

CAPÍTULO 2

Modulação intestinal de ruminantes: importância e ação dos aditivos naturais

Matheus Lehnhart de Moraes, Camila Ten Kathen Jung, Gilberto Vilmar Kozloski

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-39-8.c2>

Resumo

O epitélio intestinal, além de atuar como barreira física contra patógenos, está intimamente relacionado a mecanismos imunorreguladores que asseguram o equilíbrio entre a microbiota e a resposta imune do hospedeiro. Nesse sentido, são utilizados aditivos naturais capazes de modular positivamente a saúde intestinal. O objetivo dessa revisão de literatura é apresentar os principais aspectos da fisiologia intestinal dos ruminantes, com ênfase na função imunorreguladora do trato gastrointestinal, e discutir o potencial modulador dos principais aditivos naturais. A integridade intestinal depende da ação conjunta de processos fisiológicos e imunológicos, sendo modulada por fatores nutricionais e pela interação com a microbiota. As evidências demonstram que a utilização de aditivos naturais representa uma alternativa promissora para a saúde intestinal, além da redução da dependência de antimicrobianos, o que resulta em um sistema de produção eficiente. Dentre os principais aditivos naturais utilizados atualmente com ação intestinal são os taninos, prebióticos, probióticos, óleos essenciais, butirato e adsorventes de toxinas. Contudo, compreender a fisiologia intestinal e os mecanismos de ação desses aditivos é fundamental para desenvolver estratégias nutricionais mais sustentáveis e eficazes na agropecuária moderna.

Palavras-chave: aditivos naturais, fisiologia intestinal, imunorregulação, microbiota, modulação intestinal, ruminantes.

1. Introdução

Os ruminantes mantêm uma relação simbiótica com o ecossistema microbiano do rúmen, que possibilita a fermentação da celulose e a produção de ácidos graxos voláteis, principal fonte de energia para o hospedeiro. O avanço da pesquisa aumentou a eficiência do aproveitamento dos nutrientes pelos

ruminantes, especialmente pela diluição das exigências de manutenção. Tradicionalmente, a pesquisa concentrou-se no rúmen, desenvolvendo sistemas nutricionais e aditivos como a monensina. Atualmente, há necessidade de expandir o foco para outros órgãos, como o intestino, reconhecido como um órgão sensorial essencial na fisiologia (Bravo e Wall, 2016).

A saúde intestinal é um pilar essencial para o equilíbrio fisiológico dos ruminantes, sendo a microbiota intestinal determinante tanto para a manutenção da integridade epitelial quanto para a regulação das respostas imunes. Um microbioma equilibrado atua como linha de defesa contra microrganismos patogênicos, auxilia na manutenção da homeostase imunológica e fortalece a barreira intestinal por meio de interações complexas entre microrganismos, seus metabólitos e as células do epitélio (Yue *et al.*, 2023).

Neste contexto, torna-se imprescindível aprofundar o entendimento das interações entre a nutrição, o microbioma intestinal e a fisiologia do hospedeiro, de modo a fundamentar novas estratégias que promovam ganhos de eficiência produtiva aliados à manutenção da saúde animal. A ampliação do enfoque tradicional, que por décadas privilegiou o rúmen, para incluir o papel central do intestino como órgão integrador e modulador de processos metabólicos e imunológicos, representa um avanço conceitual relevante. Essa perspectiva oferece bases sólidas para o desenvolvimento de abordagens nutricionais inovadoras, capazes de sustentar a intensificação sustentável na nutrição de ruminantes diante dos desafios científicos e produtivos contemporâneos. Portanto, objetivou-se realizar uma revisão sobre a modulação do intestino em ruminantes, assim como a ação dos principais aditivos aplicados atualmente.

2. Desenvolvimento

2.1. Fisiologia intestinal dos ruminantes

A digestão dos ruminantes começa no rúmen, onde os microrganismos e os movimentos mecânicos quebram as fibras dos alimentos. Posteriormente, o retículo e o omaso auxiliam na trituração e absorção, enquanto no abomaso, chamado de “verdadeiro estômago”, ocorre a digestão gástrica. No duodeno, o quimo recebe enzimas do pâncreas e da bile, o que continua a digestão. O

intestino delgado, com suas vilosidades, é responsável por absorver a maior parte dos nutrientes. O restante vai para o intestino grosso, onde ocorre mais fermentação no ceco, até formar as fezes, que são eliminadas pelo reto. O intestino delgado é composto pelo duodeno, jejuno e íleo, já o intestino grosso é formado pelo ceco, cólon e reto (Liu *et al.*, 2023).

A população microbiana intestinal desempenha papel crucial no metabolismo de nutrientes, complementando a digestão realizada no rúmen. No intestino grosso, onde o trânsito é mais lento, ocorre a fermentação de fibras residuais, estudos demonstram que aproximadamente 30% da fibra, xilose e hemicelulose são fermentadas e decompostas no intestino posterior, indicando que este processos de fermentação também é uma fonte de energia essencial para as vacas (Zhu *et al.* 2021). Os microrganismos, principalmente dos filos *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria* e *Actinobacteria*, produzem enzimas especializadas capazes de degradar compostos complexos e gerar ácidos graxos de cadeia curta (AGCC). Esses metabólitos não apenas fornecem energia, mas também participam da regulação do metabolismo energético, lipídico e proteico, além de influenciar a imunidade. A microbiota intestinal também sintetiza moléculas como colina e carnitina, associadas ao metabolismo de lipídios e à síntese de gordura do leite. Em conjunto, essas funções evidenciam que o microbioma intestinal, ao lado do rúmen, é determinante para a eficiência produtiva e para a saúde dos ruminantes (Liu *et al.*, 2023).

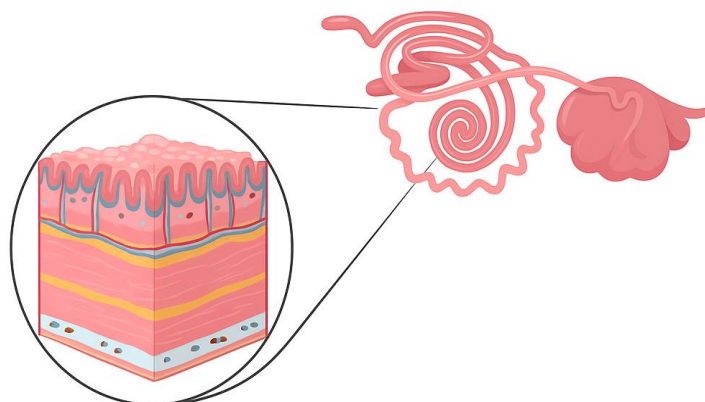


Figura 1. Sistema digestório dos ruminantes, na aproximação do epitélio intestinal. Fonte: Imagem criada com Biorender.com

O intestino dos ruminantes é composto por uma comunidade microbiana extremamente diversificada, composta por microrganismos que, em sua maioria, estabelecem interações mutualísticas com o hospedeiro. Entre essas interações, destacam-se a fermentação de carboidratos, resultando na produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), como acetato, propionato e butirato (Kozloski, 2022). Esses metabólitos exercem papel central tanto no fornecimento de energia quanto na regulação de processos fisiológicos associados à saúde intestinal.

