caracu asseguram excelente funcionalidade tanto em pastejo de relevo acidentado, quanto em confinamento, já o Charolês propicia grande desempenho, e a precocidade com qualidade de carne, são oriundas da raça Aberdeen Angus.

Como perspectivas futuras, a seleção genômica, a publicação de DEPs e a multiplicação por meio de tecnologias reprodutivas como IATF e TE elevam a precisão no melhoramento para eficiência alimentar e qualidade de carne, impulsionadas pelo Projeto Purunã – Genômica, Projeto Embriões e por biotecnologias reprodutivas. A expansão do rebanho para o Brasil como na região Central, MATOPIBA e Norte reflete sua ampla plasticidade adaptativa. Assim, o Purunã fortalece sua presença no mercado de carnes nobres, reafirmando seu papel na pecuária sustentável "do pasto ao garfo".

4. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO DOS CRIADORES DE BOVINO PURUNÃ (ACP). Padrão racial Purunã. ACP, Ponta Grossa, PR, Brasil. 2011.

CAETANO, Z. C. P. Estudo genético-quantitativo de características de crescimento pré-desmama de bovinos de corte de diferentes composições raciais. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista (UNESP). 67 pp. 2020. Jaboticabal, SP, Brasil.

EUCLIDES FILHO, K. A pecuária de corte no Brasil: novos horizontes, novos desafios. EMBRAPA-CNPGC, Campo Grande, MS, Brasil. 1997.

EUCLIDES FILHO, K. Programas em raças sintéticas. Anais do III Simpósio Nacional de Melhoramento Animal, Belo Horizonte, MG, Brasil. Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2000.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental da Escarpa Devoniana. IAP, Curitiba, PR, Brasil. 2004.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ (IDR-Paraná). AGPUR 2021: avaliação genética Purunã. Technical document. IDR-Paraná, Curitiba, PR, Brasil. 2021.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ (IDR-Paraná). Balanço social 2022. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. 2023.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ (IDR-Paraná). Em expansão, raça Purunã terá projeto de aprimoramento. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. 2024. Accessed Aug. 14, 2026. https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/Em-expansao-raca-Puruna-tera-projeto-de-aprimoramento.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ (IDR-Paraná). Melhoramento genético da raça Purunã deve ampliar oferta e elevar qualidade da carne. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. 2025. Accessed Aug. 12, 2026. https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/Melhoramento-genetico-da-raca-Puruna-deve-ampliar-oferta-e-elevar-qualidade-da-carne.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO RURAL DO PARANÁ (IDR-Paraná). Raça Purunã. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná. 2026. Accessed Aug. 14, 2026. https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Raca-Puruna.

KANAKA, K. K. et al. On the concepts and measures of diversity in the genomics era. **Current Plant Biology** 33:100278. 2023. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2023.100278.

KINGHORN, B., J. van der Werf, and M. Ryan, eds. Melhoramento animal: uso de novas tecnologias. FEALQ, Piracicaba, SP, Brasil. 2006.

LEAL, J. J. B. Principais sistemas de cruzamentos e produção de raças sintéticas em gado de corte no Estado do Rio Grande do Sul. Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS, Brasil. 2001.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Portaria n°. 249, de 30 de novembro de 2016. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Brasil. 2016.

MULIM, H. A. et al. Genetic and genomic characterization of a new beef cattle composite breed (Purunã) developed for production in pasture-based systems. **Frontiers in Genetics.** 2022. https://doi.org/10.3389/fgene.2022.858970.

OTTO, P. I., et al. Estimation of genetic parameters for weaning and yearling weights in a composite population used to form the Purunã breed. **Revista Brasileira de Zootecnia** v. 50. 2021. https://doi.org/10.37496/rbz5020180224.

PEROTTO, D., et al. Efeitos da raça e da heterozigose sobre características ponderais de bezerros Nelore e mestiços Red Angus × Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia.** 28:504–511. 1999. https://doi.org/10.1590/S1516-35981999000300010.

ROSA, A. N. F. et al. Genética aplicada para pequenos e médios produtores de gado de corte. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, Brasil. 2021.

SANTOS, A. L. et al. AGPUR—Avaliação genética Purunã de 2021: raça Purunã. Vol. 1, no. 1. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná), Londrina, PR, Brasil. 2021.

SANTOS, P. M. et al. Produção animal no Brasil: caracterização, simulação de cenários para pastagens e alternativas de adaptação às mudanças climáticas. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP, Brasil. 2015.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ. Primeira raça genuinamente paranaense, Purunã se destaca na pecuária de corte. 2016. Accessed Sep. 22, 2026. https://www.agricultura.pr.gov.br/Noticia/Primeira-raca-genuinamente-paranaense-Puruna-se-destaca-na-pecuaria-de-corte.

USDA (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE). Production, supply and distribution (PSD): custom query. 2025. Accessed Sep. 11, 2026. https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery

CAPÍTULO 3

Bioimpedância elétrica como ferramenta para predição da mastite em vacas leiteiras

Gabrielle Nunes Trindade[1], Francine Basso Facco[1], Estefani Capucho[1], Gilmar Roberto Meinerz[2], Tiago Antonio Del Valle[1], Julio Viégas[1]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c3

Resumo

A mastite bovina é uma das principais enfermidades da bovinocultura leiteira, comprometendo a saúde da glândula mamária, a qualidade do leite e a rentabilidade dos sistemas de produção. Nesse contexto, a bioimpedância elétrica (BIA) apresenta potencial como ferramenta complementar para o monitoramento da saúde mamária, por permitir a avaliação não invasiva das propriedades elétricas dos tecidos. Este capítulo aborda os fundamentos fisiológicos da aplicação da BIA na detecção da mastite e apresenta um projeto que será desenvolvido no Laboratório de Bovinocultura de Leite da Universidade Federal de Santa Maria (LABLEITE-UFSM), com 10 vacas da raça Holandesa em lactação. Serão avaliados os parâmetros elétricos da glândula mamária antes e após a ordenha, relacionando-os à contagem de células somáticas (CCS), à produção de leite e às características morfológicas do úbere e dos tetos. Espera-se identificar condições adequadas de mensuração e investigar o potencial da BIA como ferramenta complementar para o monitoramento da saúde mamária e a detecção precoce da mastite bovina.

Palavras-chave: bioimpedância elétrica, contagem de células somáticas, inflamação mamária, vaca leiteira.

[1]Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
[2]Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

1. Introdução

A bovinocultura brasileira apresenta expressiva relevância no cenário mundial, destacando-se pela contribuição à produção de leite e pela importância econômica para o setor agropecuário nacional. Em 2025, a produção alcançou 36,7 bilhões de litros de leite, representando um crescimento de 2,6% em relação ao ano anterior (IBGE, 2026). Além da expressiva produção, destacam-se diferenças na produtividade entre as regiões, com o Sul apresentando a maior produtividade média, de 4.051 litros de leite/vaca/ano (IBGE, 2024). Apesar do avanço tecnológico e da melhoria nas práticas de manejo, doenças como a mastite continuam a representar um dos principais desafios sanitários enfrentados pelos produtores de leite.

A mastite, processo inflamatório que afeta a glândula mamária, é responsável por grande parte de perdas econômicas, incluindo queda expressiva na produção de leite (7 a 64%), desconto de preço decorrentes de alta contagem de células somáticas (CCS), descarte obrigatório de leite e custos de tratamento e descarte precoce dos animais (Fesseha *et al.,* 2021; Santos e Ribeiro, 2026). Além disso, estima-se que a incidência de mastite subclínica afete até 50% do rebanho, provocando redução da síntese de leite sem apresentar sintomas visíveis (Santos e Ribeiro, 2026).

Diante da relevância sanitária e econômica da mastite,diferentes métodos são utilizados para auxiliar no seu diagnóstico, como o *California Mastitis Test* (CMT), a contagem de células somáticas (CCS), o teste da caneca telada, e o cultivo microbiológico (Fonseca *et al*., 2021; Ramuada *et al*., 2024). Embora amplamente utilizados, esses métodos apresentam limitações, como subjetividade na interpretação, dificuldades de detecção precoce, especialmente em casos de mastite subclínica (Fonseca *et al*., 2021; Ramuada *et al*., 2024; Santos e Ribeiro, 2026). Métodos como a CCS e o cultivo microbiológico, apresentam custo elevado e necessidade de infraestrutura laboratorial (Ramuada *et al*., 2024).

Nesse contexto, a busca por ferramentas complementares que possibilitem uma avaliação objetiva e precoce da saúde do úbere tem despertado interesse. Entre elas, a bioimpedância elétrica (BIA) é uma técnica não invasiva

que avalia a resposta dos tecidos à passagem de uma corrente elétrica de baixa intensidade, permitindo a obtenção de parâmetros como resistência, reactância, impedância, ângulo de fase e condutância (Eickemberg *et al*., 2011). Alterações na estrutura e no estado do tecido decorrentes de processos inflamatórios podem modificar suas propriedades elétricas, indicando potencial da técnica para auxiliar na identificação precoce de mudanças na glândula mamária associadas à mastite (Ramos *et al*., 2018).

2. Métodos de diagnóstico da mastite

Os métodos de monitoramento da saúde mamária podem ser divididos em testes de triagem a campo, métodos laboratoriais automatizados e técnicas microbiológicas. Entre os testes de campo, destaca-se a caneca telada, indicada para a detecção da mastite clínica durante o manejo pré-ordenha. Esse método permite a visualização direta de alterações físicas no leite, como grumos, filamentos, pus ou presença de sangue (Massote *et al*., 2019; Fonseca *et al*., 2021). Apesar de rápido e de baixo custo, é incapaz de identificar casos subclínicos.

O *California Mastitis Test* (CMT) é o método indireto de campo mais utilizado para a detecção da mastite subclínica. Seu princípio baseia-se na reação entre um detergente aniônico e o DNA liberado pelas células somáticas rompidas, formando um gel cuja viscosidade é proporcional à celularidade da amostra (Damasceno, 2025). Embora seja prático, de baixo custo e permita estimar escores ao pé da vaca, apresenta limitações importantes, como a subjetividade na interpretação visual pelo operador, a influência do estágio de lactação e a variabilidade de sensibilidade e especificidade quando comparado ao isolamento microbiológico (Tommasoni *et al.*, 2023). O *Wisconsin Mastitis Test* (WMT) foi desenvolvido como uma variação do CMT, utilizando tubos graduados para quantificar a viscosidade por meio do escoamento, com o objetivo de reduzir a subjetividade do avaliador (Fonseca *et al*., 2024; Ramuada *et al.*, 2024).

Entre os métodos laboratoriais, a contagem de células somáticas (CCS) realizada por citometria de fluxo é considerada referência para avaliar a magnitude da resposta inflamatória e a qualidade do leite (Damasceno, 2025). Equipamentos automatizados oferecem alta precisão, repetibilidade e capacidade de processamento. No entanto, a CCS é um parâmetro quantitativo, de modo que um mesmo valor pode representar tanto uma infecção aguda inicial quanto uma condição crônica persistente. Além disso, exige amostragem periódica, transporte adequado das amostras e elevado investimento em equipamentos e manutenção (Zuffo, 2021).

A cultura microbiológica é amplamente descrita como ferramenta para o diagnóstico da infecção intramamária. Enquanto exames como o CMT ou a CCS apenas mensuram a intensidade da resposta inflamatória, o cultivo isola e identifica o microrganismo causador (Fonseca *et al*., 2021). O diagnóstico microbiológico possibilita diferenciar infecções contagiosas de ambiente , orientando decisões estratégicas na propriedade, como linha de ordenha e descarte de animais crônicos (Dias *et al*., 2020). Apesar de ser um método de referência, o cultivo exige um período de incubação de 24 a 48 horas, o que impede decisões imediatas na linha de ordenha (Tommasoni *et al*., 2021), além disso, exige laboratórios equipados e profissionais treinados para a leitura das placas (Ramuada *et al*.,2024).

A análise da composição do leite por espectroscopia de infravermelho consiste em uma técnica instrumental que utiliza a absorção da radiação infravermelha pelas moléculas da amostra para determinar sua composição química. A energia absorvida provoca vibrações nas ligações moleculares, gerando um espectro característico que é interpretado pelo equipamento para estimar os teores de gordura, proteína, lactose e sólidos totais (Kucevic *et al*., 2017; Damasceno, 2025). Essa técnica permite analisar um grande número de amostras em pouco tempo, com rapidez, precisão e pouca necessidade de preparo prévio (Kucevic *et al*., 2017). Além disso, possibilita estimar outros componentes, como nitrogênio ureico, caseína e ácidos graxos, sendo amplamente utilizada em laboratórios e indústrias de laticínios para o controle da qualidade do leite (Damasceno, 2025).

A bioimpedância elétrica (BIA) baseia-se na oposição de um meio biológico à passagem da corrente elétrica alternada de baixa intensidade. Essa oposição fundamenta-se em dois vetores principais: a resistência, associada ao fluxo e à concentração de íons livres nos meios intra e extracelulares, e a reactância capacitiva, decorrente da capacitância e integridade das membranas celulares em suspensão (Eickemberg *et al*., 2011; Schumacher *et al*., 2019). Aplicada ao monitoramento da sanidade da glândula mamária, a BIA destaca-se como uma metodologia portátil e rápida (Zuffo, 2021; Oliveira *et al*., 2024) demonstrando potencial para detecção de alterações físico-químicas em tempo real.

3. Mecanismos fisiológicos e da mastite e detecção pela BIA

O processo inflamatório da glândula mamária é desencadeado pela invasão de patógenos e consequentemente resposta imune do hospedeiro (Santos e Fonseca, 2007). Esse evento acarreta duas alterações fisiológicas centrais no tecido e na secreção láctea, que fundamentam as mudanças observadas nos parâmetros de BIA.

A primeira alteração fisiológica refere-se à ruptura da barreira hemato-mamária e desequilíbrio iônico. A inflamação induz a lesão do epitélio secretor e o rompimento das junções entre as células alveolares (Damasceno, 2025). A perda de integridade dessa barreira possibilita o extravasamento de componentes sanguíneos para o lúmen mamário (Damasceno, 2025). Como consequência, ocorre um influxo massivo de íons sódio (Na+) e cloreto (Cl-) do plasma para o leite. Paralelamente, o dano às células secretoras e o estresse metabólico reduzem a síntese de lactose e a concentração de íons potássio (K+) (Schumacher *et al*., 2019; Damasceno, 2025).

A segunda alteração fisiológica consiste no recrutamento e influxo celular, que se reflete na elevação da contagem de CCS. A resposta imune inata promove a migração de leucócitos do sangue periférico para o interior do úbere, dominada pelo recrutamento de neutrófilos polimorfonucleares, além de

macrófagos e linfócitos (Pegolo *et al*., 2023; Damasceno, 2025). Esse fenômeno eleva a CCS e altera a composição celular em suspensão no leite.

Essas alterações fisiopatológicas conectam-se aos parâmetros de BIA, a mesma quantifica a oposição total que um tecido ou fluido oferece à passagem de uma corrente elétrica de baixa intensidade (Schumacher *et al*. 2019; 2021). Ela é composta por dois elementos principais, a resistência e a reactância capacitiva, além dos parâmetros derivados como condutância e ângulo de fase (Schumacher e*t al*., 2021).

A resistência e a condutância respondem principalmente ao equilíbrio iônico do meio. A resistência representa a oposição direta ao fluxo de corrente através dos meios intra e extra celulares, sendo regida pela mobilidade e quantidade de íons livres que atuam como carreadores de carga elétrica (Schumacher *et al*., 2021). Na mastite, a maior permeabilidade vascular eleva a concentração de eletrólitos solúveis (Na^+ e Cl^-) no leite e reduz a concentração de lactose, composto não-iônico que oferece pouca condutividade (Safak e Risvanli, 2022; Tommasoni *et al*., 2023). Esse aumento na força iônica do fluido diminui a resistência elétrica, e resulta em um aumento proporcional da condutância e queda da magnitude da impedância (Safak e Risvanli, 2022).

A reactância capacitiva e o ângulo de fase, por sua vez, respondem a densidade da integridade celular. A reactância surge da propriedade capacitiva das células biológicas (Schumacher *et al*., 2019). A dupla camada lipídica isolante da membrana celular, posicionada entre os fluidos condutores intra e extracelulares, atua como um capacitor elétrico, acumulando cargas e provocando um atraso de fase na corrente elétrica aplicada, sendo refletido pelo ângulo de fase (Schumacher *et al*., 2021). Na mastite, a migração de milhões de células de defesa (neutrófilos, macrófagos) para a secreção láctea altera a densidade total de membranas celulares intactas (Zuffo, 2021). Essa variação na quantidade de capacitores em suspensão e o grau de integridade funcional das membranas modificam diretamente os valores de reactância e do ângulo de fase, permitindo correlacionar as medidas de bioimpedância com a elevação da CCS e a alteração do perfil leucocitário (Schumacher *et al*., 2019, Zuffo, 2021).

Na mastite, em frequências baixas (< 100 kHz), a corrente elétrica não possui energia suficiente para ultrapassar a barreira capacitiva das membranas celulares, circulando predominantemente pelo meio extracelular, o que reflete o influxo iônico de Na^+ e Cl^- e a queda da resistência (Zuffo, 2021). Em frequências mais elevadas (> 100 kHz a MHz), a corrente é capaz de atravessar a bicamada lipídica das membranas e percorrer o espaço intracelular, fornecendo informações sobre o conteúdo interno celular, integridade de membrana e densidade de células somáticas (Zuffo, 2021).

4. Atividades desenvolvidas no LABLEITE-UFSM

O laboratório de Bovinocultura de Leite (LABLEITE), vinculado ao Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), desenvolve pesquisas voltadas à produção e à saúde de bovinos leiteiros. Dentre as iniciativas, destaca-se o projeto intitulado “Bioimpedância elétrica como ferramenta para predição da mastite em vacas leiteiras”, conduzido sob a coordenação do Prof. Dr. Julio Viégas e do Prof. Dr. Tiago Antonio Del Valle, com a colaboração da Ms. Francine Basso Facco e da zootecnista e pós-graduanda Gabrielle Nunes Trindade.

O objetivo central da pesquisa consiste em avaliar o potencial da bioimpedância elétrica (BIA) como um método complementar, portátil, rápido e não invasivo para o monitoramento da sanidade da glândula mamária e o diagnóstico precoce da mastite, com ênfase na forma subclínica. O estudo investigará o comportamento de parâmetros elétricos teciduais como: resistência, reactância, impedância e ângulo de fase e serão utilizadas vacas da raça Holandesa em fase de lactação. Será correlacionado as variações elétricas com a Contagem de Células Somáticas (CCS), a produção diária de leite e aspectos morfológicos da glândula mamária.

4.1 Material e métodos

O experimento será conduzido no Laboratório de Bovinocultura de Leite da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no Rio Grande do Sul, entre os meses de abril e junho de 2027. Serão utilizadas 10 vacas da raça Holandesa em lactação, em um delineamento experimental de medidas repetidas no tempo, no qual os animais serão monitorados duas vezes por semana, nos períodos da manhã e da tarde, ao longo de todo o período experimental.

As mensurações da bioimpedância elétrica serão realizadas por meio do analisador tetrapolar *Bioelectrical Body Composition Analyzer* (Quantum II, RJL Systems®), o qual dispersa uma corrente elétrica alternada de baixa intensidade (800 µA) e frequência de 50kHz, imperceptível ao animal. Para evitar a dispersão da corrente elétrica pelo fato de ser de baixa intensidade e evitar interferências na leitura, as estruturas metálicas das contenções na sala de ordenha serão revestidas com placas de etileno-acetato de vinila (EVA) de 6 mm.

Nas semanas iniciais, será realizada a padronização técnica para definir a disposição dos eletrodos na glândula mamária que proporciona maior estabilidade e confiabilidade nas medições. A rotina em cada sessão de avaliação seguirá um protocolo padronizado, iniciando com o descarte dos três primeiros jatos de leite na caneca telada para identificação de mastite clínica, seguido da aplicação de pré-dipping (com 30 segundos de contato) e secagem individual dos tetos com papel toalha. Na sequência, será realizada a mensuração da BIA em duplicata em cada quarto mamário antes da ordenha. Após a ordenha convencional, realizada com coletores acoplados para amostragem individual de leite destinada à determinação da Contagem de Células Somáticas (CCS) em laboratório, será feita uma nova leitura da BIA e a aplicação do pós-dipping. Além dos parâmetros elétricos e da CCS, serão registrados o volume de leite produzido, o peso corporal dos animais e as características morfológicas do úbere e dos tetos (altura, profundidade, circunferência do úbere, bem como comprimento e circunferência dos tetos).

Os dados obtidos serão analisados no software estatístico SAS (versão 9.4, Cary, NC, USA), por intermédio do procedimento PROC MIXED, de acordo com o seguinte modelo matemático:

$$Y_{ijkl} = \mu + M_i + P_j + (M \times P)_{ij} + A_k + e_{ijkl}$$

onde: Y_{ijkl} = variável resposta BIA (resistência, reactância, impedância ou ângulo de fase); μ = média geral; M_i = efeito do momento da avaliação (antes e depois da ordenha); P_j = efeito da posição dos eletrodos; $(M \times P)_{ij}$ = interação entre momento de avaliação e posição dos eletrodos; A_k = efeito aleatório do animal; e_{ijkl} = erro residual.

Os valores de resistência (Rs) e reactância (Xc, em ohms), fornecidos diretamente pelo aparelho, serão utilizados para calcular a impedância (Z) através da equação $Z = (Rs^2 + Xc^2)$, além das variáveis como o ângulo de fase (AF, em graus) e a condutância (C), utilizando a média das duplicatas como valor final de cada avaliação. A produção diária de leite e o peso corporal serão testados e incluídos como covariáveis no modelo quando aplicável. As associações entre a CCS (submetida à transformação logarítmica para normalização, se necessário) e os parâmetros da bioimpedância elétrica, serão avaliados por meio de análises de correlação e regressão, adotando-se nível de 5% de significância.

4.2 Resultados esperados

Espera-se demonstrar a viabilidade da bioimpedância elétrica como uma ferramenta complementar e não invasiva para o monitoramento da saúde da glândula mamária de vacas leiteiras. A metodologia deverá permitir a caracterização dos parâmetros elétricos teciduais: resistência, reactância, impedância e ângulo de fase, bem como a identificação do posicionamento ideal de eletrodos que garanta a repetibilidade e estabilidade das mensurações. Pretende-se investigar a associação entre os resultados da BIA e a Contagem

de Células Somáticas (CCS), buscando identificar possíveis relações entre as alterações elétricas do tecido mamário e a ocorrência de mastite. Os resultados poderão contribuir para o desenvolvimento de métodos auxiliares na detecção precoce da mastite em vacas leiteiras.

5. Referências

DAMASCENO, Helen G. Relação das diferentes abordagens diagnósticas da mastite subclínica com a composição e atributos físicos do leite. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil. 2025. https://repositorio-api.udesc.br/server/api/core/bitstreams/2e428d90-50b3-4dd0-a4c3-e91bbfe2dd71/content.

DIAS, Juliana; BRITO, Maria; DE SOUZA, Guilherme. Mastite: epidemiologia e controle. In: **Pecuária Leiteira na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. p. 131–142. https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126175/mastite-epidemiologia-e-controle.

EICKEMBERG, Michaela *et al.* Bioimpedância elétrica e sua aplicação em avaliação nutricional. **Revista de Nutrição.** 24:883–893. 2011. https://doi.org/10.1590/S1415-52732011000600009.

FESSEHA, Haben; MATHEWOS, Mesfin; ALIYE, Saliman; WOLDE, Amanuel. Study on prevalence of bovine mastitis and associated risk factors in dairy farms of Modjo town and suburbs, central Oromia, Ethiopia. **Veterinary Medicine**. Res. Rep. 12, 271–283. 2021. https://doi.org/10.2147/VMRR.S323460.

FONSECA, Maria. Mastite bovina: Revisão. **Pubvet** 15:a743. 2021. https://doi.org/10.31533/pubvet.v15n02a743.1-18.

IBGE. Anuário Estatístico do Brasil 2024. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. https://anuario.ibge.gov.br/2024/agropecuaria-e-extracao-vegetal/producao-animal.html?utm_source=chatgpt.com.

KUČEVIĆ, Denis. *et al.* Validation and application of FTIR spectroscopy in raw milk analysis. **Acta Period. Technol.** 48:167–175. 2017. https://doi.org/10.2298/APT1748167K

MASSOTE, Vitória. *et al.* DIAGNÓSTICO E CONTROLE DE MASTITE BOVINA: uma revisão de literatura. **Revista Agroveterinária do Sul de Minas** - ISSN: 2674-9661, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 41–54, 2019. Disponível em: https://ojs.periodicos.unis.edu.br/agrovetsulminas/article/view/265.

OLIVEIRA, Mauricio; ENGER Kellie; ENGER, Benjamin. Impact of Staphylococcus aureus intramammary infection on cellular proliferation and apoptosis on developing mammary glands of pregnant dairy heifers. **Journal of Dairy Science**. 109:7410–7418. 2026. https://doi.org/10.3168/jds.2025-27622.

OLIVEIRA, Wemerson. *et al.* Electrical bioimpedance in milk adulterated with water: Measurement methodology for quantification, influence of temperature, and mathematical modelling. **Applied Sciences.** 14:8026. 2024. https://doi.org/10.3390/app14178026.

PEGOLO, Sara. *et al.* Blood Biochemical Changes upon Subclinical Intramammary Infection and Inflammation in Holstein Cattle. **Journal of Dairy Science**. v. 106, n. 9, p. 6539–6550, 2023. https://doi.org/10.3168/jds.2022-23155.

RAMOS, Jean. *et al*. Physiological and pathological alterations of the mammary gland of Holstein cows in the transition period. 2018, Anais. Sapporo: **Convention Linkage**, Inc., 2018.

RAMUADA Mpho. *et al.* A practical guide to diagnosing bovine mastitis: a review. **Frontiers in Animal Science**. 5:1504873. 2024. https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1504873.

ŞAFAK, Tarik; RIŞVANLI, Ali. Effect of somatic cell count on milk composition and some chemical properties of milk. ***Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia***, v. 74, n. 6, p. 1083–1088, 2022. https://doi.org/10.1590/1678-4162-12854.

SANTOS, Maria; RIBEIRO, Alessandra. Impactos das doenças infecciosas na produção leiteira: uma revisão narrativa de literatura. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. e89370, 2026. https://doi.org/10.34188/bjaerv9n3-294.

SANTOS, Marcos; FONSECA, Luís. Estratégias para controle de mastite e melhoria da qualidade do leite. Barueri, SP: **Manole**. p. 314. 2007. **ISBN:** 978-85-98416-22-9.

SCHUMACHER, Larissa. *et al.* Bioelectrical impedance analysis (BIA) in animal production: Review. **Revista Mexicana de Ciências Pecuarias**, v. 12, n. 2, p. 553–572, 2021. https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i2.5821.

SCHUMACHER, Larissa. *et al.* Use of electrical bioimpedance analysis to evaluate the quality of bovine raw milk. **South African Journal of Animal Science**, v. 49, n. 3, p. 727–734, 2019. https://doi.org/10.4314/sajas.v49i4.14.

TOMMASONI, Chiara. *et al.* Mastitis in dairy cattle: on-farm diagnostics and future perspectives. **Animals**, v. 13, n. 15, art. 2538, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/ani13152538.

ZUFFO, Gian. *Espectroscopia por bioimpedância elétrica: análise em tempo real para a determinação da contagem de células somáticas no leite bovino*. 2021. 65. **Dissertação (Mestrado em Zootecnia)** – Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Centro de Educação Superior do Oeste (CEO), Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Chapecó, 2021. https://repositorio.udesc.br/entities/publication/5b505b03-ec98-4b3d-85aa-15761614d43e/full.

CAPÍTULO 4

Monitoramento comportamental automatizado e desempenho reprodutivo de vacas leiteiras

Letícia Minussi Winck[1], Maria Eduarda Pieniz Hamerski[1], Francine Basso Facco[1], Duvan Sanabia-Bautista[1], Estéfani Capucho[1], Julio Viégas[1], Tiago A. Del Valle[1]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c4

Resumo

A eficiência reprodutiva em rebanhos leiteiros de alta produção é influenciada por distúrbios metabólicos no pós-parto e por falhas na manutenção da gestação. Colares de monitoramento comportamental permitem acompanhar continuamente a atividade, a ruminação e o descanso, mas sua aplicação na tomada de decisões reprodutivas requer avaliação. Foram realizados dois estudos retrospectivos. No Estudo 1 (26.800 vacas, 441 fazendas), animais classificados como desafiados por alertas de saúde nos primeiros 21 dias em lactação (DEL; 5,11%) apresentaram atraso no primeiro estro (52,8 vs. 42,8 DEL) e na concepção (126,0 vs. 115,7 DEL), além de menor proporção de vacas ciclando aos 45 DEL (42,7 vs. 53,6%; $P < 0,001$). Não houve diferença na intensidade do estro ou na concepção à primeira inseminação artificial (IA). No Estudo 2 (19.263 inseminações, 4.474 vacas, 16 fazendas), o alerta de estro no momento da IA aumentou em 50% a chance de concepção aos 30 dias (OR = 1,50; IC95%: 1,34–1,68). Entretanto, sua associação com a perda gestacional entre 30 e 60 dias dependeu do protocolo: reduziu em 54% a chance de perda na IA convencional pós-estro, mas aumentou essa chance em 2,3 vezes nos protocolos sincronizados. Assim, o alerta de estro é um indicador relevante da concepção, mas sua relação com a perda gestacional varia conforme o protocolo reprodutivo.

[1]Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

Palavras-chave: acelerômetro; perda gestacional; pecuária de precisão; período de transição.

1. Introdução

A pecuária leiteira passou por um intenso processo de modernização e seleção genética focada no aumento da produção individual de leite (Oltenacu e Broom, 2010; Lucy, 2019). Esse avanço produtivo, contudo, foi acompanhado pelo declínio dos indicadores de fertilidade e saúde, decorrente de correlações genéticas desfavoráveis e do aumento do estresse metabólico imposto às matrizes de alto mérito produtivo (Thatcher *et al*., 2006; Oltenacu e Broom, 2010). Em rebanhos comerciais, a eficiência reprodutiva é comprometida em dois momentos críticos da lactação: no pós-parto imediato, quando distúrbios metabólicos e inflamatórios retardam o restabelecimento da ciclicidade ovariana (Walsh et al., 2011; Sundrum, 2015) e após a inseminação, quando falhas na manutenção da gestação resultam em perdas embrionárias tardias e fetais iniciais (Wiltbank *et al*., 2016; Pohler *et al*., 2020).

Durante o período de transição, compreendido entre as três semanas que antecedem e as três semanas que sucedem o parto, o aumento da demanda energética para a lactação associado ao consumo de matéria seca ainda reduzido induz o balanço energético negativo (BEN) (Martens, 2023). A mobilização lipídica excessiva e o estresse metabólico predispõem à ocorrência de enfermidades clínicas e subclínicas, como cetose, metrite e deslocamento de abomaso (Leblanc, 2008; Carvalho *et al*., 2019). Distúrbios metabólicos e sanitários no período de transição podem comprometer a retomada da função reprodutiva, ao interferirem na regulação hormonal e na disponibilidade de substratos metabólicos essenciais à atividade ovariana (Garnsworthy *et al*., 2008; Mirzaei *et al*., 2023). Paralelamente, em vacas de alta produção, a identificação do estro torna-se mais desafiadora devido à menor duração e intensidade das manifestações comportamentais associadas a esse evento (Lopez *et al*., 2004; Dobson *et al*., 2008).

Nesse cenário, os sistemas automatizados de monitoramento comportamental (automated activity monitors – AAM), como colares equipados

com acelerômetros triaxiais, consolidaram-se como tecnologias centrais na pecuária de precisão (Roelofs *et al*., 2010; Rutten *et al*., 2013). Ao registrar continuamente métricas individuais de ruminação, atividade e descanso, esses dispositivos geram alertas automatizados que permitem tanto a identificação precoce de distúrbios de saúde (Stangaferro *et al*., 2016; Steensels *et al*., 2017) quanto à detecção objetiva do estro e da intensidade da manifestação estral (Mayo *et al*., 2019; Álvarez *et al*., 2025).

Apesar do amplo uso dos AAM, persistem lacunas relevantes sobre como integrar e interpretar esses dados comportamentais na tomada de decisão em condições comerciais de grande escala (Borchardt *et al*., 2021; Bretzinger *et al*., 2023). A primeira lacuna refere-se ao valor prognóstico dos alertas de saúde no pós-parto imediato, avaliando se o desafio sanitário detectado pelo sensor afeta de forma permanente a qualidade dos eventos reprodutivos (como a intensidade do estro e a taxa de concepção) ou se atua principalmente no atraso temporal do retorno à ciclicidade (Walsh *et al*., 2011; Carvalho *et al*., 2019).

A segunda lacuna diz respeito ao significado do alerta de estro no momento da inseminação artificial (IA) e sua relação com a manutenção da gestação (Pereira *et al*., 2016; Madureira *et al*., 2019). Em sistemas intensivos como o brasileiro, nos quais predominam os protocolos de inseminação artificial em tempo fixo (IATF) (Sales *et al*., 2024), o alerta de atividade gerado pelo sensor não determina a decisão de inseminar, mas sim reflete a resposta fisiológica e endócrina do animal ao tratamento hormonal (Burnett *et al*., 2018; Tippenhauer *et al*., 2023). Permanece incerto se o efeito do alerta de estro sobre a concepção e, em especial, sobre a perda gestacional entre 30 e 60 dias pós-IA é consistente entre diferentes protocolos reprodutivos ou modificado pelo protocolo reprodutivo empregado (sincronizado vs. cio espontâneo) (Tippenhauer *et al*., 2023; Sartori *et al*., 2025).

Diante dessas lacunas, o objetivo deste trabalho é avaliar a associação entre indicadores comportamentais registrados por colares de monitoramento e o desempenho reprodutivo de vacas leiteiras em rebanhos comerciais, abordando: I. O impacto de desafios sanitários detectados no pós-parto imediato (primeiros 21 dias em lactação) sobre o intervalo até o primeiro estro, primeira inseminação e concepção, bem como sobre a intensidade do estro e a taxa de

concepção; II. A associação entre a presença do alerta de estro no momento da inseminação e a taxa de concepção inicial aos 30 dias pós-IA; III. O efeito do alerta de estro sobre a ocorrência de perda gestacional entre 30 e 60 dias pós-IA, testando explicitamente a modulação desse efeito pelo protocolo reprodutivo utilizado (inseminação convencional após cio espontâneo vs. protocolos sincronizados de IATF/TETF).

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização do local, animais e da coleta de dados comportamentais

O estudo foi conduzido a partir de dados retrospectivos obtidos em fazendas comerciais de gado leiteiro localizadas no Brasil, equipadas com colares eletrônicos de monitoramento comportamental (Cowmed®, Chip Inside S.A., Santa Maria, Brasil). Os colares possuem acelerômetros triaxiais que registram continuamente variáveis de atividade física, tempo de ruminação e tempo de ócio. Os dados brutos são transmitidos e processados por algoritmos proprietários que comparam o comportamento individual diário com a linha de base histórica do próprio animal.

2.2 Estudo 1: Alertas de saúde no pós-parto imediato e desempenho reprodutivo

Para avaliar o efeito de desafios sanitários do pós-parto inicial sobre a eficiência reprodutiva subsequente, foram analisados registros de 26.800 vacas leiteiras (primíparas e multíparas) distribuídas em 441 fazendas confinadas (Compost Barn e Free Stall). Foram incluídas apenas vacas que conceberam durante a lactação avaliada. O algoritmo do sistema identificou desvios comportamentais (redução na ruminação e na atividade, associadas ao aumento do tempo de ócio) nos primeiros 21 dias em lactação (DEL), gerando um escore de desafio sanitário. As vacas foram classificadas em dois grupos: Vacas Normais (n = 25.431; 94,89%): sem alertas significativos de saúde nos primeiros 21 DEL; Vacas Desafiadas (n = 1.369; 5,11%): com alteração sanitária/metabólica detectada pelo sistema nos primeiros 21 DEL.

As variáveis reprodutivas avaliadas incluíram: dias até o primeiro estro, intensidade do primeiro estro (escore de 1 a 5), proporção de vacas ciclando aos 45 DEL, dias até a primeira IA, taxa de concepção à primeira IA, dias até a concepção fértil e intensidade do estro na concepção fértil.

2.3 Estudo 2: Alertas de estro, protocolos reprodutivos, concepção e perda gestacional

Para avaliar a associação entre o alerta de estro detectado pelo colar no momento da IA e os desfechos gestacionais sob diferentes contextos reprodutivos, analisou-se uma base contendo 19.263 inseminações em 4.474 vacas de 16 fazendas comerciais localizadas em quatro estados brasileiras (Paraná, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo).

A presença de alerta de estro gerado pelo colar no período da inseminação foi categorizada como variável binária (1 = com alerta; 0 = sem alerta). Os protocolos reprodutivos foram agrupados em: Sincronizados (n = 7.122): inseminação artificial em tempo fixo (IATF) e transferência de embriões em tempo fixo (TETF); IA Convencional (n = 12.054): inseminação realizada após detecção de cio espontâneo; Ressincronização com Prostaglandina (n = 87). Os desfechos avaliados foram a concepção inicial (diagnóstico positivo de gestação aos 30 dias pós-IA) e a perda gestacional (positivo aos 30 dias e negativo aos 60 dias pós-IA).

2.4 Análises estatísticas

Os dados do Estudo 1 foram analisados no SAS (versão 9.4) utilizando o procedimento PROC GLIMMIX. O modelo incluiu o efeito fixo do status de desafio pós-parto e os efeitos aleatórios de fazenda e método de acasalamento. Variáveis contínuas de tempo até o evento (DEL) foram modeladas com distribuição log-normal; os dados binários (ciclicidade e concepção) com distribuição binomial; e os dados binários (ciclicidade e concepção) com distribuição de Poisson. No Estudo 2, foram conduzidas análises bivariadas estratificadas por protocolo (PROC FREQ), com teste de Breslow-Day para

checar a homogeneidade dos Odds Ratios (OR). Em seguida, realizou-se regressão logística multivariável (PROC LOGISTIC), ajustada por paridade e produção de leite diária. Para o desfecho da perda gestacional, incluiu-se o termo de interação alerta × protocolo reprodutivo. O nível de significância adotado foi $\alpha = 0,05$.

2.5. Nota metodológica

Os dados que embasam os resultados apresentados neste capítulo integram dois recortes científicos distintos: o Estudo 1 (já aceito/publicado; Winck et al.) e o Estudo 2 (atualmente submetido à apreciação editorial). Com vistas a preservar as diretrizes de originalidade e integridade autoral exigidas pelas revistas científicas de destino, a totalidade das tabelas e apêndices analíticos pormenorizados de ambos os estudos não foi incluída nesta versão, optando-se por uma exposição sintética e integrativa dos achados práticos para fins didáticos e de divulgação no evento.

3. Resultados e discussão

No Estudo 1, a estatística descritiva geral revelou médias de 51,1 ± 37,3 DEL para o primeiro estro e 137,0 ± 88,8 DEL para a concepção. A ocorrência de alertas comportamentais de saúde nos primeiros 21 DEL afetou negativamente a cronologia da retomada reprodutiva das vacas.

