

METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DE FORRAGEIRAS TROPICAIS NA MODULAÇÃO DA MICROBIOTA RUMINAL: IMPLICAÇÕES NA DIGESTIBILIDADE E EFICIÊNCIA PRODUTIVA

Ana Paula Rezende Ferreira¹, Clara de Queiroz Tavares¹, Vitória Morais Silveira Sousa¹, Mariane Cristina Schnitzler Villar², José Augusto Ferreira Perez Villar², Vinicius Valim Pereira¹.

¹Universidade Estadual de Minas Gerais, Divinópolis, Brasil (anaa.rf20@gmail.com)

²Universidade Federal de São João Del Rei, Divinópolis, Brasil

Resumo: O objetivo desta revisão foi analisar criticamente o papel dos metabólitos secundários de forrageiras tropicais na modulação da microbiota ruminal. Trata-se de uma revisão bibliográfica baseada em estudos experimentais e revisões científicas. Flavonoides e saponinas apresentaram efeitos mais seletivos sobre a microbiota, favorecendo a eficiência fermentativa, enquanto terpenos mostraram ação menos específica. *Moringa oleifera* e *Arachis pintoi* destacaram-se pelos efeitos mais favoráveis, enquanto *Melinis minutiflora* requer manejo criterioso. Os efeitos dependem da dose, da espécie e do contexto nutricional.

Palavras-chave: forrageiras tropicais; metabólitos secundários; microbiota ruminal; digestibilidade; fitoquímicos.

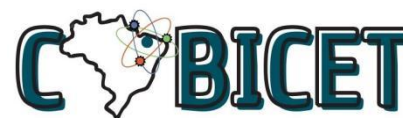
INTRODUÇÃO

A produção animal moderna enfrenta desafios crescentes relacionados à sustentabilidade, à eficiência produtiva e à segurança alimentar, especialmente diante da intensificação dos sistemas pecuários e da restrição ao uso de antibióticos como promotores de crescimento. O uso indiscriminado desses compostos tem sido associado ao aumento da resistência antimicrobiana, bem como a alterações na microbiota gastrointestinal, comprometendo o desempenho produtivo e representando riscos à saúde pública e ao ambiente (Patra e Saxena, 2010; Wallace et al., 2017). Nesse cenário, a busca por alternativas naturais capazes de modular a microbiota ruminal de forma eficiente e segura tem se intensificado.

A microbiota ruminal constitui um dos ecossistemas microbianos mais complexos e dinâmicos conhecidos, sendo composta por bactérias, protozoários, fungos anaeróbios e arqueas metanogênicas que atuam de forma integrada na degradação da biomassa vegetal (Hobson e Stewart, 1997; Flint et al., 2008). Esse consórcio microbiano é responsável pela fermentação de carboidratos estruturais, como celulose e hemicelulose, resultando na produção de ácidos graxos voláteis, além da síntese de proteína microbiana, essenciais para a nutrição dos ruminantes (Van Soest, 1994; Oliveira et al., 2016). A estabilidade desse sistema é altamente dependente das condições da dieta e pode ser alterada pela presença de compostos bioativos.

Nesse contexto, os metabólitos secundários de plantas têm sido amplamente investigados como moduladores da microbiota ruminal. Entre esses compostos destacam-se flavonoides, saponinas, taninos e terpenos, reconhecidos por sua capacidade de interagir com microrganismos ruminantes e influenciar a composição e a atividade microbiana (Makkar, 2003; Patra e Saxena, 2009). De modo geral, esses compostos podem exercer efeitos distintos sobre o ambiente ruminal, podendo tanto favorecer quanto comprometer a eficiência fermentativa, a depender de sua natureza e concentração.