A microbiota bacteriana do trato gastrointestinal (TGI) dos mamíferos é predominantemente composta por dois filos principais: *Bacteroidetes* e *Firmicutes* (Karlsson, 2011). No entanto, outros filos também ocupam nichos específicos, variando conforme a espécie animal, o que torna a comunidade microbiana do TGI única para cada hospedeiro. De acordo com Uyeno et. al (2015) a composição microbiana do trato gastrointestinal dos ruminantes pode ser modificada por vários fatores como dieta, idade e estresse, como um resultado adaptativo da comunidade ao ambiente.

Segundo Liu et al. (2014) relataram que a dieta rica em grãos (HG) em cabras reduziu o pH cecal e aumentou as concentrações de AGV, ácido láctico e lipopolissacarídeos (LPS), intensificando a fermentação no intestino grosso. Essa dieta alterou significativamente a composição bacteriana do lúmen e da mucosa cecal, além de provocar lesões epiteliais. As correlações indicam que mudanças no pH, na concentração de LPS e na microbiota contribuem para a inflamação local, fornecendo novas perspectivas sobre os mecanismos que levam a distúrbios do intestino posterior.

O aumento da acidez pode resultar em danos e descamação das células epiteliais do intestino grosso (Gressley et al., 2011). Além disso, o epitélio intestinal é composto por apenas uma única camada de células epiteliais, enquanto o epitélio do rúmen consiste em um epitélio escamoso multicamadas com queratinização significativa (Plaizier et al., 2012). Assim, as diferenças entre as estruturas dos epitélios tornam o epitélio intestinal mais suscetível a danos do que o rúmen durante a alimentação com HG.

2.2. Função imunorreguladora intestinal

O epitélio intestinal constitui uma linha de defesa contra agentes patogênicos e agentes externos nocivos. A barreira constituída pela mucosa pode ser destruída por inúmeras doenças e por vários agentes patógenos permitindo a passagem indiscriminada de antígenos através das juntas epiteliais. O muco contribui para a defesa celular, criando uma barreira física e prevenindo a adesão de bactérias (Groschwitz e Hogan, 2009).

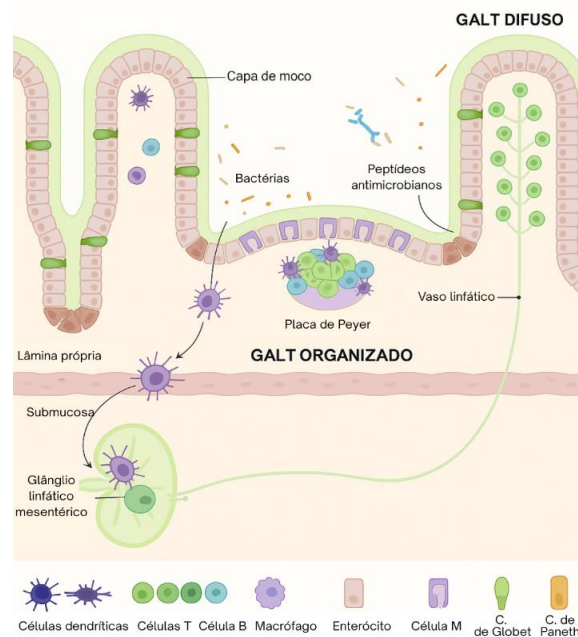


Figura 2. A organização do tecido linfóide associado à mucosa dentro do tecido intestinal, bem como a localização das células imunes dentro dele. (Fonte: Adaptado de Felix, 2021).

O sistema imunológico da mucosa é composto por quatro elementos principais (Figura 2): microbioma, camada de muco, barreira epitelial e células imunes associadas à mucosa (MALT). O MALT é o principal local de ativação da imunidade da mucosa e está presente em várias regiões do organismo. Ele inclui o GALT (intestino), BALT (brônquios), NALT (nariz) e tecidos linfóides em útero, trato urinário, glândulas mamárias, lacrimais e salivares. Esses tecidos contêm agregados de células de defesa (linfócitos B e T, células dendríticas e macrófagos), cobertos por células especializadas chamadas células M, que capturam e transportam antígenos (Vlasova e Saif, 2021).

O GALT é o maior órgão linfóide, responsável por lidar com grande variedade de antígenos de alimentos e microrganismos. As células M levam os antígenos para serem processados e apresentados aos linfócitos, que então produzem IgA. Linfócitos ativados podem migrar pela corrente sanguínea e se instalar em diferentes mucosas, formando o chamado “sistema imunológico da mucosa comum”. Um exemplo é o eixo intestino-mamário em bovinos, que permite a migração de células de defesa e componentes bacterianos até a glândula mamária, protegendo o bezerro por meio do leite (Vlasova e Saif, 2021).

2.3. Principais aditivos moduladores intestinais

2.3.1. Taninos

Os taninos são compostos fenólicos secundários presentes em diversas espécies vegetais, como *Acacia mearnsii* e *Schinopsis spp.* (quebracho), amplamente estudados na nutrição de ruminantes devido ao seu potencial em modular a fermentação ruminal e a saúde intestinal. Podem ser classificados como taninos hidrolisáveis e taninos condensados (Tedeschi *et al.*, 2021).

Os taninos hidrolisáveis (THs) são compostos solúveis em água, com massas moleculares entre 500 e 5000 Daltons (Da). Eles reagem como fenóis e podem precipitar proteínas e alcalóides. Quimicamente, são formados por vários ésteres de ácido gálico ligados à glicose e aos produtos resultantes de suas oxidações. Os taninos condensados (TCs) são compostos formados por unidades de flavano-3-óis, como catequina, epicatequina, galocatequina e epigalocatequina, organizadas em cadeias oligoméricas ou poliméricas. Possuem massas moleculares entre 1.000 e 20.000 Da e só se quebram em unidades menores quando expostos a ácidos fortes ou oxidação intensa (Tong *et al.*, 2022).