Vacas desafiadas apresentaram atrasos expressivos no retorno à atividade ovariana cíclica. Uma menor proporção de animais estava ciclando aos 45 DEL (42,7% *vs.* 53,6%; $P < 0,001$) e a ocorrência do primeiro estro foi observada 10 dias mais tarde em relação às vacas normais (52,8 *vs*. 42,8 DEL; $P < 0,001$). Resultando em atraso na primeira IA (69,5 *vs*. 64,5 DEL; $P < 0,001$) e no intervalo do parto à concepção fértil (126,0 *vs.* 115,7 DEL; $P < 0,001$). Esses achados confirmam que distúrbios metabólicos e sanitários de transição afetam o eixo hipotalâmico-hipofisário-ovariano por meio da menor frequência de pulsos de LH e da menor disponibilidade de glicose e IGF-I, suprimindo o desenvolvimento e a ovulação folicular (Martens, 2023; Mirzaei *et al*., 2023). Contudo, não foram observadas diferenças na intensidade do primeiro estro, na

intensidade do estro na concepção ou na taxa de concepção à primeira IA (*P* > 0,15). Isso indica que os desafios do pós-parto afetam prioritariamente o tempo dos eventos reprodutivos (retorno à ciclicidade), mas não a sua qualidade uma vez que a homeostase metabólica é restabelecida (Walsh *et al*., 2011; Sundrum, 2015).

Por outro lado, no estudo 2, a frequência de alertas no momento da IA variou segundo o protocolo: 63,9% nos protocolos sincronizados (IATF/TETF) contra 22,0% na IA convencional pós-cio (*P* < 0,001). O teste de Breslow-Day confirmou a heterogeneidade das ORs (razões de probabilidade) entre os protocolos, tanto para a concepção (*P* < 0,001) quanto para a perda gestacional (*P* < 0,001). Na análise multivariável para concepção inicial aos 30 dias (n = 6.652; 3.217 eventos), não se detectou interação significativa (*P* = 0,371). O modelo aditivo demonstrou que a presença do alerta de estro aumentou em 50% a chance ajustada de concepção (OR = 1,499; IC 95%: 1,341–1,675; *P* < 0,001), de forma homogênea entre os protocolos. A expressão do estro identificada por acelerômetros reflete um ambiente hormonal periovulatório favorável, marcado pela exposição prévia de progesterona e pelo subsequente pico de estradiol (Madureira *et al*., 2015, 2021; Tippenhauer *et al*., 2021, 2023).

Em contrapartida, a análise do desfecho de perda gestacional entre 30 e 60 dias de gestação (n = 3.217; 460 eventos), revelou uma interação altamente significativa entre alerta × protocolo reprodutivo (Teste de Wald; *P* < 0,001). Na IA Convencional (Cio Espontâneo), a presença de alerta de atividade reduziu em 54% a chance ajustada de perda gestacional (OR = 0,461; IC 95%: 0,351–0,605; *P* < 0,001). Esse efeito protetor reflete um ambiente uterino superior impulsionado pela maior secreção pré-ovulatória de estradiol, favorecendo o reconhecimento materno da prenhez, a supressão do sistema imunológico local e a adesão do concepto, essenciais para a fixação e manutenção embrionária durante a janela crítica de placentação (Pereira et al., 2016).

Nos protocolos sincronizados (IATF/TETF), a presença de alerta de atividade esteve associada a uma chance 2,29 vezes maior de perda gestacional (OR = 2,292; IC 95%: 1,085–4,844; *P* = 0,030). Essa divergência em protocolos sincronizados sugere duas hipóteses principais: I. Viés de resgate de menor viabilidade: O estímulo hormonal do protocolo associado à alta responsividade

do animal permite a sobrevivência inicial e a gestação aos 30 dias de conceptos de menor viabilidade (que seriam eliminados antes do dia 27 em condições normais), os quais acabam falhando na janela subsequente de placentação entre os dias 30 e 60 (Wiltbank *et al*., 2016; Fernandez - Novo *et al*., 2020; Pohler *et al*., 2020); II. Dessincronização temporal: Em protocolos com horário fixo de inseminação, vacas que manifestam picos intensos de atividade podem ovular em intervalos variáveis em relação à IA, resultando na fertilização de oócitos envelhecidos que geram embriões com menor capacidade de manutenção gestacional tardia (Burnett *et al*., 2018; Álvarez *et al*. 2025).

3.1 Implicações práticas

A leitura conjunta dos resultados indica que a informação sensorial gerada por colares não deve ser tratada de forma isolada ou uniforme. No pós-parto imediato, alertas de saúde auxiliam na identificação precoce de lotes ou matrizes em risco de atraso reprodutivo. Já no momento da IA, os alertas de estro servem como critério qualidade do estro em programas de cio espontâneo (reduzindo perdas gestacionais), enquanto em programas de IATF/TETF sinalizam animais com elevada taxa de concepção inicial, porém com necessidade de um diagnóstico gestacional rigoroso aos 60 e aos 90 dias.

4. Considerações finais

Os colares de monitoramento comportamental oferecem avaliação objetiva e contínua do estado adaptativo e reprodutivo das vacas em condições comerciais. Os desafios sanitários e metabólicos identificados automaticamente nos primeiros 21 dias em lactação associaram-se ao atraso no retorno à ciclicidade, estendendo os intervalos até o primeiro estro, a primeira inseminação e a concepção. Esse comprometimento, contudo, mostra-se temporário e restrito à cronologia reprodutiva. Com o retorno da homeostase, as vacas desafiadas recuperam a eficiência reprodutiva, alcançando intensidade de estro e taxa de concepção comparáveis às dos animais sem histórico de alerta. Já no momento da inseminação, a leitura do alerta de estro deve considerar o contexto

reprodutivo da fazenda, visto que seu impacto sobre a manutenção da gestação difere entre a IA convencional pós-cio e os protocolos sincronizados.

Esses achados devem ser interpretados à luz das limitações dos estudos: natureza observacional e retrospectiva, que impede inferências causais; inclusão apenas de vacas que conceberam no Estudo 1, o que tende a subestimar o impacto do desafio pós-parto; tratamento binário do alerta, sem a intensidade contínua do pico de atividade; e definição de perda gestacional que não captura as perdas embrionárias precoces. Soma-se o fato de a classificação comportamental derivar de algoritmos proprietários não validados contra diagnóstico clínico.

Ainda assim, os sistemas de monitoramento automatizado constituem aliados valiosos na pecuária leiteira de precisão, permitindo identificar precocemente animais com recuperação reprodutiva comprometida e embasando estratégias individualizadas de manejo.

5. Referências bibliográficas

ÁLVAREZ, J. A. *et al*. Estrus detection and optimal insemination timing in Holstein cattle using a neck-mounted accelerometer sensor system. **Sensors.** 25(17):5245. 2025. http://dx.doi.org/10.3390/s25175245.

BORCHARDT, S. *et al*. Association of estrous expression detected by an automated activity monitoring system within 40 days in milk and reproductive performance of lactating Holstein cows. **Journal Dairy Science.** 104(8):9195-204. 2021. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2020-19705.

BRETZINGER, L. F. *et al*. Effect of transition cow health and estrous expression detected by an automated activity monitoring system within 60 days in milk on reproductive performance of lactating Holstein cows. **Journal Dairy Science.** 106(6):4429-42. 2023. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2022-22616.

BURNETT, T. A. *et al*. Effect of estrous expression on timing and failure of ovulation of Holstein dairy cows using automated activity monitors. **Journal Dairy Science.** 101(12):11310-20. 2018. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-15151.

CARVALHO, M. R. *et al*. Long-term effects of postpartum clinical disease on milk production, reproduction, and culling of dairy cows. **Journal Dairy Science.** 102:11701-17. 2019. https://doi.org/10.3168/jds.2019-17025.

DOBSON, H. S. *et al*. The high-producing dairy cow and its reproductive performance. **Reprod Domest Anim.** 42(2):17-23. 2007. https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.00906.x.

FERNANDEZ, N. A. *et al*. Pregnancy loss (28-110 days of pregnancy) in Holstein cows: a retrospective study. **Animals (Basel).** 10(6):925. 2020. http://dx.doi.org/10.3390/ani10060925.

GARNSWORTHY, P. C. *et al*. Nutrition, metabolism, and fertility in dairy cows: 1. Dietary energy source and ovarian function. **Journal Dairy Science.** 91(10):3814-23. 2008. https://doi.org/10.3168/jds.2008-1031.

LEBLANC, S. J. Postpartum uterine disease and dairy herd reproductive performance: a review. **Vet J.** 176:102-14. 2008. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.019.

LOPEZ, H. S., WILTBANK, M. C. Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. **Anim Reprod Sci.** 81(3-4):209-23. 2004. http://dx.doi.org/10.1016/j.anireprosci.2003.10.009.

LUCY, M. C. Selection for fertility in the modern dairy cow—current status and future direction for genetic selection. **Journal Dairy Science.** 2019; 102:3706-21. 2019. https://doi.org/10.3168/jds.2018-15544.

MADUREIRA, A. M. L. *et al*. Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows. **Journal Dairy Science.** 98(10):7003-14. 2015. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9672.

MADUREIRA, A. M. L. *et al*. Intensity of estrus following an estradiol-progesterone-based ovulation synchronization protocol influences fertility outcomes. **Journal Dairy Science.**. 102(4):3598-608. 2019. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-15129.

MADUREIRA, A. M. L. *et al*. Plasma concentrations of progesterone in the preceding estrous cycle are associated with the intensity of estrus and fertility of Holstein cows. **PLoS One.** 16(3):e0248453. 2021. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0248453.

MARTENS, H. Invited Review: Increasing Milk Yield and Negative Energy Balance: A Gordian Knot for Dairy Cows? **Animals (Basel).** 4:13(19):3097. 2023. https://doi.org/10.3390/ani13193097.

MAYO, L. M. *et al*. Automated estrous detection using multiple commercial precision dairy monitoring technologies in synchronized dairy cows. **Journal Dairy Science.** 102(3):2645-56. 2019. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-14738.

MIRZAEI, A. M. *et al*. Effect of body condition loss in early lactation Holstein cows on plasma IGF-I, prolactin and NEFA during breeding period and its association with some reproductive indices. **Reprod Domest Anim.** 58(6):778-784. 2023. https://doi.org/10.1111/rda.14350.

OLTENACU, P. A., BROOM, D. M. The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows. **Anim Welf.** 19(S1):39-49. 2010. https://doi.org/10.1017/S0962728600002220.

PEREIRA, M. H. C. *et al*. Expression of estrus improves fertility and decreases pregnancy losses in lactating dairy cows that receive artificial insemination or embryo transfer. **Journal Dairy Science.** 99(3):2237-47. 2016. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9903.

POHLER, K. G. *et al*. New approaches to diagnose and target reproductive failure in cattle. **Anim Reprod.** 17(3):e20200057. 2020. http://dx.doi.org/10.1590/1984-3143-AR2020-0057.

ROELOFS, J. B. *et al*. Effects of insemination-ovulation interval on fertilization rates and embryo characteristics in dairy cattle. **Theriogenology.** 66(9):2173-81. 2006. http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2006.07.005.

RUTTEN, C. J. *et al*. Invited review: sensors to support health management on dairy farms. **Journal Dairy Science.** 96: (4) 1928-1952. 2013. https://doi.org/ 10.3168/jds.2012-6107.

SALES, J. N. S. *et al.* Evolution over the last 40 years of the assisted reproduction technologies in cattle - the Brazilian perspective I - timed artificial insemination. **Anim Reprod.** 21(4):e20240034. 2024. http://dx.doi.org/10.1590/1984-3143-AR2024-0034.

SARTORI, R. B. *et al*. Pregnancy loss in cattle with emphasis on embryo transfer programs. **Anim Reprod.** 22(3):e20250045. 2025. http://dx.doi.org/10.1590/1984-3143-AR2025-0045.

STANGAFERRO, M. L. *et al*. Use of rumination and activity monitoring for the identification of dairy cows with health disorders: part I. Metabolic and digestive disorders. **Journal Dairy Science.** 99:(9) 7395-7410. 2016. https://doi.org/10.3168/jds.2016-11352.

STEENSELS, M. M. *et al*. Towards practical application of sensors for monitoring animal health: the effect of post-calving health problems on rumination duration, activity and milk yield. **J. Dairy Res.** 84 (2): 132-138. 2017. https://doi.org/10.1017/S0022029917000176.

SUNDRUM, A. Metabolic Disorders in the Transition Period Indicate that the Dairy Cows' Ability to Adapt is Overstressed. **Animals (Basel).** 5(4):978-1020. 2015. https://doi.org/10.3390/ani5040395.

THATCHEr, W. W. *et al*. Strategies for improving fertility in the modern dairy cow. **Theriogenology,** 65:30-44. 2006. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.10.004.

TIPPENHAUER, C. M. P. *et al*. Factors associated with estrous expression and subsequent fertility in lactating dairy cows using automated activity monitoring. **Journal Dairy Science.** 104(5):6267-82. 2021. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2020-19578.

TIPPENHAUER, C. M. P. *et al*. Association of activity and subsequent fertility of dairy cows after spontaneous estrus or timed artificial insemination. **Journal Dairy Science.** 106(6):4291-305. 2023. http://dx.doi.org/10.3168/jds.2022-22057.

WALSH, S. W. W., EVANS, A. C. O. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. **Anim Reprod Sci.** 123:127-38. 2011. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.12.001.

WILTBANK, M. C. S. *et al*. Pivotal periods for pregnancy loss during the first trimester of gestation in lactating dairy cows. **Theriogenology.** 86(1):239-53. 2018. http://dx.doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.037.

CAPÍTULO 5

Importância dos ácidos orgânicos na nutrição de peixes

Danilo Gomes de Oliveira[1], Edirlene Andréa Arnhold[1], Samuel Ijabo Ogah[1], Mateus Luan da Rosa Bosse[1], Verônica Koling do Couto Santos[1], Rafael Lazzari[1]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c5

Resumo

Com a restrição aos antibióticos como promotores de crescimento, pelo risco da resistência bacteriana e por possíveis resíduos em produtos de origem animal, busca-se alternativas para uso em dietas para peixes. Os ácidos orgânicos são uma alternativa, usados como aditivos na nutrição animal. Eles são separados em ácidos carboxílicos (R-COOH) de cadeia curta (fórmico, acético, propiônico e butírico), média (caproico, caprico e láurico), longa (linolênico e linoleico). A forma de ação de cada ácido varia dependendo do seu pKa e do pH do meio. Com a redução do pH do trato digestório, em alguns casos ele favorece a atividade enzimática, melhorando a absorção de nutrientes e limitando os patógenos. Na forma não dissociada, atravessam a membrana bacteriana e interferem no metabolismo do microrganismo. O efeito sobre o desempenho dos peixes varia bastante e os mecanismos da sinergia entre os ácidos não são totalmente compreendidos. Por isso, a escolha do ácido, da dose e da forma como vai ser incluído na dieta, deve considerar a espécie, a dieta e as condições sanitárias da produção. Neste capítulo serão apresentadas e discutidas algumas informações sobre este aditivo.

[1]Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

Palavras-chave: ácidos orgânicos; aditivo; nutrição de peixes; piscicultura.

1. Introdução

A produção animal atual busca aliar um alto desempenho produtivo à garantia da sanidade e a redução do uso de antimicrobianos. Durante muitos anos, os antibióticos eram usados como promotores de crescimento com doses subterapêuticas, e melhoraram a produtividade.

No entanto, a preocupação com a resistência bacteriana e com resíduos em produtos de origem animal (Nguyen *et al*., 2020) levou a restrições ao seu uso, e a proibição na União Europeia, em 2006, tornou-se um marco para buscar alternativas. Diante disso, surgiram algumas estratégias para se obter alternativas não antibióticas (Ng & Koh 2017).

Entre essas alternativas, os ácidos orgânicos têm se mostrado promissores. São compostos com um ou mais grupos carboxila, podendo ser identificados também como ácidos graxos de cadeia curta, voláteis ou ácidos carboxílicos fracos (Ng & Koh 2017). Os de cadeia curta, de C1 a C7, ocorrem naturalmente em tecidos de plantas e animais e são produzidos por fermentação microbiana, mas os usados na indústria de rações são, em sua maioria, sintéticos. Podem ser empregados como ácidos livres, na forma de sais (potássio, sódio e cálcio) ou em misturas chamados de blend, ou seja, uma mistura de ácidos orgânicos para influenciar em mais de um fator no organismo do animal (Ng & Koh 2017).

O uso em suínos está entre os mais estudados. Inicialmente, os ácidos foram empregados de forma preventiva nas rações para melhorar o desempenho de leitões desmamados, suínos em terminação e matrizes. Os resultados foram menores que os obtidos com antibióticos, mas houve melhora na conversão alimentar (Partanen & Mroz 1999).

Na avicultura o uso dos ácidos orgânicos se destaca por serem seguros e por já serem usados na conservação de alimentos. Nesse contexto, investigou-

se o seu potencial de reduzir microrganismos patogênicos, favorecer a digestibilidade dos nutrientes e melhorar o desempenho das aves (Khan *et al*., 2022).

Na aquicultura, o uso é mais recente, depois de se observar bons resultados em animais monogástricos. Com a intensificação da produção se viu necessário o avanço dos estudos de como estes acidificantes se comportariam na dieta de peixes (Ng & Koh 2017).

Os sistemas de cultivo variam entre modelos extensivos, com baixa densidade de estocagem e pouca interferência humana, até os intensivos e superintensivos, caracterizados por alta densidade populacional e controle rigoroso das variáveis ambientais (Boyd & Tucker, 2012). Embora favoreçam maior produtividade, os sistemas intensivos impõem desafios fisiológicos, como estresse crônico, redução do desempenho zootécnico e maior suscetibilidade a doenças, decorrentes do manejo e da deterioração da qualidade da água (Mansou *et al*., 2023).

Frente a esse cenário, estratégias nutricionais vêm sendo exploradas como forma de mitigar tais impactos, promovendo a saúde e o crescimento dos peixes. Entre elas, destaca-se o uso de ácidos orgânicos como alternativa promissora aos antibióticos, devido à sua capacidade de melhorar o crescimento, a digestibilidade e a resposta imune, além de reduzir a carga microbiana no ambiente de cultivo, favorecendo o custo-benefício da produção (Koh *et al*., 2016; Pelusio *et al*., 2020; da Silva *et al*., 2023).

O crescente interesse na aplicação desses compostos está diretamente relacionado à intensificação da aquicultura e à busca por soluções sustentáveis que substituam o uso excessivo de antimicrobianos (Ng & Koh, 2018; Melo *et al*., 2025). Ng & Koh (2017) já haviam relatado um aumento significativo nas pesquisas sobre o tema, e, neste contexto, este trabalho busca dar continuidade à análise crítica da literatura recente sobre o uso de ácidos orgânicos na nutrição de peixes, com ênfase em seus benefícios, mecanismos de ação e limitações.

Em síntese, a adição dos ácidos orgânicos na produção animal nasceu da necessidade de reduzir os antimicrobianos, mas se intensificou por alguns aspectos favoráveis a produção: eles acidificam a dieta e o trato digestório, favorecem a digestão e absorção de nutrientes e minerais além da modulação microbiota. Os estudos abordam também que a resposta depende muito da espécie, do acido usado e da dose. Por isso é indispensável compreender os modos de ação e as condições de uso para aplicar esses aditivos com critério.

2. Ácidos orgânicos

2.1 Propriedades e tipos

Os ácidos orgânicos são compostos carboxílicos (R-COOH) classificados, principalmente pela extensão da sua cadeia carbônica, essa ligação entre os carbonos vai explicar boa parte do comportamento dele. Na química eles são divididos entre curta, média e longa.

Esses ácidos usados na produção animal estão diretamente ligados à sua estrutura molecular, o comprimento da cadeia carbônica a constância de dissociação (pKa) e hidroxilas (-OH), onde o grau de acidez estão ligadas a capacidade da interação dos ácidos com o meio e isso pode explicar o motivo pelo qual cada acido age diferente no trato digestório dos animais (Szabós *et al*., 2023).

O ácido fórmico (CH_2O_2), monocarboxílico e de estrutura simples, possui forte ação antimicrobiana contra bactérias e leveduras (Ferreira *et al*., 2023). Sua aplicação em nutrição animal ocorre principalmente sob a forma de sais, como formiato de sódio ou potássio, que são menos corrosivos e mais seguros (Libanori, 2021; Martins *et al*., 2023). O ácido acético ($C_2H_4O_2$), também com efeito antimicrobiano, é produzido por bactérias do gênero Acetobacter e apresenta absorção intestinal dependente do pH (Silva *et al*., 2015; Mendez *et al*., 2022).

O ácido propiônico ($C_3H_6O_2$) e seus sais atuam principalmente contra fungos e promovem modulação microbiana intestinal (Pereira, 2019; Libanori, 2021). Já o ácido benzóico ($C_7H_6O_2$), de estrutura aromática, apresenta potente ação antibacteriana e antifúngica, com rápida excreção urinária, e tem sido estudado como agente de controle de Enterobacteriaceae e patógenos Gram-positivos (Oliveira & Reis, 2017; Martins *et al*., 2023).

O ácido butírico ($C_4H_8O_2$) destaca-se por sua ação trófica no epitélio intestinal, servindo como principal fonte de energia para os enterócitos, promovendo o aumento da altura das vilosidades e melhor absorção de nutrientes e minerais (Pereira, 2019; Martins *et al*., 2023). Seus efeitos se estendem ao controle de microrganismos patogênicos e à promoção de uma microbiota benéfica.

O ácido lático ($C_3H_6O_3$), produzido naturalmente por bactérias do gênero Lactobacillus e outros, atua na acidificação do trato e favorece o crescimento de bactérias láticas, sendo rapidamente absorvido no intestino delgado (Libanori, 2021; Ferreira *et al*., 2023; Martins *et al*., Hannas & Pupa, 2023).

O ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), um dos mais estudados na aquicultura, é eficaz na acidificação da dieta e do trato gastrointestinal, com efeitos positivos sobre crescimento, conversão alimentar e absorção de minerais, especialmente fósforo (Ng & Koh 2018; Ferreira *et al*., 2023). Também exerce ação antioxidante, protegendo os lipídeos dietéticos contra a oxidação (Libanori, 2021).

O ácido málico ($C_4H_6O_5$), encontrado amplamente em tecidos vegetais, desempenha papel no metabolismo celular e equilíbrio do pH interno, além de apresentar efeitos conservantes e potencial de melhorar o desempenho zootécnico quando suplementado na dieta (Rocha, 2022; Mendez *et al*., 2022). Já o ácido fumárico ($C_4H_4O_4$), além de acidificante, contribui para a redução de bactérias intestinais indesejáveis e melhora da morfometria intestinal (Das Neves *et al*., 2022).

2.2 Modos de ação

A eficácia dos ácidos orgânicos se observa de duas maneiras, contra os microrganismos e sobre a digestão do animal. Contra as bactérias, a forma não dissociada, que é lipossolúvel, atravessa a membrana celular, lá dentro da célula ela se dissocia e libera prótons e ânions, acidificando o meio.

A bactéria gasta energia para tentar bombear esses prontos e ânions para fora, atrapalhando a síntese de macromoléculas e a atividade de enzimas, e consequentemente a morte celular (Ng & Koh, 2017). No anima, o efeito se baseia na modulação do ambiente digestivo e na ação antimicrobiana direta. Os ácidos reduzem o pH da dieta e da digesta, o que podem estimular a ativação das enzimas proteolíticas endógenas, como a pepsina, favorecer a quebra e a absorção dos nutrientes (Partanen & Mroz 1999).

2.3 Influência no desempenho

Alguns estudos mostram os efeitos benéficos dos ácidos orgânicos na produção animal. Por exemplo, para suínos, uma mistura de ácidos orgânicos promove aumento de peso corporal e ganho médio diário, além de elevar a relação entre altura das vilosidades e das criptas do jejuno (Cai *et al*. 2024). Esse resultado corrobora com a revisão de Partanen e Mroz (1999), que destaca o efeito sobre o desempenho depende do tipo de ácido utilizado e do consumo da dieta.

Da mesma forma, na avicultura o uso se mostra benéfico. A suplementação dos ácidos em frangos promoveu alterações morfológicas como o aumento da altura das vilosidades do íleo e da densidade de células caliciformes no jejuno e o aumento da expressão de genes relacionados à barreira intestinal (Dai *et al*. 2021).

Em peixes, o uso é mais recente, e já se observa bons resultados. O uso de ácido fumárico nas dietas de Tilápias do Nilo otimizou o ganho de peso, a taxa de crescimento e a conversão alimentar (Das Neves *et al*. 2021). Houve

ainda uma redução significativa das bactérias gram-negativas e estímulo ao desenvolvimento e à altura das vilosidades intestinais, o que favorece a absorção dos nutrientes.

Esses resultados são coerentes com o que Ng & Koh 2017 discutem em sua revisão: os ácidos orgânicos atuam na melhoria do ambiente gastrointestinal, com redução do pH, o que pode favorecer a ação das enzimas digestivas e absorção de minerais e nutrientes essenciais.

Em ambas as produções o uso dos ácidos orgânicos foi uma alternativa aos antimicrobianos promotores de crescimento. Apesar das diferenças entre elas, o mecanismo converge para um ponto em comum: a melhoria gastrointestinal. Esse processo controla a população microbiana indesejada e reduz o pH que por sua vez favorece a integridade da mucosa, ou seja, esses aditivos proporcionam um melhor aproveitamento das dietas. Com isso, tende-se a ter animais mais saudáveis e menos suscetíveis a doenças e, consequentemente, melhores parâmetros zootécnicos.

Em tilápias, os ácidos cítrico, fumárico e butírico apresentaram efeitos consistentes sobre crescimento e morfologia intestinal, especialmente quando utilizados entre 8 e 15 g/kg de dieta (Neves *et al*., 2022; Dai *et al*., 2018). Contudo, doses elevadas, como 20 g/kg de ácido cítrico, demonstraram perda de eficiência ou efeitos adversos, sugerindo um limiar de tolerância específico para cada espécie.

2.4 Fatores que influenciam resposta

Além dos resultados que cada ensaio de crescimento aborda, alguns fatores gerais podem explicar por que a resposta do ácido orgânico muda. A espécie, por sua anatomia digestiva, por exemplo peixes sem ou com estômago, respondem de forma diferente. A idade também, pois animais jovens produzem pouco ácido clorídrico e tem pH gástrico alto, o que prejudica a ativação da pepsina e a digestão da proteína (Ng & Koh, 2017).

A digestibilidade da matriz alimentar, pois dietas altamente digestíveis e com ingredientes de alto valor biológico, podem mascarar os benefícios dos acidificantes (Li *et al*., 2018). O ácido usado, pois, os de pKa entre 3 e 5 são os mais ativos contra as bactérias, e os de cadeia curta tendem a agir mais sobre as bactérias gram-negativas, e os de cadeia média sobre as gram-positivas. Optar também por sais facilita o manuseio e reduz a corrosão em relação aos ácidos livres. Quanto à absorção, os ácidos protegidos têm vantagens por serem liberados progressivamente no intestino, enquanto os livres são absorvidos ou degradados logo após saírem do estômago (Ng & Koh, 2017; Tugnoli *et al*., 2020).

Os ácidos orgânicos livres, embora eficazes, apresentam volatilidade e instabilidade térmica, o que limita sua aplicação em rações extrusadas. Já suas formas salinas (ex. formiato de potássio) e microencapsuladas aumentam a estabilidade, a liberação controlada e a biodisponibilidade no intestino distal, onde sua ação é mais desejável (Martins *et al*., 2023; Libanori, 2021). Essa característica parece explicar, em parte, os melhores resultados obtidos por blends comerciais que associam diferentes ácidos e formas químicas (Koh *et al*., 2016).

3. Considerações finais

A utilização dos ácidos orgânicos e suas misturas consolidou-se como uma alternativa viável aos promotores de crescimento antimicrobianos. Eles podem melhorar o aproveitamento das dietas em várias espécies, mas a resposta depende dos fatores apresentados ao longo do capítulo. O uso deve, portanto, ser definido de modo técnico para cada tipo de produção, podendo ser usado apenas um ácido, uma mistura ou até mesmo com outros tipos de aditivos, buscando assim uma sinergia entre as suplementações existentes.

A literatura analisada evidencia que os ácidos orgânicos representam uma alternativa promissora aos antibióticos como promotores de crescimento na piscicultura, apresentando efeitos positivos sobre o desempenho zootécnico, a

digestibilidade, a modulação da microbiota intestinal e a resposta imune de diversas espécies cultivadas. Seus mecanismos de ação, amplamente descritos na literatura, incluem a acidificação do trato gastrointestinal, a inibição de microrganismos patogênicos, a melhora na biodisponibilidade de minerais e o estímulo à integridade intestinal.

Os resultados demonstram que os efeitos benéficos dos ácidos orgânicos são dependentes de múltiplos fatores, como tipo de composto, dose, forma química (livre, salina ou encapsulada), espécie-alvo, composição da dieta e condições de cultivo. Blends comerciais têm se mostrado particularmente eficazes, sobretudo quando associados a estratégias nutricionais complementares, como probióticos e prebióticos.

No entanto, a variabilidade dos resultados entre estudos e espécies evidencia a necessidade de maior padronização metodológica, validação sob condições comerciais e expansão dos ensaios para espécies nativas e sistemas tropicais. Ainda são escassos os estudos que avaliam os efeitos a longo prazo, a estabilidade em dietas extrusadas e o impacto ambiental da excreção destes compostos.

Assim, pesquisas futuras devem priorizar a definição de protocolos seguros e economicamente viáveis de uso dos ácidos orgânicos, considerando o perfil nutricional das espécies e os desafios sanitários dos sistemas de produção intensivos. O aprofundamento desses estudos poderá consolidar os ácidos orgânicos como ferramentas chave na construção de uma aquicultura mais sustentável, eficiente e tecnicamente fundamentada.

4. Referências bibliográficas

BOYD, C. E., & TUCKER, C. S. **Pond Aquaculture Water Quality Management.** Springer Science & Business Media. 2012.

CAI, L. *et al*. Effect of an organic acid blend as an antibiotic alternative on growth performance, antioxidant capacity, intestinal barrier function, and fecal

microbiota in weaned piglets. **Journal of Animal Science**, v. 102, p. skae149, 2024.

DAI, D. *et al***.** Organic acids as alternatives for antibiotic growth promoters alter the intestinal structure and microbiota and improve the growth performance in broilers. **Frontiers in microbiology**, v. 11, p. 618144, 2021.

DAS NEVES, C. V. *et al.* Dietary supplementation with fumaric acid improves growth performance in nile tilapia juveniles. **Animals**, v. 12, n. 1, p. 8, 2021.

DIBNER, J. J.; BUTTIN, P. Use of organic acids as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism. **Journal of applied poultry research**, v. 11, n. 4, p. 453-463, 2002.

FERREIRA, M. L., TORRES, T. D. F. FAUSTO, M. C. Principais ácidos orgânicos indicados para diferentes fases da produção de suínos. **Nutritime,** v.20, n. 06, 2023.

GEBRESAS, G. A. *et al*. Effects of acidity, number of hydroxyl group, and carbon chain length of carboxylic acids on starch cross-linking. **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 6, p. 100354, 2023.

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

KOH, C. *et al*. Effects of a dietary organic acids blend and oxytetracycline on the growth, nutrient utilization and total cultivable gut microbiota of the red hybrid tilapia, *Oreochromis sp*., and resistance to *Streptococcus agalactiae*. **Aquaculture Research**, V. 47, 357–369, 2016.

LI, S. *et al*. Supplementation with organic acids showing different effects on growth performance, gut morphology, and microbiota of weaned pigs fed with highly or less digestible diets. **Journal of animal science**, v. 96, n. 8, p. 3302-3318, 2018.

LIBANORI, M. C. M. **Efeitos da suplementação dietética de diferentes concentrações do ácido orgânico benzoico na alimentação de tilápia-do-nilo e desafiadas com** *Streptococcus agalactiae***.** Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 57 p. 2021.

MANSOU, A.T. *et al*. Editorial: Physiological performance of aquatic animals under farming-induced stress conditions. Front. Physiol. 14:1136611, 2023. doi: 10.3389/fphys.2023.1136611

MARTINS, A. A. HANNAS, M. I. PUPA, J. M. R. Uso de ácidos orgânicos e óleos essenciais em dietas para leitões. **Nutritime,** v.20, n.03, 2023.

MELO, G. A. F. *et al*. Organic Acids in Aquaculture: A Bibliometric Analysis. **Foods**. 14(14):2512, 2025. https://doi.org/10.3390/foods14142512.

MENDÉZ, M. S. C. *et al*. Uso de ácidos orgânicos na nutrição de suínos nas fases de creche, crescimento e terminação: uma revisão. **Zootecnia: pesquisa e práticas contemporâneas**, p.7, v.3, 2022. Doi: 10.37885/220207574.

NG, W. K., KOH, C. B. The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals. **Reviews in aquaculture**, v. 9, n. 4, p. 342-368, 2017.

NG, W. K., KOH, C.B. **Organic acids in aquafeeds: A potential substitute for antibiotics.** Global Aquaculture Alliance, 2018. Disponível em: https://www.aquaculturealliance.org/advocate/organic-acids-aquafeeds-potential-substituteantibiotics/.

NGUYEN, D. H. *et al*. Organic acids mixture as a dietary additive for pigs—a review. **Animals**, v. 10, n. 6, p. 952, 2020.

OLIVEIRA, P. H. R., REIS, R.R. Ácido Benzóico (CAS 65-85-0). **Revista Virtual da Química**. 9 (6). 2017.

PELUSIO, N. F. *et al*. Effects of increasing dietary level of organic acids and nature-identical compounds on growth, intestinal cytokine gene expression and gut microbiota of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at normal and high temperature. **Fish and Shellfish Immunology**, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.10.021.

PEREIRA, S. A. **Suplementação dietética do ácido propionico quelado aos minerais cálcio ou sódio para juvenis de jundiá** *Rhamdia quelen* (Siluriforme: Heptapteridae). Tese. Universidade Federal de Santa Catarina. 137 p., 2019.

ROCHA, L.T. **Suplementação com ácido málico sobre o desempenho, parâmetros ruminais e metabólitos sanguíneos de ruminantes: estudo meta-analítico.** Tese. Universidade Federal de Santa Maria. 94 p. 2022.

SILVA, P. A. S. *et al*. Ácido acético. **Revista Virtual de Quimica,** v.07, n.06, 2015.

SILVA, V.G. Effect of an organic acid blend in Nile tilapia growth performance, immunity, gut microbiota, and resistance to challenge against francisellosis. **Research in Veterinary Science,** 159, 214–224, 2023. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.04.019.

TUGNOLI, B. *et al*. From acidifiers to intestinal health enhancers: how organic acids can improve growth efficiency of pigs. **Animals**, v. 10, n. 1, p. 134, 2020.

CAPÍTULO 6

Eucalipto e romã como imunoestimulantes e antioxidantes naturais para tilápia e pacu: mecanismos, aplicações e perspectivas

Samuel Ijabo Ogah[1], Mateus Luan da Rosa Bosse[1], Edirlene Andréa Arnhold[1], Danilo Gomes de Oliveira[1], Verônica Koling do Couto Santos[1], Rafael Lazzari[1]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c6

Resumo

O uso de aditivos fitogênicos visando proteção antimicrobiana está se tornando cada vez mais necessário na piscicultura intensiva. O uso produtos obtidos de plantas como *Eucalyptus* spp. e *Punica granatum* (romã) mostram-se promissores devido à sua composição química. Neste capítulo, estão resumidas algumas informações referentes ao potencial imunoestimulante e antioxidante para a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), espécies importantes na piscicultura brasileira. São apresentadas evidências sobre a imunoestimulação mediada por receptores de reconhecimento de padrões e *a* defesa antioxidante mediada por Keap1/Nrf2/elemento de resposta. Além disso, são abordados aspectos de avaliação desses fitogênicos em pacu e uma discussão sobre os potenciais obstáculos à comercialização, incluindo a variabilidade fitoquímica, a labilidade térmica e a classificação regulatória, com uma agenda de pesquisa focada em nanoencapsulação, ferramentas ômicas e formulação simbiótica.

Palavras-chave: *Oreochromis niloticus*; *Piaractus mesopotamicus*; antioxidantes; fitogênicos.

[1]Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

1. Introdução

A maior parte das proteínas de origem animal aquática consumidas globalmente é produzida pela aquicultura, principalmente devido à intensificação da produção. Entretanto, com a redução do espaço fisiológico dos peixes cultivados, aumentou a incidência de doenças (FAO, 2024). Apesar do progresso significativo ao longo dos anos no controle de patógenos bacterianos (*Estreptococus agalactiae, Aeromonas* e *Pseudomonas aeruginosa)*, ainda ocorre significativa mortalidade de peixes. O uso rotineiro de antibióticos para controlar esses patógenos é cada vez mais limitado por problemas de resíduos, seleção de resistência e restrições regulatórias (Wang *et al*., 2024). Portanto, os aditivos fitogênicos para ração (AFR), que podem ser óleos essenciais, extratos e pós de plantas naturais, não atuam em um único alvo molecular para exercer seus efeitos, mas sim em uma variedade de mecanismos. Isto os torna mais difíceis de combater do que os agentes antimicrobianos de alvo único (Chakraborty & Hancz, 2011; Firmino *et al*., 2021).

Dentro dessa classe, certas espécies são atraentes devido aos seus usos práticos, bem como às suas propriedades medicinais, por exemplo, *Eucalipto* spp. e *Punica granatum* (romã). Não são culturas cultivadas especificamente para esse fim, mas possuem subprodutos de processamento abundantes, como eucalipto (polpa, carvão e extrato pirolenhoso) e casca de romã (durante a extração do suco). O eucalipto contém uma fração terpênica lipofílica e volátil dominada pelo 1,8-cineol, e a casca da romã é essencialmente não volátil e dominada por elagitaninos hidrolisáveis, principalmente punicalagina e seu metabólito ácido elágico (Cai *et al*., 2021; Singh *et al*., 2023).

A tilápia (*Oreochromis niloticus*) é altamente adaptada a ambientes com alta densidade populacional e qualidade da água variável, sendo cultivada em diversos sistemas aquícolas, desde grandes viveiros de terra até bioflocos e recirculação. Sua importância produtiva é comprovada pela extensa literatura disponível, especialmente no Brasil, onde se tornou o principal produto da aquicultura (Barroso *et al*., 2019).

Em contraste, o pacu é onívoro e também possui um intestino longo em relação ao comprimento da forquilha, sendo que os serrasalmídeos herbívoros apresentam uma proporção intestino-comprimento da forquilha de duas a duas

vezes e meia maior do que a de serrasalmídeos mais estritamente carnívoros , como as piranhas, com as quais compartilha a família (Pelster *et al*., 2014).

Este capítulo apresenta trabalhos sobre ambas as espécies, com ênfase no potencial de utilização para a tilápia do Nilo e o pacu.

2. Eucalipto e romã como fontes de compostos bioativos

A pesquisa atual focada em aditivos baseia-se principalmente em poucas espécies de Eucalyptus (principalmente *E. globulus* e *E. citriodora*), na forma de óleo essencial destilado a vapor, extrato pirolenhoso (vinagre de madeira, produzido pela condensação da fumaça da pirólise, já testado diretamente em tilápia do Nilo) ou extrato aquoso/etanólico. Estes produtos são quimicamente diferentes, e, portanto, os resultados obtidos são divergentes (dos Reis *et al*., 2025).

O 1,8-cineol (eucaliptol) é o principal componente da fração volátil e pode estar presente em mais de 50% do conteúdo total de óleo em quase todas as espécies e preparações, enquanto outros monoterpenos, como α-pineno, p-cimeno e limoneno, ocorrem em proporções menores, além de uma fração secundária não volátil de flavonoides e ácidos fenólicos (Cai *et al*., 2021). O óleo de eucalipto e o 1,8-cineol possuem um perfil farmacológico com efeitos antimicrobianos, anti-inflamatórios e antioxidantes. O 1,8-cineol também exerce sua atividade antioxidante por meio da modulação das vias de sinalização NF-κB e Nrf2 (Cai *et al*., 2021).

A romã, geralmente usada para suco, torna a casca, que representa cerca de 30 a 50% do fruto, uma matéria-prima que contém a maior concentração de polifenóis da fruta em comparação com outras partes (Singh *et al*., 2023). A maior parte da composição química da casca consiste em taninos hidrolisáveis, particularmente punicalagina, que se decompõe durante o processamento e a digestão para formar ácido elágico. Isso se soma a uma quantidade menor de antocianinas estruturalmente distintas (Singh *et al*., 2023).