Em sistemas pecuários tropicais, diversas forrageiras utilizadas na alimentação de ruminantes apresentam perfis fitoquímicos distintos, o que pode resultar em respostas variadas no ambiente ruminal. Espécies como *Moringa oleifera*, *Melinis minutiflora*, *Pennisetum purpureum*, *Cajanus cajan*, *Stylosanthes spp.*, *Arachis pintoi* e *Urochloa decumbens* têm sido frequentemente estudadas nesse contexto, destacando-se não apenas pelo valor nutricional, mas também pela presença de compostos bioativos. Ressalta-se que o gênero *Brachiaria* foi revisado com base em estudos filogenéticos recentes, sendo a maioria de suas espécies reclassificada como *Urochloa*, denominação adotada neste trabalho, embora *Brachiaria* ainda seja amplamente utilizada na literatura.



Os efeitos desses metabólitos não são uniformes e dependem de fatores como concentração, composição química, tipo de dieta e grau de adaptação microbiana. Além disso, grande parte dos estudos disponíveis foi conduzida em condições in vitro, o que limita a extrapolação dos resultados para sistemas produtivos mais complexos (Jayanegara et al., 2012; Wallace et al., 2017).

Assim, a presente revisão bibliográfica tem como objetivo analisar criticamente o papel dos metabólitos secundários de forrageiras tropicais na modulação da microbiota ruminal, com ênfase em seus efeitos antimicrobianos, na digestibilidade da fibra e na eficiência produtiva. Hipotetiza-se que diferentes classes de compostos exercem efeitos distintos sobre a microbiota, podendo favorecer ou comprometer a fermentação ruminal, dependendo da espécie vegetal, da concentração e do contexto nutricional.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de natureza qualitativa, descritiva e exploratória, com o objetivo de reunir, analisar e interpretar criticamente as evidências científicas sobre a atuação de metabólitos secundários de forrageiras tropicais na modulação da microbiota ruminal e na digestibilidade da fibra. Essa abordagem permite sintetizar o conhecimento disponível, identificar convergências e divergências entre estudos e apontar lacunas relevantes para futuras investigações (Gil, 2008; Pereira et al., 2018).

A busca bibliográfica foi conduzida de forma sistematizada em bases de dados científicas de ampla cobertura, incluindo Scopus, Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar. A estratégia de busca, seleção e elegibilidade dos estudos foi inspirada nas diretrizes do PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptadas à natureza desta revisão.

Foram utilizados descritores em português e inglês, como “metabólitos secundários”, “microbiota ruminal”, “rumen microbiota”, “plant secondary metabolites”, “tropical forages”, “fiber digestibility” e “ruminal fermentation”, combinados por operadores booleanos para ampliar a sensibilidade e refinar a especificidade da busca (Kitchenham, 2004). Sempre que disponível, aplicaram-se filtros relacionados ao período de publicação, tipo de documento, espécie animal (ruminantes) e idioma.

Adicionalmente, buscou-se garantir a abrangência e a atualidade das informações por meio da análise das referências citadas nos estudos selecionados, estratégia conhecida como “snowballing”, permitindo a identificação de trabalhos relevantes não recuperados na busca inicial. Esse procedimento contribuiu para ampliar a consistência da revisão e reduzir possíveis vieses de seleção.

Foram priorizados artigos publicados a partir dos anos 2000, considerando o avanço das técnicas analíticas aplicadas ao estudo da microbiota ruminal. No entanto, estudos clássicos foram incluídos quando considerados essenciais para a compreensão do tema (Patra e Saxena, 2010). Foram contemplados estudos in vitro, in situ e in vivo, além de revisões e meta-análises diretamente relacionadas ao tema.

Os critérios de inclusão abrangeram estudos que apresentassem dados sobre atividade antimicrobiana, modulação da microbiota ruminal, parâmetros fermentativos ou digestibilidade da fibra. Deu-se ênfase a trabalhos envolvendo forrageiras tropicais de relevância produtiva, como *Moringa oleífera*, *Melinis minutiflora*, *Pennisetum purpureum*, *Cajanus cajan*, *Stylosanthes spp.*, *Arachis pintoi* e *Uroclhoa decumbens*, considerando também aspectos metodológicos como delineamento experimental, número de repetições e adequação das análises estatísticas.