Os TCs melhoram a imunidade contra parasitas em ruminantes. Os principais parasitas incluem diferentes nematóides que vivem no abomaso, intestino delgado, grosso e pulmões. Eles causam queda na produção de carne e leite, além de custos e riscos vitais. O controle desses parasitas geralmente envolve uso de medicamentos, mas há preocupação com resíduos e a resistência. Assim, os taninos têm sido estudados por suas propriedades

antiparasitárias, por reduzirem a fecundidade e a motilidade das larvas. Além disso, os taninos aumentam a absorção de proteínas, fortalecendo o sistema imunológico, o que pode ocasionar em lesões na cutícula dos parasitas, prejudicando sua nutrição e reprodução. Estudos mostram que a suplementação com taninos reduz a contagem de ovos e danifica os parasitas, impedindo que eles se desenvolvam e se reproduzam normalmente (Vieira *et al.*, 2020).

No intestino delgado, os TCs podem potencialmente aumentar a perda endógena de proteína, decorrente de sua interação com proteínas presentes na mucosa intestinal. Este efeito pode implicar na utilização compensatória de proteína metabolizável, destinada à manutenção da integridade do epitélio gastrointestinal (Avila *et al.*, 2020). Segundo Beauchemin *et al.* (2007), a dissociação completa dos complexos tanino-proteína no abomaso pode não ocorrer, o que reduziria a digestibilidade da proteína bruta ao longo do trato digestório.

Em dietas ricas em grãos pode haver o aumento de géneros patogénicos como *Clostridium* (Liu, 2014), um patógeno que prejudica a saúde intestinal quando a função da barreira está comprometida, a ação antimicrobiana dos taninos apresenta uma estratégia direcionada e não antibiótica para reduzir esta ameaça na sua origem. Elizondo *et al.* (2010), concluíram por meio de trabalho *in vitro* com diferentes cepas de *Clostridium* sp. que misturas de taninos de quebracho e castanha não só tiveram efeito antibacteriano, mas também agiram contra diversas toxinas produzidas pelas bactérias.

Contudo, a inclusão de taninos na dieta deve ser feita de forma criteriosa, visto que concentrações elevadas podem comprometer a palatabilidade e consumo, reduzir a digestibilidade da fibra e, conseqüentemente, afetar o desempenho animal (Beauchemin *et al.*, 2020).

2.3.2. Saponinas

As saponinas (glicosídeos) são caracterizadas pela palatabilidade amarga, são encontradas em plantas terrestres, como principalmente na soja (Price *et al.*, 1987), plantas marinhas e linhagens animais, como no pepino-do-mar (Tedeschi *et al.*, 2021). São compostos pertencentes ao grupo dos

terpenoides, com estrutura predominantemente triterpenoide ou esteroidal, amplamente distribuídas em mais de 500 espécies vegetais.

O principal interesse nas saponinas se deve à sua capacidade de modular a fermentação ruminal, especialmente por sua ação defaunizante, inibindo protozoários ciliados. Elas podem interferir na digestão de proteínas no intestino ao se ligarem ao colesterol presente nas membranas celulares, provocando a ruptura dessas células. Esse efeito leva à eliminação seletiva dos protozoários no rúmen, o que contribui para uma melhor eficiência na utilização do nitrogênio e, conseqüentemente, pode promover um aumento no desempenho dos ruminantes (Kholif, 2023).

Essa ação pode favorecer a eficiência alimentar ao melhorar a síntese de proteína microbiana e reduzir a produção de metano, tanto por mecanismos indiretos, pela eliminação de protozoários que abrigam metanogênicos, quanto diretos, pela inibição de processos metabólicos relacionados à metanogênese (Tedeschi *et al*, 2021; Mcmurphy *et al*, 2014). As saponinas exercem efeitos significativos especialmente no intestino delgado. Estudos como o de McMurphy *et al* (2014) evidenciam o aumento do fluxo de proteína microbiana para o intestino, favorecendo ruminantes com alta exigência de proteína metabolizável.

A *Yucca schidigera* e a *Quillaja saponaria* representam as principais fontes de saponinas empregadas como aditivos na nutrição animal. Seus principais objetivos são aprimorar o desempenho dos animais e diminuir a produção de amônia, além do odor das fezes em animais domésticos (Demattê Filho, 2004). Embora o mecanismo exato de ação ainda não seja totalmente elucidado, sabe-se que as saponinas influenciam positivamente a microbiota intestinal, modificam o metabolismo do nitrogênio, e aumentam a permeabilidade das células da mucosa intestinal, além de potencializar a taxa de absorção no trato digestivo.

Gee *et al*. (1989) afirmaram que as saponinas alteram a absorção intestinal, o que pode trazer consequências negativas, uma vez que substâncias presentes nas dietas que normalmente não seriam absorvidas podem aumentar a sensibilização por antígenos. Saponinas também são referidas como causadoras de despolarização da membrana intestinal, o que também, altera o padrão de permeabilidade. Pela sua propriedade surfactante, possuem atividade

antiprotzoária, pois formam complexos com o colesterol das membranas celulares dos protozoários, causando a lise celular (De Souza *et al.*, 2019).

2.3.3. Óleos essenciais

Os óleos essenciais (OEs) são metabólitos secundários voláteis presentes em plantas. Do ponto de vista estrutural, classificam-se em dois principais grupos: terpenoides (monoterpenoides e sesquiterpenoides) e fenilpropanoides. Sua composição química é complexa, englobando ácidos, álcoois, aldeídos, ésteres acíclicos ou lactonas, além de compostos contendo nitrogênio e enxofre (Al-Suwaiegh *et al.*, 2020). A proporção dos constituintes ativos pode variar significativamente em função da cultivar, das condições de cultivo e do método empregado no processamento e extração.

Aditivos alimentares fitogênicos, extraídos de plantas, como o óleo essencial de orégano (contendo carvacrol e timol), apresenta propriedades antimicrobianas, antioxidantes e anti-inflamatórias, capazes de contribuir para a integridade intestinal (Wells, 2024). O óleo de orégano auxilia na integridade da mucosa e no equilíbrio microbiano (Mohammadi *et al.*, 2014).

O carvacrol (CAR) é um monoterpene presente nos óleos essenciais de plantas da família *Lamiaceae*, presente no orégano (Lambert *et al.*, 2001). Entre seus efeitos benéficos à saúde, destacam-se as atividades antiviral, antiparasitária, antioxidante e anti-inflamatória (Bouyahya *et al.*, 2021). Também tem sido utilizado no tratamento de distúrbios gastrointestinais. Sua ação anti-inflamatória está associada à inibição de citocinas como TNF- α e IL-6 (Alagawany *et al.*, 2015), além da neutralização de radicais livres, ajudando a prevenir danos oxidativos celulares (Asadi *et al.*, 2023).