Em ensaios comparativos, o ácido elágico foi identificado como um dos antioxidantes naturais mais potentes, e suas propriedades de quelação de metais e eliminação de radicais livres demonstraram ser consistentemente elevadas, quando comparadas com alguns antioxidantes de referência, como o

α-tocoferol (Kılıç *et a*l., 2014). Preparações à base de romã são reconhecidamente eficazes na melhoria do crescimento, dos parâmetros imunológicos e da resistência a patógenos em trutas arco-íris e carpas comuns, sugerindo a plausibilidade de estender a suplementação com romã às espécies de peixes abordadas neste capítulo (Singh *et al*., 2023).

2.1. Mecanismo de ação dos imunoestimulantes

Os receptores envolvidos na detecção de infecções pelas células imunes inatas são codificados por genes presentes no genoma do hospedeiro, chamados receptores de reconhecimento de padrões (PRRs), e incluem receptores Toll-like (TLRs), receptores NOD-like (NLRPs) e receptores de lectina do tipo C (CLRs). O repertório de PRRs dos teleósteos está agora bem caracterizado estruturalmente, e acredita-se que muitos fitoquímicos imunoestimuladores atuem por meio da interação com esses mesmos receptores, embora de forma menos definitiva do que os imunoestimulantes polissacarídeos como o β-glucano (Davis *et al*., 2026).

O resultado funcional que tem sido consistentemente relatado tanto em tilápia quanto em pacu é uma melhora no número de fagócitos (atividade) e no número de partículas fagocitadas por fagócito (índice). Isso é acompanhado por uma explosão respiratória, a rápida geração de espécies reativas de oxigênio por fagócitos ativados como uma arma antimicrobiana imediata. Esses efeitos incluem aqueles sobre a imunidade celular (fagocitose, explosão respiratória, células citotóxicas não específicas), imunidade humoral (lisozima, via alternativa do complemento independente de anticorpos, imunoglobulina M), imunidade da mucosa (densidade de células mucosas, peptídeos antimicrobianos, citocinas locais) e sobre a composição da microbiota intestinal. Esses fatores podem influenciar os polifenóis dietéticos, promovendo alterações benéficas relacionadas ao crescimento e à resistência a doenças (Chakraborty & Hancz , 2011; Firmino *et al*., 2021).

Da mesma forma, embora a literatura sobre imunidade da mucosa seja bastante extensa, poucos estudos se concentram em uma análise mecanística aprofundada, particularmente sobre o efeito da suplementação fitogênica em vias de sinalização de receptores. Khanzadeh *et al*. 2025 relatam que ss redes

de genes imunológicos e antioxidantes foram diretamente interligadas em um único conjunto de dados.

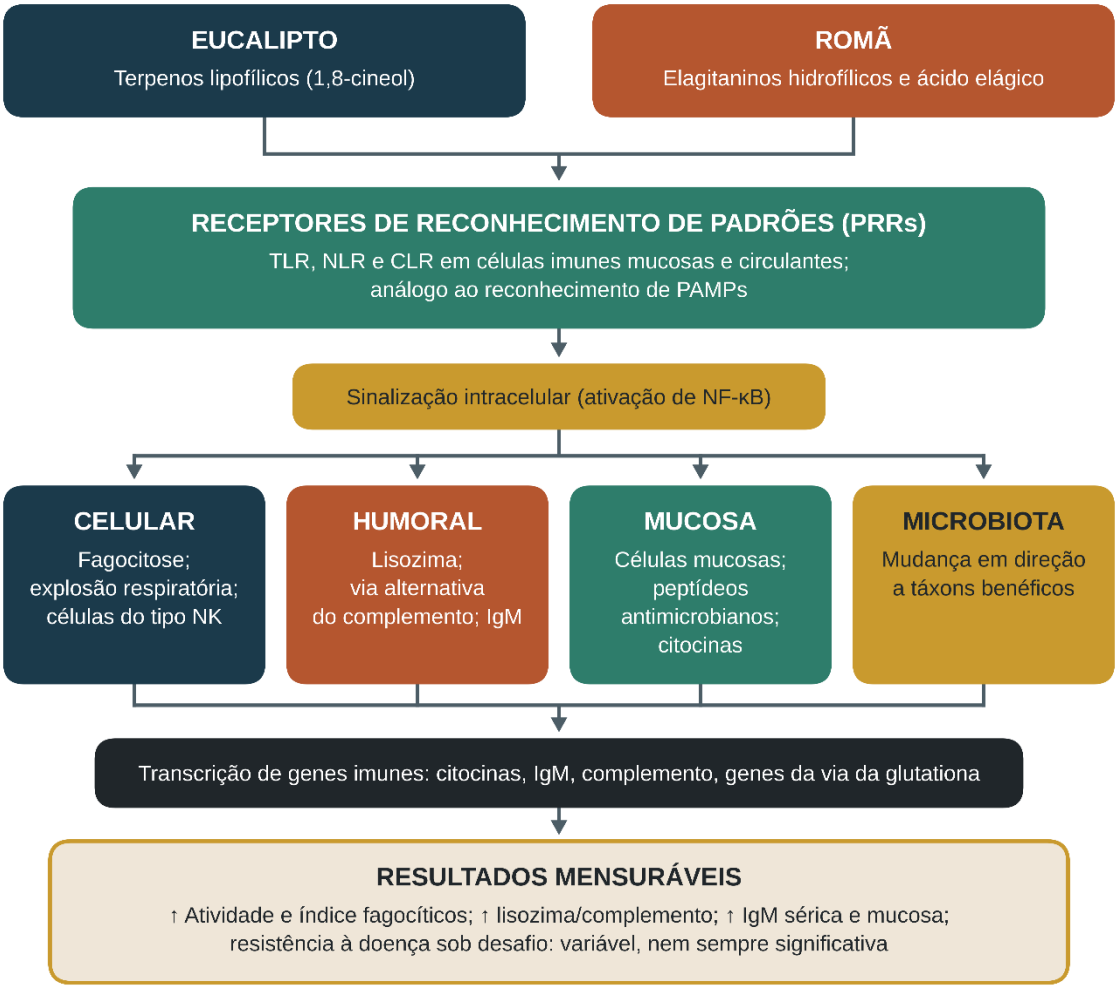


Figura 1. Imunoestimulação mediada por fitogênicos em peixes teleósteos: compostos de eucalipto e romã ativam receptores de reconhecimento de padrões, impulsionando respostas celulares, humorais, mucosas e ligadas à microbiota coordenadas que convergem na transcrição de genes imunológicos. Fonte: sintetizado a partir de Chakraborty e Hancz (2011), Firmino *et al*. (2021) e Davis *et al*. (2026).

2.2. Mecanismos de ação antioxidante

Espécies reativas de oxigênio (EROs) são geradas no metabolismo aeróbico normal, mas aumentam significativamente em resposta ao estresse durante o armazenamento, manuseio e transporte, bem como pela explosão respiratória de fagócitos ativados. A produção excessiva de EROs causa

estresse oxidativo que afeta a integridade de lipídios, proteínas e ácidos nucleicos, levando à inibição do crescimento e do sistema imunológico. A via Keap1/Nrf2/elemento de resposta antioxidante (ARE), um mecanismo transcricional central para o modo de ação proposto para fitoquímicos, também está no topo da primeira linha de defesa enzimática. Inclui superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutationa peroxidase (GPX) (Figura 2). Em condições basais, o fator de transcrição Nrf2 é continuamente degradado por um complexo de ubiquitina ligase Cullin-3 envolvendo um pequeno subconjunto de cisteínas altamente reativas em Keap1, incluindo Cys151, Cys273 e Cys288. Dessa forma, as condições basais mantêm a expressão de genes antioxidantes baixa. Essa via também é conservada em peixes, como evidenciado diretamente na enguia europeia, que demonstra que Nrf2, Keap1 e seus genes-alvo respondem de forma coordenada a desafios oxidativos (Giuliani & Regoli, 2014).

Em tilápias, foi verificado que a suplementação com romã promove aumento na atividade de SOD/CAT e uma diminuição em marcador de peroxidação lipídica, o malondialdeído (MDA) (Khanzadeh *et al*., 2025).

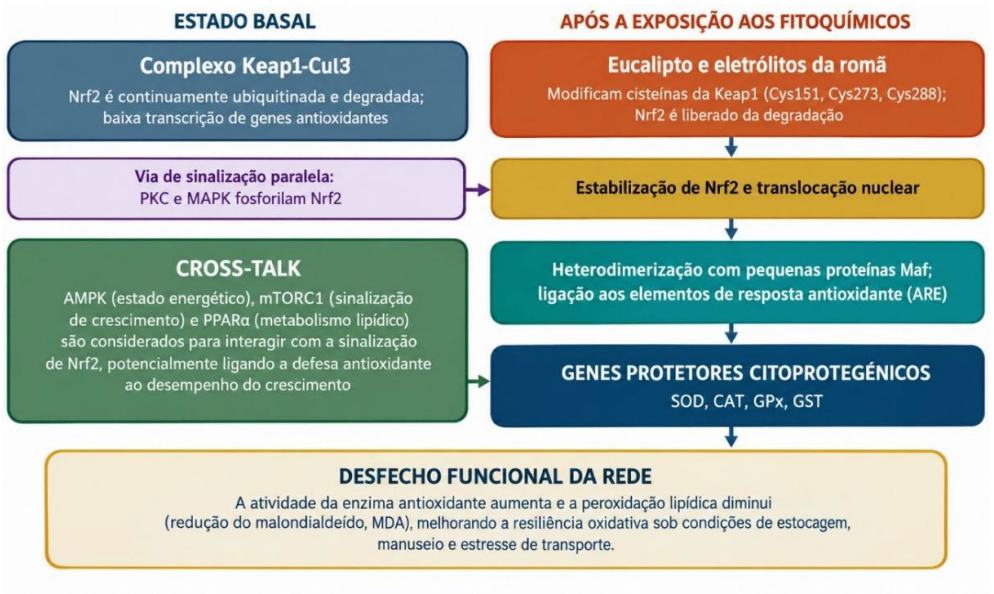


Figura 2. A via antioxidante Keap1/Nrf2/ARE. Compostos eletrofílicos de eucalipto e romã modificam cisteínas reativas de Keap1, liberando Nrf2 para impulsionar a transcrição de genes citoprotetores; a interação com AMPK/mTORC1/PPAR conecta isso ao desempenho do crescimento. Fonte: sintetizado a partir de Kansanen *et al*. (2013) e Giuliani e Regoli (2014).

2.3 Eucalipto e romã na tilápia: evidências experimentais

Os ensaios clínicos atuais não são padronizados em termos de preparação, dose e duração (Tabela 1) e há evidências limitadas sobre os efeitos do extrato de eucalipto na tilápia. Por exemplo, o produto não proporcionou proteção mensurável contra o desafio experimental de tilápias com *Streptococcus. agalactiae*, nem afetou o desempenho (dos Reis *et al*., 2025). Essa separação entre uma resposta imunológica-biomarcadora muito clara e a ausência de benefício de sobrevivência é um importante como um bom indicador do valor prático de um imunoestimulante.

Ensaios de desafio, e não marcadores, são a métrica correta para testar o valor prático de um imunoestimulante. Os resultados obtidos com resina de romã são mais promissores. Por exemplo, o ácido elágico, combinado com pó de casca de romã, levou a um maior peso corporal final, níveis séricos de imunoglobulina M, atividade da lisozima, atividade do burst respiratório, além de melhoras oxidativas (Khanzadeh *et al*., 2025). Quando oferecida isoladamente, a inclusão de até 1% de cascas de romã resultou em melhor ganho de peso, conversão alimentar e níveis de imunoglobulina M. (El- Werwary *et al*., 2025).

Além dos parâmetros imunológicos e antioxidantes específicos já mencionados, ambos os extratos vegetais influenciaram outros parâmetros hematológicos da tilápia. Estes foram geralmente interpretados como indicativos de vigilância imunológica aprimorada, mas não necessariamente como achados patológicos. Há evidências sobre os benefícios dos polifenóis da romã que podem se estender à digestão e assimilação de nutrientes, e não se limitam apenas aos parâmetros imunológicos e redox (Khanzadeh *et al*., 2025).

Composto	Forma / dose / duração	Principais resultados	Referência
Eucalipto	Extrato pirolífero (E. globulus); 0,5-1%; 30 dias	↑ Atividade/índice fagocítico; sem proteção contra o desafio com S. agalactiae; crescimento inalterado	dos Reis et al. (2025)
Romã	Ácido elágico + pó de casca; ~0,01-2%; 60 dias	↑ Peso, IgM, lisozima, explosão respiratória, SOD/CAT; ↓ MDA	Khanzadeh e outros (2025)
Romã	Pó de casca; até 1%	↑ Ganho de peso, conversão alimentar, IgM	El- Werwary et al. (2025)
Comparador (Espirulina + Óleo Essencial de Cítricos)	1%; 60 dias	↑ Crescimento, imunidade, capacidade antioxidante; combinados > ingrediente único	Abdo et al. (2024)

Tabela 1. Estudos selecionados de intervenções dietéticas baseadas em eucalipto e *Punica granatum* em tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

2.4. Eucalipto e romã em pacu: evidências, lacunas e extrapolação

A pesquisa sobre imunoestimulação em pacu foi desenvolvida, em parte, por pesquisadores brasileiros da UNESP. Ela foi realizada com um conjunto padronizado de resultados medidos quando os animais foram desafiados com *Aeromonas hidrofila*. Os resultados afetados incluíram resposta imune e a hematologia do estresse (Tabela 2). O β-glucano dietético aumenta de forma dose-dependente a atividade da explosão respiratória, da lisozima e do complemento em um ensaio hemolítico. Isso foi validado com sucesso para a espécie (Biller-Takahashi *et al*., 2012, 2014) e modula a resposta de cortisol ao estresse, assim como o levamisol (Campos *et al*., 2022). A inulina dietética tem efeitos semelhantes nos parâmetros da imunidade inata. Existe um precedente real de imunoestimulação fitogênica, utilizando *Aloe vera* na dieta, em que o estresse do transporte influenciou a função imunológica da lisozima e do complemento (Zanuzzo *et al*., 2017).

No entanto, não há nenhum estudo publicado que tenha testado o uso de *Eucalipto. spp*. ou *Punica granatum* para o pacu. É uma lacuna importante de

pesquisa para a area de piscicultura. A justificativa para uma resposta positiva é fisiológica, pois o pacu possui intestinos comparativamente mais longos do que outros peixes. Isso é mais adequado para dietas herbívoras e, portanto, deveria ser capaz de tolerar mais tanino na suplementação (em princípio) e se beneficiar de uma hidrólise microbiana mais completa da punicalagina em ácido elágico biodisponível, quando comparado a um intestino mais curto de carnívoros. No entanto, a transferência direta de protocolos de tilápia não é recomendada: a dieta basal do pacu, que tende a ser mais baseada em vegetais, pode já apresentar um nível basal de tanino mais elevado.

Composto	Tipo	Dose	Resultados principais	Referência
β-glucano	Polissacarídeo	0,1-1%	↑ Sobrevivência pós-desafio; ↑ explosão respiratória, lisozima, complemento	Biller-Takahashi et al. (2012, 2014)
Levamisol	Sintético	100-500 mg/kg	↑ Imunidade inata vs. A. hydrophila ; cortisol modulado	Pahor-Filho et al. (2017)
Aloe vera	Fitogênico	0,5-2%	Preveniu o declínio induzido pelo estresse na explosão respiratória/complemento.	Zanuzzo et al. (2017)
Inulina	Prebiótico	0,5-1%	↑ Lisozima sérica; ↓ resposta do cortisol	Campos e outros (2022)

Tabela 2. Compostos imunoestimulantes previamente avaliados em pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Nenhum estudo publicado avaliou *Eucalyptus spp.* ou *Punica granatum* nesta espécie.

Característica	Tilápia do Nilo	Pacu
Família taxonômica	Ciclídeos	Serrasalmidae
Estratégia trófica	Onívoro, com tendência carnívora	Onívoro, com tendência herbívora
Comprimento relativo do intestino	Comparativamente mais curto	Mais comprido (aproximadamente o dobro do tamanho dos parentes carnívoros)
Principais patógenos bacterianos	*S. agalactiae; Aeromonas spp.*	*A. hydrophila*
evidências de eucalipto/romã	Presente (Tabela 1)	Nenhuma publicada

Tabela 3. Perfil comparativo da tilápia do Nilo e do pacu relevante para a estratégia de suplementação fitogênica.

Considerando a solubilidade, a via de absorção e o provável local primário de ação, a combinação dos dois pode parecer mais complementar do que aditiva. Há evidências indiretas que corroboram esse princípio: a aplicação de ácido elágico com pó da casca integral da romã resultando em respostas imunológicas (e antioxidantes) mais intensas e dose-dependentes do que quando aplicadas individualmente. A combinação de eucalipto (*Eucalyptus platensis*) e óleo essencial de Citrus demonstrou produzir respostas imunológicas e antioxidantes superiores ao uso isolado no crescimento, imunidade e capacidade antioxidante da tilápia (Abdo *et al*., 2024).

Isso pode ser feito utilizando um delineamento fatorial (controle, eucalipto puro, romã pura, combinado) que pode determinar e distinguir estatisticamente se há um efeito aditivo dos produtos testados.

2.5. Desafios e Limitações

Existem algumas limitações que dificultam a transposição comercial para uso dos produtos naturais em dietas para peixes. As recomendações de dosagem sugeridas para uma população não são iguais, visto que o conteúdo fitoquímico varia amplamente entre espécies, origem geográfica, época de colheita e método de extração (Cai *et al*., 2021; Singh *et al*., 2023).

A fração volátil de terpenos do eucalipto é mais suscetível à extrusão de ração, procedimento frequentemente realizado a temperaturas acima de 100 °C e alta pressão, do que os taninos não voláteis da romã, que não são sensíveis ao calor. Padrões para analisar o teor real de compostos ativos em rações acabadas, a fim de garantir que os níveis declarados de 1,8-cineol ou ácido elágico estejam presentes durante todo o processo de mistura, condicionamento, extrusão e armazenamento, não são prática comum em escala comercial . Sabe-se também que a biodisponibilidade oral do elagitanino é relativamente baixa e depende do teor de urolitinas biodisponíveis no intestino, o que torna a previsão da potência in vivo a partir da caracterização in vitro. Há necessidade de ensaios de alimentação em animais inteiros para uma base mais precisa na recomendação de dosagem. Embora a regulamentação de aditivos naturais seja menos rigorosa do que a de antimicrobianos sintéticos, não existem regulamentações específicas para rações para aquicultura com eucalipto ou

romã. Apesar de os extratos de eucalipto e romã serem considerados GRAS (Geralmente Reconhecidos como Seguros) nos EUA, de acordo com o 21 CFR 182.20, seu uso como aditivos funcionais na aquicultura requer autorização formal na UE, de acordo com o Regulamento (CE) nº 1831/2003, com uma dosagem máxima definida, e registro no MAPA, no Brasil. Portanto, a dosagem e o status legal são específicos para cada local e não podem ser extrapolados.

2.6. Perspectivas Futuras

O desafio da estabilidade de aditivos durante a extrusão da ração é passível de solução tecnológica direta. A engenharia racional de micropartículas à base de ulvana-lecitina para a liberação direcionada de óleo essencial de eucalipto resultou em um sistema carreador altamente eficiente, demonstrando cinética de liberação controlada sob condições fisiológicas simuladas e superando diretamente as limitações de estabilidade térmica discutidas anteriormente (Tricha *et al*., 2026). Em princípio, essa plataforma carreadora poderia ser adaptada para o coencapsulamento das frações de eucalipto e romã em uma única partícula. Tal sistema permitiria a liberação controlada e simultânea de ambos os princípios ativos em uma proporção definida, resolvendo assim seus perfis de solubilidade divergentes e requisitos de processamento inerentemente conflitantes. Apesar dos avanços na literatura, particularmente para a tilápia (*Oreochromis niloticus*), ainda persistem lacunas significativas de informações.

Embora os efeitos da suplementação fitogênica na imunidade da mucosa sejam relatados consistentemente, raramente foram associados a uma via de sinalização definida. A análise integrativa de transcriptômica e metabolômica proporcionaria uma abordagem valiosa para suprir essa lacuna e estabelecer um arcabouço mecanístico mais robusto.

Além disso, uma combinação estratégica dessas frações fitogênicas com um probiótico selecionado especificamente por sua capacidade de hidrolisar a punicalagina ofereceria um meio de aumentar a disponibilidade sistêmica do ácido elágico sem aumentar o nível de inclusão na dieta, constituindo assim uma verdadeira estratégia simbiótica.

Finalmente, de uma perspectiva de bioeconomia, a proposta de uso de fontes vegetais é economicamente viável. Dada a posição dominante do Brasil tanto no processamento de eucalipto quanto na produção de romã, a valorização de subprodutos industriais derivados dessas duas cadeias de valor representa um caminho importante para a integração da economia circular. Essa abordagem facilitaria uma estrutura de custos, ao mesmo tempo que eliminaria a necessidade de cultivos dedicados exclusivamente à produção de aditivos.

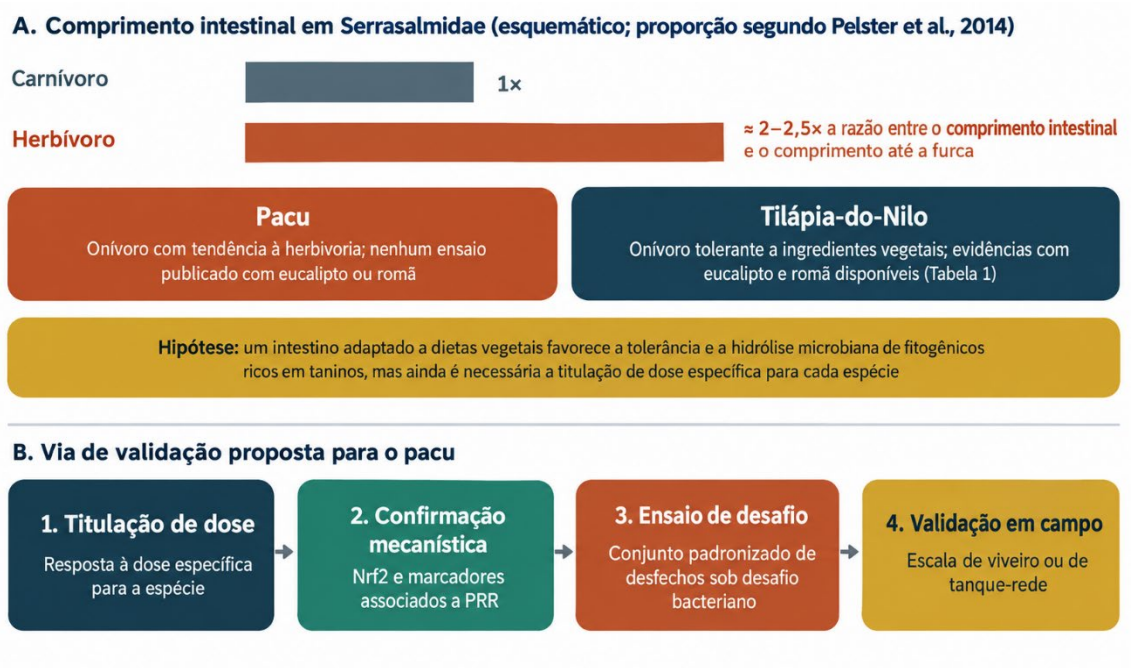


Figura 3. Intestino do pacu proporcionalmente mais longo e adaptado à herbivoria em comparação com a tilápia, e a via de validação proposta (titulação da dose, confirmação mecanística, teste de desafio, validação em campo) para a suplementação com eucalipto e romã nesta espécie.

3. Considerações Finais

Embora sejam normalmente discutidos separadamente, os aditivos alimentares imunoestimulantes e antioxidantes eucalipto e romã podem ser considerados parte de uma estratégia única e unificada. Isso ocorre porque suas ações biológicas podem se complementar: o efeito imunoestimulante é iniciado pela ativação imune mediada por receptores de reconhecimento de padrões, enquanto o efeito antioxidante é mediado pela via de defesa antioxidante

Keap1/Nrf2. Essa convergência é fisiologicamente lógica, visto que uma resposta fagocítica ativa gera inerentemente uma carga pró-oxidante que requer defesa antioxidante concomitante. Evidências da tilápia (*Oreochromis niloticus*), no entanto, introduz um importante aspecto quanto à interpretação dos dados de biomarcadores.

Embora os compostos derivados da romã demonstrem um efeito benéfico, os compostos do eucalipto, apesar de melhorarem os biomarcadores relacionados à imunidade, não afetaram a sobrevivência quando os peixes foram submetidos a desafio com patógeno vivo. Essa discrepância reforça a ideia de que os ensaios de desafio, e não apenas experimentos de crescimento, devem ser considerados para uma avaliação eficaz da melhor dose dos produtos.

4. Referências bibliográficas

ABDO, S. E. *et al*. Combined dietary Spirulina platensis and Citrus limon essential oil enhanced the growth, immunity, antioxidant capacity, and intestinal health of Nile tilapia. **Vet. Sci.** 11:474. 2024. https://doi.org/10.3390/vetsci11100474.

BARROSO, R. M., MUÑOZ, J. C. Social and Economic Performance of Tilapia Farming in Brazil. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1181. 2019. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, Italy.

BILLER-TAKAHASHI, J. D. *et al*. Hemolytic activity of alternative complement pathway as an indicator of innate immunity in pacu (Piaractus mesopotamicus). **Rev. Bras. Zootec.** 41:237–241. 2012. https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000200001.

BILLER-TAKAHASHI, J. D. *et al*. Disease resistance of pacu Piaractus mesopotamicus (Holmberg, 1887) fed with beta-glucan. Braz. **J. Biol.** 74. 2014. https://doi.org/10.1590/bjb.2014.0083.

CAI, Z. M. *et al*. 1,8-Cineole: A review of source, biological activities, and application. J. **Asian Nat. Prod. Res.** 23:938–954. 2021. https://doi.org/10.1080/10286020.2020.1839432.

CAMPOS, C. M. *et al*. Dietary inulin modulated the cortisol response and increased the protection against pathogens in juvenile pacu (Piaractus

mesopotamicus). **Aquac. Res.** 53:860–869. 2022. https://doi.org/10.1111/are.15626.

CHAKRABORTY, S. B., C. Hancz. Application of phytochemicals as immunostimulant, antipathogenic and antistress agents in finfish culture. **Rev. Aquac.** 3:103–119. 2011. https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2011.01048.

DAVIS, I. A. *et al*. Toll-like receptors in fish: Evolution, structure, immune signaling, and translational prospects for adjuvant-based vaccine design in aquaculture. **Front. Immunol.** 17:1880904. 2026. https://doi.org/10.3389/fimmu.2026.1880904.

DOS REIS, M. F. *et al*. Eucalyptus globulus pyroligneous extract as dietary additive for Nile tilapia health: In vitro and in vivo assessments. **Microorganisms** 13:1773. 2025. https://doi.org/10.3390/microorganisms13081773.

EL-WERWARY, S. O. M., ALI, M. W. Ali. Effect of pomegranate peel on physiological status and some growth parameters of the Nile tilapia, Oreochromis niloticus. Egypt. **J. Aquat. Biol. Fish.** 29:1691–1701. 2025.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, Italy. 2024.

FIRMINO, J. P. *et al*. Phytogenic bioactive compounds shape fish mucosal immunity. **Front. Immunol.** 12:695973. 2021. https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.695973.

GIULIANI, M. E. REGOLI, F. Identification of the Nrf2-Keap1 pathway in the European eel Anguilla anguilla: Role for a transcriptional regulation of antioxidant genes in aquatic organisms. **Aquat. Toxicol.** 150:117–123. 2014. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.03.003.

KANSANEN, E. *et al*. The Keap1-Nrf2 pathway: Mechanisms of activation and dysregulation in cancer. **Redox Biol.** 1:45–49. 2013. https://doi.org/10.1016/j.redox.2012.10.001.

KHANZADEH, M., JEFFS, A. G. Ellagic acid and pomegranate (Punica granatum) peel powder enhances growth and health performance in Nile tilapia (Oreochromis niloticus). **Aquac. Nutr.** 2025:4057455. 2025. https://doi.org/10.1155/anu/2025/4057455.

KILIÇ, I. *et al*. Spectroscopic studies on the antioxidant activity of ellagic acid. Spectrochim. **Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.** 130:447–452. 2014. https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.04.052.

PAHOR-FILHO, E. *et al*. Levamisole enhances the innate immune response and prevents increased cortisol levels in stressed pacu (Piaractus mesopotamicus). **Fish Shellfish Immunol.** 65:96–102. 2017. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.04.003.

PELSTER, B. *et al*. Gut transport characteristics in herbivorous and carnivorous serrasalmid fish from ion-poor Rio Negro water. **J. Comp. Physiol.** B 184:923–939. 2014. https://doi.org/10.1007/s00360-014-0879-z.

QIN, S., HOU, D. X. The biofunctions of phytochemicals and their applications in farm animals: The Nrf2/Keap1 system as a target. **Engineering** 3:738–752. 2017. https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.011

SINGH, J. *et al*. Pomegranate peel phytochemistry, pharmacological properties, methods of extraction, and its application: A comprehensive review. **ACS Omega** 8:35452–35469. 2023. https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02586

TRICHA, N. *et al*. Ulvan microparticles for encapsulation of eucalyptus essential oil: Characterization, release behavior, and stability in aquafeeds. **Aquac. Nutr.** 2026:3902818. 2026. https://doi.org/10.1155/anu/2026/3902818

WANG, J. *et al*. Phytogenic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. **Anim. Nutr.** 17:244–264. 2024.

ZANUZZO, F. S. *et al*. Aloe vera enhances the innate immune response of pacu (Piaractus mesopotamicus) after transport stress and combined heat-killed Aeromonas hydrophila infection. **Fish Shellfish Immunol.** 65:198–205. 2017. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2017.04.013

CAPÍTULO 7

Contagem diferencial de células somáticas no leite bovino: fundamentos e aplicações na avaliação da saúde da glândula mamária e da qualidade do leite

Paula Montagner[1], Arthur Fernandes Bettencourt[2], Rosiéli Martini[1], Juliana Medianeira Machado[2], Camila Soares Martins[4], Mayra de Barros Nascimento Oliveira[1], Edinara Silva de Lima[3], Helen Caroline Garcia Damasceno[3], Gian Ricardo Zuffo[4], André Thaler Neto[3], Ana Luiza Bachmann Schogor[4]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c7

Resumo

A saúde da glândula mamária influencia a produção e as características do leite. A contagem de células somáticas (CCS), embora amplamente utilizada, informa o número total de células, mas não descreve sua composição. Este capítulo apresenta uma síntese dos fundamentos biológicos, dos métodos de determinação e das aplicações da contagem diferencial de células somáticas (DCCS) em bovinos leiteiros. Foi realizada uma revisão narrativa estruturada, na qual 22 artigos originais foram selecionados. Nos métodos automatizados abordados, a DCCS corresponde à proporção combinada de neutrófilos e linfócitos em relação à CCS total, oferecendo informação complementar sobre a resposta celular da glândula mamária. Os estudos mostram que a interpretação conjunta de CCS e DCCS pode ajudar a compreender diferenças na produção de leite, embora as associações variem conforme características do animal e da lactação. A inflamação mamária também pode estar relacionada à menor teor de lactose. Em algumas situações, os percentuais de gordura e proteína aumentam quando o volume produzido diminui, sem que isso represente maior produção diária desses componentes.

[1]Departamento de Microbiologia e Parasitologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
[2]Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
[3]Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Educação Superior do Oeste, Chapecó, Brasil
[4]Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

Foram ainda descritas associações entre a composição celular, frações protéicas e propriedades de coagulação, mas os resultados não permitem atribuir efeitos tecnológicos exclusivamente à DCCS. Em estudos de diagnóstico, a DCCS isolada apresentou desempenho inferior ao da CCS, mas sua combinação com a CCS aumentou a especificidade na detecção de infecção intramamária. Conclui-se que a DCCS complementa a CCS, mas sua interpretação requer consideração do contexto e não deve, isoladamente, confirmar infecção ou orientar decisões terapêuticas.

Palavras-chave: bovinocultura leiteira; citometria de fluxo; controle leiteiro; imunidade inata.

1. Introdução

A produção de leite depende da integridade funcional da glândula mamária ao longo da lactação. A mastite é a inflamação da glândula mamária, geralmente associada a uma infecção intramamária (IIM). Ela pode apresentar sinais clínicos ou ocorrer de forma subclínica e, em ambos os casos, repercutir na quantidade e na qualidade do leite produzido (Dal Prá *et al*., 2022; Huang *et al*., 2024). A contagem de células somáticas (CCS) é amplamente utilizada como indicador da saúde mamária e, indiretamente, da qualidade do leite, especialmente para a fabricação de queijos (Stocco *et al*., 2023).

No entanto, a CCS informa o número total de células somáticas por mililitro (mL) de leite, mas não distingue os tipos celulares que compõem essa contagem (Pegolo *et al*., 2022b; Fonseca *et al*., 2025a). Como a inflamação pode alterar tanto o número total de células quanto a participação relativa dos diferentes tipos celulares, a CCS isolada não caracteriza integralmente a resposta celular da glândula mamária (Dal Prá *et al*., 2022; Huang *et al*., 2024). A contagem diferencial de células somáticas (DCCS; do inglês *differential somatic cell count*, DSCC) expressa, nos métodos automatizados de rotina, a proporção combinada de neutrófilos polimorfonucleares (PMN) e linfócitos (LINF) em relação à CCS total, complementando sua interpretação. Este capítulo

aborda a composição celular do leite, os métodos de determinação da DCCS, sua dinâmica e os fatores que influenciam sua variação. Também discute a interpretação conjunta da DCCS e da CCS, suas aplicações no diagnóstico e no monitoramento da mastite e suas relações com a produção, a composição e a qualidade tecnológica do leite, além das limitações para seu uso na rotina.

2. Metodologia

Foi realizada uma revisão narrativa estruturada da literatura com o objetivo de identificar e sintetizar estudos contemporâneos sobre a DCCS no leite bovino. A busca bibliográfica foi conduzida na base de dados Web of Science, em 11 de setembro de 2026, abrangendo publicações de 1º de janeiro de 2021 a 31 de dezembro de 2025. Utilizou-se a seguinte estratégia no campo *Topic*: ("differential somatic cell count*" OR DSCC) AND (milk OR mammary OR udder OR mastitis OR "intramammary infection*" OR ((mammar* OR udder OR intramammar*) NEAR/3 inflamm*) OR "inflammatory response*") AND ("dairy cow*" OR "dairy cattle" OR cattle OR cow* OR bovine*). A busca inicial resultou em 58 registros.

Foram considerados elegíveis artigos científicos originais, completos e revisados por pares que: (i) avaliaram bovinos leiteiros; (ii) utilizaram amostras biológicas reais de leite, obtidas de quartos mamários de vacas individuais, grupos de animais ou tanques de expansão; (iii) determinaram quantitativamente a DCCS ou as proporções de populações celulares presentes no leite; e (iv) apresentaram resultados pertinentes a pelo menos um dos seguintes aspectos: composição das células somáticas e métodos para sua diferenciação; dinâmica da resposta inflamatória mamária e fatores associados à variação da DCCS; ou relações da DCCS com a saúde mamária, a produção e as características composicionais ou tecnológicas do leite. Foram incluídos estudos observacionais e experimentais realizados em rebanhos comerciais ou experimentais, análises de dados provenientes de programas de controle leiteiro e ensaios *in vivo*, independentemente de a determinação da DCCS ter sido realizada em laboratórios de controle leiteiro ou em laboratórios de pesquisa.

Foram excluídos artigos de revisão, revisões sistemáticas, metanálises, editoriais, capítulos de livros e publicações pertencentes à literatura cinzenta, como teses, dissertações, trabalhos apresentados em congressos, relatórios técnicos, documentos institucionais, *preprints*, patentes, materiais comerciais e *white papers*. Também foram excluídos estudos: (i) conduzidos exclusivamente com espécies não bovinas; (ii) que não utilizaram amostras reais de leite, incluindo investigações exclusivamente *in vitro*, *in silico* ou realizadas apenas com sangue, tecido mamário, culturas celulares ou amostras artificiais; (iii) que não determinaram ou analisaram quantitativamente a DCCS ou outras populações celulares, ou que não apresentaram resultados originais relacionados a essas medidas; e (iv) cujas informações metodológicas fossem insuficientes para confirmar sua elegibilidade.

A seleção foi realizada inicialmente pela leitura dos títulos e resumos dos 58 registros recuperados. Os artigos potencialmente elegíveis foram posteriormente avaliados por meio da leitura integral e as referências organizadas no Mendeley Reference Manager. Registros duplicados foram removidos, e publicações originadas do mesmo conjunto de dados foram mantidas apenas quando apresentavam objetivos, análises ou desfechos distintos e contribuíam de forma independente para os tópicos abordados no capítulo. Após a avaliação dos textos completos, 22 artigos atenderam aos critérios de elegibilidade foram incluídos no conjunto principal da síntese narrativa. Devido à natureza narrativa do capítulo, não foram realizadas avaliação formal do risco de viés, metanálise ou síntese quantitativa dos resultados.

3. Desenvolvimento

3.1 Células somáticas presentes no leite e conceito de contagem diferencial de células somáticas

As células somáticas presentes no leite constituem uma população heterogênea, formada por células epiteliais mamárias e por leucócitos,

principalmente LINF, PMN e macrófagos (MAC). As células epiteliais representam uma proporção menor dessa população, aproximadamente 10% da CCS (Bisuttil *et al*., 2022; Magro *et al*., 2023a).

Essa diversidade é relevante porque os diferentes tipos celulares desempenham funções distintas na defesa da glândula mamária. Os MAC reconhecem e fagocitam agentes invasores e podem contribuir para o recrutamento de PMN. Estes, por sua vez, constituem importantes células efetoras da resposta imune inata, particularmente nas fases iniciais da resposta inflamatória, enquanto os LINF participam da regulação da resposta imune (Bisutti *et al*., 2022; Magro *et al*., 2023b). Em condições de saúde da glândula mamária, a composição celular do leite apresenta um perfil característico, com predomínio de LINF e MAC sobre PMN (Magro *et al*., 2023b). Esse perfil pode se modificar diante de estímulos inflamatórios.

A DCCS é definida como a proporção combinada de PMN e LINF, expressa em porcentagem (%) em relação à CCS total (Schwarz et al., 2021; Fonseca et al., 2025a). A fração complementar, obtida pelo cálculo (100 - DCCS), representa a proporção estimada de MAC na amostra (Rienesl *et al*., 2022; Magro *et al*., 2023a). Assim, CCS e DCCS fornecem informações complementares sobre as células do leite (Zecconil *et al*., 2021; Stocco *et al*., 2023): enquanto a CCS mensura o número total de células/mL de leite (Bisutti *et al*., 2022), a DCCS expressa a proporção relativa dessas populações celulares.

Essa distinção é relevante para interpretar a CCS e a DCCS em conjunto. Duas vacas ou quartos mamários que apresentem a mesma CCS total podem apresentar valores diferentes de DCCS (Dal Prà *et al*., 2022; Huang *et al*., 2024). Por exemplo, em duas amostras com CCS de 200.000 células/mL, aquela com menor DCCS apresenta menor proporção combinada de PMN e LINF e maior proporção da fração complementar, atribuída principalmente aos MAC; a amostra com maior DCCS apresenta maior proporção combinada de PMN e LINF. Estudos descrevem DCCS elevada em fases iniciais da inflamação e, em alguns quadros crônicos, maior participação relativa de MAC e redução da DCCS; esses padrões dependem do contexto e não confirmam, isoladamente, a

fase ou a causa da alteração (Magro *et al*., 2023b; Huang *et al*., 2024). Da mesma forma, valores iguais de DCCS podem ocorrer em amostras com contagens totais de células diferentes (Dal Prà *et al*., 2022). Portanto, CCS e DCCS não são parâmetros concorrentes ou substituíveis, mas indicadores complementares que devem ser interpretados em conjunto, considerando o contexto da amostra (Schwarz *et al*., 2021).