Foram excluídos estudos sem relação direta com o tema, publicações duplicadas, resumos sem texto completo disponível e trabalhos com descrição metodológica insuficiente. Em casos de dúvida quanto à elegibilidade, os estudos foram mantidos para análise posterior.

Foram identificados 97 estudos nas bases consultadas. Após a remoção de duplicatas e aplicação dos critérios de elegibilidade, 34 artigos foram incluídos na análise final. O processo de seleção ocorreu em três etapas: (i) triagem por títulos, (ii) leitura de resumos e (iii) leitura integral dos artigos potencialmente relevantes, com confirmação dos critérios de inclusão e exclusão e avaliação da consistência metodológica. O detalhamento desse processo encontra-se representado na Figura 1.

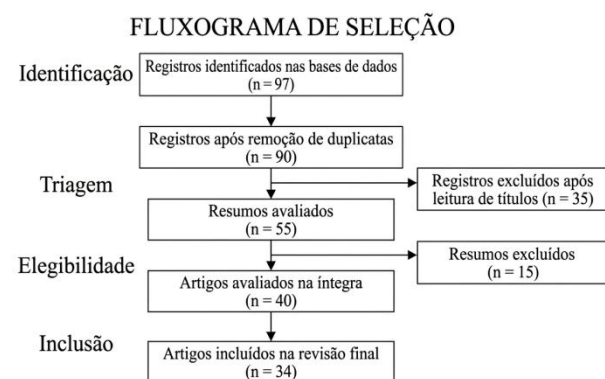
Após a seleção final, os dados foram organizados em categorias analíticas, considerando o tipo de metabólito secundário, a espécie forrageira, o modelo experimental e os principais efeitos sobre a microbiota e a fermentação ruminal. Sempre que possível, foram registrados dados adicionais, como dose, forma de fornecimento e duração dos experimentos.

Como etapa complementar, buscou-se avaliar criticamente a qualidade dos estudos incluídos, considerando aspectos como consistência dos resultados, clareza metodológica e coerência entre objetivos e conclusões. Embora não tenha sido realizada uma avaliação formal de risco de viés, essa análise contribuiu para a interpretação mais criteriosa das evidências disponíveis.

A análise foi conduzida de forma qualitativa e interpretativa, com foco na identificação de padrões de resposta e na comparação entre estudos, considerando as diferenças entre ensaios *in vitro* e *in vivo* e suas implicações na extrapolação dos resultados.

Por fim, foram identificadas lacunas na literatura, incluindo a escassez de estudos de longa duração em condições de campo e a variabilidade na composição química das forrageiras. Tais aspectos foram considerados na interpretação dos resultados e na proposição de direções para pesquisas futuras.

Ressalta-se que o número de artigos incluídos refere-se exclusivamente aos estudos selecionados para análise sistemática, não correspondendo ao total de referências utilizadas ao longo do trabalho, que incluem também fontes de fundamentação teórica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 1 — Fluxograma de seleção dos estudos incluídos na revisão, baseado nas diretrizes do PRISMA

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Revisões recentes apontam que a microbiota ruminal constitui um dos sistemas biológicos mais complexos e sensíveis dos animais domésticos. Trata-se de um consórcio organizado de bactérias, protozoários, fungos anaeróbios e arqueas metanogênicas, essa interação simbiótica determina, em grande medida, o aproveitamento dos nutrientes da dieta pelo animal.

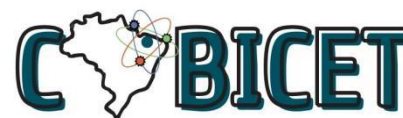
Esses microrganismos atuam de forma sinérgica na degradação de carboidratos estruturais, especialmente celulose e hemicelulose, viabilizando a conversão da biomassa vegetal em energia metabolizável para os ruminantes (Hobson; Stewart, 1997; Flint et al., 2008; Oliveira et al., 2016).