O timol (THY) é um monoterpene fenólico que se apresenta como um cristal incolor com odor característico (Escobar *et al.*, 2020). O THY possui diversas propriedades farmacológicas, incluindo atividades antiespasmódica, antilisterial, antimicrobiana, anti-inflamatória e antioxidante. Estudos demonstraram que o THY é capaz de modular a patogenicidade de bactérias no trato gastrointestinal, além de favorecer o aumento da abundância de bactérias benéficas, como *Lactobacillus crispatus* e *Lactobacillus agilis*.

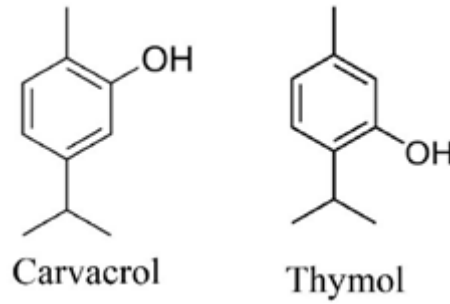


Figura 3. Estrutura química do Carvacrol e Timol.

Segundo Ma *et al.* (2023) a inclusão de OE na dieta de touros holandeses não interrompeu a homeostase do ambiente intestinal interno. Além disso, enriqueceu o número de bactérias benéficas e inibiu o crescimento de bactérias nocivas até certo ponto.

Em um estudo com ovinos, a suplementação de óleos essenciais de orégano impactou a composição e os metabólitos da microbiota intestinal, promovendo o enriquecimento de *Ruminococcus*, *Bifidobacterium* e *Enterococcus* e aumentou os níveis dos metabólitos ácido indol-3-acético e indol acetaldéido. Essas alterações na microbiota intestinal podem contribuir para o aumento da atividade da amilase, melhorando assim o desempenho do crescimento e a função da barreira intestinal (Jia *et al.*, 2022).

Como podemos observar na Figura 4, a suplementação dietética com OE de orégano reduziu o espaço entre as células epiteliais e resultou em uma tendência de reparo e espessamento. Esses resultados sugerem que a suplementação de OE melhora a morfologia colônica.

Segundo o estudo realizado por Sun *et al.* (2022) avaliando três níveis de OE de orégano em ovinos em terminação, comprimentos das vilosidades no íleo, duodeno e jejuno foram todos maiores dos tratamentos com OE em relação ao grupo controle, e as diferenças foram significativas para o duodeno e jejuno ($p < 0,05$). O que comprova os efeitos benéficos do OE na integridade do intestino de pequenos ruminantes, o que está diretamente relacionado com absorção de nutrientes, desempenho e imunidade.

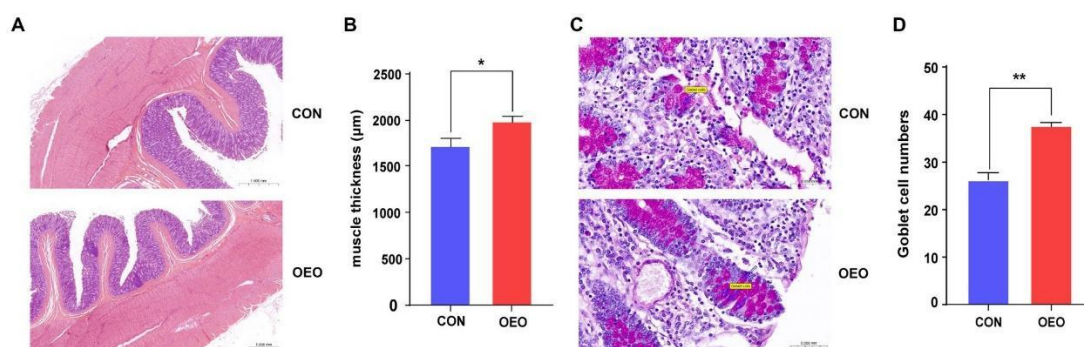


Figura 4. Efeitos do OE na histomorfologia da mucosa e número de células caliciformes. (A) Morfologia intestinal do cólon em touros. (B) Espessura muscular do cólon. (C) Distribuição de células caliciformes no epitélio colônico. Os marcadores na imagem representam células caliciformes. (D) Número de células caliciformes colônicas. $n = 6$ amostras/grupo. A significância é relatada como * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$. Fonte: Ma *et al.* (2023).

2.3.4. Prebióticos

Os prebióticos são componentes alimentares que não são digeridos pelo organismo, mas que, quando ingeridos em quantidades adequadas, promovem o crescimento ou a atividade seletiva de certos microorganismos benéficos no intestino (Uyeno *et al.*, 2015). Possuem a capacidade de modular de forma positiva a microbiota intestinal, fortalecendo o sistema imunológico, especialmente por meio da ativação de macrófagos. Os prebióticos são incorporados às rações e, por não serem digeridos pelas enzimas do trato digestivo, passam a ser fermentados, resultando na produção de compostos que favorecem o crescimento e a atividade de probióticos. Assim, contribuem indiretamente para a nutrição de bactérias benéficas e para a melhoria geral da saúde do animal (Dowarah *et al.*, 2017).

Segundo Patel e Goyal (2012), a maioria dos prebióticos promove o crescimento de bactérias benéficas aos animais. Eles funcionam como substratos para fermentação, além de se ligarem a patógenos, podendo aumentar a osmose intestinal, estimular macrófagos e a produção de AGCC, contribuindo para a modulação do sistema imunológico. Ao analisar o impacto dos prebióticos na saúde animal, é importante considerar a anatomia, fisiologia, dependência da microbiota intestinal para energia, ambiente e dieta do animal

(Gibson *et al.*, 2017).

Os prebióticos mais frequentes utilizados para melhorar a saúde são carboidratos, como oligossacarídeos, ou fibras alimentares com baixa digestibilidade (Uyeno *et al.*, 2015). A levedura, usada na alimentação animal há décadas por seu teor proteico, vitaminas B e seu poder palatável, possui na parede celular os compostos β -glucanos e mananoligossacarídeos (MOS), cujas concentrações variam conforme a cepa, como *Saccharomyces cerevisiae* (Spring *et al.*, 2000; Novak e Vetvicka, 2008).

Os β -glucanos presentes nas leveduras diferem estruturalmente dos encontrados em cereais: na levedura, predominam as ligações β -1,3 com ramificações β -1,6, que possuem elevada capacidade imunomoduladora — ao contrário dos β -1,4-glucanos dos cereais, que têm ação limitada (Novak e Vetvicka, 2008). Esse complexo de manano-glucano também confere estabilidade e baixa solubilidade ao MOS, fundamental para seu desempenho no intestino animal.