3.2 Métodos de determinação da DCCS

A caracterização da composição celular do leite compreende diferentes metodologias analíticas, que variam quanto à resolução celular, ao preparo das amostras e à capacidade de processamento em rotinas laboratoriais ou de campo (Pegolo *et al*., 2022b; Widmer *et al*., 2022).

A microscopia de esfregaços corados permite diferenciar células somáticas com base em características morfológicas. No estudo de Widmer *et al*. (2022), a avaliação microscópica de esfregaços corados foi utilizada para comparar os resultados de um método de citometria de fluxo. Embora permita examinar a morfologia celular, a análise manual é laboriosa e pouco adequada ao processamento de grande número de amostras (Widmer *et al*., 2022; Huang *et al*., 2024).

A citometria de fluxo permite caracterizar células em suspensão com elevada resolução analítica, combinando parâmetros físicos e de fluorescência (Pegolo *et al*., 2022b; Widmer *et al*., 2022). Quando associada à imunofenotipagem, essa técnica também pode utilizar anticorpos conjugados a fluoróforos para identificar marcadores celulares (Pegolo *et al*., 2022b).

Entretanto, os protocolos convencionais apresentam limitações pré-analíticas relacionadas à interferência dos glóbulos de gordura do leite (*milk fat globules*). Para reduzi-la, são frequentemente empregadas etapas de centrifugação e de remoção da camada de gordura. Essas etapas podem resultar em perdas ou enriquecimento seletivo de subpopulações celulares,

alterando sua representação na amostra analisada (Pegolo *et al*., 2022b; Widmer *et al*., 2022).

Para minimizar os vieses decorrentes do processamento pré-analítico, Widmer *et al*. (2022) desenvolveram e validaram a citometria de fluxo direta, que permite a contagem e a imunofenotipagem de células no leite integral sem centrifugação ou lavagem prévia. O método utiliza uma solução de clareamento lipídico (*clearing solution*) contendo o detergente não iônico Triton X-114, que reduz a interferência óptica dos glóbulos de gordura e melhora a separação entre as células e o fundo da amostra. Nesse método, a imunofenotipagem com anticorpos permite caracterizar populações celulares; portanto, sua abordagem difere da classificação usada nos analisadores automatizados de DCCS. Ao dispensar a centrifugação e a lavagem, o método reduz perdas celulares associadas ao preparo da amostra (Widmer *et al*., 2022).

A determinação da CCS e da DCCS em programas de controle leiteiro (*Dairy Herd Improvement*) tornou-se operacionalmente viável com o desenvolvimento de analisadores automatizados, como as plataformas Fossomatic™ 7 DC e CombiFoss™ 7 DC (FOSS, Hillerød, Dinamarca) (Kirkeby *et al*., 2021; Fonseca *et al*., 2025a). Esses equipamentos empregam citometria de fluxo e um método de coloração diferencial que distingue os MAC do grupo combinado de PMN e LINF (Zecconi *et al*., 2021).

A partir dos sinais de fluorescência, esses analisadores fornecem simultaneamente a CCS total, expressa em células/mL, e a DCCS, expressa em porcentagem. Em síntese, a escolha do método deve considerar a resolução biológica necessária e a finalidade da análise. A microscopia direta permite a diferenciação morfológica, enquanto a citometria de fluxo oferece maior detalhamento das subpopulações leucocitárias. A citometria direta busca reduzir vieses de processamento, e os analisadores automatizados viabilizam o monitoramento em larga escala.

3.3 Dinâmica da DCCS durante a infecção intramamária

A interpretação da DCCS está diretamente relacionada à dinâmica da resposta inflamatória. Como os PMN podem ser recrutados para a glândula mamária durante a resposta inflamatória e integram o cálculo da DCCS, sua maior participação pode elevar esse indicador. Entretanto, como a DCCS combina PMN e LINF, ela não revela, isoladamente, qual desses grupos explica sua variação. A relação entre CCS e DCCS também pode não ser linear. Huang et al. (2024) observaram essa relação em casos de mastite clínica e discutiram que, durante a doença, células epiteliais mamárias podem ser liberadas no leite e contribuir para a CCS sem compor a DCCS.

Nos casos de mastite por *Streptococcus dysgalactiae*, Huang et al. (2024) observaram redução da DCCS enquanto o escore de CCS permanecia elevado. Os autores interpretaram esse padrão como compatível com a recuperação da glândula e com maior participação de MAC. Como a DCCS não quantifica diretamente os MAC, essa explicação deve ser entendida como uma interpretação dos resultados, e não como uma medida direta dessa população celular.

A composição celular também depende do agente etiológico. Pegolo et al. (2022b) demonstraram, por meio de citometria de fluxo, que *Streptococcus agalactiae* e *Prototheca* spp. induziram respostas leucocitárias distintas. Em comparação com amostras sem crescimento bacteriano, as amostras positivas para *S. agalactiae* apresentaram maior proporção de PMN e MAC, enquanto aquelas positivas para *Prototheca* spp. apresentaram maior participação de linfócitos T e menor proporção de MAC. Os autores relacionaram esses perfis, respectivamente, a respostas predominantemente inatas e adaptativas (Pegolo *et al*., 2022b).

Esses resultados mostram que a DCCS deve ser interpretada considerando o agente infeccioso, a unidade amostral e o momento da avaliação. Como é um indicador combinado, valores semelhantes de DCCS não necessariamente correspondem às mesmas proporções de cada população celular nem a respostas biológicas idênticas. A interpretação longitudinal, em

conjunto com a CCS e outras informações clínicas e microbiológicas disponíveis, oferece contexto adicional para compreender essas variações (Huang *et al*., 2024; Pegolo *et al*., 2022b).

3.4 Fatores associados à variação da DCCS

Além da IIM, fatores do animal e do ambiente contribuem para a variabilidade da DCCS. Foram descritas associações com paridade, dias em lactação, raça, estação, sistema de ordenha e intervalo desde a última ordenha (Magro *et al*., 2023a; Stocco *et al*., 2023; Fonseca *et al*., 2025a). A magnitude e o comportamento dessas associações variaram entre os estudos, indicando que as diferenças de DCCS não devem ser atribuídas automaticamente à presença ou à intensidade da infecção.

Magro *et al*. (2023b) observaram que o efeito individual da vaca explicou 36,3% da variância total da DCCS. Raça, estágio de lactação, ordem de parto e época de amostragem também contribuíram para essa variação. A raça Simmental apresentou menor CCS, enquanto a raça Jersey apresentou menor DCCS. Os autores observaram diferenças entre raças na linha de base e no comportamento da DCCS e ressaltaram que a aplicabilidade do ponto de corte de 65% em diferentes populações precisa ser validada.

Em uma análise de 159.360 registros de controle leiteiro de vacas Holandês-Frísias e Simmental distribuídas em 223 rebanhos, foram investigados fatores ambientais e individuais associados à variabilidade da CCS e da DCCS, incluindo características do rebanho, produtividade, sistema de ordenha, estação, raça, dias em lactação e paridade (Stocco *et al*., 2023). A DCCS foi maior nas vacas Holandês-Frísias do que nas Simmental e durante o verão; os rebanhos com ordenha automatizada apresentaram teores mais elevados de todos os indicadores celulares, e os maiores valores foram observados em vacas mais velhas no fim da lactação.

Em amostras de quartos mamários de cinco rebanhos com ordenha automatizada no Canadá, Fonseca *et al*. (2025a) observaram que o efeito dos dias em lactação sobre a DCCS dependeu da paridade: no início da lactação, as primíparas tenderam a apresentar DCCS menor que as vacas mais velhas; após 230 dias em lactação, a DCCS das primíparas tendeu a aumentar, enquanto a das multíparas tendeu a diminuir. A posição do quarto mamário não afetou a DCCS. Em comparação com quartos sem crescimento bacteriano, quartos infectados por *Staphylococcus chromogenes*, *Streptococcus dysgalactiae* e *Staphylococcus aureus* apresentaram aumento de aproximadamente 10% na DCCS, e os infectados por outros patógenos menores, de aproximadamente 5%.

3.5 Combinação entre CCS total e DCCS

A avaliação conjunta da CCS e da DCCS pode contribuir para a estratificação da saúde mamária e o acompanhamento de alterações subclínicas. Sua aplicação deve considerar o objetivo da avaliação, os pontos de corte e o histórico do animal, pois essa combinação caracteriza perfis celulares associados a diferentes condições, mas não confirma, por si só, a presença de IIM (Kirkeky *et al*., 2021; Schwarz *et al*., 2021).

A combinação dos limiares de CCS e DCCS tem sido utilizada para classificar vacas em grupos de saúde do úbere. Schwarz *et al*. (2021) apresentaram uma classificação baseada em dois pontos de corte: 200.000 células/mL para CCS e 65% para DCCS. A combinação desses limites define quatro grupos: saudável (CCS ≤ 200.000 células/mL e DCCS ≤ 65%); suspeita de mastite (CCS ≤ 200.000 células/mL e DCCS > 65%); mastite subclínica (CCS > 200.000 células/mL e DCCS > 65%); mastite crônica/persistente (CCS > 200.000 células/mL e DCCS ≤ 65%).

No grupo saudável, ambos os indicadores estão abaixo ou iguais aos respectivos pontos de corte. O limite de DCCS indica que a proporção combinada de PMN e LINF não ultrapassa 65%, o que é compatível com o predomínio de LINF e MAC sobre PMN descrito em glândulas saudáveis; como

a DCCS não mede os MAC diretamente, esse predomínio é inferido, e não confirmado, pela classificação (Schwarz *et al*,. 2021; Magro *et al*., 2023b). No grupo suspeito, a DCCS acima de 65%, apesar da CCS ainda baixa, indica maior participação conjunta de PMN e LINF. Esse perfil pode anteceder o aumento da CCS: no estudo de Schwarz et al. (2021), vacas desse grupo tiveram 2,77 vezes mais chance (razão de chances; IC 95%: 2,58–2,98) de apresentar CCS > 200.000 células/mL no controle seguinte, em comparação com as do grupo saudável. Por isso, o perfil justifica acompanhamento, mas não confirma mastite (Schwarz *et al*., 2021; Kirkeby *et al.* 2021). No grupo classificado como mastite subclínica, ambos os indicadores ultrapassam os pontos de corte. Já o grupo crônico/persistente combina CCS elevada e DCCS ≤ 65%, indicando menor proporção conjunta de PMN e LINF e maior proporção complementar, atribuída principalmente aos MAC (Schwarz *et al*., 2021; Magro *et al*., 2023a).

A classificação de vacas nesses grupos também foi associada à condição mamária em avaliações posteriores (Schwarz *et al*., 2021). No entanto, essa associação não estabelece, por si só, uma conduta de manejo ou tratamento: os autores não avaliaram decisões individuais tomadas com base nesses grupos.

3.6 Aplicações no diagnóstico e no monitoramento da mastite

A avaliação da saúde mamária após o parto ganha importância com a crescente utilização da terapia seletiva de vaca seca, ampliando o interesse pelo uso de indicadores celulares nesse período. Zecconi *et al*. (2021) investigaram o desempenho da CCS, da DCCS e da contagem celular de PMN e LINF (PLCC, sigla utilizada pelos autores) para identificar IIM por patógenos principais em amostras de quartos mamários coletadas entre 5 e 30 dias após o parto. Os autores descrevem a PLCC como o produto entre CCS e DCCS e a expressam em células/mL; como a DCCS é registrada em porcentagem, esse cálculo equivale, na prática, a CCS × DCCS/100. O desempenho variou conforme o marcador, o ponto de corte e o grupo de patógenos: a DCCS apresentou menor acurácia que a CCS e a PLCC, enquanto, para patógenos principais e menores, a acurácia da PLCC foi comparável à da CCS (Zecconi *et al*., 2021).

Zecconi *et al*. (2025) investigaram o desempenho desses indicadores em modelos de aprendizado de máquina para identificar IIM causadas pelos principais patógenos no início da lactação. A CCS e a PLCC apresentaram desempenho semelhante, enquanto a DCCS isolada apresentou desempenho inferior. Os modelos baseados em CCS ou PLCC mostraram potencial para identificar vacas ou quartos sem infecção. Para os resultados não negativos, os autores recomendaram uma análise subsequente, em 7 a 15 dias, para confirmar o resultado.

Em cinco rebanhos com ordenha automatizada no Canadá, Fonseca *et al*. (2025d) avaliaram a CCS e a DCCS para diagnosticar IIM em amostras de quartos mamários, usando modelos bayesianos de classe latente e a cultura bacteriológica como teste de referência imperfeito. Para IIM por qualquer patógeno, a interpretação em série da CCS ≥ 100.000 células/mL com a DCCS ≥ 65% elevou a especificidade de 0,71 para 0,84 em relação à CCS isolada, com pequena redução da sensibilidade (de 0,49 para 0,46). Para patógenos principais, a especificidade passou de 0,68 para 0,80, sem ganho de sensibilidade.

Na mesma série de estudos, também com amostras de quartos mamários de cinco rebanhos, Fonseca *et al*. (2025c) estimaram DCCS média de 55,6% nos quartos saudáveis e de 80,4% nos quartos com mastite subclínica. O ponto de corte mais discriminante foi de 70,0%, com sensibilidade de 0,95 e especificidade de 0,83. Apesar desses valores, as probabilidades preditivas estimadas para a DCCS abrangeram uma ampla faixa de valores intermediários, e a CCS apresentou melhor capacidade para predizer mastite subclínica. Assim, esses indicadores podem complementar a triagem e o monitoramento da mastite, desde que interpretados conforme o histórico do animal e em avaliações sucessivas; a confirmação de IIM e as decisões terapêuticas devem integrar avaliação clínica e exames microbiológicos.

3.7 Relações com a produção, a composição e a qualidade tecnológica do leite

A inflamação mamária pode comprometer a produção e alterar a composição do leite. Entre as alterações descritas, destaca-se a associação entre CCS elevada ou classificação em grupos de saúde do úbere menos favoráveis com menor teor de lactose (Pegolo *et al*., 2022a; Huang *et al*., 2023; Magro *et al*., 2023ab; Fonseca *et al*., 2025b). Já os percentuais de gordura e de proteína podem aumentar em algumas situações, mesmo quando a produção de leite diminui. Isso pode ocorrer porque, com menor volume de leite, esses componentes ficam mais concentrados; portanto, um aumento percentual não significa necessariamente maior produção diária de gordura ou proteína (Marianil *et al*., 2022; Huang *et al*., 2023).

A associação entre os indicadores celulares e a produção também varia conforme as características da vaca. Huang *et al*. (2023), por exemplo, observaram maiores perdas principalmente em vacas mais velhas com CCS elevada e DCCS baixa. Já Fonseca *et al*. (2025b) identificaram diferenças entre primíparas e multíparas: nas primíparas, as maiores perdas estimadas ocorreram com DCCS baixa; nas multíparas, com DCCS intermediária. Portanto, não há um único valor de DCCS que, isoladamente, permita prever a perda de leite em todas as vacas. Esses resultados indicam associações condicionadas pela ordem de lactação e pelo perfil celular; não demonstram que a DCCS, por si só, cause a redução da produção.

A proporção de cada tipo celular também pode estar relacionada a alterações nas proteínas do leite. Os MAC são relevantes aqui porque, em estudos que estimaram separadamente as populações celulares, seus números se associaram a algumas frações proteicas de modo diferente dos PMN e LINF (Bisutti *et al*., 2022; Wang *et al*., 2025). Isso sugere que a composição celular pode acrescentar informações à CCS total. No entanto, os resultados variaram entre as frações analisadas e entre os estudos; por isso, ainda não é possível afirmar que uma população celular específica cause determinada alteração na composição do leite. Essa distinção é importante porque a DCCS usada na rotina

combina PMN e LINF; ela não mede diretamente cada população celular nem as frações proteicas do leite.

As alterações na composição do leite também podem se relacionar às propriedades tecnológicas. Mariani *et al*. (2022) encontraram associações entre a combinação CCS-DCCS e propriedades de coagulação previstas por espectroscopia. Pegolo et al. (2022a), por sua vez, observaram piora das características de fabricação do queijo em amostras com CCS elevada ou com IIM. Como esse último estudo avaliou principalmente a infecção e a CCS, seus resultados mostram a importância da saúde mamária para a qualidade tecnológica, mas não isolam o efeito específico da DCCS.

3.8 Limitações e desafios para adoção na rotina

A DCCS complementa a CCS, mas sua interpretação depende da população avaliada, da unidade amostral e do objetivo da análise. Assim, um valor isolado não deve ser tratado como critério universal para confirmar IIM, como também indicam os estudos sobre sua variação ao longo da resposta inflamatória e entre animais e rebanhos (Huang *et al*., 2024; Magro *et al*., 2023ab; Stocco *et al*., 2023). Essa variabilidade também se reflete na definição de valores de referência e na capacidade discriminatória da DCCS. O ponto de corte de 70% identificado por Fonseca *et al*. (2025c), por exemplo, descreve o desempenho naquele conjunto de dados e não deve ser automaticamente generalizado para outras populações ou condições de avaliação; o mesmo se aplica ao limite de 65% usado na classificação em grupos, cuja aplicabilidade em diferentes populações ainda precisa ser validada (Magro *et al*., 2023b).

A informação conjunta de CCS e DCCS também pode ser incorporada à avaliação de estratégias de manejo em nível de rebanho. Em estudo que avaliou práticas de manejo em 41 rebanhos e analisou, adicionalmente, 129.812 resultados de controle leiteiro provenientes de 1.073 rebanhos, a utilização de grupos de saúde do úbere definidos pela combinação de CCS e DCCS permitiu diferenciar os rebanhos segundo a condição de saúde do úbere e identificar

associações com indicadores de desempenho (Schwarz *et al*., 2023). Entretanto, por se tratar de uma análise em nível de rebanho, as decisões de manejo em nível individual não foram avaliadas, o que limita a aplicação direta desses resultados à tomada de decisão para uma vaca específica.

4. Considerações finais

A DCCS expressa a proporção combinada de PMN e LINF em relação à CCS total, sem discriminar individualmente essas populações. Sua interpretação depende do agente infeccioso, do estágio da resposta inflamatória, das características do animal e do rebanho e do método utilizado. A DCCS complementa a CCS, mas não deve ser empregada isoladamente para confirmar IIM ou definir condutas terapêuticas. As associações descritas com a produção, composição e a qualidade tecnológica do leite também variam conforme o contexto e não demonstram, por si só, efeitos causais da DCCS. Sua adoção mais ampla depende da validação de critérios em diferentes populações, da padronização da interpretação e de estudos que esclareçam em quais situações essa informação adicional melhora a tomada de decisão. Ressalta-se, ainda, que nenhum dos estudos incluídos nesta revisão foi conduzido no Brasil; a avaliação da DCCS em raças, sistemas de produção e programas de controle leiteiro brasileiros constitui, portanto, uma lacuna a ser explorada.

5. Referências bibliográficas

BISUTTI, V. *et al*. Impact of somatic cell count combined with differential somatic cell count on milk protein fractions in Holstein cattle. **J. Dairy Sci.** 105:6447–6459. 2022. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22071.

DAL PRÀ, A. *et al*. Relationship between total and differential quarter somatic cell counts at dry-off and early lactation. **PLoS ONE.** 17:e0275755. 2022. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275755.

FONSECA, M. *et al*. Usefulness of differential somatic cell count for udder health monitoring: Effect of intramammary infections, days in milk, quarter location, and parity on quarter-level differential somatic cell count and somatic cell score in apparently healthy dairy cows. **J. Dairy Sci.** 108:3878–3899. 2025a. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25401.

FONSECA, M. *et al*. Usefulness of differential somatic cell count for udder health monitoring: Association of differential somatic cell count and somatic cell score with quarter-level milk yield and milk components. **J. Dairy Sci**. 108:3900–3916. 2025b. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25402.

FONSECA, M. *et al*. Usefulness of differential somatic cell count for udder health monitoring: Identifying referential values for differential somatic cell count in healthy quarters and quarters with subclinical mastitis. **J. Dairy Sci.** 108:3917–3928, 2025c. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25403.

FONSECA, M. *et al*. Usefulness of differential somatic cell count for udder health monitoring: Diagnostic performance of somatic cell count and differential somatic cell count for diagnosing intramammary infections in dairy herds with automated milking systems. **J. Dairy Sci.** 108:3929–3941, 2025d. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25404.

HUANG, C. H. *et al*. Estimating the nonlinear interaction between somatic cell score and differential somatic cell count on milk production by parity using generalized additive models. **J. Dairy Sci.** 106:7942–7953, 2023. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22958.

HUANG, C. H. *et al*. Pathogen and severity-dependent immune responses in bovine mastitis highlight the dynamics of differential somatic cell count. **J. Vet. Med. Sci.** 86:2350–2361, 2024. https://doi.org/10.1292/jvms.24-0102.

KIRKEBY, C. *et al*. Dynamics of somatic cell count (SCC) and differential SCC during and following intramammary infections. **J. Dairy Sci.** 104:3427–3438, 2021. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19378.

MAGRO, S. *et al*. Total and differential somatic cell count in Italian local cattle breeds: Phenotypic variability and effect on milk yield and composition. **Animals** 13:1249, 2023a. https://doi.org/10.3390/ani13071249.

MAGRO, S., A. *et al*. Udder health-related traits in cow milk: Phenotypic variability and effect on milk yield and composition. **Animal** 17:100823, 2023b. https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100823.

MARIANI, E. *et al*. Effect of total and differential somatic cell count on yield, composition and predicted coagulation properties from individual dairy cows. **Int. J. Dairy Technol.** 75:298–307, 2022. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12857.

PEGOLO, S. *et al*. Quarter-level analyses of the associations among subclinical intramammary infection and milk quality, udder health, and cheesemaking traits in Holstein cows. **J. Dairy Sci.** 105:3490–3507, 2022a. . https://doi.org/10.3168/jds.2021-21267.

PEGOLO, S. *et al*. Streptococcus agalactiae and Prototheca spp. induce different mammary gland leukocyte responses in Holstein cows. **JDS Commun.** 3:270–274, 2022b.. https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0216.

RIENESL, L. *et al*. Use of differential somatic cell count, somatic cell score, and milk mid-infrared spectral analysis for monitoring mastitis in dairy cows during routine milk recording. **Livest. Sci.** 264:105050, 2022. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105050.

SCHWARZ, D. *et al*. Associations between different udder health groups defined based on a combination of total and differential somatic cell count and the future udder health status of dairy cows. **Prev. Vet. Med**. 192:105374, 2021. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105374.

SCHWARZ, D. *et al*. Usefulness of the total and differential somatic cell count based udder health group concept for evaluating herd management practices and udder health in dairy herds. **Prev. Vet. Med**. 218:105977, 2023. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2023.105977.

STOCCO, G. *et al*. Herd and animal factors affect the variability of total and differential somatic cell count in bovine milk. **J. Anim. Sci.** 101:skac406, 2023. https://doi.org/10.1093/jas/skac406.

WANG, H. *et al*. The relationship between protein fraction contents and immune cells in milk. **Animals** 15:1578, 2025. https://doi.org/10.3390/ani15111578.

WIDMER, J. *et al*. Direct labeling of milk cells without centrifugation for counting total and differential somatic cells using flow cytometry. **J. Dairy Sci.** 105:8705–8717, 2022. https://doi.org/10.3168/jds.2022-22038.

ZECCONI, A. *et al*. Total and differential cell counts as a tool to identify intramammary infections in cows after calving. **Animals** 11:727, 2021. https://doi.org/10.3390/ani11030727.

ZECCONI, A. *et al*. Machine learning approach for early lactation mastitis diagnosis using total and differential somatic cell counts. **Animals** 15:1125, 2025. https://doi.org/10.3390/ani15081125.

CAPÍTULO 8

Metanogênese ruminal e métodos para quantificação de metano *in vitro*: perspectivas para uma técnica alternativa

Araxane Agne Ribeiro[1], Camila Ten Kathen Jung[1] , Eduarda Ribas de Oliveira[1], Maria Eduarda Pieniz Hamerski[1], Matheus Lehnhart de Moraes[1], Gilberto Vilmar Kozloski[1].

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c8

Resumo

A produção de metano entérico apresenta relevância nutricional e ambiental, representando aproximadamente 57% das emissões de CH_4 do setor agropecuário brasileiro. Entretanto, métodos convencionais de quantificação, como o AMPTS® e a cromatografia gasosa, apresentam custos elevados e exigem mão de obra especializada. Nesse contexto, o estudo teve como objetivo adaptar e avaliar preliminarmente uma técnica alternativa para quantificar CH_4 em ensaios de fermentação ruminal *in vitro*. O método utiliza NaOH (3 M) para reter o CO_2 e determina o volume de CH_4 pelo deslocamento de água em proveta. Em testes preliminares de 72 horas, com 1 g de amostra e quadruplicatas, os volumes de gás total e CH_4 foram, respectivamente, 225 e 60 mL para milho moído e 204 e 48 mL para azevém/aveia. Nas primeiras 12 horas, a proporção de CH_4 variou de 37 a 49%, acima da referência de 25% a 33%. Posteriormente, variou de 22 a 32%. A técnica mostra potencial, mas necessita de validação adicional, especialmente quanto à eficiência de retenção de CO_2 nas primeiras horas e à comparação com métodos convencionais.

Palavras-chave: fermentação ruminal; metano entérico; produção de gases; técnica simplificada.

[1]Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

1. Introdução

Um dos grandes desafios da pecuária está relacionado à emissão de metano entérico (CH_4) pelos ruminantes, devido ao seu impacto ambiental e à contribuição para as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a produção de CH_4 representa uma perda de 2 a 12% da energia dietética, reduzindo a eficiência de utilização da energia pelos animais (Morais *et al*., 2006; Becker, 2015). Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTI, 2022), aproximadamente 57% das emissões de CH_4 do setor agropecuário são provenientes da fermentação entérica, evidenciando a importância desse processo no contexto ambiental da atividade pecuária.

Diante desse cenário, a quantificação da produção de CH_4 é importante para investigar a emissão desse gás durante a fermentação ruminal e avaliar estratégias para sua mitigação. Em ensaios de fermentação in vitro, o sistema AMPTS® e a cromatografia gasosa são métodos utilizados para essa finalidade. Entretanto, o elevado custo dos equipamentos e a necessidade de mão de obra especializada podem dificultar a utilização dessas metodologias em pesquisas. Nesse contexto, o desenvolvimento de uma técnica simplificada e acessível pode contribuir para ampliar o acesso a essas avaliações. Diante disso, este trabalho teve como objetivo adaptar e avaliar preliminarmente uma técnica alternativa para a quantificação da produção de CH_4 em ensaios de fermentação ruminal *in vitro*.

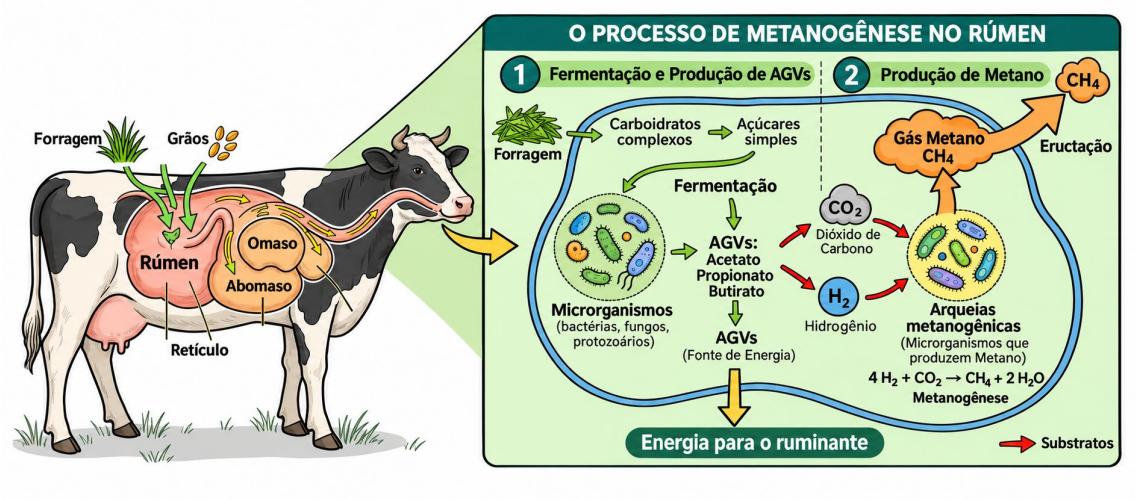
2. Desenvolvimento

2.1 Fermentação ruminal e formação de metano

A metanogênese ruminal está diretamente relacionada à fermentação dos alimentos, que ocorre em ambiente anaeróbio, sob temperatura em torno de 39 °C e pH tipicamente entre 6,0 e 7,0 (Kozloski, 2021). Conforme ilustrado na Figura 1, a degradação dos nutrientes pelos microrganismos resulta na produção de ácidos graxos voláteis (AGVs), principalmente acetato, propionato e butirato,

responsáveis por suprir aproximadamente 70% das exigências energéticas do ruminante (Bergman, 1990). Além disso, são produzidos hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2), que podem ser utilizados pelas arqueias metanogênicas para a formação de metano (CH_4), posteriormente eliminado principalmente por eructação (Janssen & Kirs, 2008). Esse processo representa uma via de utilização do H_2 gerado durante a fermentação ruminal e, simultaneamente, energia alimentar que o animal não consegue aproveitar para suas funções metabólicas, além de contribuir para as emissões de gases de efeito estufa.

Figura 1 - Infográfico esquemático do processo de metanogênese ruminal.



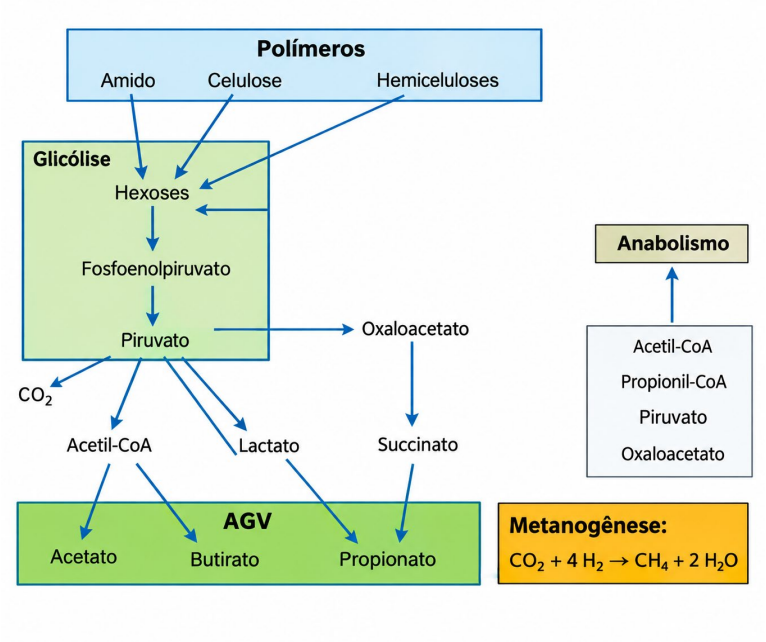
Fonte: Elaborado com o auxílio de IA (Gemini), baseado no modelo fermentativo ruminal descrito por Kozloski (2011)

A fermentação dos carboidratos tem início com a hidrólise dos polissacarídeos da dieta, como celulose, hemicelulose e amido, em açúcares simples. Esses açúcares são convertidos em piruvato pela via glicolítica. Nessa etapa, cofatores como o NAD+ são reduzidos a NADH. Em ambiente anaeróbio, sem a presença de oxigênio para atuar como aceptor final de elétrons, esses cofatores precisam ser reoxidados para que a fermentação continue. Grande parte desses equivalentes redutores é liberada na forma de H_2, que é transferido entre os microrganismos e incorporado em diferentes rotas metabólicas, o que

determina a produção de metano e o perfil de AGVs (Ungerfeld, 2020).

De forma simplificada na Figura 2, a formação de acetato ocorre a partir do piruvato, que é convertido em acetil-CoA, com liberação de CO_2 e produção de equivalentes redutores durante a oxidação do piruvato. Posteriormente, o acetil-CoA é convertido em acetato, processo associado à geração de ATP. A formação de butirato também envolve a utilização de acetil-CoA, cujas moléculas são condensadas para formar acetoacetil-CoA, que é posteriormente convertido em butirato (Kozloski, 2021).

Figura 2 - Esquema simplificado da fermentação de carboidratos no rúmen



Fonte: adaptado de Ungerfeld, 2020.

As vias fermentativas de formação do acetato e butirato estão relacionadas à produção de equivalentes redutores, principalmente o H_2, que precisa ser continuamente removido do ambiente ruminal para a manutenção do equilíbrio redox, ou seja, do balanço entre as reações de oxidação e redução, que envolvem a transferência de elétrons durante o metabolismo microbiano (Ungerfeld, 2020). Dessa forma, as arqueias metanogênicas desempenham importante função como consumidoras de H_2, utilizando ele predominantemente

na redução do CO_2 a CH_4. Assim, o fluxo de H_2 vindo da fermentação dos carboidratos determina a disponibilidade de substrato para a metanogênese (Janssen, 2010; Ungerfeld 2020).

Já o propionato pode ser formado pela via do succinato, na qual o piruvato é convertido em oxaloacetato, posteriormente reduzido a malato e transformado em fumarato e convertido em succinato, até a formação de propionato. Ao longo dessa via, ocorrem reações que utilizam H_2, influenciando em menor disponibilidade de H_2 para a metanogênese (Ungerfeld, 2020; Kozloski, 2021).

O balanço estequiométrico da fermentação ruminal mostra que a formação de acetato libera H_2, a de butirato libera uma quantidade menor e a de propionato consome H_2 (Kozloski, 2021).

$$\text{Glicose} \rightarrow 2 \text{ acetato} + 2\ CO_2 + 4\ H_2$$
$$\text{Glicose} \rightarrow \text{butirato} + 2\ CO_2 + 2\ H_2$$
$$\text{Glicose} + 2H_2 \rightarrow 2 \text{ propionato}$$

2.2 Fatores nutricionais associados à metanogênese

A produção ruminal de CH_4 é influenciada pela dieta e pelas condições de fermentação. Já foi visto que a fermentação dos carboidratos do alimento forma diferentes AGVs cuja proporção é determinada pelas características do substrato. Dessa forma, alterações na composição da dieta podem modificar as proporções das diferentes vias fermentativas dos AGVs e, consequentemente, a disponibilidade de equivalentes redutores para a metanogênese (Janssen, 2010). Essas proporções variam, conforme a composição da dieta, em aproximadamente 75:15:10 a 40:40:20 para acetato, propionato e butirato respectivamente (Bergman, 1990).

Em dietas com elevada participação de carboidratos fibrosos, como a celulose e a hemicelulose, a fermentação ruminal tende a apresentar maior contribuição das vias do acetato e do butirato, essas que liberam H_2 no ambiente ruminal que ocasiona em maior produção de CH_4. Por outro lado, o aumento da

disponibilidade de carboidratos de rápida fermentação, geralmente associado à maior inclusão de concentrados na dieta, como o amido, pode reduzir a produção de CH_4, pelo fato da via de fermentativa de propionato consumir o H_2 livre no rúmen (Johnson & Johnson, 1995). O favorecimento da produção de propionato em relação ao acetato e butirato reduz a disponibilidade de H_2 para as arqueias metanogênicas, diminuindo a formação de CH_4. Entretanto, essa redução refere-se à intensidade de emissão de CH_4, expressa em gramas de metano por quilograma de matéria seca ingerida (g CH_4/kg de MS ingerida), e não necessariamente à emissão diária total de metano (Min *et al*., 2020).

Além disso, a maior inclusão de concentrados pode reduzir o pH ruminal, prejudicando a atividade das arqueias metanogênicas. Com a redução da utilização de H_2 por esses microrganismos, esse gás pode se acumular no rúmen, aumentando sua pressão parcial. Nessas condições, a formação de acetato torna-se termodinamicamente menos favorável, em comparação às vias que favorecem a utilização de equivalentes redutores, como a formação de propionato. Assim, as condições do ambiente ruminal podem modificar a distribuição dos produtos da fermentação e influenciar a produção de CH_4 (Ungerfeld, 2020).

2.3 Métodos de avaliação da produção de metano em sistemas *in vitro*

A avaliação da produção de CH_4 em sistemas de fermentação *in vitro* pode ser realizada por diferentes abordagens, entre as quais se destacam o Sistema Automático de Teste de Potencial de Metano (AMPTS®) e a cromatografia gasosa. O AMPTS® consiste em um sistema integrado que compreende desde a incubação das amostras até a quantificação automática do CH_4. Já a cromatografia gasosa trata-se de uma técnica analítica utilizada para identificar e quantificar o CH_4 em amostras gasosas coletadas de sistemas de fermentação *in vitro*.

O AMPTS® é um sistema automatizado de avaliação do potencial de produção de CH_4, desenvolvido pela empresa sueca BPC Instruments. Seu

funcionamento ocorre de forma integrada em três unidades: na Unidade A são realizadas a incubação das amostras e a produção de gases; posteriormente, esses gases são conduzido à Unidade B, onde passam por uma solução alcalina de NaOH (3 M), responsável pela retenção do CO_2; por fim, o CH_4 remanescente é direcionado à Unidade C, na qual seu volume é mensurado automaticamente por meio de células de fluxo (BPC Instruments, 2024).

Essa metodologia possibilita o monitoramento automático e contínuo da produção de CH_4 ao longo do período experimental, reduzindo a necessidade de coletas manuais e erros associados a essas operações. Entretanto, sua utilização apresenta limitações relacionadas ao custo de aquisição do equipamento e ao número de amostras que podem ser avaliadas simultaneamente, que varia de 9 a 18 conforme o modelo utilizado. Além disso, a instalação requer o nivelamento adequado do sistema para assegurar o funcionamento das unidades de mensuração.

A cromatografia gasosa, por sua vez, é uma técnica analítica amplamente utilizada para a quantificação do CH_4, baseada na separação, identificação e quantificação dos diferentes componentes de uma amostra gasosa. Essa técnica possibilita determinar a concentração de CH_4 em amostras coletadas de diferentes sistemas experimentais, incluindo ensaios *in vitro* de produção de gás total, conforme a metodologia proposta por Theodorou *et al*. (1994).

Seu funcionamento baseia-se na injeção de amostras gasosas em um cromatógrafo, no qual um gás de arraste, como nitrogênio (N_2) ou hélio (He), conduz esta amostra através de uma coluna capilar, a qual realiza a separação dos seus componentes. Para a identificação e quantificação do CH_4, utiliza-se o Detector de Ionização de Chama (FID ou DIC), que realiza a comparação do sinal gerado pela amostra com curvas de calibração obtidas a partir de padrões de concentrações conhecidas (Becker, 2015).

Essa técnica apresenta elevada sensibilidade e precisão, além de possibilitar a análise de múltiplas amostras e quantificação de diferentes gases, conforme a configuração do equipamento. Entretanto, sua aplicação demanda coleta e armazenamento das amostras gasosas em frascos apropriados

(*extainers/vials*), além de mão de obra especializada para operação do equipamento e a interpretação dos resultados. O elevado custo de aquisição e manutenção do sistema também pode limitar sua disponibilidade.

A escolha do método para quantificação de CH_4 deve considerar aspectos como a precisão das mensurações, a estrutura disponível e os custos envolvidos. Essas características reforçam a importância de avaliar alternativas que permitam a mensuração da produção de CH_4 em ensaios de fermentação ruminal *in vitro*.