A manutenção do equilíbrio ecológico no rúmen é fundamental para um processo fermentativo eficiente. Fatores como pH, composição da dieta, tipo e oferta de fibra, além da presença de compostos bioativos, influenciam diretamente a estrutura da comunidade microbiana e, consequentemente, a digestibilidade dos alimentos (McSweeney et al., 2001; Russell; Rychlik, 2001). Assim, é possível deduzir que pequenas alterações na dieta podem modificar rapidamente a eficiência do sistema, impactando desempenho, saúde ruminal e emissão de gases.

Nesse cenário, metabólitos secundários como flavonoides, saponinas, taninos e terpenos vêm recebendo atenção não apenas como mecanismos de defesa vegetal, mas também pelo seu potencial de modular a microbiota ruminal. Esses compostos apresentam mecanismos de ação distintos e por vezes sobrepostos, que abrangem desde danos físicos às membranas celulares até interferência em rotas metabólicas e inibição de enzimas-chave (Patra; Saxena, 2010; Wallace et al., 2017). A resposta da microbiota é multifatorial, variando de acordo com dose, estrutura química, forma de inclusão na dieta, tempo de exposição e capacidade adaptativa das comunidades microbianas (Benchaar et al., 2008; Jayanegara et al., 2012).

A plasticidade da microbiota ruminal é um aspecto central neste contexto. Diante da exposição contínua a compostos bioativos, as populações microbianas tendem a se reorganizar, ajustando sua composição e seu arsenal enzimático para manter a fermentação, mesmo que em novos patamares de eficiência. Esse processo é gradual: em sistemas de pastagens tropicais, marcados por grande variação nutricional ao longo do ano, a estabilização pode demandar semanas ou meses (Czerkawski, 1986; Wanapat et al., 2013). A dinâmica explica por que estudos de curta duração frequentemente reportam efeitos marcantes dos metabólitos secundários, enquanto avaliações prolongadas tendem a mostrar respostas mais discretas ou variáveis.

A distinção funcional entre gramíneas e leguminosas fica evidente ao se analisar sua composição fitoquímica e os reflexos sobre a digestão, além da fermentação ruminal. *Melinis minutiflora*, por exemplo, evidencia-se pela elevada produção de biomassa e boa adaptação a ambientes tropicais, mas também pelo teor elevado de terpenos voláteis, cuja



ação antimicrobiana está associada à alteração da permeabilidade das membranas microbianas (Bakkali et al., 2008). Embora esse efeito possa ser desejável na redução de patógenos, a baixa seletividade dos terpenos afeta também bactérias celulolíticas, essenciais para a degradação da parede celular vegetal. Resultados experimentais apontam que, sob maior exposição a esses compostos, a digestibilidade da fração fibrosa pode ser reduzida em até 25%, comprometendo a disponibilidade energética para o animal (Carro et al., 2017; Carvalho et al., 2019). Tal queda está relacionada à inibição de enzimas como endoglucanases e exoglucanases, diretamente envolvidas na quebra de celulose e outros polissacarídeos estruturais (Bhat et al., 2013).

Em contraste, *Moringa oleifera* apresenta um perfil fitoquímico distinto, com predomínio de flavonoides, saponinas e outros compostos fenólicos. Ao invés de uma ação ampla e pouco seletiva, como ocorre com os terpenos, os compostos presentes na moringa tendem a modular a microbiota de maneira mais direcionada. Flavonoides como quercetina e kaempferol atuam em sistemas enzimáticos intracelulares, induzindo estresse oxidativo em microrganismos específicos, enquanto saponinas interagem com esteróis de membrana, promovendo lise de protozoários (Cushnie; Lamb, 2011; Patra; Saxena, 2009). Estudos em condições tropicais mostram que a inclusão de *Moringa oleifera* na dieta pode elevar a digestibilidade da matéria seca em até 12% e promover ganhos de peso, mantendo a atividade das bactérias celulolíticas (Santos et al., 2020; Costa et al., 2021). Em alguns estudos, observa-se ainda melhoria no perfil de ácidos graxos voláteis, com aumento relativo de propionato, favorecendo a eficiência energética.