Os Mananoligossacarídeos (MOS) são açúcares manose complexos que bloqueiam a colonização de patógenos no trato digestivo (Uyeno *et al.*, 2015). O MOS são fibras derivadas da parede celular das leveduras que funcionam como prebióticos, pois não são degradadas pelas enzimas digestivas do intestino, mas são fermentadas de forma seletiva pelas bactérias intestinais. O MOS atua principalmente como um bloqueador de patógenos: ele se liga a bactérias como *Salmonella* e *Escherichia coli*, impedindo sua fixação nas células intestinais e reduzindo a infecção (Spring *et al.*, 2000). Isso ocorre pois ele ocupa os locais onde essas bactérias prejudiciais normalmente se prendem, além de criar um ambiente que dificulta o crescimento dessas bactérias, ajudando a controlar sua multiplicação. Embora frequentemente classificado como prebiótico, o MOS pode levar a confusões quanto à definição clássica de prebiótico, que envolve estímulo seletivo de bactérias benéficas.

2.3.5. Probióticos

Os probióticos podem ser descritos como microrganismos vivos, geralmente bactérias das cepas *Bifidobacterium* e *Lactobacillus*, que quando

administradas em quantidades corretas, conferem benefícios principalmente a nível intestinal (Latif *et al.*, 2023). De acordo com Fusco *et al.* (2023), os probióticos contribuem para a integridade da barreira intestinal ao impedir a adesão de bactérias patogênicas às células epiteliais da mucosa, além de regularem a resposta imune do hospedeiro. Seus benefícios incluem o equilíbrio da microbiota intestinal e o aumento da absorção e disponibilidade de macro e micronutrientes.

Probióticos dificultam a colonização intestinal por patógenos ao competir com eles por nutrientes e por sítios de ligação nos receptores epiteliais, reduzindo sua viabilidade no trato gastrointestinal (Plaza-Diaz *et al.*, 2019). Além disso, esses microrganismos benéficos atuam na inibição direta de patógenos por meio da produção de compostos antimicrobianos, como ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), ácidos orgânicos, peróxido de hidrogênio e bacteriocinas (Ahire *et al.*, 2021; Fantinato *et al.*, 2019; Latif *et al.*, 2023), contribuindo para o controle microbiano no ambiente intestinal.

No sistema imunológico, modulam a maturação e o funcionamento de células dendríticas, o que leva à ativação das células T e contribui para a manutenção da homeostase imune. Além disso, há evidências de que os probióticos influenciam o eixo intestino-cérebro, participando da regulação de neurotransmissores como serotonina, dopamina e ácido gama-aminobutírico (GABA), com possíveis efeitos sobre o comportamento e o bem-estar do hospedeiro (Latif *et al.*, 2023).

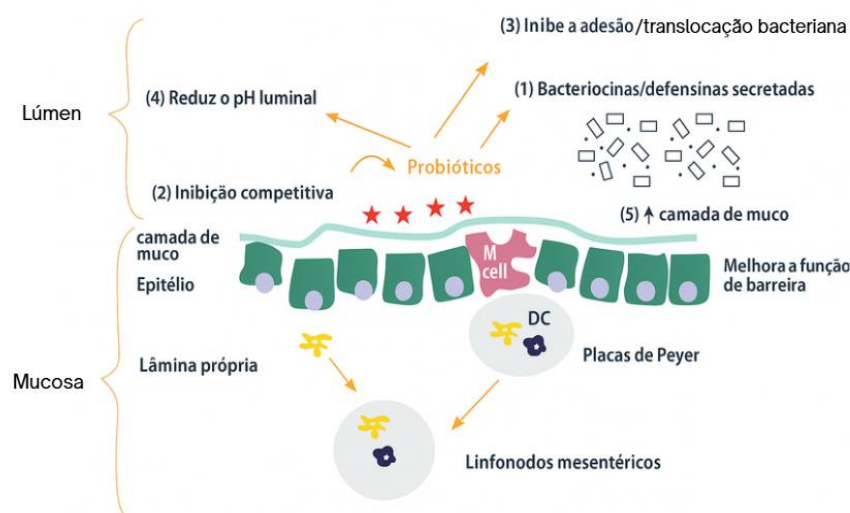


Figura 5. Mecanismos de ação dos probióticos. (Fonte: NG *et al.*, 2009).

Segundo Chida *et al.* (2021) a dieta com alta energia reduziu a quantidade de linfócitos em vacas leiteiras e aumentou a produção de citocinas inflamatórias (IL-1 β e IL-2) quando as células do sangue foram estimuladas com lipopolissacarídeos (LPS). Posteriormente, com a suplementação com o probiótico (*Lactobacillus plantarum*) houve aumento novamente dos linfócitos e normalizou os níveis de IL-1 β e IL-2, semelhantes aos da dieta de baixa energia. Isso mostra que a alimentação rica em energia pode estimular a inflamação, mas o probiótico ajuda a controlar essa resposta, podendo ser usado para regular a inflamação em vacas leiteiras de alta produção.

2.3.6. Adsorventes de toxinas

Os adsorventes podem ser classificados em dois tipos: inorgânicos e orgânicos, de acordo com sua composição química (Vila-Donat *et al.*, 2018). Os inorgânicos são suplementos de baixo custo e sem valor nutricional relevante, mas oferecem proteção limitada contra micotoxinas. Entre eles, destacam-se as argilas e os tectossilicatos (Santurio, 2007). Nessa categoria também estão incluídos os aluminossilicatos (como as bentonitas), as sílicas e o carvão ativado (Piva *et al.*, 1993).

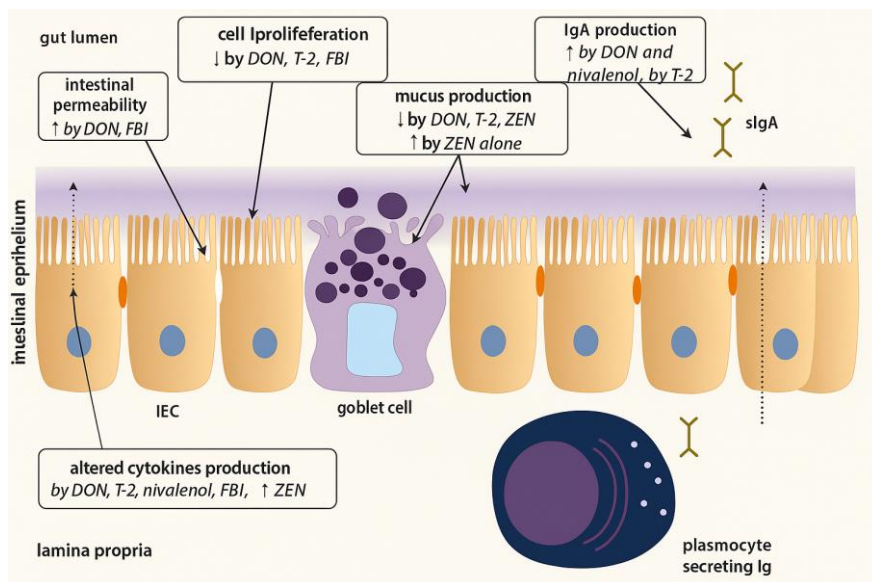


Figura 6. Efeito de toxinas (DON, NIV, FB1, toxina T-2 e ZEN) no epitélio intestinal. Eles alteram diferentes mecanismos de defesa intestinal, incluindo a integridade epitelial, a proliferação celular, a mucosa, a imunoglobulina (Ig) e a produção de citocinas. (Fonte: Antonissen *et al.*, 2014).