2.4 Avaliação preliminar de uma metodologia alternativa

Visando ampliar e facilitar o acesso a avaliações da produção de CH_4, um método alternativo vem sendo adaptado no Laboratório de Bromatologia e Nutrição de Ruminantes (Labrumen), vinculado ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). A metodologia baseia-se no princípio de retenção do CO_2 por meio de uma solução alcalina de NaOH (3 M), conforme empregado no sistema AMPTS®, associado à mensuração volumétrica do CH_4 por meio do deslocamento de um líquido, decorrente da pressão exercida pelo gás produzido.

Para realização dos testes, foram pesadas amostras de milho moído e de forragem de azevém/aveia (1 g), em quadruplicatas, utilizando frascos de vidro âmbar de 150 mL. As amostras foram incubadas com inóculo ruminal, coletado de um bovino fistulado, e solução tampão, conforme Mould *et al*., 2005. Todos os frascos foram gaseificados com CO_2 para expulsar o O_2 presente em seu interior, a fim de manter um ambiente anaeróbico. Em seguida, foram vedados e mantidos em banho-maria, sob agitação lenta durante 72 horas.

Para cada tipo de amostra, dois frascos foram destinados à quantificação do CH_4 e dois à determinação do gás total. Os frascos de fermentação destinados ao CH_4 foram conectados a um segundo frasco contendo solução de NaOH (3 M), responsável pela retenção do CO_2. Na sequência, o CH_4

remanescente foi direcionado a um terceiro frasco contendo água, cujo deslocamento provocado pela pressão exercida pelo gás, foi mensurado em proveta, permitindo determinar o volume de CH_4 produzido em mililitros (mL).

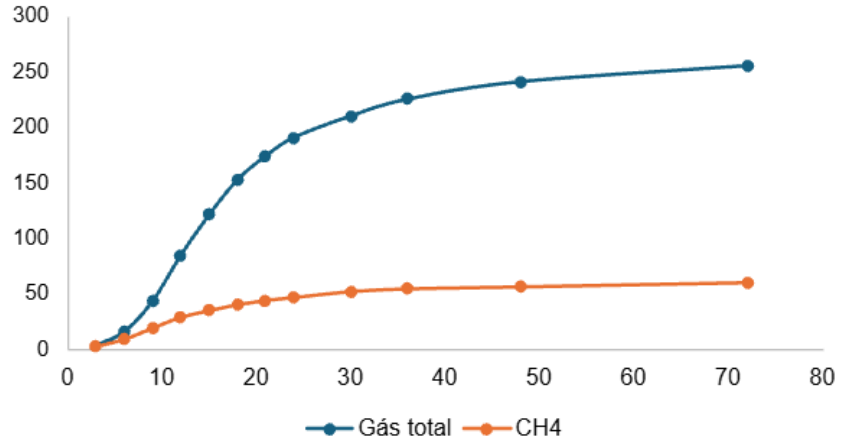
Os demais frascos de fermentação foram destinados à determinação da produção de gás total, conforme a metodologia proposta por Theodorou *et al*. (1994). Ambas as mensurações foram realizadas após 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 48 e 72 horas de incubação, permitindo acompanhar a evolução da produção de gases ao longo do período experimental.

A avaliação simultânea da produção de gás total e de CH_4 é necessária para determinar a proporção desse gás em relação ao volume total produzido durante a fermentação. Segundo Johnson e Johnson (1995) e Becker (2015), espera-se que o CH_4 represente aproximadamente 25 a 33% do volume total de gases produzidos no rúmen. Dessa forma, a comparação entre os volumes de CH_4 e de gás total permite verificar a coerência dos resultados obtidos pela metodologia alternativa, constituindo uma etapa preliminar importante para sua avaliação.

2.4.1 Resultados preliminares e discussão

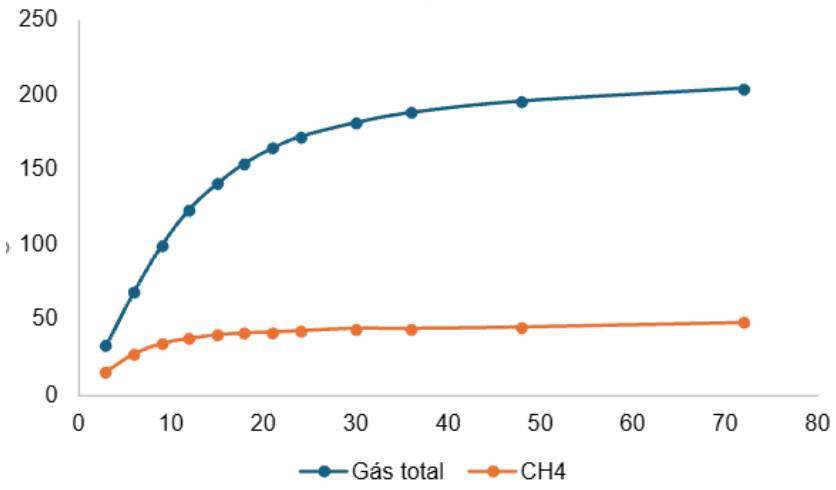
A produção acumulada de gás total e de CH_4 ao longo das 72 horas de fermentação *in vitro* está apresentada para o milho moído na Figura 3 e para a forragem de azevém/aveia na Figura 4. Ao final do período experimental, os volumes acumulados de gás total e de CH_4 foram de 255 e 60 mL para o milho moído e de 204 e 48 mL para a forragem de azevém/aveia, respectivamente.

Figura 3 – Produção acumulada de gás total e metano (CH_4) durante fermentação *in vitro* de milho moído.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Figura 4 – Produção acumulada de gás total e metano (CH_4) durante fermentação *in vitro* de forragem de azevém/aveia.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2026.

Nas primeiras 12 horas de incubação, a proporção de CH_4 em relação ao volume total de gases foi de 0,49 para o milho moído e de 0,37 para a forragem de azevém/aveia, valores superiores à faixa de 0,25 a 0,33 esperada, com base na estequiometria da fermentação ruminal (Johnson & Johnson, 1995; Becker,

2015). Esse comportamento indica a necessidade de investigar possíveis fontes de variação nas mensurações, incluindo a eficiência de retenção do CO_2 pela solução alcalina e o procedimento utilizado para determinar o volume de CH_4.

A partir das 12 horas de incubação, a proporção de CH_4 no volume total de gases variou de 0,22 a 0,32 para ambos os substratos, permanecendo, de modo geral, próxima à faixa de referência. Embora esse resultado não permita, isoladamente, confirmar a precisão da metodologia, constitui um indicativo do seu potencial de aplicação.

Por se tratar de uma avaliação preliminar, algumas limitações potenciais devem ser consideradas. A metodologia parte do princípio de que, após a retenção do CO_2 pela solução de NaOH, o gás remanescente corresponde ao CH_4. Conforme Kozloski (2021), além do CO_2 e do CH_4, predominantes nos gases ruminais, outros gases como o hidrogênio (H_2) e sulfeto de hidrogênio (H_2S) também estão presentes. Dessa forma, esses gases não retidos podem levar a uma possível superestimação do volume de CH_4. Além disso, a eficiência de retenção pelo NaOH pode ser influenciada pelo tempo e pela superfície de contato entre o gás e a solução. Quanto à mensuração do volume por deslocamento de água, as condições de temperatura e pressão também podem influenciar os valores obtidos.

Dessa forma, ensaios adicionais são necessários para aprimorar os procedimentos experimentais, avaliar a repetibilidade das mensurações e comparar os resultados obtidos pela metodologia alternativa com aqueles de métodos consolidados, como o AMPTS® e a cromatografia gasosa. Essas comparações devem ser realizadas utilizando as mesmas amostras, a fim de avaliar a concordância entre os métodos, estabelecer precisão e confiabilidade à metodologia proposta.

3. Considerações finais

A metodologia alternativa, baseada na retenção do CO_2 por solução alcalina de NaOH e na mensuração volumétrica do gás remanescente, apresentou potencial para a quantificação da produção de CH_4 em ensaios de fermentação ruminal *in vitro*. Entretanto, os resultados obtidos ainda não permitem confirmar sua precisão e confiabilidade, sendo necessários estudos complementares para aprimorar os procedimentos experimentais e comparar os resultados com métodos consolidados, como a cromatografia gasosa e o sistema AMPTS®.

4. Referências bibliográficas

BECKER, E. G. Suplementação com ácidos graxos de cadeia média na emissão de metano, produção e qualidade do leite em vacas lactantes. **Dissertação de Mestrado.** Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2015.

BERGMAN, E. N. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiol. Rev**. 70:567–590, 1990. https://doi.org/10.1152/physrev.1990.70.2.567.

BPC INSTRUMENTS. 2024. AMPTS III Biochemical Methane Potential (BMP)/Biogas Potential Handbook. BPC Instruments AB, Lund, Sweden. Accessed Oct. 14, 2026. https://bpcinstruments.com/products/respirometer-systems/ampts-iii/.

JANSSEN, P. H. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. **Anim. Feed Sci. Technol.** 160:1–22, 2010. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.002.

JANSSEN, P. H., KIRS, M. Structure of the archaeal community of the rumen. **Appl. Environ. Microbiol.** 74:3619–3625, 2008. https://doi.org/10.1128/AEM.02812-07.

JOHNSON, K. A., JOHNSON, D. E. Methane emissions from cattle. **J. Anim. Sci.** 73:2483–2492, 1995. https://doi.org/10.2527/1995.7382483x.

KOZLOSKI, G. V. **Bioquímica dos Ruminantes**. 3rd ed. Editora UFSM, Santa Maria, Brazil, 2021.

MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação). 2022. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. MCTI, Brasília, Brazil. Accessed Oct. 15, 2026. https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/estimativas-anuais-de-emissoes-gee.

MIN, B. R. *et al*. Dietary mitigation of enteric methane emissions from ruminants: A review of plant tannin mitigation options. **Anim. Nutr.** 6:231–246, 2020. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.05.002.

MOULD, F. L. *et al*. A review and simplification of the in vitro incubation medium. **Anim. Feed Sci. Technol.** 123–124:155–172, 2005. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.05.002.

THEODOROU, M. K. *et al*. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Anim. Feed Sci. Technol.** 48:185–197, 1994. https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6.

UNGERFELD, E. M. Metabolic hydrogen flows in rumen fermentation: Principles and possibilities of interventions. **Front. Microbiol.** 11:589, 2020. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00589.

CAPÍTULO 9

Produção de forragem, manejo e desempenho animal em pastagens estivais

Eduarda Proença de Oliveira[1], Eliana Bordin Dutra[1], Eduarda Jahnke Kepplin[1], Bruna Fernandes Machado[1], Érica Dambros de Moura Bueno[1], Dinah Pereira Abbott Rodrigues[1], Fabielly de Jesus Depra Santos[1], Lucas Biscaglia Miranda[1], Luciana Pötter[1], Eduardo Bohrer de Azevedo[1]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c9

Resumo

As pastagens estivais constituem importante recurso alimentar para ruminantes em pastejo, especialmente pelo elevado potencial de produção de forragem durante os meses mais quentes do ano. Este capítulo reúne estudos com gramíneas estivais conduzidos em parcelas experimentais, gaiolas de metabolismo e sob pastejo de bovinos e ovinos, com ênfase nas características produtivas das pastagens e nas respostas de desempenho animal. São apresentados resultados relacionados à produção e à composição de milheto, sorgo forrageiro e capim sudão, bem como ao consumo e à digestibilidade dessas espécies. Também foram reunidos 20 experimentos independentes conduzidos pelo Laboratório Pastos & Suplementos, da Universidade Federal de Santa Maria, envolvendo diferentes espécies estivais. Os estudos demonstram variações na estrutura do dossel, na massa de forragem e na taxa de acúmulo de forragem, assim como no ganho médio diário, na taxa de lotação e na produção de peso corporal por área. Essas respostas estiveram associadas às espécies utilizadas, às condições de manejo e ao estádio de desenvolvimento das plantas. Os resultados evidenciam a importância de considerar conjuntamente a produção vegetal e o desempenho animal na definição de estratégias de manejo das pastagens estivais.

[1]Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

Palavras-chave: desempenho animal; forrageiras estivais; manejo de pastagens; produção de forragem.

1. Introdução

As forrageiras de estação quente contribuem para o suprimento de alimento aos ruminantes durante o período estival no Rio Grande do Sul e integram o planejamento alimentar dos rebanhos. milheto (*Pennisetum americanum* (L.)), capim sudão (*Sorghum sudanense*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) destacam-se pelo rápido estabelecimento e pela produção de matéria seca (Comassetto *et al.*, 2020).

O rendimento dessas gramíneas depende das condições ambientais, fertilidade do solo e práticas de manejo. A intensidade e a frequência de desfolha modificam a produção, a composição morfológica e o valor nutritivo da forragem (Rodrigues *et al.*, 2020; Comassetto *et al.*, 2020). Por isso, é necessário considerar não apenas a produção acumulada, mas sua distribuição durante o período de utilização.

Sob pastejo, a altura do dossel, a massa de forragem e a proporção de folhas condicionam a acessibilidade do pasto, o consumo e o desempenho animal. O manejo precisa favorecer a colheita da forragem sem prejudicar a rebrota, sobretudo nas espécies anuais, cuja estrutura se modifica à medida que avança o ciclo fenológico.

A produtividade animal, por sua vez, deve ser avaliada pelo ganho individual, pela taxa de lotação e pelo ganho de peso por área. A maior produção de matéria seca nem sempre resulta em maior desempenho, pois a estrutura e o valor nutritivo do pasto interferem na resposta dos animais.

O Laboratório Pastos & Suplementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), reúne pesquisas realizadas com diferentes forrageiras estivais, estratégias de manejo e categorias animais, permitindo examinar conjuntamente respostas vegetais e animais. Este capítulo reúne resultados sobre produção e

composição de forragem em parcelas, consumo e digestibilidade em gaiolas de metabolismo e características produtivas e desempenho animal em pastagens estivais sob pastejo.

2. Desenvolvimento

2.1 Produção de forragem de culturas anuais estivais em experimentos de parcela

O milheto tem sido amplamente explorado em sistemas de pastejo devido à sua alta produtividade e à adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas (Del Valle *et al*., 2022). Em estudo em parcelas utilizando duas cultivares de milheto e em dois anos diferentes, Rodrigues *et al*. (2020) encontraram, na média, uma produção total de 11.3 t de MS/ha e taxa de acúmulo de 168 kg de MS/ha/dia. Dentro deste mesmo trabalho, foi observado uma composição química de 16% MS, 58% de fibra em detergente neutro (FDN), 30% de fibra em detergente ácido (FDA), 6% de lignina e 24% de proteína bruta (PB). A composição morfológica verificada foi de 73% folha, 25% colmo e uma razão folha/colmo igual a 4.

O sorgo é uma forrageira considerada mais resistente às condições de estresse hídrico do que outras espécies C4, podendo produzir cerca de 15.7 t/ha (Cunha & Lima, 2010). A ingestão de forragem pode ser potencializada quando utilizado manejo com altura pré-pastejo de 50 cm e rebaixamento de até 40% desse valor (Fonseca *et al*., 2012). Em experimento realizado em parcelas, Rodrigues *et al*. (2020) encontraram produção de 11 t de MS/ha e taxa de acúmulo de 113 kg de MS/ha/dia, com composição química de 16% de MS, 61% de FDN, 37% de FDA, 7% de lignina e 21% de PB, e uma composição morfológica de 66% folha, 32% colmo e uma razão folha/colmo de 2.5.

O capim sudão possui ótimo potencial produtivo em condições adversas e boa resistência ao déficit hídrico, representando alternativa de forragem durante o período do verão (Pacheco *et al*., 2014). Rodrigues *et al*. (2020), em

estudo em parcelas em dois anos consecutivos, encontraram, na média, uma produção de 9.81 t de MS/ha e uma taxa de acúmulo de 134 kg de MS/ha/dia. Neste mesmo estudo, foi encontrado uma composição química de 17% de MS, 58% de FDN, 32% de FDA, 7% de lignina e 21% de PB, e uma composição morfológica de 70% folha, 29% colmo e uma razão folha/colmo de 2,8.

Pacheco *et al*. (2019) observaram que pastos de milheto têm maior altura de dossel e número de perfilhos, e menor taxa de senescência do que Capim sudão, resultando em valor nutritivo diferente entre as espécies. Jahansouz *et al*. (2014) observaram que o milheto teve maior produção de forragem do que o sorgo quando submetidos à restrição hídrica. Pensando em pastoreio contínuo, Pacheco *et al*. (2014) não relataram diferença na produção de forragem entre milheto e sudão. Já Comasseto *et al*. (2020) não encontraram diferenças entre as três espécies em termos de produção de forragem por corte e produção total de forragem. É importante salientar que fatores ambientais podem causar efeito importante nos parâmetros citados.

O manejo da pastagem é um dos principais fatores relacionados à qualidade nutricional e também à produção. Mezzalira *et al*. (2013) verificaram que alturas de 60 e 20 cm no pré e pós-desfolha melhoram a ingestão de forragem de vacas leiteiras. Em relação à produção, ao investigar alturas de entrada e saída de 50:20 e 85:10, Comasseto *et al*. (2020) verificaram que foi possível aumentar o número de cortes para todas as forragens avaliadas (milheto, capim-sudão e sorgo) no tratamento 50:20, destacando a importância do manejo na produção de forragem.

O manejo também altera a composição bromatológica da forragem. No estudo de Comasseto *et al*. (2020), os valores de PB e nutrientes digestíveis totais foram maiores, enquanto os teores de fibras e cinzas diminuíram para o manejo 50:20, em comparação com o manejo 85:10. Quanto ao intervalo entre cortes, intervalos mais curtos aumentam o teor de PB, ao passo que intervalos maiores aumentam o rendimento, mas com redução na qualidade (Ram & Singh, 2007).

Ainda quanto à composição bromatológica, ao comparar as três espécies forrageiras Rodrigues *et al*. (2020) observaram diferenças. No primeiro experimento, o capim sudão apresentou maiores teores de MS, MO e FDN e menor PB do que o milheto. Enquanto no segundo experimento, o milheto apresentou menores teores de MO, FDN, FDA e lignina do que as espécies do gênero *Sorghum*, e, entre estas, o sudão apresentou menores teores de FDN, FDA e lignina do que o sorgo.

Em termos de composição morfológica, Rodrigues *et al*. (2020) observaram maior razão folha:colmo para o milheto quando comparado ao sudão, porém sem verificar diferenças na composição morfológica entre as três espécies. A maior relação de folhas/colmo está relacionada ao melhor valor nutritivo (Comasseto *et al*., 2020). De forma semelhante, uma altura residual muito baixa diminui a relação folha:colmo e consequentemente reduz o consumo individual dos animais (Amaral *et al*., 2013).

2.1.1 Experimentos em gaiolas de metabolismo com forrageiras anuais estivais

Em trabalho desenvolvido por Azevedo *et al*. (2021), em gaiolas de metabolismo com cordeiros, onde os tratamentos consistiram em níveis de oferta de milheto para ovinos, o consumo de MS foi maior conforme a oferta, variando de 312 a 707 g/dia. O consumo de PB aumentou de 5.56 g/kg $PV^{0,75}$ para o tratamento com oferta de 1.5% PV/dia para 13.43 g/kg $PV^{0,75}$ para o tratamento *ad libitum*. Entretanto, a digestibilidade da MO não obteve diferença, sendo na média de 0.73 kg/kg. Isso acontece devido a qualidade da forragem utilizada, desse modo, o consumo não apresentou efeito sobre a digestibilidade.

David *et al*. (2015) encontraram resultados similares, com o consumo variando de 345 a 878 g/dia para ovinos recebendo apenas folhas de milheto sob diferentes ofertas em gaiolas de metabolismo. David *et al*. (2014) encontrou uma digestibilidade de 0.78 a 0.85 g/g, com média de 0.83 g/g, ao fornecer apenas folhas de milheto para ovinos, onde diferenças foram observadas apenas

em função da oferta. A ausência de efeitos oriundos do amadurecimento da planta está relacionada à forma de colheita do pasto, tendo em vista que características do colmo contribuem para maiores mudanças na composição bromatológica da forragem (David *et al*., 2014).

Hentz *et al*. (2012) em estudo avaliando capim sudão e níveis de suplementação com farelo de canola, encontraram, no tratamento sem a inclusão de suplementação, um consumo de MS de 531 g/dia, consumo de PB de 60.75 g/dia e uma digestibilidade da MO de 0.74 kg/kg. O consumo foi da mesma ordem que os trabalhos de milheto (Azevedo *et al*., 2021; David *et al*., 2015), enquanto a digestibilidade se assemelhou ao trabalho de Azevedo *et al*. (2021), porém foi inferior a digestibilidade do milheto (0.83 g/g; David et al., 2014), sugerindo a influência do conteúdo de folhas nessa variável. Ainda no estudo de Hentz *et al*. (2012), com os crescentes níveis de fornecimento de suplementação, o consumo da forragem diminuiu, ocasionado por um efeito de substituição.

2.2 Manejo e dinâmica de pastagens estivais sob pastejo

Esta seção reúne experimentos sob pastejo conduzidos no Laboratório Pastos & Suplementos (UFSM), identificados na Tabela 1, com ênfase nas respostas vegetais e no desempenho animal.

Tabela 1. Estudos com espécies forrageiras estivais sob pastejo realizados no Laboratório Pastos & Suplementos, segundo a espécie forrageira estival, a espécie animal e o tipo de publicação.

Autores	Espécie forrageira	Espécie animal	Tipo de publicação*
Schwartz et al. (2003)	Milheto	Ovinos	Artigo

Autores	Espécie forrageira	Espécie animal	Tipo de publicação*
Santos et al. (2005); Roman et al. (2008)	Milheto	Bovinos	Artigos
Montagner et al. (2008; 2009; 2011)	Milheto	Bovinos	Artigos
Camargo et al. (2009); Elejalde et al. (2010)	Milheto	Ovinos	Artigos
Costa (2009); Costa et al. (2011)	Milheto e Papuã	Bovinos	Dissertação e artigo
Souza et al. (2011; 2012)	Milheto e Papuã	Bovinos	Artigos
Roso (2011)	Papuã e Coastcross	Bovinos	Tese
Oliveira Neto (2011); Oliveira Neto et al. (2013)	Coastcross e Papuã	Bovinos	Dissertação e artigo
Sichonany (2012); Sichonany et al. (2015; 2017); Salvador et al. (2014)	Papuã	Bovinos	Dissertação e artigos
Salvador (2014)	Papuã	Bovinos	Dissertação
Tiecher et al. (2016)	Tifton 85	Ovinos	Artigo
Salvador et al. (2016a)	Papuã	Bovinos	Artigo

Autores	Espécie forrageira	Espécie animal	Tipo de publicação*
Hundertmarck et al. (2017); Salvador et al. (2016b)	Papuã	Bovinos	Artigos
Rosa (2018); Rosa et al. (2024)	Papuã	Bovinos	Dissertação e artigo
Negrini et al. (2018); Severo et al. (2019)	Papuã	Bovinos	Artigos
Bergoli et al. (2019); Moura et al. (2021); Salvador et al. (2023)	Papuã	Bovinos	Artigos
Amaral Neto (2020)	Papuã	Bovinos	Tese
Rosa (2022); Monfardini et al. (2022)	Milheto	Bovinos	Tese e Artigo
Rodrigues (2022)	Sorgo forrageiro + Papuã	Bovinos	Dissertação
Quinhones (2025)	Sorgo forrageiro	Bovinos	Dissertação

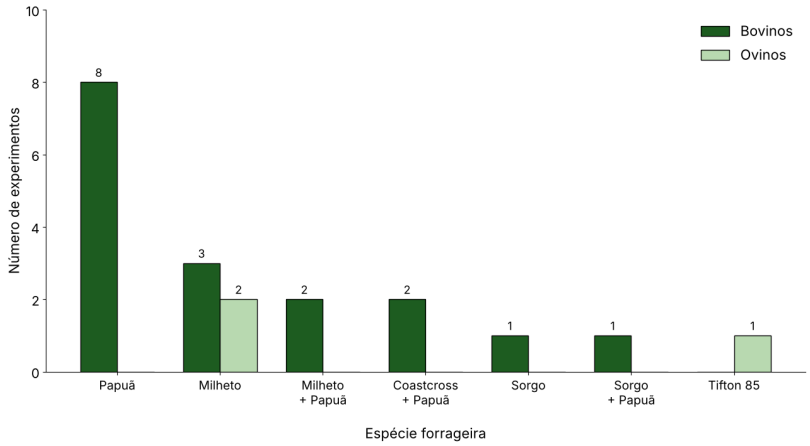
*Dissertações e teses foram consultadas no Manancial, Repositório Digital da UFSM. Publicações na mesma linha referem-se ao mesmo experimento.

2.2.1 Respostas vegetais

Entre 2003 e 2025, foram conduzidos 20 experimentos independentes, sendo 17 com bovinos e três com ovinos (Figura 1), predominantemente sob pastoreio contínuo. Foram avaliados Papuã (*Urochloa plantaginea* (Link) Hitch)

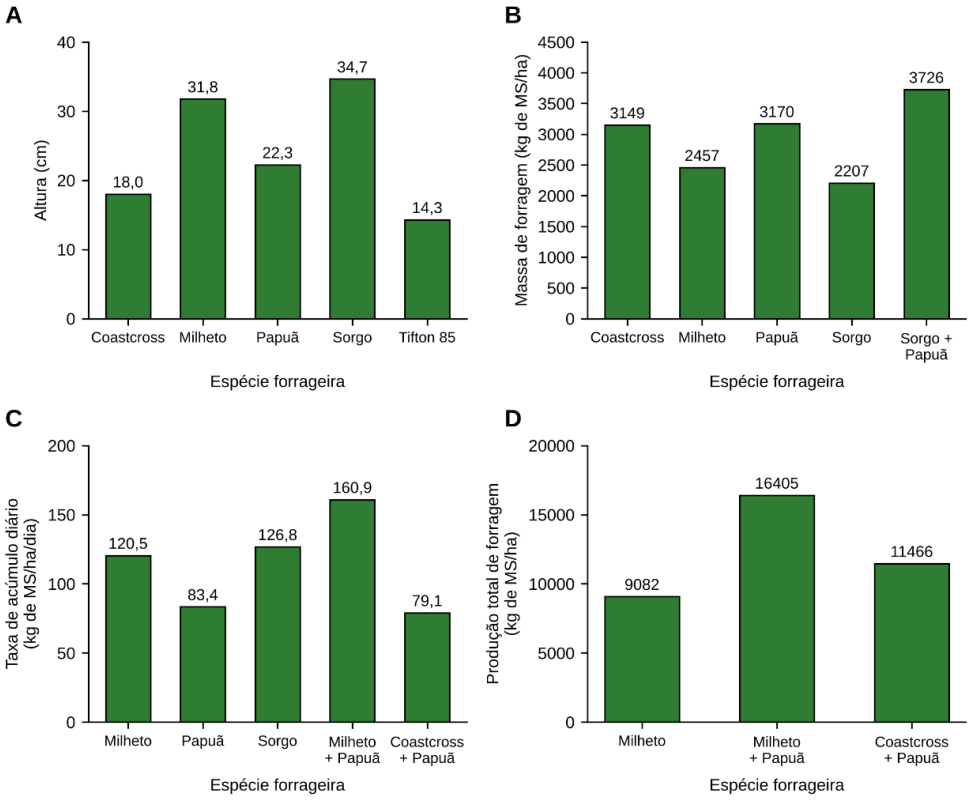
(8 registros), Milheto (5), consórcio milheto + papuã (2), consórcio coastcross (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) + papuã (2), Sorgo forrageiro (1), consórcio sorgo + papuã (1) e Tifton 85 (*Cynodon spp.*) (1) (Tabela 1).

Figura 1. Distribuição dos experimentos realizados no Laboratório Pastos & Suplementos (2003-2025), com bovinos e ovinos, de acordo com a espécie forrageira estival avaliada.



A altura do dossel e a massa de forragem (MF) descrevem aspectos complementares da estrutura do pasto (Figura 2). Entre as espécies com maior número de registros, o papuã apresentou MF média de 3,170 kg de MS/ha e altura de 22.2 cm, enquanto o milheto atingiu 2,457 kg de MS/ha e 31.8 cm. Para coastcross, os valores foram 3,149 kg de MS/ha e 18 cm; para sorgo, 2;207 kg de MS/ha e 34.7 cm. O consórcio sorgo + papuã registrou 3,726 kg de MS/ha, e Tifton 85, altura de 14.3 cm, sem informação de MF.

Figura 2. Altura (A), massa de forragem (B), taxa de acúmulo diário de forragem (C) e produção total de forragem (D) de experimentos realizados no Laboratório Pastos & Suplementos com diferentes forrageiras estivais e consórcios.



Comparações dentro dos mesmos experimentos indicaram maior MF do papuã em alturas semelhantes ou inferiores às do milheto: 4,168 em comparação à 3,722 kg de MS/ha em Costa *et al*. (2011) e 3,298 em relação à 2,455 kg de MS/ha em Souza *et al*. (2011). Isso sugere diferenças na densidade e na arquitetura dos dosséis.

O manejo também modificou a MF. Em papuã, a adubação com 300 kg de N/ha elevou a MF de 3,438 para 4,256 kg de MS/ha (Moura *et al*., 2021), e o pastejo rotativo apresentou valores superiores ao contínuo (3,715 e 2,923 kg de MS/ha; Amaral Neto, 2020). Em milheto, o estádio pré-reprodutivo apresentou menor altura, porém maior MF, em comparação ao vegetativo (Monfardini *et al*., 2022).

A taxa de acúmulo diário de forragem (TAD) e a produção total de forragem (PTF) caracterizam, respectivamente, o crescimento por unidade de tempo e a produção acumulada. Nos estudos compilados, a TAD variou de 73.92 kg de MS/ha/dia, em papuã (Salvador *et al*., 2016a), a 160.9 kg de MS/ha/dia, em milheto + papuã (COSTA *et al*., 2011).

Em milheto, a TAD situou-se entre 117.2 e 125.0 kg de MS/ha/dia em estudos com ovinos e bovinos (Schwartz *et al*., 2003; Elejalde *et al*., 2010; Roman *et al*., 2008). O sorgo forrageiro apresentou 126.8 kg de MS/ha/dia (Quinhones, 2025). As diferenças entre experimentos não podem ser atribuídas isoladamente à espécie animal.

Em papuã, foram relatadas TAD de 73.92 a 92.8 kg de MS/ha/dia (Salvador *et al*., 2016a, 2016b), e em coastcross + papuã, de 78.2 a 80 kg de MS/ha/dia (Roso, 2011; Oliveira Neto *et al*., 2013). Resultados de consórcios representam a pastagem como um todo e não devem ser atribuídos a uma espécie isolada.

A PTF foi informada em quatro estudos, variando de 7,077.6 kg de MS/ha, em milheto (Roman *et al*., 2008), a 16,405 kg de MS/ha, em milheto + papuã (Costa *et al*., 2011). Foram registrados ainda 11,086.2 kg de MS/ha em milheto (Schwartz *et al*., 2003) e 11,466 kg de MS/ha em coastcross + papuã (Oliveira Neto *et al*., 2013). As comparações dependem da duração dos ensaios e das condições de manejo. Taxa diária e produção acumulada são indicadores complementares; sua relação depende da duração do crescimento e do período de utilização da pastagem, com reflexos sobre a lotação e o desempenho animal.

2.2.2 Respostas de desempenho animal

O ganho médio diário (GMD) expressa o desempenho individual. Nos estudos com bovinos, variou de 0.483 kg/dia, em coastcross + papuã (Oliveira Neto *et al*., 2013), a 0.960 kg/dia, em papuã (NegrinI *et al*., 2018), com valores de 0.534 a 0.925 kg/dia em milheto (Santos *et al*., 2005; Montagner *et al*., 2008; Rosa, 2022); 0.616 a 0.766 kg/dia em milheto + papuã (Souza *et al*., 2012; Costa *et al*., 2011); 0.880 kg/dia em sorgo (Quinhones, 2025). Em ovinos sob milheto, o GMD foi de 0.075 kg/dia (Elejalde *et al*., 2010). O papuã proporcionou GMD 46% superior ao da coastcross (Roso, 2011), e milheto e papuã resultaram em desempenhos semelhantes (Costa *et al*., 2011).

A taxa de lotação caracteriza o peso corporal mantido por área. Em bovinos, variou de 1,467 kg de PC/ha, em coastcross + papuã (Roso, 2011), a 2,830.9 kg de PC/ha, em milheto (Montagner *et al*., 2008); em milheto, o menor valor foi de 1,505.4 kg de PC/ha (Rosa, 2022). Em papuã, variou de 1,573.5 a 2,672 kg de PC/ha (Salvador *et al*., 2014, 2016a, 2016b; Negrini *et al*., 2018; Moura *et al*., 2021; Rosa *et al*., 2024); em milheto + papuã, foi de 2,183.3 kg de PC/ha (Costa *et al*., 2011); em sorgo + papuã, 2,032.85 kg de PC/ha (Rodrigues *et al*., 2024); e em sorgo, 1,691.7 kg de PC/ha (Quinhones, 2025). Com ovinos em milheto, a carga média foi de 1,603 kg de PC/ha (Schwartz *et al*., 2003).

O avanço do ciclo fenológico reduziu a lotação e/ou o GMD pela menor disponibilidade de folhas (Roman *et al*., 2008; Oliveira Neto *et al*., 2013; Rodrigues *et al*., 2024; Rosa *et al*., 2024), enquanto a adubação nitrogenada elevou a capacidade de suporte do papuã (Salvador *et al*., 2016b; Moura *et al*., 2021). Esses resultados reforçam a necessidade de ajustar a carga animal durante a utilização.

O ganho de peso por área (GPA) integra desempenho individual, lotação e tempo de pastejo. Em bovinos, variou de 279.8 kg de PC/ha, em sorgo forrageiro (Quinhones, 2025), a 1,046.4 kg de PC/ha, em milheto (Montagner *et al*., 2008), durante 65 a 94 dias, amplitude semelhante à do azevém na mesma área experimental (Pötter *et al*., 2024), porém em períodos de utilização mais curtos. Em milheto, o GPA foi de 363.4 a 1,046.4 kg de PC/ha (Rosa, 2022; Montagner *et al*., 2008); em papuã, de 386.5 a 570.7 kg de PC/ha (Salvador *et al*., 2016b; Negrini *et al*., 2018; Rosa *et al*., 2024); em coastcross + papuã, de 730.01 kg de PC/ha (Roso, 2011); em milheto + papuã, de 347.6 kg de PC/ha (Souza *et al*., 2012). Na análise conjunta de Glienke (2012), o GPA foi maior em milheto, intermediário em papuã e menor em coastcross.

O manejo e a adubação nitrogenada influenciaram o GPA principalmente pela lotação: em milheto, diferentes massas de lâminas foliares permitiram produzir cerca de uma tonelada de PC/ha em 94 dias, sem diferença entre tratamentos (Montagner *et al*., 2008); em papuã, o nitrogênio elevou o GPA em

23% (Salvador *et al*., 2016b). O GPA diário foi de 6.83 kg de PC/ha/dia em coastcross + papuã (Roso, 2011) e de 4.30 em sorgo (Quinhones, 2025).

3. Considerações finais

As espécies estivais avaliadas diferem em produção, estrutura e composição da forragem, características que, associadas ao manejo, orientam sua escolha e utilização. Em pastagens sob pastejo, altura e massa de forragem não explicam isoladamente o desempenho animal, sendo necessário considerar conjuntamente o acúmulo diário, a proporção de folhas, o ganho individual, a lotação e a duração do pastejo para caracterizar a produção por área. O avanço fenológico altera a estrutura do dossel e pode reduzir a capacidade de suporte e o desempenho animal, exigindo monitoramento da pastagem e ajustes na carga animal.

4. Referências bibliográficas

AMARAL, M. F. *et al*. Sward structure management for a maximum short-term intake rate in annual ryegrass. **Grass Forage Sci.** 68:271–277, 2023. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00898.x.

AMARAL NETO, L. G. Sistemas alimentares para a recria de novilhas de corte. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil. 2020. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/21157?locale-attribute=es.

AZEVEDO, E. B. *et al*. Feed intake, methane yield and efficiency of utilization of energy and nitrogen by sheep fed tropical grasses. **Trop. Anim. Health Prod.** 53:452, 2021. https://doi.org/10.1007/s11250-021-02928-4.

BERGOLI, T. L. *et al*. Tillering dynamics of Alexandergrass pasture under nitrogen fertilization. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** 71:2049–2056, 2019. https://doi.org/10.1590/1678-4162-11153.

CAMARGO, D. G. *et al*. Consumo de forragem por cordeiras suplementadas em pastagem de milheto. **Cienc. Rural** 39:509–514, 2009.. https://doi.org/10.1590/S0103-84782008005000083.

COMASSETTO, D. S. *et al*. Sward height management effects on yield and composition of different annual pastures. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.** 21:e2121282020, 2020. https://doi.org/10.1590/S1519-99402121282020.

COSTA, V. G. Comportamento de pastejo e ingestão de forragem por novilhas de corte em pastagens de milheto e papuã. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brazil, 2009. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/10730?locale-attribute=pt_BR.

COSTA, V. G. *et al*. Comportamento de pastejo e ingestão de forragem por novilhas de corte em pastagens de milheto e papuã. **R. Bras. Zootec.** 40:251–259, 2011. https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000200004.

CUNHA, E. E., LIMA, J. M. P. Caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo forrageiro. **Rev. Bras. Zootec.** 39:701–706, 2010. https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000400002.

DAVID, D. B. *et al*. Faecal index to estimate intake and digestibility in grazing sheep. **J. Agric. Sci.** 152:667–674, 2014. https://doi.org/10.1017/S0021859613000294.

DAVID, D. B. *et al*. Urinary creatinine as a nutritional and urinary volume marker in sheep fed with tropical or temperate forages. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** 67:1009–1015, 2015. https://doi.org/10.1590/1678-4162-7759.

DAVID, D. B. *et al*. Potential to improve nitrogen fertilizer use efficiency and mitigate pollution in tropical pastures grazed by sheep. **N. Z. J. Agric. Res.** https://doi.org/10.1002/jag2.70051.

DEL VALLE, T. A. *et al*. Effect of rice bran and microorganism as additives in pearl millet silage. **N. Z. J. Agric. Res**. 1–14, 2022. https://doi.org/10.1080/00288233.2022.2104328.

ELEJALDE, D. A. G. *et al*. Desempenho de cordeiras em pastagens de azevém e de milheto sob suplementação. **R. Bras. Zootec.** 39:707–715, 2010. https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000400003.

FONSECA, L., J. C. *et al*. Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. **Livest. Sci.** 145:205–211, 2012.. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.003.

GLIENKE, C. L. Estudo da recria de novilhas de corte em pastagens cultivadas de verão. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2012. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4335.

HENTZ, F. *et al*. Intake and digestion by wethers fed a tropical grass-based diet supplemented with increasing levels of canola meal. **Livest. Sci**. 147:89–95, 2012. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.04.007.

HUNDERTMARCK, A. P. *et al*. Biomass flow and defoliation pattern in Alexandergrass fertilized with nitrogen. **Biosci. J**. 33:143–152, 2017. https://doi.org/10.14393/BJ-v33n1a2017-34021.

JAHANSOUZ, M. R. Evaluation of yield and quality of sorghum and millet as alternative forage crops to corn under normal and deficit irrigation regimes. **Jordan J. Agric. Sci.** 10:699–715, 2014.

MEZZALIRA, J. C. Manejo do milheto em pastoreio rotativo para maximizar a taxa de ingestão por vacas leiteiras. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** 65:833–840, 2013. https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000300032.

MONFARDINI, L. *et al.* Padrões de desfolha do milheto (*Pennisetum americanum* [L.] Leeke) pastejado por bezerras de corte. **Res. Soc. Dev**. 11:e430111335736, 2022.. https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35736.

MONTAGNER, D. B. *et al*. Manejo da pastagem de milheto para recria novilhas de corte. **Cienc. Rural** 38:2293–2299, 2008. https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000800031.

MONTAGNER, D. B. *et al*. Sward structural characteristics and ingestive behaviour of beef heifers in a Pearl Millet pasture. **R. Bras. Zootec**. 38:1668–1674, 2009. https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900005.

MONTAGNER, D. B. *et al*. Ingestão de matéria seca por novilhas de corte em pastagem de milheto. **Cienc. Rural** 41:686–691, 2011. https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000400023.

MOURA, E. D. *et al*. Forage intake by heifers on alexander grass (*Urochloa plantaginea* [Link.] Hitch) fertilized with different levels of nitrogen. **Res. Soc. Dev**. 10:e524101119922, 2021.. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19922.

NEGRINI, M. *et al*. Forage intake and performance of heifers fed rice bran on Alexandergrass pasture. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec**. 70:1577–1585, 2018. https://doi.org/10.1590/1678-4162-9701.

OLIVEIRA NETO, R. A. Comportamento ingestivo e consumo de forragem por novilhas de corte em sistemas forrageiros de ciclo estival. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2011. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/10774.

OLIVEIRA NETO, R. A. *et al*. Ingestive behavior, performance and forage intake by beef heifers on tropical pasture systems. **R. Bras. Zootec.** 42:549–558, 2013. https://doi.org/10.1590/S1516-35982013000800003.

PACHECO, R. F. *et al*. Características produtivas de pastagens de milheto ou capim sudão submetidas ao pastejo contínuo de vacas para abate. **Cienc. Anim. Bras.** 15:266–276, 2014. https://doi.org/10.1590/1809-6891v15i324387.

PACHECO, R. F. *et al*. Morfogênese de pastagens de milheto e capim sudão submetidas ao pastejo contínuo. **Bol. Ind. Anim**. 76:e1440, 2019.. https://doi.org/10.17523/bia.2019.v76.e1440.

PÖTTER, L. *et al*. O azevém como alternativa forrageira para recria de bezerras de corte. Pages 149–163 in **II Simpósio de Investigação em Produção Animal (SIPRA)**. T. A. Del Valle, C. Stefanello, and E. B. Azevedo, ed. Mérida Publishers, 2024. https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-29-9.c9.

RAM, S. N., SINGH, B. 2007. Growth yield and quality of forage sorghum by intercropping, harvesting time and nitrogen fertilization under rainfed conditions. **Indian J. Dryland Agric. Res. Dev.** 18:167–172, 2007.

QUINHONES, L. M. Desempenho de novilhas de corte sob pastejo em sorgo forrageiro recebendo ou não suplemento. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2025. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/36624.

RODRIGUES, C. R. *et al*. Produção, composição bromatológica e fenológica de forrageiras estivais na Região Sul do Brasil. **Agrarian** 13:82–92, 2020. https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i47.10316.

RODRIGUES, D. P. A. 2022. Padrões de desfolha em pastagem consorciada de sorgo forrageiro e papuã. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/26814.

RODRIGUES, D. P. A. 2024. Defoliation patterns on a mixture pasture of forage sorghum and Alexandergrass. **Semin. Cienc. Agrar.** 45:1609–1622, 2024.. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2024v45n5p1609.

ROMAN, J. *et al*. Características produtivas e estruturais do milheto e sua relação com o ganho de peso de bezerras sob suplementação alimentar. **R. Bras. Zootec.** 37:205–211, 2008. https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000200005.

ROSA, V. B. Alternativas de mineralização na recria de novilhas de corte em pastagem de papuã. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2018. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/14086.

ROSA, V. B. Suplementação mineral e energética para novilhas de corte em pastagens cultivadas. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brazil, 2022.. http://repositorio.ufsm.br/handle/1/30292.

ROSA, V. B. *et al*. Suplementação mineral para novilhas de corte em pastagem de papuã (*Urochloa plantaginea* [Link] Hitch). **Obs. Econ. Latinoam.** 22:e7280, 2024. https://doi.org/10.55905/oelv22n10-143.

ROSO, D. Alternativas forrageiras para sistemas de recria de novilhas de corte. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2011. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/4322.

SALVADOR, P. R. Adubação nitrogenada em pastagem de papuã. **Dissertação de Mestrado.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2014. . http://repositorio.ufsm.br/handle/1/10862.

SALVADOR, P. R. *et al*. Fluxos de tecidos foliares em papuã sob pastejo de bezerras de corte em diferentes frequências de suplementação. **Rev. Bras. Saude Prod. Anim.** 15:835–845, 2014. https://doi.org/10.1590/S1519-99402014000400004.

SALVADOR, P. R. *et al*. Farelo de arroz integral para bezerras de corte em pastejo de papuã. **Bol. Ind. Anim.** 73:252–259, 2016a. https://doi.org/10.17523/bia.v73n3p252.

SALVADOR, P. R. *et al*. Sward structure and nutritive value of Alexandergrass fertilized with nitrogen. **An. Acad. Bras. Cienc.** 88:385–395, 2016b. https://doi.org/10.1590/0001-3765201620150180.

SALVADOR, P. R. *et al*. Nitrogen nutrition index and morphogenesis in Alexandergrass of the Central Depression of Rio Grande do Sul. **Cienc. Rural** 53:e20210783, 2023.. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210783.

SANTOS, D. T. *et al.* Suplementos energéticos para recria de novilhas de corte em pastagens anuais: desempenho animal. **R. Bras. Zootec**. 34:209–219, 2005. https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000100025.

SCHWARTZ, F., M. G. *et al*. Manejo de milheto (*Pennisetum americanum* Leeke) sob pastejo de ovinos. **Rev. Bras. Agrociencia** 9:151–155, 2003.

SEVERO, P. O., L. *et al*. Leaf tissue flows and defoliation patterns of Alexandergrass grazed by heifers receiving energy supplement. **Acta Sci. Anim. Sci.** 41:e44902, 2019. https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.44902.

SICHONANY, M. J. O. Efeito de frequências de suplementação no comportamento ingestivo, padrão de deslocamento e ingestão de matéria seca por novilhas de corte. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil, 2012. https://repositorio.ufsm.br/handle/1/10799.

SICHONANY, M. J. O. *et al*. Ingestive behavior of heifers in Alexandergrass pasture receiving different amounts of oat grain as supplement. **Semina Cienc. Agrar.** 36:2763–2774, 2015. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n4p2763.

SICHONANY, M. J. O. *et al*. Effect of supplementation frequency in feeding behavior, displacement patterns and forage intake of beef heifers. **Semina Cienc. Agrar.** 38:3215–3230, 2017. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n5p3215.

SOUZA, A. N. M. *et al*. Comportamento ingestivo de novilhas de corte em pastagem de gramíneas anuais de estação quente. **R. Bras. Zootec**. 40:1662–1670, 2011.. https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000800006.

SOUZA, A. N. M., *et al*. Productivity and reproductive performance of grazing beef heifers bred at 18 months of age. **R. Bras. Zootec**. 41:306–313, 2012. https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000200011.

Tiecher, D. D. *et al*. Morphogenesis and structure of Tifton 85 cultivated in subtropical climate and fertilized with nitrogen. **Acta Sci. Anim. Sci**. 38:389–393, 2016. https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i4.32147.

CAPÍTULO 10

Paraprobióticos e pós-bióticos na aquicultura: fundamentos, mecanismos e perspectivas

Maurício Antônio Paz Martins[1], Stéfane Silva Sauzem[1], Gregorio Cargnin[1], Diuly Bortoluzzi Falcone[1], Leila Picolli da Silva[1]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c1

Resumo

As restrições ao uso de promotores de crescimento antimicrobianos intensificaram a busca por alternativas seguras e sustentáveis, que garantam a saúde e a produtividade animal. Neste cenário, os paraprobióticos e os pós-bióticos despontam como estratégias promissoras para a aquicultura, combinando vantagens tecnológicas ao processamento de rações a múltiplos efeitos imunomoduladores e metabólicos. Os paraprobióticos compreendem células microbianas não viáveis e seus constituintes estruturais, capazes de estimular respostas fisiológicas e imunológicas no hospedeiro, sem a exigência de viabilidade celular. Por sua vez, os pós-bióticos constituem preparações de microrganismos inanimados, suas frações e metabólitos funcionais associados. Ambas as intervenções atuam na modulação da microbiota intestinal, no fortalecimento imunológico e na otimização da absorção de nutrientes, com reflexos positivos sobre o desempenho dos peixes, mesmo em condições de estresse e desafio sanitário. Este capítulo aborda os principais avanços sobre a aplicação de paraprobióticos e pós-bióticos na aquicultura, explorando seus conceitos, métodos de obtenção, mecanismos de ação e seus impactos sobre a produtividade zootécnica. Por fim, discutem-se as perspectivas e necessidades de pesquisas futuras voltadas à padronização dos processos de obtenção desses aditivos, à validação de seus efeitos sob estresse produtivo e à sua viabilidade econômica em escala comercial.

[1]Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

Palavras-chave: aditivos alimentares, compostos bioativos, microbiota, nutrição animal, piscicultura.

1. Introdução

A expansão da aquicultura mundial passa por uma mudança de paradigma, impulsionada por crescentes preocupações com a resistência antimicrobiana, a segurança alimentar e a sustentabilidade (FAO, 2026). As elevadas densidades de estocagem, inerentes à intensificação produtiva, expõem os peixes a condições de estresse, comprometendo suas respostas imunológicas e aumentando a suscetibilidade a enfermidades (Pavanelli *et al.* 2002; Urbinati; Carneiro, 2004). Por décadas, antibióticos foram utilizados como promotores de crescimento antimicrobianos (PCAs) para o controle de patógenos, a manutenção da saúde e a otimização do desempenho zootécnico. No entanto, o seu uso prolongado em doses subterapêuticas acelerou o surgimento de bactérias multirresistentes, representando uma ameaça à saúde animal e à saúde pública (Aidara-Kane *et al*. 2018; Saeed *et al.* 2021).

Diante desse cenário, e sob a pressão de mercados internacionais - encabeçados pela União Europeia, que baniu os PCAs em 2006 (European Commission, 2005) - marcos regulatórios internacionais tornaram-se cada vez mais rigorosos. Seguindo a mesma tendência, o Brasil promoveu a eliminação gradual de uso dos PCAs, culminando recentemente na sua proibição completa pela Portaria SDA/MAPA nº 1.617, de 24 de abril de 2026 (Brasil, 2026).

Nessa evolução regulatória, intensificaram-se as buscas por alternativas seguras, eficazes e sustentáveis, capazes de preservar a integridade da microbiota, da saúde e do desempenho animal, além de assegurar a sustentabilidade ambiental. Neste contexto, intensificaram-se os estudos com probióticos e prebióticos, bem como, surgiram novos bioativos nessa linha protetiva, como os paraprobióticos e os pós-bióticos, que representam categorias distintas, porém complementares, de produtos microbianos (Wang *et al*. 2026).

Os paraprobióticos são constituídos por microrganismos inativados, ou por seus componentes celulares, capazes de promover efeitos benéficos ao hospedeiro sem a necessidade de viabilidade celular, diferentemente dos probióticos convencionais (Choudhury; Kamilya, 2019). Por sua vez, os pós-bióticos correspondem aos metabólitos funcionais e subprodutos secretados por microrganismos específicos (Liu, 2023), incluindo um complexo de neurotransmissores, peptídeos e ácidos orgânicos, ácidos graxos de cadeia curta, bacteriocinas e vitaminas (Sharafi *et al*. 2024). Estes compostos destacam-se por demonstrar propriedades antimicrobianas, antioxidantes, anti-inflamatórias, imunomoduladoras, antiproliferativas e hepatoprotetoras (Kaur *et al*. 2021).

Considerando a relevância dessa temática, apresentamos este capítulo com vistas a explorar os avanços científicos relacionados ao uso de paraprobióticos e pós-bióticos na aquicultura. Para tanto, serão abordados o enquadramento conceitual e os seus métodos de obtenção, destacando suas vantagens de estabilidade no processamento de rações; seus principais mecanismos de ação nas respostas metabólicas e de imunidade dos peixes, bem como suas implicações no desempenho zootécnico e nas perspectivas para a nutrição aquícola sustentável.

2. Aditivos funcionais e enquadramento conceitual dos paraprobióticos e pós-bióticos

Os aditivos funcionais são substâncias incorporadas às formulações para modificar as suas características físico-químicas, influenciar o desempenho dos animais ou melhorar a qualidade do produto final (Dawood *et al*., 2018). Essa categoria engloba uma ampla diversidade de compostos, os probióticos, prebióticos, simbióticos, fitobióticos, nucleotídeos, enzimas e ácidos orgânicos, que atuam no fortalecimento da integridade da barreira intestinal, na restrição de patógenos oportunistas e no estímulo às enzimas digestivas, com reflexos positivos sobre desempenho geral (Mohammadi *et al*., 2021). Contudo, a eficácia destes aditivos varia de acordo com a espécie cultivada, o sistema de produção,

o estágio de desenvolvimento, a dosagem e as condições ambientais (Merrifield *et al*., 2010; Ringø *et al*., 2018). Além disso, a inclusão desses aditivos atenua os efeitos nocivos de fatores antinutricionais decorrentes do uso crescente de fontes proteicas vegetais, favorecendo a digestibilidade dos nutrientes, a qualidade e a aceitabilidade das rações (Avella *et al*., 2011; He *et al*., 2020; Zarantoniello *et al*., 2021).

Entre as diferentes categorias, destacam-se os paraprobióticos e pós-bióticos, que têm despertado crescente interesse como alternativas promissoras aos PCAs na aquicultura. Esses aditivos exercem múltiplos efeitos benéficos ao hospedeiro, como modulação imune; atividades antioxidante, anti-inflamatória e antiestresse, além de contribuírem para a redução dos impactos ambientais associados à produção intensiva (Liu *et al.*, 2023). Embora compartilhem propriedades funcionais, os paraprobióticos e pós-bióticos possuem particularidades conceituais que requerem distinção, com vistas à adequada compreensão de seus mecanismos de ação e potenciais aplicações.

Os paraprobióticos são definidos como células microbianas não viáveis e seus constituintes celulares estruturais, capazes de estimular respostas imunológicas e fisiológicas, trazendo benefícios ao hospedeiro (Taverniti; Guglielmetti, 2011; Siciliano *et al.*, 2021). Embora destituídos de capacidade multiplicativa ou atividade metabólica ativa, conservam componentes capazes de interagir com o hospedeiro e desencadear respostas biológicas (TavernitI; Guglielmetti, 2011). Entre esses componentes estão proteínas, peptidoglicanos, lipídios de membrana, ácidos nucleicos, polissacarídeos e outros constituintes da superfície celular (TavernitI; Guglielmetti, 2011; De Almada *et al*., 2016).

Os pós-bióticos, por sua vez, apresentam um conceito mais amplo e atualmente são definidos como preparações de microrganismos inanimados, suas frações e metabólitos funcionais associados (ácidos graxos de cadeia curta, peptídeos e exopolissacarídeos) que conferem benefício à saúde do hospedeiro (Salminen *et al*., 2021).

Em contraste com os probióticos convencionais — definidos como microrganismos vivos (Hill *et al*., 2014) —, os paraprobióticos e pós-bióticos não

dependem da viabilidade celular para atuar. Essa característica confere vantagem tecnológica no processamento e armazenamento das rações, eliminando a dependência da sobrevivência microbiana até o local de ação no trato digestivo (TavernitI; Guglielmetti, 2011; De Almada *et al*., 2016; Siciliano *et al*., 2021). Assim, a correta caracterização da matriz (seja biomassa inativada ou extrato metabólico) permite relacionar a composição do aditivo aos seus mecanismos específicos de ação e aos efeitos biológicos esperados.

Em síntese, a principal distinção entre probióticos, paraprobióticos e pós-bióticos reside na natureza da preparação e nos critérios utilizados para sua classificação, aspectos que orientam a escolha dos métodos de obtenção e a caracterização dos produtos finais (De Almada *et al*., 2016; Salminen *et al*., 2021). Dessa forma, a compreensão dos processos industriais de inativação, lise e conservação torna-se importante para assegurar a integridade desses compostos bioativos e viabilizar sua aplicação nas rações.

3. Métodos de obtenção e composição bioativa

A obtenção de paraprobióticos e pós-bióticos envolve encadeadas de bioprocessamento, que incluem a seleção de cepas, o cultivo em condições controladas, a recuperação da biomassa e a aplicação de tratamentos de inativação celular ou de extração de metabólitos (Siciliano *et al*., 2021). A escolha do método adequado depende da composição desejada para o produto final e dos efeitos biológicos que se pretende alcançar (De Almada *et al*., 2016; Zhu *et al*., 2025).

3.1 Tratamentos de inativação microbiana

Os tratamentos térmicos são amplamente utilizados para inativar microrganismos por meio da exposição a temperaturas elevadas durante determinado período (De Almada *et al*., 2016; Sun *et al*., 2023). Técnicas como a pasteurização e o aquecimento controlado podem comprometer a viabilidade

celular, apresentando vantagens relacionadas à simplicidade e à facilidade de aplicação (Almahbashi; Güneş Altuntaş, 2025). Contudo, o binômio tempo-temperatura exige especial atenção, para inativar as células sem comprometer a bioatividade das moléculas. Em estudo com *Lacticaseibacillus paracasei* e *Bifidobacterium lactis*, tratamentos de 70 a 121 °C por 10 minutos inativaram as células, com rompimento da estrutura celular e liberação de conteúdo intracelular. As atividades antioxidante e anti-inflamatória foram mantidas em temperaturas inferiores a 100 °C, ao passo que o aquecimento a 121 °C reduziu a atividade antioxidante e alterou de forma significativa o perfil químico do pós-biótico (Sun *et al*., 2023). Por isso, a temperatura e o tempo de exposição devem ser ajustados conforme a resistência do microrganismo e as características desejadas para o produto final. A resposta ao tratamento térmico também varia entre as cepas: em comparação envolvendo *Lactiplantibacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* e *Pediococcus pentosaceus*, o tratamento térmico eliminou as células viáveis e a eficácia do produto obtido diferiu conforme a cepa (Almahbashi; Güneş Altuntaş, 2025).

Entre os métodos físicos, destacam-se a alta pressão hidrostática (atua sobre a integridade das membranas e causa desnaturação das proteínas), a radiação ultravioleta (danifica o material genético) e a ultrassonicação (promove inativação, lise e liberação de compostos intracelulares) (De Almada *et al*., 2016; Siciliano *et al*., 2021). No entanto, ao comparar métodos de preparo de pós-bióticos a partir de bactérias láticas, Almahbashi e Güneş Altuntaş (2025) observaram que o tratamento enzimático combinado à ultrassonicação foi menos eficaz na remoção de células viáveis do que o tratamento térmico.

A inativação química utiliza substâncias ou alterações no meio capazes de comprometer a integridade e as funções celulares (De Almada *et al*., 2016; Siciliano *et al*., 2021). Ao comparar cinco tratamentos de inativação em bactérias láticas recombinantes (calor, etanol, ultrassom, radiação UV e radiação gama), Zahirović *et al*. (2025) demonstraram que o etanol e o calor foram os métodos mais efetivos em tornar as células não viáveis. Porém, a aplicação de agentes químicos exige atenção à presença de resíduos, para garantir a segurança de uso do produto obtido nas rações (Salminen *et al*., 2021).

3.2 Ruptura celular, frações bioativas e caracterização química

Para a obtenção de preparações enriquecidas em constituintes específicos, aplicam-se técnicas de ruptura celular como ultrassonicação, homogeneização sob alta pressão e moagem mecânica (Middelberg, 1995) que desorganizam as estruturas celulares e a liberam majoritariamente proteínas, polissacarídeos e lipídios.

Ao revisar os métodos de extração de peptidoglicano, Yao *et al*. (2025) observaram que as lises químicas tradicionais apresentam baixo rendimento, maior tempo de processamento e risco de degradação ou modificação da estrutura do composto. Em comparação, técnicas assistidas por processos mecânicos, como moagem e ultrassonicação, aumentam o rendimento e reduzem o tempo de extração, embora possam exigir equipamentos específicos e etapas adicionais de purificação. Os métodos biológicos, como a extração enzimática, apresentam maior seletividade e melhor preservação da integridade estrutural do peptidoglicano, mas sua eficiência depende das condições empregadas. Assim, a escolha do método deve considerar o rendimento, a pureza e a preservação das características estruturais do composto (Yao *et al*., 2025). Após a lise celular, processos de centrifugação, filtração e purificação são empregadas para isolar e concentrar frações bioativos de interesse, a exemplo de exopolissacarídeos e peptídeos funcionais (Sørensen *et al*., 2022).

A composição final das preparações reflete a linhagem microbiana, as condições de cultivo e os métodos de processamento utilizados (Salminen *et al.*, 2021; Zhu *et al*., 2025). A parede celular representa uma importante fonte de componentes bioativos em preparações de microrganismos inativados. Entre seus constituintes estão o peptidoglicano, os ácidos teicoicos e lipoteicoicos, presentes principalmente em bactérias Gram-positivas, e os lipopolissacarídeos (LPS), característicos da membrana externa de bactérias Gram-negativas. A composição e a proporção desses elementos variam conforme o grupo microbiano (Chapot-Chartier; Kulakauskas, 2014).

Outros componentes incluem proteínas de superfície, como as da camada S, que reveste a superfície externa de muitas bactérias (Hynönen; Palva, 2013;

Mercier-Bonin; Chapot-Chartier, 2017). Ainda fazem parte desse grupo os polissacarídeos capsulares e exopolissacarídeos (Chapot-Chartier; Kulakauskas, 2014; Sørensen *et al*., 2022), proteínas intracelulares, enzimas e ácidos nucleicos (Scott *et al*. 2022). A quantidade e a disponibilidade desses constituintes dependem da integridade das células e do grau de ruptura promovido durante o processamento (Sun *et al*., 2023; Zhu *et al*., 2025). Assim, preparações contendo células inteiras inativadas apresentam composição distinta daquelas obtidas por desintegração celular e separação de frações (Zhu *et al*., 2025).

Além dos componentes celulares, determinadas preparações podem conter metabólitos produzidos durante o crescimento e a fermentação microbiana. Entre os principais estão os ácidos orgânicos (ácido lático, acético e outros) e ácidos graxos de cadeia curta, incluindo propionato e butirato; acompanhados de bacteriocinas, peptídeos, enzimas e vitaminas (Scott *et al*. 2022; Amobonye *et al*., 2025). A síntese dessas frações e exopolissacarídeos varia segundo o pH, a temperatura, o meio de cultura e as demais condições de cultivo (Souza *et al*., 2017; Correa Deza *et al*., 2023; Sørensen *et al*., 2022)

A permanência destes metabólitos na preparação final depende das etapas de recuperação: quando a biomassa é extensivamente lavada, os metabólitos podem ser removidos da matriz (Vinderola *et al*., 2025). Por isso, a caracterização química das preparações é importante para identificar os compostos presentes e determinar sua concentração no produto final (Salminen *et al*., 2021).

É importante distinguir, entretanto, a presença de metabólitos em uma preparação de microrganismos inanimados da utilização de substâncias isoladas. Conforme o consenso da Associação Científica Internacional para Probióticos e Prebióticos (ISAPP), pós-bióticos são preparações de microrganismos inanimados e/ou seus componentes que conferem benefício à saúde do hospedeiro. Portanto, metabólitos purificados isoladamente não se enquadram automaticamente nessa definição (Salminen *et al*., 2021; Scott *et al*. 2022).

A caracterização dessas preparações deve considerar a identificação das cepas utilizadas, a descrição do processo de inativação e a quantificação de componentes funcionais relevantes, permitindo maior consistência e reprodutibilidade entre produtos. Como os pós-bióticos podem apresentar composição complexa, nem sempre é viável identificar e quantificar individualmente todos os seus constituintes. A avaliação da viabilidade microbiana residual e da contaminação também é importante para o controle de qualidade e a segurança das preparações (Vinderola *et al*., 2025).

4. Mecanismos de ação

Os paraprobióticos e pós-bióticos exercem efeitos biológicos por diferentes mecanismos, incluindo a modulação da resposta imune, a manutenção da integridade da barreira intestinal, a interação com a microbiota e a regulação de vias associadas à inflamação e ao metabolismo (Salminen *et al*., 2021; MA *et al*. 2023).

No caso dos paraprobióticos, sua ação está relacionada majoritariamente com a interação entre suas estruturas celulares e as células do hospedeiro. Componentes como peptidoglicanos, ácidos lipoteicoicos e proteínas de superfície são detectados por receptores de reconhecimento de padrões (PRRs), incluindo os Toll-like (TLRs), presentes em células do sistema imunológico e do trato gastrointestinal. Essas interações desencadeiam vias de sinalização envolvidas na regulação da resposta inflamatória, na manutenção da barreira intestinal e na atividade das células imunológicas (Taverniti; Guglielmetti, 2011; Siciliano *et al*., 2021).

A participação desses mecanismos de ação tem sido evidenciados em estudos com diferentes espécies de peixes. Ao compararem *Bacillus pumilus* SE5 viável e inativado por calor em dietas para juvenis de *Epinephelus coioides*, observaram respostas expressivas da forma inativada sobre parâmetros imunológicos e de crescimento. Esses resultados indicam que componentes estruturais preservados após a inativação participam ativamente de interações

com o hospedeiro (Yan *et al*. 2016). Ainda, ao verificaram que a inclusão de 200 mg/kg de *Lactiplantibacillus plantarum* VSG3 inativado termicamente em dietas para juvenis de *Cyprinus carpio* reduziu a expressão de IL-1β e TNF-α e aumentou a expressão de IL-10 (Giri *et al*. 2024). A redução dos marcadores pró-inflamatórios associada ao aumento da expressão de uma citocina com função reguladora, sugere a modulação da resposta imunológica, ao invés de uma estimulação inflamatória. Essa interpretação é compatível com o aumento da sobrevivência observado após o desafio com *Aeromonas hydrophila*. Por sua vez, Sousa *et al*. (2022) demonstraram, por ensaio *in vitro*, que a adição de biomassa inativada pelo calor de *Pseudoalteromonas rubra* modulou a comunidade do bacterioplâncton na água de cultivo, favorecendo o crescimento de bactérias predadoras naturais e reduzindo a abundância de patógenos oportunistas, por controle predatório e exclusão competitiva.

Os pós-bióticos atuam por meio de metabólitos funcionais e fatores solúveis, que são subprodutos secretados pelos microrganismos. Esses compostos participam da modulação da resposta imunológica e da regulação de processos inflamatórios e oxidativos, influenciando a expressão de citocinas e a atividade de enzimas antioxidantes (Salminen *et al*., 2021; Sumon *et al*., 2025). Em *Oncorhynchus mykiss,* a utilização de uma preparação pós-biótica derivada de *Weissella cibaria* promoveu alterações na expressão de citocinas, caracterizadas pelo aumento de IL-1β e redução de TNF-α e IL-8, acompanhadas pelo aumento de contagem de bactérias ácido-láticas intestinais e maior resistência à infecção por *Yersinia ruckeri* (Quintanilla-Pineda *et al*., 2024).

Em estudo com garoupas híbridas, a inclusão dietética de pós-bióticos obtidos da fermentação por *Lactobacillus acidophilus* e *Saccharomyces cerevisiae* atenuou as alterações inflamatórias induzidas pelo estresse amoniacal, caracterizados pela redução da expressão de IL-1, IL-6 e NF-KB e pelo aumento de TGF-β. Essas respostas foram acompanhadas pela redução da peroxidação lipídica e por alterações na atividade de enzimas antioxidantes, evidenciando a associação entre a modulação inflamatória e a proteção contra danos oxidativos (Cheng *et al*., 2026).

Em conjunto, estes achados evidenciam que os mecanismos de ação desencadeados pelos paraprobióticos e pós-bióticos se traduzem em respostas fisiológicas e imunológicas sistêmicas, fundamentando o interesse por sua aplicação prática na nutrição e produção aquícola.

5. Aplicações, respostas zootécnicas e perspectivas futuras

Os efeitos zootécnicos dos paraprobióticos e pós-bióticos estão associados às características das preparações, as concentrações utilizadas e as espécies avaliadas.

A resistência térmica e física constituem as principais vantagens operacionais destes bióticos sobre as cepas de probióticos vivos (Dahmouni *et al*., 2026). Como o potencial funcional dessas matrizes não está condicionado à viabilidade celular, sua inclusão proporciona maior flexibilidade de formulação para a indústria da nutrição animal. Durante a fabricação de rações o processo de extrusão submete a matriz alimentar a condições severas de temperatura e pressão. Enquanto probióticos convencionais demonstram elevada taxa de mortalidade quando expostos a pressões de 15 a 40 bar e altas temperaturas, os preparados não viáveis contornam completamente essa barreira física e térmica (Linh *et al*., 2026). Essa estabilidade permite que o aditivo seja incorporado diretamente na mistura inicial, reduzindo custos operacionais ao eliminar a necessidade de sistemas de injeção líquida ou recobrimento pós extrusão.

Paralelamente à integridade durante o processamento, a substituição de células vivas por esses bióticos estende significativamente o tempo de prateleira dos produtos finais. Devido à sua estabilidade molecular, essas matrizes dispensam exigências de refrigeração ou o uso de embalagens com barreiras físicas ao longo do transporte e armazenamento (Oprisanu *et al*., 2026). Adicionalmente, a utilização de probióticos vivos em rações comerciais levanta preocupações relativas à instabilidade microbiológica e ao risco de contaminações oportunistas. Em contrapartida, os paraprobióticos e pós-bióticos

anulam esse risco por serem incapazes de se replicar na matriz alimentar (Ranjbar *et al.*, 2026).

Alguns pós-bióticos — em especial os ácidos graxos de cadeia curta e as bacteriocinas — atuam como preservativos ativos nas rações. Esses componentes promovem a desestabilização de membranas bacterianas e a acidificação citoplasmática de patógenos, inibindo a formação de biofilmes de *Salmonella spp., Escherichia coli e Listeria spp*., tanto nas linhas de produção industrial quanto no trato gastrintestinal dos animais (Zavisic *et al*., 2024).

Em se tratando de efeitos sobre o desempenho zootécnico, a inclusão de bactérias inativadas pelo calor demonstrou resultados positivos sobre o ganho de peso, a conversão alimentar e a eficiência da utilização da proteína em *Epinephelus coioides*, *Paralichthys olivaceus* e *Larimichthys crocea* (Yan *et al*., 2016; Hasan *et al*., 2019). No entanto, os efeitos dessas respostas variam conforme o nível de inclusão. Em juvenis de *Larimichthys crocea,* a inclusão de 0,2% de *Lactobacillus acidophilus* inativado apresentou efeitos mais expressivos sobre o crescimento, além de melhorias na atividade de enzimas digestivas, na capacidade antioxidante e na integridade da barreira intestinal, em comparação aos demais níveis avaliados (0,1%; 0,4% e 0,8%) (He *et al*., 2024). Além dos efeitos sobre o desempenho, a utilização de bactérias inativadas também tem demonstrado resultados positivos sobre a resistência a desafios sanitários. Em *Miichthys miiuy,* células vivas e inativadas de *Clostridium butyricum* aumentaram indicadores de resposta imune e a sobrevivência após desafios com patógenos. Entretanto, o sobrenadante da cultura não promoveu respostas equivalentes, indicando que os efeitos podem estar associados à presença das células e de seus componentes, e não necessariamente aos metabólitos extracelulares.

6. Considerações finais

Como visto, o emprego de paraprobióticos e pós-bióticos desponta como uma estratégia promissora para a nutrição e a sanidade na aquicultura, combinando vantagens tecnológicas de estabilidade ao processamento de

rações a múltiplos efeitos imunomoduladores e metabólicos. A intensidade das respostas desencadeadas pelo uso desses bióticos está diretamente vinculada à composição das preparações, aos métodos de inativação empregados, às dosagens administradas e às características fisiológicas da espécie-alvo. Nesse sentido, a elucidação detalhada de seus mecanismos de ação requer investigações integradas que correlacionem a caracterização físico-química dos componentes bioativos às respostas fisiológicas, metabólicas, imunológicas e zootécnicas, considerando as particularidades das espécies e as condições de aplicação.

Diante da complexidade dessas matrizes e das exigências da indústria de nutrição animal, as pesquisas futuras devem priorizar a padronização dos processos de obtenção e purificação desses aditivos, a validação de seus efeitos sob estresses de cultivo e a avaliação de sua viabilidade econômica em escala comercial. Dessa forma, a expansão do conhecimento sobre esses compostos contribuirá para a consolidação de estratégias nutricionais seguras, estáveis e eficientes na aquicultura.

7.Referências bibliográficas

AIDARA-KANE A. *et al*. World Health Organization (WHO) guidelines on use of medically important antimicrobials in food-producing animals. **Antimicrobial Resistance & Infection Control**, 7, 7, 1-8, 2018. DOI: https://doi.org/10.1186/s13756-017-0294-9.

ALMAHBASHI, A. and GUNES A. E. From Preparation to Bioactivity: A Comparative Study on Preparation Methods and Characterization of Postbiotics. **Food Science & Nutrition**, 13, 70294, 2025. DOI: https://doi.org/10.1002/fsn3.70294.

AMOBONYE, A. *et al.* Postbiotics: an insightful review of the latest category in functional biotics. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 41, 293, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s11274-025-04483-8.

AVELLA, M. A. *et al*. Use of Enterococcus faecium to improve common sole *(Solea solea)* larviculture. **Aquaculture**, 315, 384–393, 2011. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.02.046.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Portaria SDA/MAPA nº 1.617, de 24 de abril de 2026.** Proíbe, em todo o território nacional, a importação, a fabricação, a comercialização e o uso de aditivos melhoradores de desempenho que contêm antimicrobianos classificados como importantes na medicina humana ou veterinária, e cancela os registros dos produtos correspondentes. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 77, p. 3, 27 abr. 2026.

CHAPOT-CHARTIER, M. P. and KULAKAUSKAS, S. Cell wall structure and function in lactic acid bactéria. **Microbial Cell Factories***,* 13, 2014. DOI: https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-S1-S9.

CHENG, Z. *et al*. Positive effects of dietary postbiotics on growth, intestinal health, immunity, and ammonia nitrogen tolerance in hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂). **Comparative Immunology Reports**, 10, 200264, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cirep.2025.200264

CHOUDHURY, T. G. and KAMILYA, D. Paraprobiotics: an aquaculture perspective. **Reviews in Aquaculture**, 11, 4, 1258–1270, 2019. DOI: https://doi.org/10.1111/raq.12290.

CORREA DEZA, M. A. *et al*. Effect of culture parameters on the heat tolerance and inorganic polyphosphate accumulation by *Lacticaseibacillus rhamnosus* CRL1505, a multifunctional bacterium. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, 39, 7, 182, 2023. DOI: 10.1007/s11274-023-03625-0.

DAHMOUNI, S. *et al*. Postbiotics and paraprobiotics in food biochemistry mechanisms stability and nutritional applications. **NPJ Science of Food**, 10, 242, 2026. DOI: https://doi.org/10.1038/s41538-026-00838-z.

DAWOOD, M. A. O. *et al*. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: A review. **Reviews in Aquaculture**, 10, 950–974, 2018. DOI: https://doi.org/10.1111/raq.12209.

DE ALMADA, C. N. *et al.* Paraprobiotics: Evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods. **Trends in Food Science & Technology**, 58, 96-114, 2016. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.09.011.

EUROPEAN COMMISSION. **Ban on antibiotics as growth promoters in animal feed.** Brussels, 22 Dec. 2005. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_05_1687.

FACHRI, M. F. *et al*. Probiotics and paraprobiotics in aquaculture: a sustainable strategy for enhancing fish growth, health and disease prevention—a review. **Frontiers in Marine Science**, 11, 1499228, 2024. DOI: https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1499228.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). The State of World Fisheries and Aquaculture 2026 (SOFIA) - Blue Transformation Turning Vision Into Impact. Rome: FAO, 2026.

GIRI, S. S. et al. Effect of dietary heat-killed *Lactiplantibacillus plantarum* VSG3 on growth, immunity, antioxidant status, and immune-related gene expression in pathogen-aggravated Cyprinus carpio. **Fish & Shellfish Immunology**, 149, 109547, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109547.

HASAN, M. T. *et al*. Heat-killed Bacillus sp. SJ-10 probiotic acts as a growth and humoral innate immunity response enhancer in olive flounder *(Paralichthys olivaceus)*. **Fish & Shellfish Immunology**, 88, 424–431, 2019. DOI: 10.1016/j.fsi.2019.03.018.

HE, M. *et al*. An evaluation of replacing fish meal with fermented soybean meal in the diets of largemouth bass (*Micropterus salmoides*): Growth, nutrition utilization and intestinal histology. **Aquaculture Research**, 51, 4302–4314, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/are.14774.

HE, W. *et al*. Effects of dietary supplementation with heat-killed Lactobacillus acidophilus on growth performance, digestive enzyme activity, antioxidant capacity, and inflammatory response of juvenile large yellow croaker *(Larimichthys crocea)*. **Fish & Shellfish Immunology**, 151, 109651, 2024. DOI: 10.1016/j.fsi.2024.109651.

HILL, C. *et al*. Expert consensus document. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, 11, 8, 506-14, 2014. DOI: 10.1038/nrgastro.2014.66.

HYNÖNEN, U.; PALVA, A. *Lactobacillus* surface layer proteins: structure, function and applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, 97, 12, 5225-43, 2013. DOI: 10.1007/s00253-013-4962-2.

HE, W. *et al*. Effects of dietary supplementation with heat-killed *Lactobacillus acidophilus* on growth performance, digestive enzyme activity, antioxidant capacity, and inflammatory response of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*). **Fish and Shellfish Immunology**. v. 151, art. 109651, 2024.

JAFARZADEH, F. *et al*. Harnessing paraprobiotics and postbiotics for enhanced immune function in Asian seabass (Lates calcarifer): Insights into pattern recognition receptor signaling. **Fish Shellfish Immunology**, 151, 109725, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109725.

KAUR, S. *et al*. Perturbations associated with hungry gut microbiome and postbiotic perspectives to strengthen the microbiome health. **Future Foods**, 4, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100043.

KHAKPOUR, M. *et al*. Feasibility of *lactiplantibacillus plantarum* postbiotics production in challenging media by different techniques. **AMB Express**, 14, 47, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s13568-024-01704-5.

LEE, J-Y. *et al*.Valorization of leftover green tea residues through conversion to bioactive peptides using probiotics-aided anaerobic digestion. **Microbial Biotechnology**, 16, 418–431, 2023. DOI: https://doi.org/10.1111/1751-7915.14155

LINH, N. V. *et al*. Postbiotics and Paraprobiotics as Next-Generation Gut Microbiome Modulators in Sustainable Aquaculture Health. **Antibiotics**, 15, 887, 2026. DOI: https://doi.org/10.3390/antibiotics15090887.

LIU, S. *et al*. Ammonia nitrogen stress damages the intestinal mucosal barrier of yellow catfish (Pelteobagrus fulvidraco) and induces intestinal inflammation. **Frontiers in Physiology**, 14, 1279051, 2023. DOI: https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1279051.

LIU, Z. Y. *et al*. Paraprobiotic and postbiotic forms of *Bacillus siamensis* improved growth, immunity, liver and intestinal health in Lateolabrax maculatus fed soybean meal diet. **Fish Shellfish Immunology**, 145, 109370, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fsi.2024.109370.

MA, L. *et al*. Postbiotics in Human Health: A Narrative Review. **Nutrients**, 15, 291, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/nu15020291.

MERCIER-BONIN, M., CHAPOT-CHARTIER, M. P. Surface Proteins of *Lactococcus lactis:* Bacterial Resources for Muco-adhesion in the Gastrointestinal Tract. **Frontiers in Microbiology**, 23, 8, 2247, 2017. DOI: 10.3389/fmicb.2017.02247.

MERRIFIELD, D. L. *et al*. The current status and future focus of probiotic and prebiotic applications for salmonids. **Aquaculture**, 302, 1–18, 2010. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.02.007.