Para adsorção, usam-se compostos capazes de se ligar às micotoxinas presentes nas rações contaminadas, sem se separar no trato gastrointestinal dos animais. Isso faz com que as micotoxinas fiquem presas ao adsorvente, reduzindo sua absorção e, depois, sejam eliminadas pelas fezes. A ligação entre micotoxinas e adsorventes pode acontecer de várias formas, como interações hidrofóbicas, pontes de hidrogênio e interações eletrostáticas. É essencial que essa ligação seja estável durante todo o processo digestivo, para evitar que a micotoxina se desprenda. A eficiência da adsorção depende das características do adsorvente, como carga elétrica, tamanho dos poros e área de superfície, e das micotoxinas, como polaridade, solubilidade e forma da molécula (Cabral, 2019).

Já os β -glucanos, já citados nesta revisão, também são classificados como adsorventes orgânicos, as quais possuem capacidade de adsorver várias micotoxinas. Nesta categoria, as glucanas possuem significativo poder ligante às aflatoxinas e zearalenona por meio de pontes de hidrogênio entre a micotoxina e as glucanas (Yiannikouris *et al.* 2002).

2.3.7. Butirato de sódio

O butirato de sódio desempenha um papel essencial no desenvolvimento do rúmen, além de contribuir para o estabelecimento e a manutenção do epitélio ruminal e intestinal (Górka *et al.*, 2019). Segundo Mentschel *et al.* (2001) esses efeitos estão relacionados à sua capacidade de estimular a atividade mitótica das células e de reduzir a taxa de apoptose (morte celular).

O ácido butírico atua diretamente sobre o pH do meio em que se encontra. O revestimento que resiste à acidez gástrica limita sua ação no estômago, permitindo que exerça efeito mais intenso no intestino (Ribeiro *et al.*, 2012). No ambiente intestinal, o ácido butírico reduz o pH, dificultando a adesão de bactérias patogênicas ao epitélio e, conseqüentemente, favorecendo uma mucosa menos danificada pela multiplicação bacteriana e mais eficiente na absorção de nutrientes. O ácido butírico pode ser adicionado à dieta de ruminantes de diversas formas, incluindo sais de butirato, como butirato de cálcio, sódio, potássio e magnésio, bem como na forma de butirinas.

Segundo o estudo de Zhong *et al.* (2023) em bezerros, o butirato de sódio reduziu a inflamação do rúmen e jejuno ao regular negativamente as vias IL-17 e NF- κ B, além de modular a microbiota e estimular o metabolismo de carboidratos. De modo geral, promoveu o desenvolvimento gastrointestinal, fortalecendo a imunidade e a atividade microbiana ruminal.

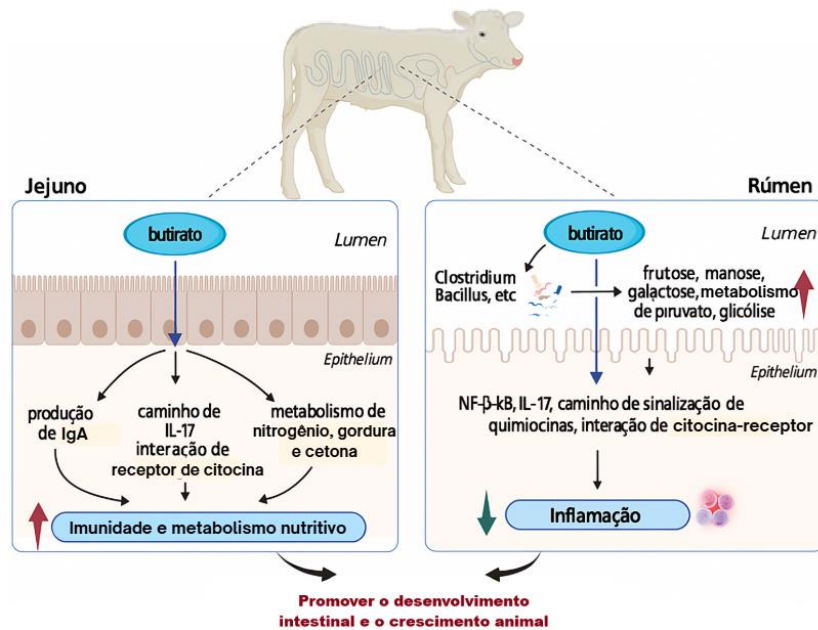


Figura 7. Diagrama geral do efeito do butirato no rúmen, no microbioma do rúmen e no jejuno. Adaptado de Zhong *et al.* (2023).

Segundo Moreira *et al.* (2016) avaliando a inclusão de butirato em dietas de bovinos nelore machos inteiros em confinamento, concluíram que a suplementação com 10 g de butirato de cálcio resultou na maior altura de vilosidade no duodeno, o que sugere uma possível melhoria da superfície de absorção no intestino delgado.

3. Considerações Finais

A integridade intestinal dos ruminantes representa um importante pilar para o desempenho produtivo e bem-estar animal, estando diretamente relacionadas à eficiência digestiva, resposta imune e resistência a patógenos. Diversos aditivos nutricionais, como prebióticos, probióticos, taninos, óleos

essenciais e adsorventes, possuem a ação de modular favoravelmente a microbiota e preservam a integridade da mucosa intestinal. Esses compostos atuam tanto no equilíbrio microbiano quanto na manutenção da morfologia intestinal, favorecendo maior absorção de nutrientes e redução de processos inflamatórios. Evidências científicas reforçam que a escolha estratégica e combinada desses aditivos pode potencializar seus efeitos benéficos. Assim, o uso racional e embasado desses recursos surge como alternativa promissora para melhorar a saúde intestinal e, conseqüentemente, a eficiência nutricional em sistemas de ruminantes.