MIDDELBERG, A. P. Process-scale disruption of microorganisms. **Biotechnology Advances**, 13, 3, 491-551, 1995. DOI: 10.1016/0734-9750(95)02007-p

MOGHADAM, S. K. *et al.* Postbiotics in food, feed, and culture media: mechanisms and applications of microbial metabolites in sustainable systems. **Food Production, Processing and Nutrition**, 8, 5, 2026. DOI: https://doi.org/10.1186/s43014-025-00356-7.

MOHAMMADI, G. *et al*. The enrichment of diet with beneficial bacteria (single- or multi-strain) in biofloc system enhanced the water quality, growth performance, immune responses, and disease resistance of Nile tilapia *(Oreochromis niloticus)*. **Aquaculture**, 539, 736640, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736640.

OPRISANU, M. *et al*. Postbiotics functionality and safety evaluation of LAB and spore-forming probiotics. **Journal of Functional Foods**, 143, 107411, 2026. DOI: 10.1016/j.jff.2026.107411.

PAVANELLI, G. C. *et al*. **Doenças de peixes: profilaxia, diagnóstico e tratamento.** In: Doenças de peixes: profilaxia, diagnóstico e tratamento, 2022.

QUINTANILLA-PINEDA, M. *et al*. A novel postbiotic product based on Weissella cibaria for enhancing disease resistance in rainbow trout: aquaculture application. **Animals**, 14, 5, 744, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/ani14050744.

RAETZ, C. R.; WHITFIELD, C. Lipopolysaccharide endotoxins. **Annual Review of Biochemistry**, 71, 635-700, 2002. DOI: 10.1146/annurev.biochem.71.110601.135414.

RANJBAR, S. *et al.* Safety Assessment of Probiotics and Postbiotics: A Critical Review. **Current Pharmaceutical Biotechnololy**, 2026 DOI: 10.2174/0113892010419857251208064650

RINGØ, E. *et al*. Lactic acid bacteria in finfish—An update. **Frontiers in Microbiology**, 9, 1818, 2018. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01818.

SAEED, M. *et al.* A comprehensive review on the health benefits and nutritional significance of fucoidan polysaccharide derived from brown seaweeds in human, animals and aquatic organisms. **Aquaculture Nutrition**, 27, 633-654, 2021. DOI: https://doi.org/10.1111/anu.13233

SALMINEN, S. *et al.* The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, 18, 649–667, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6.

SCOTT, E. *et al*. Postbiotics and Their Health Modulatory Biomolecules. **Biomolecules**, 4, 12, 1640, 2022. DOI: 10.3390/biom12111640

SHARAFI, H. *et al*. The potential of postbiotics as a novel approach in food packaging and biopreservation: a systematic review of the latest developments. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 64, 12524–12554, 2024. DOI: .https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2253909.

SICILIANO, R. A. *et al.* Paraprobiotics: A New Perspective for Functional Foods and Nutraceuticals. **Nutrients**, 13, 1225, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/nu13041225.

SØRENSEN, H. M. *et al.* Exopolysaccharides of Lactic Acid Bacteria: Production, Purification and Health Benefits towards Functional Food. **Nutrients**, 14, 2938, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/nu14142938.

SOUSA, J. M. G. *et al*. *In vitro* study of the modulatory effects of heat-killed bacterial biomass on aquaculture bacterioplankton communities. **Scientific Reports**, 12, 19699, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-022-23439-8.

SOUZA, E. C. *et al*. Influencia de la temperatura y pH en la producción de biosurfactantes, bacteriocinas y ácido láctico por *Lactococcus lactis* CECT-4434. CyTA - **Journal of Food**, 15, 4, 525–530, 2017. DOI: https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1306806.

SUMON, M. A. A. *et al.* Epigenetics and postbiotics in aquaculture: Unlocking sustainable solutions through innovation. **Fish & Shellfish Immunology**, 166, 110598, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fsi.2025.110598.

SUN, Z. *et al*. Effect of Thermal Inactivation on Antioxidant, Anti-Inflammatory Activities and Chemical Profile of Postbiotics. **Foods**, 12, 3579, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/foods12193579.

TAVERNITI V.; GUGLIELMETTI S. The immunomodulatory properties of probiotic microorganisms beyond their viability (ghost probiotics: proposal of paraprobiotic concept). **Genes & Nutrition**, 6, 3, 261-74, 2011. DOI: 10.1007/s12263-011-0218-x

TRAN, N. T. *et al*. Application of heat-killed probiotics in aquaculture. **Aquaculture**, 548, 737700, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737700.

URBAN, J. *et al.* Postbiotics, a natural feed additive for growth performance, gut microbiota and quality of poultry products. **Current Research in Biotechnology**, 8, 100247, 2024. DOI: 10.1016/j.crbiot.2024.100247.

URBINATI, E. C.; CARNEIRO, P. C. F. **Práticas de manejo e estresse dos peixes em piscicultura intensiva.** In: CYRINO J. E. P, URBINATI E. C., CASTAGNOLLI N. Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropicas intensiva. TecArt, São Paulo, p. 171-194, 2004.

VINDEROLA, G. et al. Postbiotics: a perspective on their quantification. **Frontiers in Nutrition**, 12, 1582733, 2025. DOI: 10.3389/fnut.2025.1582733.

WANG, X. *et al*. Paraprobiotics in Modern Broiler Production: Stability, Safety, and Multifunctional Benefits - a Comprehensive Review. **Probiotics and**

Antimicrobial Proteins, 2026. DOI: https://doi.org/10.1007/s12602-026-11069-9.

YAN, Y.-Y. *et al*. Effects of dietary live or heat-inactivated autochthonous *Bacillus pumilus* SE5 on growth performance, immune responses and immune gene expression in grouper Epinephelus coioides. **Aquaculture Nutrition**, 22, 3, 698–707, 2016. DOI: https://doi.org/10.1111/anu.12297.

YAO, X. *et al.* A Review on the Extraction, Structural Characterization, Function, and Applications of Peptidoglycan. **Macromolecular Rapid Communications**, 46, 2400654, 2025. DOI: https://doi.org/10.1002/marc.202400654.

ZAHIROVIĆ, A. *et al.* Postbiotics derived from recombinant lactic acid bacteria exhibit high IL6-binding capacity and suppress IL6-induced STAT3 signaling. **Frontiers in Microbiology**, 16, 1657810, 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1657810.

ZARANTONIELLO, M. *et al*. Application of laboratory methods for understanding fish responses to black soldier fly (Hermetia illucens) based diets. **Journal of Insects as Food and Feed**, 8, 1173–1195, 2021. DOI: https://doi.org/10.3920/jiff2020.0135.

ZAVIŠIĆ, G. *et al.* Microbial Contamination of Food: Probiotics and Postbiotics as Potential Biopreservatives. **Foods**, 13, 2487, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/foods13162487.

ZHU, Y. *et al.* The Role of Inactivation Methods in Shaping Postbiotic Composition and Modulating Bioactivity: A Review. **Foods**, 14, 2358, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/foods14132358.

CAPÍTULO 11

Teor de proteína para leitões desmamados: metabólitos da fermentação, implicações para a saúde intestinal e perfil das dietas experimentais

Leonardo T. da Rocha[1]; Amanda M. Dani[1]; Dejanir Pissinin[1]; Andrea Gonzalez[2]; Clovis E. Gewehr[3], Vladimir de Oliveira[1]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c11

Resumo

Neste capítulo, discutem-se as implicações práticas e fisiológicas da fermentação proteica e seus reflexos na saúde intestinal de leitões. Apresenta-se também um levantamento do perfil das dietas utilizadas em estudos sobre a redução de proteína para leitões. Aborda-se o destino da fração nitrogenada não digerida que alcança o intestino grosso e sua utilização pela microbiota. O excesso de substrato nitrogenado pode intensificar a fermentação proteica, gerando metabólitos como amônia, aminas biogênicas, fenóis, indóis e compostos sulfurados. Embora alguns desempenhem funções fisiológicas em concentrações adequadas, seu acúmulo pode comprometer a integridade da mucosa e alterar a função intestinal. Adicionalmente, são discutidos a composição nutricional e os principais ingredientes de dietas com baixa proteína. A variabilidade observada nas formulações evidencia que a redução proteica frequentemente ocorre simultaneamente a mudanças em outros componentes, como fontes de proteína, carboidratos, fibras e aminoácidos sintéticos. Essas diferenças contribuem para a heterogeneidade das respostas de desempenho e saúde intestinal relatadas na literatura. Conclui-se que a avaliação dessa estratégia deve considerar não apenas o teor de proteína, mas também a composição global das dietas e a disponibilidade de substratos para a fermentação intestinal.

[1]Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil
[2]Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevidéu, Uruguai
[3]Departamento de Produção Animal e Alimentos, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lajes, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

Palavras-chave: dietas com baixa proteína; fermentação proteica; leitões; saúde intestinal.

1. Introdução

Durante muitos anos foi comum adicionar, nas dietas de leitões, doses subterapêuticas de moléculas com ação antibiótica, oportunizando ganhos inegáveis para o desempenho animal. As principais vantagens atribuídas aos antibióticos estavam associadas à modulação da microbiota e microbioma, tendo como consequência direta a redução de transtornos digestivos, incluindo diarreias, comuns no período pós-desmame de leitões.

Contudo, cresce a preocupação com o uso indiscriminado de antibióticos como promotores de crescimento, devido ao risco de surgimento de resistência bacteriana e de seus efeitos negativos na medicina humana e animal (Pluske *et al*., 2018). Por esse motivo, inúmeros países, incluindo o Brasil, estão restringindo o emprego desses compostos nas dietas de leitões.

Nas últimas décadas, cresceu o interesse por alternativas para reduzir a dependência de antimicrobianos promotores de crescimento na alimentação de leitões. As pesquisas concentram-se em estratégias isoladas ou combinadas, como o fortalecimento da imunidade, a melhoria das dietas por meio de aditivos e alimentos funcionais, o aprimoramento do manejo ao desmame e a qualidade do ambiente (Schineider *et al*., 2024; Millet *et al*., 2026).

A redução do teor de proteína das dietas é uma das alternativas que vem recebendo destaque. O excesso de nitrogênio indigestível que alcança o intestino grosso parece trazer inúmeras consequências negativas à homeostase intestinal (Erinle *et al*., 2025). Graças a avanços no potencial analítico, muitos detalhes fisiológicos e metabólicos vêm sendo desvendados e permitindo avançar no conhecimento em relação a este assunto.

Este texto tem como objetivo discutir aspectos práticos, fisiológicos e metabólicos em relação à resposta de leitões alimentados com dietas contendo

diferentes teores de proteína bruta como parte das estratégias para reduzir problemas digestivos e a dependência de antibióticos.

2. O teor de proteína da dieta de leitões

Logo após o desmame, os suínos necessitam de altas quantidades de aminoácidos para atender às exigências nutricionais e sustentar o crescimento. Para fornecer esses nutrientes a custos competitivos, as dietas geralmente apresentam altos teores de proteína bruta, que podem variar conforme a disponibilidade e o custo das fontes proteicas e dos aminoácidos sintéticos. A Tabela 1 apresenta formulações simplificadas com diferentes teores de PB, demonstrando como a inclusão crescente de aminoácidos sintéticos permite reduzir o nível proteico da dieta.

Tabela 1 – Composição simplificada (ingredientes e química) de dietas com diferentes teores de proteína bruta

Item	Teor de Proteína Bruta, %				
	21,0	20,0	19,0	18,0	17,0
Macroingredientes, %	96,48	96,17	95,87	95,57	95,27
Aminoácidos sintéticos, %	1,02	1,33	1,63	1,93	2,23
Minerais, Vitaminas e Aditivos, %	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	Composição Nutricional				
EM, kcal/kg	3493	3397	3381	3366	3350

EL, kcal/kg	2530	2530	2530	2530	2530
Proteína Digestível, %	18,90	17,96	17,04	16,13	15,23
Lisina Digestível*, %	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45

*Demais aminoácidos ajustados para atender a relação com a lisina proposta em Rostagno *et al*. (2024).

Embora as fontes proteicas utilizadas em dietas para leitões apresentam alta digestibilidade, uma parcela considerável dos aminoácidos pode não ser absorvida no intestino delgado (Tabela 2). Além disso, os desafios do pós-desmame podem reduzir a capacidade de absorção e aumentar as perdas endógenas, contribuindo para a fração indigestível que chega ao intestino grosso (Leibholz, 1982). As perdas endógenas também variam conforme a dieta (Makkink *et al.*, 1997).

3. O destino da fração nitrogenada que chega no intestino grosso

Compostos nitrogenados de origem dietética e endógena, como polipeptídeos, oligopeptídeos e aminoácidos livres, atingem o ceco e o cólon. Seu acúmulo no lúmen intestinal altera gradualmente a microbiota, favorecendo bactérias proteolíticas e reduzindo as sacarolíticas, associadas a efeitos benéficos. Proteases e peptidases bacterianas hidrolisam esses compostos, liberando aminoácidos que são absorvidos pelas bactérias por receptores específicos, assim como di e tripeptídeos e oligopeptídeos de três a cinco aminoácidos. Algumas cepas também absorvem moléculas maiores. Essas alterações podem modificar o ambiente intestinal, incluindo o pH, e favorecer a formação de compostos prejudiciais ao animal (Zhang *et al*., 2020).

Tabela 2 – Partição intestinal do nitrogênio em leitões ingerindo dietas com diferentes teores de proteína bruta

Item	Teor de Proteína Bruta, %				
	21,0	20,0	19,0	18,0	17,0
Consumo ração, g/d	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Matéria Seca Ingerida, g/d	182,9	182,9	182,9	182,9	182,9
Proteína Bruta ingerida, g/d	42,0	40,0	38,0	36,0	34,0
Nitrogênio Total Ingerido, g/d	6,7	6,4	6,1	5,8	5,4
Proteína Digestível Ileal ingerida, g/d	37,8	36,0	34,1	32,3	30,5
Nitrogênio Digestível Ingerido, g/d	6,0	5,8	5,5	5,2	4,9
Nitrogênio Endógeno Perdido*, g/d	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Nitrogênio Total Ceco e Cólon, g/d	1,22	1,20	1,17	1,14	1,11

*Baseado em estimativas Leibholz (1982).

Uma vez absorvidos, os aminoácidos são metabolizados tanto por vias bacterianas anabólicas como catabólicas. A definição da rota é, em certo grau, determinada pela disponibilidade de substratos para geração de energia no meio. Se houver energia disponível na forma de carboidratos fermentáveis (como fibras e amido resistente), estes compostos tornam-se a principal fonte de energia (ATP). Nesse caso, a oxidação de aminoácidos que chegam ao cólon é mínima, sendo usados quase que exclusivamente para o anabolismo (construção de proteínas, enzimas e paredes celulares) (Blachier *et al*., 2022).

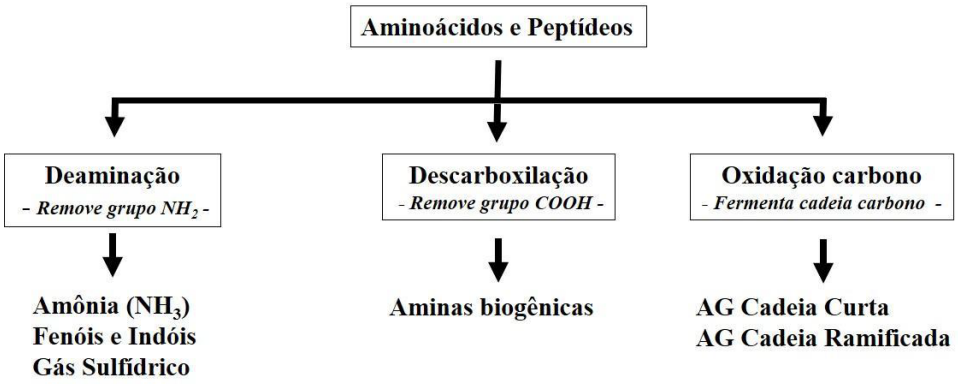


Figura 1 – Resumo dos compostos gerados pela fermentação da proteína no intestino grosso.

As rotas catabólicas dos aminoácidos no ceco e cólon de leitões tornam-se particularmente relevantes quando aminoácidos e peptídeos estão disponíveis, especialmente no caso em que a disponibilidade de carboidratos fermentáveis é limitada ou quando há excesso de nitrogênio em relação às necessidades de síntese de biomassa bacteriana. As bactérias proteolíticas podem utilizar os esqueletos carbônicos dos aminoácidos como substratos para obtenção de energia e para síntese de biomassa, produzindo, entre outros metabólitos, ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e ácidos graxos de cadeia ramificada (AGCR), dependendo da estrutura química do aminoácido (Omer *et al.*, 2025).

Paralelamente, o grupo amino dos aminoácidos pode ser removido por reações de desaminação, resultando na formação de amônia (NH_3) e/ou amônio (NH_4^+), cuja proporção depende principalmente do pH do ambiente. A amônia constitui um dos principais produtos potencialmente tóxicos associados à fermentação proteica no intestino.

Outra rota microbiana é a descarboxilação, na qual o grupo carboxila do aminoácido é removido, geralmente com liberação de CO_2, enquanto o restante da molécula origina uma amina. Dependendo do aminoácido e da atividade enzimática da microbiota, podem ser produzidas diferentes aminas biogênicas,

como cadaverina a partir da lisina, histamina a partir da histidina, tiramina a partir da tirosina e putrescina a partir da ornitina (Blachier *et al*., 2022).

Assim, o catabolismo microbiano dos aminoácidos pode resultar simultaneamente na formação de metabólitos relacionados ao metabolismo energético do carbono e de compostos nitrogenados potencialmente bioativos ou tóxicos, sendo o perfil final dependente da disponibilidade de substratos, da composição da microbiota e das condições físico-químicas do intestino.

4. Metabólitos da fermentação bacteriana

Com o aumento da quantidade de compostos nitrogenados no ceco e cólon cresce a ação microbiana sobre estas moléculas e formação de produtos com potencial tóxico. A amônia, aminas biogênicas, além de fenóis, indóis e compostos sulfurados são exemplos de produtos cuja ação deletéria tem sido documentada na literatura científica.

Amônia (NH_3) – a formação de amônia ocorre durante o catabolismo de aminoácidos pelas bactérias. Trata-se de uma molécula não ionizada que é relativamente permeável às membranas, que pode difundir-se através da membrana bacteriana e ser liberada no lúmen intestinal. No meio aquoso, a NH_3 estabelece um equilíbrio com o íon amônio (NH_4^+), cuja proporção depende principalmente do pH do meio.

Vários problemas podem ocorrer devido a concentrações elevadas de amônia, como alterações no metabolismo das células epiteliais, comprometimento da função da barreira intestinal e favorecimento de respostas inflamatórias. Além disso, a produção excessiva de amônia pode elevar o pH do conteúdo intestinal, modificando o ambiente microbiano e induzindo condições associadas à proliferação de bactérias potencialmente patogênicas. Altos níveis de amônia podem contribuir para alterações na função intestinal e para maior risco de diarreia pós-desmame (Heo *et al*., 2013; Jha & Berrocoso, 2016).

Fenóis e Indóis – A fermentação bacteriana de aminoácidos aromáticos gera diversos metabólitos, sendo os fenóis e os indóis os mais estudados. O p-cresol, um dos fenóis mais recorrentes na literatura, é formado a partir do catabolismo da fenilalanina ou da tirosina. Em níveis fisiológicos baixos ou normais, os fenóis podem exercer uma importante função biológica com impacto na saúde intestinal. O mesmo acontece com determinados produtos gerados durante a degradação do triptofano, os indóis, que em baixas ou moderadas concentrações desempenham um papel benéfico no intestino dos leitões (VASQUEZ *et al*., 2022).

Quando em concentrações exacerbadas, como no caso da fermentação proteica excessiva, tanto fenóis como indóis apresentam alta toxicidade. O p-cresol danifica a integridade física das junções celulares que unem os colonócitos de humanos (Di Paola *et al*., 2023). Também parece atuar inibindo a capacidade da célula do cólon de gerar energia (Andriamihaja *et al*., 2015), além de alterar o trânsito intestinal (Toft *et al*., 2023). Aos indóis, por sua vez, são atribuídos efeitos citotóxicos (Claus & Raab, 1999), a elevação da permeabilidade da membrana da mucosa intestinal (Ye *et al*., 2022) e o desencadeamento de estresse oxidativo (Fletcher *et al*., 2017)."

Gás Sulfídrico (H_2S) – O gás sulfídrico é gerado principalmente durante o catabolismo dos aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína) pelas bactérias redutoras de sulfato residentes no intestino grosso. Níveis elevados de fermentação proteica fazem com que o gás sulfídrico exerça efeitos tóxicos sobre o epitélio intestinal (Gilbert *et al*., 2018). A inibição da síntese de energia por meio do bloqueio da oxidação do butirato (Dordević *et al*., 2020), a degradação da camada de muco (Gilbert *et al*., 2018) e o aumento da permeabilidade da barreira mucosa (Dordević *et al*., 2020) são atribuídos a esse composto.

Aminas biogênicas – Enquanto a amônia é formada pela desaminação, as aminas biogênicas são geradas pela descarboxilação de aminoácidos, e o tipo de amina depende da estrutura do aminoácido de origem (Figura 2). Sua produção não é necessariamente prejudicial, mas o excesso pode comprometer a saúde intestinal. A formação desses compostos está associada à presença de

bactérias com enzimas descarboxilases específicas, que removem o grupo carboxila na forma de dióxido de carbono, especialmente quando há excesso de compostos nitrogenados no ceco e cólon. Esse processo também contribui para elevar o pH intracelular, pois envolve a remoção de prótons do meio.

Em níveis normais, as aminas biogênicas desempenham papéis homeostáticos essenciais para a homeostase intestinal. A putrescina e a cadaverina, por exemplo, atuam de forma direta na regulação da tradução e transcrição genética dos colonócitos. As aminas também atuam para aumentar significativamente a expressão gênica e a tradução das proteínas de junção estreita (ocludinas e zona de oclusão - ZO-1) no cólon tendo como resultado a redução da permeabilidade da membrana intestinal.

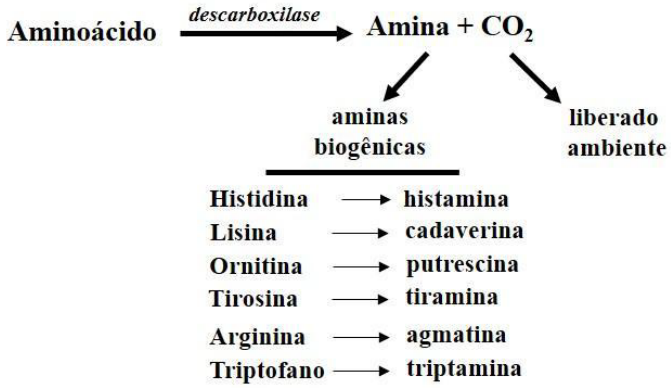


Figura 2 – Esquema simplificado ilustrando a geração de aminas biogênicas durante descarboxilação de aminoácidos pelas bactérias do intestino grosso

Quando leitões recém-desmamados se alimentam de dietas com alta concentração de proteína bruta, o excesso de substrato não digerido escapa para o intestino grosso (ceco e cólon), desencadeando uma intensa fermentação bacteriana. O acúmulo de aminas biogênicas (como a putrescina, cadaverina e histamina) gerados nesse processo deixam de ser homeostáticos e passam a exercer efeitos citotóxicos diretos sobre a mucosa do cólon.

Existem evidências de que níveis elevados de putrescina exercem um efeito citotóxico severo sobre os colonócitos, pois induzem o estresse oxidativo celular e alteram o potencial de membrana mitocondrial. O acúmulo parece inibir o metabolismo energético e a produção de ATP. Sem energia, os colonócitos entram em processo de descamação acelerada e apoptose (morte celular programada), resultando em atrofia severa e redução da integridade tecidual do cólon (Blachier *et al*., 2022).

A integridade da barreira da mucosa do cólon sofre danos devido à superexposição à putrescina e a histamina (Gao *et al*., 2019). O efeito parece estar associado à redução da expressão de proteínas de junção celular, como a ocludinas e claudinas. Como consequência verifica-se aumento na permeabilidade intestinal.

O acúmulo de grandes quantidades de histamina e outras aminas no cólon dos leitões parecem fazer com que atuem como mediadores inflamatórios. Isso parece ativar vias de sinalização celular (como a via do NF-κB), desencadeando a síntese e a liberação local exacerbada de citocinas pró-inflamatórias, como TNF-α, IL-1β e IL-6, por exemplo (Han *et al*., 2024).

Cadeia carbonada - Durante a degradação bacteriana dos aminoácidos, os alfa-cetoácidos gerados passam por descarboxilação oxidativa anaeróbica, resultando na formação de ATP para os processos vitais e o desenvolvimento bacteriano. Esse metabolismo também gera ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) e de cadeia ramificada (AGCR), disponíveis no lúmen intestinal e rapidamente absorvidos pelos colonócitos por difusão passiva ou transportadores específicos. Entre os AGCC, o butirato destaca-se como principal combustível metabólico, sendo 70 a 90% do total absorvido oxidado na mucosa do intestino grosso para gerar ATP e auxiliar na manutenção da barreira epitelial. Os AGCR, como isobutirato e isovalerato, também podem ser oxidados pelos colonócitos para produção de energia, embora com menor eficiência que o butirato.



Figura 3 – Esquema simplificado ilustrando a oxidação da cadeia carbônica de aminoácidos pelas bactérias do intestino grosso

5. Características das dietas em estudos de baixa proteína para leitões

Apesar de muitos estudos indicarem que dietas com baixa proteína podem manter o desempenho dos leitões, reduzir a ocorrência de diarreia e os indicadores de fermentação proteica os resultados quantitativos nem sempre são equivalentes (Toledo *et al*., 2014; Limbach *et al*., 2021). Essa heterogeneidade pode estar relacionada às diferenças metodológicas entre os estudos e fatores de confundimento associados às dietas.

A compreensão dessas diferenças exige considerar não apenas os níveis de proteína, mas também a composição nutricional e os ingredientes das dietas controle e experimentais. Nesse contexto, foi realizada uma revisão da literatura para comparar as dietas controle e de baixa proteína e avaliar como as diferenças nas formulações podem contribuir para a heterogeneidade dos resultados entre os estudos.

A redução da proteína exige alterações na inclusão de outros ingredientes para compensar a retirada de fontes proteicas. Embora as médias de diversos componentes nutricionais sejam próximas entre as dietas, os intervalos entre os valores mínimos e máximos evidenciam ampla variação na composição entre os estudos (Tabela 3). As diferenças entre as dietas de um mesmo experimento podem ser ainda maiores do que as observadas nessa comparação geral.

A composição das dietas também varia quanto às fontes proteicas e à sua contribuição. Embora predominem as fontes vegetais, a participação de proteínas animais, lácteas e aminoácidos sintéticos varia entre as formulações.

Dietas com teores semelhantes de proteína não necessariamente fornecem a mesma quantidade de proteína digestível ou apresentam a mesma disponibilidade de substratos para fermentação intestinal.

Tabela 3 – Composição média (%) das dietas em artigos que avaliaram a redução dos níveis de proteína para leitões

	Controle			Baixa proteína		
	Média	mín	máx	Média	mín	máx
Proteína bruta	20,96	18,80	24,30	18,09	13,24	23,00
Vegetal[1]	82,03	53,90	96,50	78,85	21,60	96,50
Animal[1]	10,75	0,00	34,30	11,96	0,00	64,70
Lactea[1]	3,68	0,00	13,70	5,90	0,00	17,80
Sintéticos[1]	3,54	0,20	8,00	3,29	1,10	7,80
Extrato etéreo	5,22	2,60	7,00	5,44	2,71	8,20
FDN	9,87	7,80	17,85	9,95	7,45	19,09
Amido	31,70	21,46	45,93	35,08	25,95	48,69
Lactose	11,02	0,00	40,10	8,53	0,00	14,90
Energia metabolizável	13,93	12,97	14,52	13,96	13,00	15,02
Lisina total	1,42	1,15	1,76	1,41	1,11	1,66
Treonina total	0,98	0,81	1,91	1,03	0,72	2,28
Metionina total	0,47	0,33	0,61	0,50	0,34	0,63

Met + cis total	0,83	0,69	0,96	0,80	0,60	0,89
Triptofano total	0,29	0,24	0,36	0,26	0,18	0,35

[1]Porcentagem de contribuição das fontes em relação à proteína bruta total.

Além da composição química, a seleção de ingredientes varia consideravelmente entre os estudos, refletindo, em parte, as condições regulatórias e de mercado das regiões onde foram conduzidos. Conforme os dados compilados na Tabela 4, com exceção feita ao farelo de soja, nenhum ingrediente capaz de fornecer proteína ao pool proteico da dieta esteve presente em todos os estudos. Adicionalmente, outros 15 ingredientes que contribuem para o fornecimento de proteína foram identificados nos artigos.

Tabela 4 – Principais ingredientes utilizados em experimentos que avaliaram a redução dos níveis de proteína para leitões

	Controle			Baixa proteína			Nº artigos[1]
Fonte	Média	mín	máx	Média	mín	máx	
Farelo de soja	20,40	2,50	34,30	10,90	0,00[2]	29,00	15
Milho	41,80	1,60	60,00	51,20	12,90	79,10	12
Trigo	33,40	7,00	45,50	31,20	7,50	42,20	6

Cevada	15,80	4,00	25,00	17,40	8,30	25,00	6
Proteína de batata	4,50	2,00	7,00	2,80	2,00	7,00	4
Farelo de trigo	5,40	4,00	8,40	5,40	4,00	8,40	3
Farelo de canola	7,50	5,00	10,00	7,50	5,00	10,00	2
Farinha de peixe	6,40	2,00	10,60	5,20	1,00	10,60	7
Plasma sanguíneo	3,80	2,50	4,00	3,60	2,50	4,00	7
Soro de leite em pó	13,70	5,00	20,00	10,60	5,00	18,00	9
Leite desnatado em pó	6,00	4,00	7,50	5,90	4,00	7,50	3
Óleos vegetais	3,10	0,30	5,00	3,20	0,30	5,00	7
Gordura animal	2,90	0,80	4,20	2,50	0,80	4,00	4
Lactose	10,30	4,00	23,00	11,80	4,00	23,00	4

[1]Número de artigos em que o ingrediente é utilizado na formulação. [2]Valor de inclusão 0 indica que em, ao menos um estudo, o ingrediente estava presente na dieta controle e não na de baixa proteína.

Como consequência dessa grande variabilidade, as dietas controle e de baixa proteína podem apresentar diferenças em componentes que influenciam a fermentação intestinal. Os carboidratos, por exemplo, afetam a atividade microbiana e a utilização dos substratos nitrogenados, mas seus efeitos dependem do tipo e da fermentabilidade desses compostos. Bikker *et al*. (2006) observaram que os efeitos da redução proteica sobre o desempenho dependiam da concentração de carboidratos fermentáveis.

A redução da PB não ocorre de forma isolada, mas em conjunto com mudanças na composição das dietas, que podem influenciar as respostas dos leitões. Nesse sentido, uma meta-análise permitiria ir além da estimativa do efeito médio da redução proteica, investigando em quais condições esse efeito se mantém e quais características das dietas podem ajudar a explicar as diferenças entre os estudos.

6. Considerações finais

A redução do teor de proteína bruta das dietas pode modular a fermentação intestinal e contribuir para a saúde dos leitões desmamados. A menor disponibilidade de substratos nitrogenados no intestino grosso pode reduzir a formação excessiva de metabólitos prejudiciais à mucosa intestinal. Entretanto, como a fermentação proteica também gera compostos com funções fisiológicas, seus efeitos dependem das concentrações produzidas, da disponibilidade de outros substratos e das condições do ambiente intestinal.

A redução da PB raramente ocorre de forma isolada, pois alterações nas fontes proteicas e nos demais ingredientes podem influenciar as respostas dos leitões. Portanto, meta-análises que considerem a composição das dietas e seus possíveis fatores de modificação poderão ser úteis para esclarecer em quais condições a redução proteica apresenta resultados mais consistentes.

7. Referências bibliográficas

ANDRIAMIHAJA, M. *et al*., . The deleterious metabolic and genotoxic effects of the bacterial metabolite p-cresol on colonic epithelial cells. **Free Radic Biol Med**, 85: 219-227, 2015. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.04.004.

BIKKER, P. *et al*.. The effect of dietary protein and fermentable carbohydrates levels on growth performance and intestinal characteristics in newly weaned piglets. **J Anim Sci**, 84: 3337-3345, 2006. https://doi.org/10.2527/jas.2006-076.

BLACHIER, F. *et al*.. Fate of undigested proteins in the pig large intestine: What impact on the colon epithelium? **Anim Nutr**, 9: 110-118, 2022. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.08.001.

CLAUS, R.; RAAB, S. Influences on skatole formation from tryptophan in the pig colon. **Adv Exp Med Biol**, 467: 679-684, 1999. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4709-9_87.

DI PAOLA, R. *et al.* Possible effects of uremic toxins p-cresol, indoxyl sulfate, p-cresyl sulfate on the development and progression of colon cancer in patients with chronic renal failure. **Genes (Basel)**, 14: 1257, 2023. https://doi.org/10.3390/genes14061257.

DORDEVIĆ, D. *et al*. Hydrogen sulfide toxicity in the gut environment: Meta-analysis of sulfate-reducing and lactic acid bacteria in inflammatory processes. **J Adv Res**, 27: 55-69, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.03.003.

ERINLE, T. J. *et al.* Effect of indigestible dietary protein on growth performance and health status of weaned pigs. **J Anim Sci**, 103: skaf372, 2025. https://doi.org/10.1093/jas/skaf372.

FLETCHER, A. *et al*. Reversible toxic effects of the dietary supplement indole-3-carbinol in an immune compromised rodent model: Intestine as the main

target. **J Diet Suppl**, 14: 303-322, 2017. https://doi.org/10.1080/19390211.2016.1215367.

GAO, J. *et al*. What is the impact of diet on nutritional diarrhea associated with gut microbiota in weaning piglets: A system review. **Biomed Res Int**, 2019: 6916189, 2019. https://doi.org/10.1155/2019/6916189.

GILBERT, M. S. *et al*. Protein fermentation in the gut: Implications for intestinal dysfunction in humans, pigs, and poultry. **Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol**, 315: G159-G170, 2018. https://doi.org/10.1152/ajpgi.00319.2017.

HAN, X. *et al*. Dietary nutrition, intestinal microbiota dysbiosis and post-weaning diarrhea in piglets. **Anim Nutr**, 17: 188-207, 2023. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.12.010.

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. **J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)**, 97: 207-237, 2013. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2012.01284.x.

JHA, R.; BERROCOSO, J. F. D. Dietary fiber and protein fermentation in the intestine of swine and their interactive effects on gut health and on the environment: A review. **Anim Feed Sci Technol**, 212: 18-26, 2016. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.12.002.

LEIBHOLZ, J.The flow of endogenous nitrogen in the digestive tract of young pigs. **Br J Nutr**, 48: 509-517, 1982. https://doi.org/10.1079/BJN19820136.

LIMBACH, J. R. *et al*. Effect of dietary crude protein level on growth performance, blood characteristics, and indicators of intestinal health in weanling pigs. **J Anim Sci**, 99: skab166, 2021. https://doi.org/10.1093/jas/skab166.

MAKKINK, C. A. *et al*. Endogenous N losses at the terminal ileum of young piglets fed diets based on four different protein sources. **J Anim Feed Sci**, 6: 219-234, 1997.

MILLET, S. *et al.* Review: Optimising health, welfare and performance in weaned piglets: Striking the ideal balance between amino acids, energy, and protein. **Animal**, 101811, 2026. https://doi.org/10.1016/j.animal.2026.101811.

OMER, F. *et al*. High-protein diets: Characteristics of bacterial fermentation and its consequences on intestinal health. **Fermentation**, 11: 678, 2025. https://doi.org/10.3390/fermentation11120678.

PLUSKE, J. R.; TURPIN, D. L.; KIM, J. C. 2018. Gastrointestinal tract (gut) health in the young pig. **Anim Nutr**, 4: 187-196. https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.12.004.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T. (Ed.). **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 5. ed. Viçosa: UFV, DZO. 531 p, 2024.

SCHNEIDER, L. I. *et al*. Black wattle (Acacia mearnsii) condensed tannin extract as feed additive in diets of weaned piglets. **Ciênc Rural**, 54(4): e20220515, 2024. https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220515.

TOLEDO, J. B. *et al*. Reduction of the crude protein content of diets supplemented with essential amino acids for piglets weighing 15 to 30 kilograms. **Rev Bras Zootec**, 43: 301-309, 2014. https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000600004.

TOFT, P. B. *et al*. Microbial metabolite p-cresol inhibits gut hormone expression and regulates small intestinal transit in mice. **Front Endocrinol** (Lausanne), 14: 1200391, 2023. https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1200391.

VASQUEZ, R. *et al*. Gut microbiome-produced metabolites in pigs: A review on their biological functions and the influence of probiotics. **J Anim Sci Technol**, 64: 671-695, 2022. https://doi.org/10.5187/jast.2022.e58.

YE, X. *et al*. Dual role of indoles derived from intestinal microbiota on human health. **Front Immunol**, 13: 903526, 2022. https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.903526.

ZHANG, H. *et al*. Impact of fermentable protein, by feeding high protein diets, on microbial composition, microbial catabolic activity, gut health and beyond in pigs. **Microorganisms**, 8: 1735, 2020. https://doi.org/10.3390/microorganisms8111735.

CAPÍTULO 12

Vitamina A nos processos reprodutivos em fêmeas bovinas

Louíse Belmonte Faverzani[1], Ricardo Zambarda Vaz[1]

https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-50-3.c12

Resumo

A vitamina A é essencial à integridade dos tecidos, à função imune e à reprodução de fêmeas bovinas. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da suplementação de vitamina A, por via oral ou parenteral, sobre os índices reprodutivos, considerando possíveis benefícios e limitações. Foram priorizados estudos experimentais com bovinos, incluindo pesquisas sobre superovulação, qualidade embrionária, suplementação de β-caroteno, período de transição e gestação. Os resultados indicam benefícios em situações específicas, especialmente na qualidade embrionária em programas de superovulação. Entretanto, os efeitos sobre a taxa de concepção, o intervalo até a prenhez e outros indicadores de fertilidade são inconsistentes. Além disso, estudos com β-caroteno não avaliam exclusivamente os efeitos da vitamina A pré-formada, aspecto importante para a interpretação dos resultados. Com isso, a suplementação deve considerar a dieta basal, a categoria animal, o estágio fisiológico, a disponibilidade de forragem e o risco de deficiência. O uso indiscriminado de doses elevadas deve ser evitado, pois a suplementação acima das exigências não garante melhorias reprodutivas e pode gerar custos desnecessários ou riscos à saúde animal.

Palavras-chave: β-caroteno, embrião, fertilidade, retinol, suplementação.

[1]Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

© 2024 Mérida Publishers CC-BY 4.0

1. Introdução

A eficiência reprodutiva é um dos principais componentes da produtividade dos sistemas de criação de bovinos, pois influencia o número de bezerros produzidos, o intervalo entre partos, a reposição de animais e a rentabilidade do rebanho (Diskin; Kenny, 2016). O desempenho reprodutivo resulta da interação entre genética, sanidade, manejo, condição corporal, ambiente e nutrição. Dentro do componente nutricional, vitaminas e minerais participam de funções metabólicas que sustentam a atividade ovariana, a fecundação, o desenvolvimento embrionário e a manutenção da gestação. Entretanto, o fornecimento de um nutriente em quantidade superior à necessária não significa, necessariamente, aumento proporcional da fertilidade.