4. Referências bibliográficas

- AHIRE, J.; JAKKAMSETTY, C.; KASHIKAR, M. S.; LAKSHMI, S. G.; MADEMPUDI, R. S. In Vitro Evaluation of Probiotic Properties of *Lactobacillus plantarum* UBLP40 Isolated from Traditional Indigenous Fermented Food. **Probiotics Antimicrob Proteins**, v. 13, p. 1413–1424, 2021. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09775-7>.
- ALAGAWANY, M.; EL-HACK, M. E. A.; FARAG, M. R.; TIWARI, R.; DHAMA, K. Biological Effects and Modes of Action of Carvacrol in Animal and Poultry Production and Health - A Review. **Advances in Animal and Veterinary Sciences**, v. 3, n. 2 Suplemento, p. 73-84, 2015. <https://doi.org/10.14737/journal.aavs/2015/3.2s.73.84>.
- AL-SUWAIEGH, S. B. *et al.* Effect of an essential oils mixture on the performance of dairy cows during treatment and post-treatment periods. **Sustainability**, v. 12, n. 21, p. 9123, 2020. <https://doi.org/10.3390/su12219123>.
- ANTONISSEN, G. *et al.* The impact of *Fusarium* mycotoxins on human and animal host susceptibility to infectious diseases. **Toxins**, v. 6, n. 2, p. 430-452, 2014. <https://doi.org/10.3390/toxins6020430>.
- ASADI, A. *et al.* Antibacterial and anti-biofilm properties of carvacrol alone and in combination with cefixime against *Escherichia coli*. **Journal of Clinical Laboratory Analysis**, v. 23, 10 p., 2023. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02797-x>.
- AVILA, A. S. *et al.* Black Wattle (*Acacia mearnsii*) condensed tannins as feed additives to lactating dairy cows. **Animals**, v. 10, n. 4, p. 662, 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10040662>.
- BEAUCHEMIN, K. A. *et al.* Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. **Journal of Animal Science**, v. 85, n. 8, p. 1990-1996, 2007. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-686>.

- BEAUCHEMIN, K. A. *et al.* Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166–167, p. 402–411, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.072>.
- BOUYAHYA, A. *et al.* Health benefits and pharmacological properties of carvone. **Biomolecules**, v. 11, n. 12, p. 1803, 2021. <https://doi.org/10.3390/biom11121803>.
- BRAVO, D. M.; WALL, E. H. The rumen and beyond: Nutritional physiology of the modern dairy cow. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 6, p. 4939-4940, 2016. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10191>.
- CABRAL, S. M. Adsorção multi-micotoxinas: revisão e estudo de carvões ativados. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
- CHIDA, S. *et al.* Changes in immune system and intestinal bacteria of cows during the transition period. **Veterinary and Animal Science**, v. 14, p. 100222, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2021.100222>.
- DE SOUZA, C. G. *et al.* Fatores antinutricionais de importância na nutrição animal: Composição e função dos compostos secundários. **Pubvet**, v. 13, p. 166, 2019. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n5a327.1-19>.
- DEMATTE FILHO, L. C. Aditivos em dietas para frangos de corte criados em sistema alternativo. 2004. 95 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- DOWARAH, R. *et al.* Effect of swine-based probiotic on performance, diarrhea scores, intestinal microbiota and gut health of grower-finisher crossbred pigs. **Livestock Science**, v. 195, p. 74-79, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.11.006>.
- ELIZONDO, A. M. *et al.* Effect of tannins on the in vitro growth of *Clostridium perfringens*. **Veterinary Microbiology**, v. 145, n. 3-4, p. 308-314, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2010.04.003>.
- ESCOBAR, A. *et al.* Bioactivity of thymol: a review with focus on practical applications. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 13, p. 9243–9269, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.11.009>.
- FANTINATO, V.; CAMARGO, H. R.; SOUSA, A. L. O. P. Estudo de probióticos com *Streptococcus salivarius* e sua capacidade de produzir bacteriocinas e adesão às células KB. **Rev Odontol. UNESP**, v. 48, p. 1–9, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-2577.02919>.
- FUSCO, A. *et al.* In Vitro Evaluation of the Most Active Probiotic Strains Able to Improve the Intestinal Barrier Functions and to Prevent Inflammatory Diseases of the Gastrointestinal System. **Biomedicine**, v. 11, 2023. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11030865>.

- GEE, J. M. *et al.* Effects of saponins and glycoalkaloids on the transmucosal passage of β -lactoglobulin across the proximal small intestine. **Toxicology**, v. 117, n. 2-3, p. 219-228, 1989. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(96\)03574-3](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(96)03574-3).
- GIBSON, G. *et al.* Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, v. 14, p. 491–502, 2017. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>.
- GÓRKA, P. *et al.* Effect of exogenous butyrate on the gastrointestinal tract of sheep. I. Structure and function of the rumen, omasum and abomasum. **Journal of Animal Science**, v. 98, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.1093/jas/skz032>.
- GRESSLEY, T. F.; HALL, M. B.; ARMENTANO, L. E. Ruminant nutrition symposium: productivity, digestion, and health responses to hindgut acidosis in ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 89, n. 4, p. 1120-1130, 2011. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3460>.
- GROSCWITZ, K. R.; HOGAN, S. P. Intestinal barrier function: molecular regulation and disease pathogenesis. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v. 124, n. 1, p. 3-20, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2009.05.038>.
- JIA, Li *et al.* Oregano essential oils mediated intestinal microbiota and metabolites and improved growth performance and intestinal barrier function in sheep. **Frontiers in Immunology**, v. 13, p. 908015, 2022. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.908015>.
- KARLSSON, C. L. J. *et al.* Effects on weight gain and gut microbiota in rats given bacterial supplements and a high-energy-dense diet from fetal life through to 6 months of age. **British Journal of Nutrition**, v. 106, p. 887–895, 2011. <https://doi.org/10.1017/S0007114511001036>.
- KHOLIF, A. E. A review of effect of saponins on ruminal fermentation, health and performance of ruminants. **Veterinary Sciences**, v. 10, p. 1-19, 2023. <https://doi.org/10.3390/vetsci10070450>.
- LAMBERT, R. J. W. *et al.* A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. **Journal of Applied Microbiology**, v. 91, p. 453-462, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01428.x>.
- LATIF, A. *et al.* Probiotics: mechanism of action, health benefits and their application in food industries. **Frontiers in Microbiology**, v. 17, 15 p., 2023. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1216674>.
- LIU, J. *et al.* High-grain feeding alters caecal bacterial microbiota composition and fermentation and results in caecal mucosal injury in goats. **British Journal of Nutrition**, v. 112, n. 3, p. 416-427, 2014.