A vitamina A compreende um grupo de compostos com atividade biológica semelhante, incluindo retinol, retinal e ácido retinoico. Nos alimentos de origem vegetal, os bovinos obtêm principalmente carotenoides precursores, como o β-caroteno, que podem ser convertidos em vitamina A (Pereira *et al*., 2026). Já suplementos comerciais podem fornecer vitamina A pré-formada, frequentemente na forma de ésteres de retinila. Embora estejam biologicamente relacionados, β-caroteno e retinol não devem ser tratados como substâncias idênticas: o β-caroteno também apresenta atividade antioxidante e sua conversão em retinol depende de fatores fisiológicos (Pereira *et al.,* 2026).

O interesse na vitamina A aplicada à reprodução bovina está associado à participação dos retinoides na regulação da diferenciação celular e no desenvolvimento inicial do embrião. Estudos experimentais com oócitos e embriões bovinos indicam que os efeitos da suplementação podem variar conforme a concentração utilizada, o momento da exposição e as condições de cultivo. Em vacas doadoras submetidas à superovulação, a administração de palmitato de retinila foi associada ao aumento do número de blastocistos e de embriões transferíveis (Shaw *et al.,* 1995). Entretanto, o aumento dos indicadores de desenvolvimento embrionário in vitro não garante, necessariamente, o estabelecimento da gestação após a transferência, conforme demonstrado por Hidalgo *et al*. (2005).

A literatura comenta sobre a suplementação de β-caroteno em vacas leiteiras no período pré-parto. Alguns experimentos verificaram mudanças da concentração sanguínea deste nutriente e redução da incidência de retenção de placenta em vacas multíparas, entretanto, não identificaram melhora nos indicadores de desempenho reprodutivo, como taxa de concepção e intervalo até a prenhez (Speer *et al.,* 2015). Esses resultados reforçam a importância de distinguir os efeitos da suplementação sobre o estado nutricional dos animais daqueles relacionados à melhoria efetiva da eficiência reprodutiva.

O objetivo deste capítulo é compreender como a introdução de vitamina A beneficia as fêmeas bovinas e em que condições pode contribuir para melhorar as taxas reprodutivas, abordando mecanismos fisiológicos, resultados experimentais, possíveis malefícios e limitações científicas.

2. Vitamina A: formas, fontes e funções fisiológicas

2.1 Formas de vitamina A e fontes alimentares

A vitamina A inclui compostos que podem ser convertidos em formas biologicamente ativas. O retinol circulante é transportado ligado a proteínas, enquanto o ácido retinoico atua como molécula sinalizadora e participa da regulação da expressão gênica (Pereira *et al.*, 2026). Nos ruminantes, pastagens verdes e forragens de boa qualidade podem fornecer carotenoides, incluindo β-caroteno. A concentração desses compostos nos alimentos varia conforme as características da forragem e as condições de conservação (Martins *et al.,* 2016). A utilização de alimentos conservados, como feno e silagem, pode reduzir o teor de vitaminas em comparação com forragens frescas (Martins *et al.*, 2016).

Em sistemas de pastagens, a ingestão de carotenoides pode contribuir para suprir as necessidades de vitamina A em bovinos. Nos períodos de seca, confinamento ou utilização predominante de alimentos conservados, a concentração de β-caroteno pode diminuir, aumentando o risco de causar nos animais deficiências por falta de vitaminas (Martins *et al*., 2016; Pereira *et al.*, 2026). No estudo de Speer *et al.* (2024), avaliou-se diferentes níveis de suplementação de vitamina A em bovinos em confinamento, em que

contemplava desde a metade da gestação até o início da lactação e observaram diferenças nas concentrações no fígado de retinol das vacas e de seus bezerros. Os resultados demonstram a importância de monitorar o estado nutricional de vitamina A nesses sistemas.

2.2 Absorção, armazenamento e regulação

Após a ingestão da vitamina A, a mesma é absorvida no intestino em associação com os lipídios, transportada e armazenada principalmente no fígado. A reserva hepática contribui para manter a disponibilidade sistêmica quando a ingestão de vitamina A oscila (Wellmann *et al.*, 2020). Por isso, a quantidade fornecida em um único dia não pode ser considerada o status nutricional do animal no geral, é necessário considerar a dieta ao longo do tempo, as reservas corporais, fase fisiológica e condições de saúde (Pereira *et al.,* 2026).

A concentração de retinol no sangue pode auxiliar na avaliação nutricional do bovino, no entanto a concentração sanguínea deve ser interpretada com cautela, porque mecanismos homeostáticos mantêm a concentração circulante dentro de uma faixa relativamente regulada até que as reservas se reduzam (Wellmann *et al*., 2020). Para auxiliar a avaliação do status, em contextos de pesquisa, a hepática pode complementar a interpretação, a escolha entre suplementação oral e injetável deve considerar objetivo, formulação e duração de ação. No entanto, a administração injetável não substitui o correto e contínuo planejamento nutricional, não devendo ser rotina sem considerar o aporte já presente na dieta (Pereira *et al.,* 2026; Speer; Wilke; Drewnoski, 2024).

2.3 Funções celulares relevantes para a reprodução

Os retinoides participam da regulação da proliferação, diferenciação e sobrevivência celular por meio de receptores nucleares, incluindo os receptores de ácido retinoico e os receptores X de retinoides. Em bovinos, Mohan *et al.* (2001, 2002) investigaram componentes dessa via em embriões pré-implantacionais, fornecendo evidências de que o metabolismo e a sinalização

dos retinoides estão presentes durante o desenvolvimento embrionário inicial. A presença de uma via molecular, no entanto, não demonstra, por si só, que a suplementação sistêmica em uma vaca aumentará a taxa de prenhez; ela indica plausibilidade biológica que precisa ser examinada em experimentos com desfechos reprodutivos.

A vitamina A também é importante para a manutenção de tecidos epiteliais e para a função imune (Martins *et al.*, 2016). Esses papéis são relevantes para a saúde geral e podem influenciar indiretamente a reprodução, especialmente em períodos de maior demanda metabólica, como no período reprodutivo. Ainda assim, a fertilidade é multifatorial: a correção de uma deficiência vitamínica não compensa, por si só, balanço energético negativo, doença uterina, baixa condição corporal, estresse térmico ou problemas de manejo reprodutivo (Diskin; Kenny, 2016; Daibert *et al.*, 2018).

3. Relação da vitamina A com processos reprodutivos

3.1 Desenvolvimento folicular e oócito

O desenvolvimento folicular e a competência do oócito dependem da comunicação bidirecional entre o oócito e as células foliculares, da regulação hormonal e da disponibilidade de nutrientes. Nesse contexto, o ácido retinoico, metabólito da vitamina A, pode influenciar a comunicação intercelular e a competência de desenvolvimento dos oócitos bovinos (Shimizu, 2016; Read; Dyce, 2019). Os retinoides participam da regulação celular no ovário, mas seus efeitos dependem da concentração e do momento da exposição (Duque *et al.,* 2002; Lucas et al., 2015). Em estudos com oócitos bovinos, a adição de retinol ao meio de maturação não alterou de forma significativa as taxas de clivagem, embora tenha apresentado efeitos favoráveis sobre a formação de blastocistos em determinadas condições experimentais (Livingston *et al.,* 2004).

Nesse estudo, a concentração de 5 µM apresentou aumento na formação de blastocistos em comparação ao grupo controle, com resposta variável

conforme as condições de cultivo e o potencial de desenvolvimento embrionário. Esses resultados indicam que os efeitos do retinol podem ocorrer em etapas específicas do desenvolvimento, sem a necessidade de melhorar todos os indicadores avaliados. Entretanto, por terem sido obtidos in vitro, não permitem estabelecer diretamente uma dose de suplementação oral ou injetável para vacas em condições reais.

3.2 Ovulação e resposta à superovulação

Em programas de transferência de embriões, a superovulação tem como objetivo aumentar o número de folículos ovulados e de estruturas recuperadas. Shaw *et al.* (1995) avaliaram 48 vacas de corte superovuladas e verificaram que a administração de um milhão de UI (Unidades Internacionais) de vitamina A, na forma de retinol palmitato, foi associada a um aumento significativo no número médio de blastocistos (2,25) em comparação ao grupo controle (0,73), sem efeito significativo sobre a taxa de ovulação. Com isso conclui-se que tem um possível efeito na qualidade e desenvolvimento das estruturas, mas não se pode dizer o mesmo em animais que não foram superovuladas ou ainda, em programas de inseminação artificial convencional.

Um experimento com doadoras da raça Nelore também avaliou a administração intramuscular de vitamina A antes da coleta de embriões. Amaral *et al.* (2004) observaram um maior número de embriões viáveis em vacas suplementadas, enquanto o número total de estruturas recuperadas não teve diferença significativa entre os grupos. Por se tratar de um estudo realizado com vacas submetidas à superovulação, os resultados devem ser utilizados em um contexto de produção de embriões, sem extrapolação direta para outros sistemas reprodutivos.

3.3 Desenvolvimento embrionário inicial

Após a fecundação, o embrião passa por clivagens sucessivas até a formação do blastocisto e preparação para o reconhecimento materno da gestação (Milazzotto *et al.,* 2016). Nesse processo, segundo Abdelnour *et al.* (2019) os retinoides podem contribuir para a regulação da expressão gênica e o

desenvolvimento embrionário. Livingston *et al.* (2004) observaram que a adição de retinol favoreceu a formação de blastocistos em condições de cultivo com 20% de oxigênio, possivelmente devido à proteção contra o estresse oxidativo.

Os resultados também devem considerar possíveis efeitos negativos da exposição ao retinol. Hidalgo *et al.* (2005) observaram que os blastocistos oriundos de oócitos de vacas tratadas com retinol não estabeleceram gestação após a transferência. Esse achado demonstra que o aumento do desenvolvimento embrionário in vitro não garante competência para estabelecer a gestação, reforçando a importância de avaliar a dose e o momento da exposição à vitamina A.

3.4 Útero, gestação e manutenção da prenhez

A vitamina A contribui para a manutenção e diferenciação dos tecidos, incluindo epitélios, e os retinoides participam de processos de desenvolvimento fetal (Pereira *et al.,* 2026). A deficiência pode comprometer a saúde e o desenvolvimento, enquanto o excesso durante fases mais delicadas podem prejudicar a diferenciação embrionária (Abdelnour *et al.,* 2019). Em bovinos, a evidência experimental sobre os efeitos de diferentes doses de vitamina A administradas durante a gestação, especialmente em relação à ocorrência de perdas gestacionais e malformações congênitas, ainda é limitada. Estudos recentes têm investigado principalmente os efeitos da suplementação combinada de vitaminas e β-caroteno sobre a eficiência reprodutiva e o desenvolvimento fetal, sem isolar os efeitos da vitamina A ou avaliar especificamente a ocorrência de malformações (Factor *et al.,* 2024; Pereira *et al.,* 2026).

Em consequência, a estratégia de manejo mais defensável é atender às exigências nutricionais e evitar tanto deficiência quanto excesso (Speer; Wilke; Drewnoski, 2024). A administração de vitamina A em vacas gestantes deve respeitar a formulação comercial, as recomendações técnicas e a avaliação profissional, especialmente porque produtos injetáveis podem fornecer doses concentradas. Não é cientificamente adequado recomendar doses acima do

recomendado como método geral para prevenir perda embrionária ou elevar a prenhez.

4. Evidências experimentais sobre benefícios reprodutivos

4.1 Qualidade de embriões em programas de transferência

Entre os desfechos reprodutivos investigados, a qualidade embrionária é um dos campos em que se verificaram resultados positivos mais específicos (Read; Dyce, 2019; Amaral *et al.,* 2004). Shaw *et al.* (1995) encontraram maior número médio de blastocistos em vacas superovuladas que receberam retinol palmitato, mas não identificaram melhora uniforme em todas as medidas relacionadas à ovulação. No estudo com vacas Nelore, doses de 500.000, 1.000.000 e 1.500.000 UI foram comparadas com os animais controle, a quantidade de embriões viáveis aumentou nos grupos suplementados, enquanto o número total de estruturas recuperadas não apresentou diferença significativa (Amaral *et al.*, 2004).

Os resultados obtidos em programas de produção de embriões devem ser interpretados considerando fatores como o número de animais avaliados, o protocolo hormonal utilizado, o estágio do ciclo reprodutivo, a dose de vitamina A e os critérios de classificação dos embriões. Também é importante distinguir a qualidade morfológica dos embriões, seu desenvolvimento até o estágio de blastocisto e sua capacidade de estabelecer uma gestação após a transferência. Hidalgo *et al.* (2005) demonstraram que esses resultados nem sempre estão relacionados, uma vez que o desenvolvimento embrionário in vitro não garantiu o estabelecimento da gestação.

4.2 Taxa de concepção em vacas leiteiras

Em vacas leiteiras, diversos estudos testaram o β-caroteno como precursor da vitamina A e composto com atividade antioxidante, mostrando não serem o resultados uniformes (Mitsuishi; Yayota, 2024). Bindas *et al.* (1984), ao trabalharem com 78 vacas da raça Holandesa, verificaram aumento da

concentração plasmática de caroteno após a suplementação, mas não encontraram melhora nos indicadores reprodutivos avaliados, incluindo os intervalos até o primeiro cio e a primeira cobertura, além do período em aberto. Wang *et al.* (1988) ao avaliarem vacas Holandesas lactantes suplementadas com 300 mg/dia de β-caroteno, comparadas a um grupo controle sem suplementação, não observaram melhora nos intervalos entre o parto e a primeira ovulação, o primeiro estro observado ou a concepção.

Akordor *et al.* (1986) avaliaram vacas da raça Holandesa em lactação e avaliaram que a suplementação com β-caroteno aumentou sua concentração plasmática, mas não melhorou os indicadores de desempenho reprodutivo. Esses resultados reforçam que o aumento da concentração sanguínea do composto não garante maior taxa de concepção, uma vez que a fertilidade das vacas dependem de diversos fatores.

Em outro experimento, Oliveira *et al.* (2015) forneceram β-caroteno no período pré-parto para vacas multíparas. A suplementação aumentou a concentração sanguínea de β-caroteno e esteve associada a menor ocorrência de retenção de placenta nas vacas multíparas, mas não produziu resposta para os principais indicadores de desempenho reprodutivo, como concepção e tempo até a prenhez (Oliveira *et al.,* 2015). Os resultados sugerem possível benefício em um desfecho de saúde puerperal, sem comprovar melhora geral da fertilidade.

Em Prom *et al.* (2022) avaliaram vacas da raça Holandesa que já recebiam níveis adequados de vitaminas A e E, mas apresentavam baixa concentração sérica de β-caroteno. A suplementação aumentou as concentrações séricas de β-caroteno e retinol, mas não promoveu melhorias nos indicadores de produção, reprodução ou saúde (Prom *et al.,* 2022). Esses resultados indicam que, mesmo com o aumento das concentrações sanguíneas desses compostos, a suplementação adicional não garante benefícios reprodutivos quando o fornecimento de vitamina A já é adequado (Prom *et al.,* 2022).

4.3 Vacas de corte e estado nutricional durante a gestação

Em vacas de corte, a oferta de vitamina A normalmente é considerada em função do tipo de alimentação e da disponibilidade de forragens. Dietas baseadas principalmente em alimentos armazenados podem apresentar menor teor de carotenoides do que pastagens verdes (Martins *et al.,* 2016; Pickworth *et al.,* 2012). Speer *et al.* (2024) avaliaram vacas Angus cruzadas em regime de alimentação em confinamento, submetidas a diferentes níveis de suplementação de vitamina A desde a metade da gestação até o início da lactação. O estudo de Speer *et al.* (2024) focalizou, principalmente, nas concentrações hepáticas de retinol das vacas e de seus bezerros, fornecendo informações sobre o estado nutricional materno e a transferência de vitamina A para a cria.

A suplementação combinada de vitaminas A e D também foi investigada em um estudo preliminar com vacas de corte. Fox *et al.* (2023) observaram maior número de concepções após a inseminação artificial no grupo suplementado, embora a amostra tenha sido reduzida. Como a intervenção incluiu ambas as vitaminas, não é possível atribuir o resultado exclusivamente à vitamina A. Além disso, esses resultados podem ser considerados preliminares e devem ser confirmados em ensaios maiores.

4.3 *β*-caroteno não é sua equivalência à vitamina A pré-formada

Uma parcela relevante da literatura sobre fertilidade bovina investiga o β-caroteno. Embora seja precursor da vitamina A, esse carotenoide também apresenta atividade antioxidante própria, podendo contribuir para a proteção celular contra o estresse oxidativo (Mitsuishi; Yayota, 2024; Leroy *et al.,* 2016). Por isso, resultados obtidos com β-caroteno não devem ser apresentados como se demonstrasse diretamente o efeito de retinol ou retinil palmitato. Da mesma forma, estudos que avaliaram a administração intramuscular de vitamina A em doadoras bovinas submetidas à superovulação não são diretamente equivalentes a ensaios de suplementação oral em vacas leiteiras, devido às diferenças na via de administração, nas condições experimentais e nos objetivos reprodutivos avaliados (Amaral *et al*., 2004; Pereira *et al.,* 2026).

A diferença entre as formas de suplementação é importante para interpretar resultados aparentemente contraditórios. A dose, a via de administração, o status nutricional inicial e o momento fisiológico podem explicar parte da variação verificada. Quando a dieta já fornece vitamina A suficiente, o benefício marginal tende a ser menos previsível; quando existe deficiência, corrigir a inadequação é nutricionalmente necessário, embora a magnitude da resposta reprodutiva dependa das condições do rebanho.

5. Possíveis malefícios e limitações da suplementação

5.1 Excesso de vitamina A e risco de toxicidade

A vitamina A deve ser suplementada de acordo com as exigências nutricionais, evitando-se o fornecimento excessivo. Gorgacz *et al.* (1975) demonstraram que a ingestão de doses tóxicas de vitamina A por bezerros provocou alterações patológicas em estruturas relacionadas à circulação do líquido cerebrospinal. Embora o estudo tenha sido realizado com machos e não permita quantificar diretamente os riscos reprodutivos em vacas, seus resultados evidenciam que o excesso dessa vitamina pode comprometer a saúde animal. Portanto, o fato de a vitamina A ser essencial não elimina os riscos associados à sua administração excessiva.

Em fêmeas que irão reproduzir, um dos principais cuidados é evitar protocolos inadequados de exposição aos retinoides durante fases sensíveis do desenvolvimento embrionário. Hidalgo *et al.* (2005), ao avaliarem novilhas da raça Asturiana dos Vales submetidas à administração de retinol durante o crescimento intrafolicular dos oócitos, observaram que os blastocistos produzidos in vitro não estabeleceram gestação após a transferência para receptoras. Esse resultado não demonstra que toda suplementação de vitamina A seja prejudicial, mas evidencia que os efeitos podem variar conforme as condições de exposição e que protocolos experimentais específicos não devem ser extrapolados diretamente para o manejo nutricional rotineiro.

5.2 Doses elevadas não garantem maior fertilidade

A ausência de benefícios adicionais também constitui uma limitação prática da suplementação em altas doses. Tharnish e Larson (1992), em cinco ensaios envolvendo 168 vacas Holandesas e 20 novilhas, avaliaram a suplementação de vitamina A em doses de um ou dois milhões de UI, em comparação a 100.000 UI/dia. Os autores observaram que as doses elevadas não alteraram as concentrações circulantes de progesterona nem melhoraram a maioria dos indicadores reprodutivos avaliados. Dessa forma, concluíram que o fornecimento de vitamina A nessas concentrações elevadas não se justificava com o objetivo de melhorar o desempenho reprodutivo.

Esses resultados, entretanto, não permitem estabelecer uma dose segura ou recomendada para todas as condições, uma vez que as necessidades de vitamina A dependem do estado nutricional dos animais e do manejo alimentar adotado. Ele demonstra, porém, que o aumento da suplementação não garante benefícios reprodutivos adicionais. Assim, o fornecimento indiscriminado de doses elevadas pode aumentar os custos da dieta sem proporcionar retorno reprodutivo mensurável, reforçando a importância de ajustar a suplementação às exigências nutricionais e de investigar outros fatores que possam comprometer a fertilidade.

5.3 Respostas adversas observadas com β-caroteno

A literatura sobre β-caroteno também apresenta resultados que exigem cautela. Folman *et al*. (1987) avaliaram vacas submetidas a diferentes suplementações e observaram menores taxas de concepção e maior número de dias em aberto nos grupos que receberam β-caroteno, especialmente naquele suplementado em níveis elevados antes e após o parto. Como o estudo avaliou β-caroteno, e não exclusivamente vitamina A pré-formada, esses resultados não podem ser interpretados como evidência direta de toxicidade da vitamina A. Ainda assim, demonstram que os efeitos da suplementação sobre a fertilidade podem variar conforme a quantidade fornecida e as condições de uso.

Por outro lado, estudos mais recentes não encontraram efeitos reprodutivos positivos ou negativos significativos da suplementação de β-caroteno em vacas com estado nutricional adequado de vitamina A. Prom *et al.* (2022) verificaram que a suplementação durante o período pré-parto não alterou os dias até a concepção nem o número de serviços por concepção. Portanto, os resultados adversos observados em alguns experimentos não permitem afirmar que a suplementação de β-caroteno sempre reduz a fertilidade. Esses resultados reforçam a importância de considerar o estado nutricional dos animais e as condições de suplementação ao avaliar seus possíveis efeitos reprodutivos.

5.4 Associação e causalidade

Vacas com maiores concentrações sanguíneas de β-caroteno circulante, podem ter diferenças quanto à ingestão, qualidade da dieta, estado de saúde e manejo. Portanto, uma associação entre a concentração do nutriente e a fertilidade não comprova ser a suplementação com β-caroteno a causa direta de uma eventual melhora. Ensaios controlados permitem avaliar essa relação com maior rigor, embora seus resultados dependam da população estudada, do tamanho amostral e dos desfechos avaliados. Nesse sentido, Hye *et al.* (2020) observaram que o aumento da concentração sanguínea de β-caroteno após a suplementação não resultou em melhorias nos indicadores de fertilidade avaliados.

Além disso, estudos in vitro permitem investigar mecanismos do desenvolvimento embrionário sob condições experimentais controladas, mas seus resultados não representam os processos que ocorrem no organismo materno. A capacidade de desenvolvimento observada em laboratório também não garante o estabelecimento e a manutenção da gestação após a transferência do embrião. Lee *et al.* (2026), ao analisarem transferências de embriões bovinos produzidos in vitro, identificaram associações entre indicadores de desenvolvimento embrionário e os resultados de prenhez. Assim, os resultados de cultivo embrionário devem ser interpretados considerando sua

relação com os desfechos reprodutivos in vivo, sem serem utilizados isoladamente como prova de aumento da taxa de prenhez.

5.5 Limitações da literatura disponível

Parte dos estudos sobre vitamina A e reprodução bovina foi publicada há várias décadas, e muitos experimentos possuem amostras relativamente pequenas ou investigam combinações de nutrientes. Há também diferenças importantes entre bovinos de leite e de corte, entre fêmeas lactantes e doadoras de embriões, e entre animais em pastagem e confinamento. A evidência recente é mais robusta para o efeito de suplementação sobre concentrações sanguíneas ou hepáticas do que para demonstrar melhora consistente na taxa de prenhez.

Como consequência, a recomendação de suplementar deve se apoiar na análise da dieta, no histórico do rebanho e nas exigências nutricionais aplicáveis. Quando a meta é melhorar a eficiência reprodutiva, devem ser avaliados simultaneamente condição corporal, consumo de matéria seca, balanço energético, sanidade uterina, detecção de cio, qualidade do sêmen, protocolo de inseminação e manejo. A vitamina A é um componente dessa estratégia, não uma intervenção isolada capaz de corrigir todas as causas de baixa fertilidade.

6. Aplicação prática em sistemas de produção bovina

6.1 Avaliação antes de suplementar

A primeira etapa é identificar se há risco real de inadequação. A avaliação deve incluir tipo e qualidade das forragens, proporção de alimentos conservados, tempo de armazenamento, composição do suplemento mineral e vitamínico, consumo estimado e estágio fisiológico das fêmeas. Em rebanhos mantidos em pastagens de boa qualidade, a contribuição de carotenoides pode ser relevante, em períodos de seca ou em sistemas com dieta baseada em ingredientes armazenados, a disponibilidade pode ser menor (Pereira *et al.,* 2026; Pickworth *et al*., 2012).

A interpretação da concentração de vitamina A pode incluir avaliação laboratorial, quando indicada, mas os resultados precisam ser analisados em conjunto com a dieta. Não se recomenda definir um programa de aplicação injetável apenas com base em um resultado isolado ou em relatos de melhora de fertilidade de outros rebanhos.

6.2 Categoria animal e momento fisiológico

Vacas no final da gestação e início da lactação passam por alterações metabólicas e imunológicas importantes Wankhade *et al.* (2017). O planejamento nutricional deve assegurar o atendimento das exigências nessa fase, sem assumir que a suplementação adicional de vitamina A aumentará a concepção seguinte. Em vacas doadoras de embriões, a evidência sobre retinol é específica para protocolos de superovulação e requer avaliação (Amaral *et al.,* 2004). Para novilhas, vacas de corte em monta natural e vacas leiteiras submetidas à inseminação artificial, os resultados obtidos em doadoras superovuladas não devem ser extrapolados sem validação específica, uma vez que as respostas à suplementação podem variar conforme a categoria animal, o manejo nutricional e o sistema reprodutivo (Pereira *et al.,* 2026; Gouvêa *et al.,* 2018).

6.3 Via de fornecimento e acompanhamento

A suplementação pode ocorrer por meio da dieta ou de produtos específicos, incluindo formulações injetáveis. A escolha depende da necessidade, da formulação autorizada e da orientação de um profissional. A via injetável pode ser útil em situações particulares, mas não substitui o fornecimento regular e equilibrado da dieta (Pereira *et al.,* 2026). O uso de produtos deve seguir rótulo, dose, intervalo e restrições do fabricante.

Para avaliar se a estratégia de suplementação de vitamina A trouxe benefício, é importante definir previamente indicadores objetivos: taxa de concepção ao primeiro serviço, taxa de prenhez ao final da estação, intervalo parto-concepção, ocorrência de retenção de placenta, perda gestacional e,

quando aplicável, quantidade e qualidade de embriões transferíveis. A comparação deve considerar grupos semelhantes e registrar mudanças simultâneas no manejo. Sem esses registros, é difícil distinguir o efeito do suplemento de variações sazonais ou de outras intervenções.

6.4 Integração com o manejo reprodutivo

O fornecimento adequado de vitamina A deve integrar um programa nutricional mais amplo (Pereira *et al.,* 2026). A condição corporal antes do parto e no início da estação reprodutiva, assim como a oferta de energia e proteína, influencia os resultados reprodutivos (D'Occhio *et al.,* 2019). A disponibilidade de água é essencial para a manutenção fisiológica e o desempenho produtivo (Williams *et al.,* 2017). O controle sanitário e de doenças infecciosas contribui para reduzir perdas reprodutivas (Alfieri *et al.,* 2019), enquanto o controle de parasitas auxilia na manutenção da saúde e da produtividade do rebanho. O manejo do estresse térmico é importante para preservar a fertilidade e o desenvolvimento embrionário (Negrón-Pérez *et al.,* 2019). Por fim, a execução correta dos protocolos reprodutivos contribui para melhorar a eficiência da inseminação artificial e os resultados reprodutivos (Sales *et al.,* 2019; Castro et al., 2018). Quando existe baixa taxa de prenhez, a investigação deve priorizar a identificação das possíveis causas, incluindo fatores nutricionais, metabólicos, sanitários e de manejo reprodutivo, antes de aumentar indiscriminadamente as doses de vitaminas (Pereira *et al.,* 2026; Diskin *et al*., 2016).

Uma abordagem orientada por evidências consiste em corrigir deficiências identificadas, evitar excesso e acompanhar os resultados. Essa estratégia é mais segura do que administrar altas doses de forma indiscriminada, sobretudo porque os ensaios disponíveis não demonstram resposta positiva consistente em todos os indicadores reprodutivos.

7. Considerações finais

A vitamina A desempenha funções essenciais à manutenção dos tecidos, à diferenciação celular e ao desenvolvimento embrionário, sendo biologicamente

relevante para a reprodução de fêmeas bovinas. Estudos experimentais indicam que o retinol pode influenciar o desenvolvimento de oócitos e embriões em condições específicas, ensaios com vacas superovuladas encontraram aumento no número de blastocistos ou embriões viáveis em determinados protocolos. Esses achados sustentam a possibilidade de aplicação em contextos especializados, principalmente na produção de embriões.

Entretanto, a evidência de que a suplementação aumenta a taxa de concepção em vacas de produção é limitada e variável. Estudos com β-caroteno em vacas leiteiras frequentemente demonstram aumento das concentrações sanguíneas sem melhora dos indicadores reprodutivos. Alguns resultados apontam benefícios em desfechos específicos, como menor retenção de placenta em vacas multíparas, mas não confirmam melhora geral da fertilidade. Também é necessário distinguir efeitos do β-caroteno daqueles da vitamina A pré-formada.

A suplementação excessiva não é recomendada como estratégia geral para elevar a fertilidade. Altas doses não garantiram melhora reprodutiva em estudos e pesquisas demonstram que a exposição inadequada a retinoides pode prejudicar o desenvolvimento gestacional. Assim, os possíveis benefícios dependem do estado nutricional, da dose, da via de administração, do momento fisiológico e do objetivo produtivo.

A utilização da vitamina A deve priorizar o atendimento das exigências nutricionais e a correção de deficiências. A vitamina A pode contribuir para a saúde e o funcionamento reprodutivo quando faz parte de um programa nutricional adequado, mas não deve ser considerada um recurso isolado nem uma garantia de aumento das taxas reprodutivas. Ainda são necessários estudos em condições de campo que avaliem diferentes níveis de suplementação e seus efeitos sobre a taxa de concepção, a manutenção da gestação e o nascimento de bezerros viáveis.

8. Referências bibliográficas

ABDELNOUR, S. A. *et al.* The usefulness of retinoic acid supplementation during in vitro oocyte maturation for the in vitro embryo production of livestock: a review. **Animals**, v. 9, n. 8, art. 561, 2019. https://doi.org/10.3390/ani9080561.

ALFIERI, A. A. *et al.* Sanitary program to reduce embryonic mortality associated with infectious diseases in cattle. **Animal Reproduction**, v. 16, n. 3, p. 386–393, 2019. https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2019-0073.

AMARAL, B. C. do *et al.* Efeito de diferentes dosagens de vitamina A injetável na produção e qualidade de embriões bovinos da raça Nelore. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, 2004. https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000300024.

CASTRO, F. C.; FERNANDES, H.; LEAL, C. L. V. Sistemas de manejo para maximização da eficiência reprodutiva em bovinos de corte nos trópicos. **Veterinária e Zootecnia**, v. 25, 2018. https://doi.org/10.35172/rvz.2018.v25.226.

DAIBERT, E. *et al.* Metabolites able to predict uterine diseases in crossbred dairy cows during the transition period. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 1037–1048, 2018. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n3p1037.

D'OCCHIO, M. J.; BARUSELLI, P. S.; CAMPANILE, G. Influence of nutrition, body condition, and metabolic status on reproduction in female beef cattle: a review. **Theriogenology**, v. 125, p. 277–284, 2019. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.11.010.

DISKIN, M. G.; KENNY, D. A. Managing the reproductive performance of beef cows. **Theriogenology**, v. 86, n. 1, p. 379–387, 2016. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.04.052.

DUQUE, P. *et al.* Enhancement of developmental capacity of meiotically inhibited bovine oocytes by retinoic acid. **Human Reproduction**, v. 17, n. 10, p. 2706–2714, 2002. https://doi.org/10.1093/humrep/17.10.2706.

FACTOR, L. *et al.* Effects of supplementation of grazing Nellore cows with β-carotene and vitamins A + D3 + E + biotin on follicle diameter, oestrus, establishment of pregnancy, and foetal morphometry. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 59, n. 7, e14660, 2024. https://doi.org/10.1111/rda.14660.

FOLMAN, Y.; ASCARELLI, I.; KRAUS, D.; BARASH, H. Adverse effect of beta-carotene in diet on fertility of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 70, n. 2, p. 357–366, 1987. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80017-6.

GORGACZ, E. J. *et al.* Morphologic alterations associated with decreased cerebrospinal fluid pressure in chronic bovine hypervitaminosis A. **American Journal of Veterinary Research**, v. 36, n. 2, p. 171–180, 1975. https://doi.org/10.2460/ajvr.1975.36.02.171.

GOUVÊA, V. N. *et al.* The combination of β-carotene and vitamins improve the pregnancy rate at first fixed-time artificial insemination in grazing beef cows. **Livestock Science**, v. 217, p. 30–36, 2018. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.09.002.

HIDALGO, C. *et al.* Oocytes recovered from cows treated with retinol become unviable as blastocysts produced in vitro. **Reproduction**, v. 129, n. 4, p. 411–421, 2005. https://doi.org/10.1530/rep.1.00548.

HYE, N. *et al.* Effect of two postpartum intramuscular treatments with β-carotene (Carofertin®) on the blood concentration of β-carotene and on the reproductive performance parameters of dairy cows. **Theriogenology**, v. 148, p. 1–7, 2020. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.02.042.

LEE, S.-Y. *et al.* In vitro developmental competence predicts pregnancy outcomes following transfer of beef embryos to dairy recipients: a retrospective study. **Animals**, v. 16, n. 4, art. 525, 2026. https://doi.org/10.3390/ani16040525.

LEROY, J. L. M. R. *et al.* The effect of a negative energy balance status on β-carotene availability in serum and follicular fluid of nonlactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 7, p. 5808–5819, 2016. https://doi.org/10.3168/jds.2016-10870.

LIVINGSTON, T. *et al.* Retinol improves bovine embryonic development in vitro. **Reproductive Biology and Endocrinology**, v. 2, art. 83, 2004. https://doi.org/10.1186/1477-7827-2-83.

LUCAS, C. G. *et al.* Tretinoin-loaded lipid-core nanocapsules decrease reactive oxygen species levels and improve bovine embryonic development during in vitro oocyte maturation. **Reproductive Toxicology**, v. 58, p. 131–139, 2015. https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2015.10.004.

MARTINS, E. R. *et al.* Influência da suplementação de vitaminas A, D e E na função imune de bezerros alimentados com dieta à base de feno capim tifton (Cynodon spp.). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 36, n. 5, 2016. https://doi.org/10.1590/S0100-736X2016000500016.

MILAZZOTTO, M. P. *et al.* Early cleavages influence the molecular and the metabolic pattern of individually cultured bovine blastocysts. **Molecular Reproduction and Development**, v. 83, n. 4, p. 324–336, 2016. https://doi.org/10.1002/mrd.22619.

MITSUISHI, H.; YAYOTA, M. The efficacy of β-carotene in cow reproduction: a review. **Animals**, v. 14, n. 14, art. 2133, 2024. https://doi.org/10.3390/ani14142133.

MOHAN, M. *et al.* Expression of retinol-binding protein messenger RNA and retinoic acid receptors in preattachment bovine embryos. **Molecular Reproduction and Development**, v. 60, n. 3, p. 289–296, 2001. https://doi.org/10.1002/mrd.1090.

MOHAN, M. *et al*. Expression patterns of retinoid X receptors, retinaldehyde dehydrogenase, and peroxisome proliferator activated receptor gamma in bovine preattachment embryos. **Biology of Reproduction**, v. 66, n. 3, p. 692–700, 2002. https://doi.org/10.1095/biolreprod66.3.692.

NEGRÓN-PÉREZ, V. M.; FAUSNACHT, D. W.; RHOADS, M. L. Invited review: Management strategies capable of improving the reproductive performance of heat-stressed dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 12, p. 10695–10710, 2019. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16718.

OLIVEIRA, R. C. *et al.* Supplementation of prepartum dairy cows with β-carotene. **Journal of Dairy Science**, v. 98, 2015. https://doi.org/10.3168/jds.2014-9037.

PEREIRA, P. H. B. *et al.* Exploring vitamin A supplementation in beef cattle: implications for cow-calf systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 55, e20240194, 2026. https://doi.org/10.37496/rbz5520240194.

PICKWORTH, C. L. *et al.* Concentration of pro-vitamin A carotenoids in common beef cattle feedstuffs. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 5, p. 1553–1561, 2012. https://doi.org/10.2527/jas.2011-4217.

PROM, C. M.; ENGSTROM, M. A.; DRACKLEY, J. K. Effects of prepartum supplementation of β-carotene in Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 105, n. 5, p. 4116–4127, 2022. https://doi.org/10.3168/jds.2021-21482.

READ, C. C.; DYCE, P. W. All-trans retinoic acid exposure increases connexin 43 expression in cumulus cells and improves embryo development in bovine oocytes. **Molecular Reproduction and Development**, v. 86, n. 12, p. 1865–1873, 2019. https://doi.org/10.1002/mrd.23274.

SHAW, D. W. *et al*. Effect of retinol palmitate on ovulation rate and embryo quality in superovulated cattle. **Theriogenology**, v. 44, n. 1, p. 51–58, 1995. https://doi.org/10.1016/0093-691X(95)00147-Z.

SHIMIZU, T. Molecular and cellular mechanisms for the regulation of ovarian follicular function in cows. **The Journal of Reproduction and Development**, v. 62, n. 4, p. 323–329, 2016. https://doi.org/10.1262/jrd.2016-044.

SOARES, S. R. V.; REIS, R. B.; DIAS, A. N. Fatores de influência sobre o desempenho reprodutivo em vacas leiteiras. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 73, n. 2, p. 451–459, 2021. https://doi.org/10.1590/1678-4162-11689 .

SPEER, H. F.; WILKE, K. H.; DREWNOSKI, M. E. Effects of vitamin A supplementation on liver retinol concentrations of beef cows and their calves managed in confinement. **Applied Animal Science**, v. 40, n. 5, p. 619–626, 2024. https://doi.org/10.15232/aas.2024-02564.

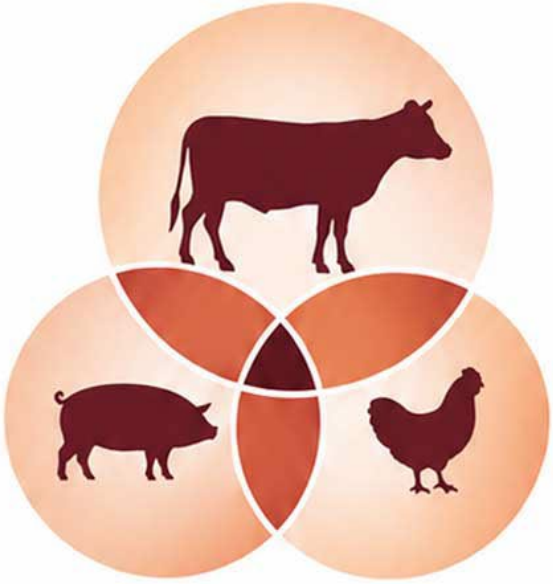
THARNISH, T. A.; LARSON, L. L. Vitamin A supplementation of Holsteins at high concentrations: progesterone and reproductive responses. **Journal of Dairy Science**, v. 75, n. 9, p. 2375–2381, 1992. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(92)77998-3.

WANG, J. Y.; OWEN, F. G.; LARSON, L. L. Effect of beta-carotene supplementation on reproductive performance of lactating Holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n. 1, p. 181–186, 1988. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79540-5.

WANKHADE, P. R. *et al.* Metabolic and immunological changes in transition dairy cows: a review. **Veterinary World**, v. 10, n. 11, p. 1367–1377, 2017. https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1367-1377.

WELLMANN, K. B. *et al.* Evaluation of the dietary vitamin A requirement of finishing steers via systematic depletion and repletion, and its effects on performance and carcass characteristics. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 9, skaa266, 2020. https://doi.org/10.1093/jas/skaa266.

WILLIAMS, L. R. *et al.* Drinking frequency effects on the performance of cattle: a systematic review. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, 2017. https://doi.org/10.1111/jpn.12640.



MÉRIDA
PUBLISHERS

www.meridapublishers.com