<https://doi.org/10.1017/S0007114514000993>.

LIU, Lily *et al.* Research progress on the regulation of production traits by gastrointestinal microbiota in dairy cows. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 10, p. 1206346, 2023. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1206346>.

MA, Yue *et al.* Oregano essential oil modulates colonic homeostasis and intestinal barrier function in fattening bulls. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1293160, 2023. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1293160>.

MCMURPHY, C. P. *et al.* Effects of including saponins (Micro-Aid®) on intake, rumen fermentation and digestibility in steers fed low-quality prairie hay. **Animal Feed Science and Technology**, v. 190, p. 47–58, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.01.007>.

MENTSCHER, J. *et al.* Butyric acid stimulates rumen mucosa development in the calf mainly by a reduction of apoptosis. **Archives of Animal Nutrition**, v. 55, p. 85-102, 2001. <https://doi.org/10.1080/17450390109386185>.

MOHAMMADI, Z.; GHAZANFARI, S.; MORADI, M. A. Effect of supplementing clove essential oil to the diet on microflora population, intestinal morphology, blood parameters and performance of broilers. **European Poultry Science**, v. 78, 2014. <https://doi.org/10.1399/eps.2014.51>.

MOREIRA, T. S. O. *et al.* Duodenal histology and carcass quality of feedlot cattle supplemented with calcium butyrate and *Bacillus subtilis*. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 38, p. 61-67, 2016. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v38i1.27432>.

NG, S. C. *et al.* Mechanisms of action of probiotics: recent advances. **Inflammatory Bowel Diseases**, v. 15, n. 2, p. 300-310, 2009. <https://doi.org/10.1002/ibd.20602>.

NOVAK, M.; VETVICKA, V. β -glucans, history, and the present: immunomodulatory aspects and mechanisms of action. **Journal of Immunotoxicology**, v. 5, n. 1, p. 47–57, 2008. <https://doi.org/10.1080/15476910802019045>.

PATEL, S.; GOYAL, A. Current trends and future perspectives of prebiotic research: a review. **3 Biotech**, v. 2, p. 115–125, 2012. <https://doi.org/10.1007/s13205-012-0044-x>.

PIVA, G.; BELLADONA, S.; FUSCONI, G. Effects of yeast on dairy cow performance, ruminal fermentation, blood components, and milk manufacturing properties. **Journal of Dairy Sci.**, v. 76, p. 2717-2722, 1993. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77608-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77608-0).

PLAIZIER, J. C. *et al.* Subacute ruminal acidosis (SARA), endotoxins and health consequences. **Animal Feed Science and Technology**, v. 172, n. 1-2, p. 9-21, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.004>.

PLAZA-DIAZ, J. *et al.* Mecanismos de ação dos probióticos. **Advances in**

- Nutrition, v. 10, 2019. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy063>.
- PRICE, K. R.; JOHNSON, I. T.; FENWICK, G. R. The chemistry and biological significance of saponins in foods and feeding stuffs. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 26, p. 27–135, 1987. <https://doi.org/10.1080/10408398709527461>.
- RIBEIRO, J. *et al.* Sodium butyrate in growing and fattening diets for early-weaned rabbits. *World Rabbit Science*, v. 20, n. 4, p. 199-207, 2012. <https://doi.org/10.4995/wrs.2012.1233>.
- SANTURIO, J. M. Micotoxinas e micotoxicoses nos suínos. *Acta Scientiae Veterinariae*, v. 35, p. 51-58, 2007.
- SPRING, P. *et al.* Effects of dietary mannanoligosaccharides on cecal parameters and concentrations of enteric bacteria in the ceca of Salmonella-challenged broiler chickens. *Poultry Science*, v. 79, n. 2, p. 205-211, 2000. <https://doi.org/10.1093/ps/79.2.205>.
- SUN, J. *et al.* Influence of increasing levels of oregano essential oil on intestinal morphology, intestinal flora and performance of Sewa sheep. *Italian Journal of Animal Science*, v. 21, n. 1, p. 463-472, 2022. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2022.2048208>.
- TEDESCHI, L. O. *et al.* Nutritional aspects of ecologically relevant phytochemicals in ruminant production. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 8, p. 1-24, 2021. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.628445>.
- TONG, Z. *et al.* Biological function of plant tannin and its application in animal health. *Frontiers in Veterinary Science*, v. 8, 2022. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.803657>.
- UYENO, Y.; SHIGEMORI, S.; SHIMOSATO, T. Effect of probiotics/prebiotics on cattle health and productivity. *Microbes and Environments*, v. 30, n. 2, p. 126-132, 2015. <https://doi.org/10.1264/jsme2.ME14176>.
- VIEIRA, L. V. *et al.* Utilização de taninos como aditivo nutricional na dieta de ruminantes. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, v. 23, n. 1, 2020. <https://doi.org/10.25110/arqvet.v23i1cont.2020.8040>.
- VILA-DONAT, P. *et al.* A review of the mycotoxin adsorbing agents, with an emphasis on their multi-binding capacity, for animal feed decontamination. *Food and Chemical Toxicology*, v. 114, p. 246–259, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.044>.
- VLASOVA, A. N.; SAIF, L. J. Bovine immunology: implications for dairy cattle. *Frontiers in Immunology*, v. 12, p. 643206, 2021. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.643206>.
- WELLS, C. W. Effects of essential oils on economically important characteristics of ruminant species: a comprehensive review. *Animal Nutrition*, v. 16, p. 1-10, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.05.017>.

- YIANNIKOURIS, A.; JOUANY, J. P. Mycotoxins in feeds and their fate in animals: a review. **Animal Research**, v. 51, p. 81-99, 2002. <https://doi.org/10.1051/animres:2002012>.
- YUE, S. *et al.* Impact of feeding enzymatically hydrolyzed protein on rumen microbial population, blood metabolites and performance parameters of lactating dairy cows. **Pakistan Veterinary Journal**, v. 43, 2023. <https://doi.org/10.29261/pakvetj/2023.081>.
- ZHONG, H. *et al.* Sodium butyrate promotes gastrointestinal development of preweaning bull calves via inhibiting inflammation, balancing nutrient metabolism, and optimizing microbial community functions. **Animal Nutrition**, v. 14, p. 88-100, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.04.004>.
- ZHU, H. *et al.* Analysis of cow-calf microbiome transfer routes and microbiome diversity in the newborn Holstein dairy calf hindgut. **Frontiers in Nutrition**, v. 8, p. 736270, 2021. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.736270>.

Autores

Matheus Lehnhart de Moraes, Camila Ten Kathen Jung, Gilberto Vilmar Kozloski

Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.