Evidências recentes baseadas em abordagens quimioinformáticas reforçam essa relação entre estrutura química e atividade biológica. Leguminosas rasteiras e arbustivas, como *Arachis pintoi*, *Cajanus cajan* e espécies de *Stylosanthes*, agregam complexidade ao sistema devido ao teor mais elevado de taninos e outros fenólicos. Esses compostos podem aumentar a eficiência de utilização da proteína da dieta em concentrações moderadas, ao reduzir a degradação proteica no rúmen e aumentar o fluxo de proteína não degradada ao intestino (Min et al., 2003; Cabral et al., 2011). Mas em doses elevadas, formam complexos de difícil degradação com proteínas e carboidratos, reduzindo a digestibilidade da fibra e impactando negativamente o desempenho animal (Getachew et al., 2000; Vieira et al., 2020). De maneira geral, *Arachis pintoi* apresenta efeitos favoráveis, especialmente em consórcio com gramíneas tropicais, enquanto *Stylosanthes* spp. contribui para a estabilidade

produtiva em ambientes adversos (Barcellos et al., 2008; Euclides et al., 2014). *Cajanus cajan* oferece bom teor de proteína, mas exige atenção no manejo do teor de taninos.

Entre os compostos bioativos, destacam-se as saponinas presentes em *Urochloa decumbens* e *Moringa oleifera*, as quais apresentam reconhecida atividade antiprotozoária, promovendo reduções consistentes nas populações de protozoários ruminais (Wina et al., 2005; Pedreira et al., 2018). No caso de *Urochloa decumbens*, ressalta-se ainda a ocorrência de saponinas esteroidais, como a protodioscina, classicamente associadas à fotossensibilização hepatógena em bovinos, em decorrência de alterações hepáticas que comprometem a excreção de metabólitos fotodinâmicos (Riet-Correa et al., 2011; Lemos et al., 1996; Dremaier et al., 1997; Fioravanti et al., 2007). A redução da população de protozoários tende a resultar em maior eficiência na utilização do nitrogênio no rúmen, podendo também contribuir para a mitigação da produção de metano, em função da estreita associação simbiótica entre protozoários e arqueias metanogênicas (Newbold et al., 2015). Entretanto, a supressão acentuada desses microrganismos pode implicar alterações na dinâmica da microbiota ruminal, com potenciais efeitos sobre a reciclagem de compostos nitrogenados e a regulação das populações bacterianas (Detmann et al., 2010).

No caso de *Pennisetum purpureum* cv. Roxo, o destaque reside em sua função como fonte de fibra estrutural, com elevada produtividade e padrão relativamente estável de digestibilidade, favorecendo a mastigação, a ruminação e a estabilização do pH ruminal (Pereira et al., 2016). Além disso, o adequado fornecimento de fibra fisicamente efetiva contribui para o estímulo da salivação, promovendo maior tamponamento do ambiente ruminal e prevenindo distúrbios fermentativos, como a acidose. Esse efeito é particularmente relevante em dietas com maior proporção de concentrado, nas quais a manutenção da integridade do ambiente ruminal se torna um fator crítico para o desempenho animal. Adicionalmente, a presença de frações fibrosas bem estruturadas favorece o desenvolvimento e a atividade de bactérias celulolíticas, essenciais para a degradação eficiente da parede celular vegetal. Embora não se destaque pelo teor de metabólitos secundários com ação antimicrobiana direta, sua contribuição indireta para o equilíbrio microbiano é significativa, ao sustentar condições físico-químicas adequadas para a fermentação. Dessa forma, *Pennisetum purpureum* cv. Roxo exerce papel complementar importante em sistemas que incluem forrageiras com compostos bioativos, atuando como base estrutural da dieta.

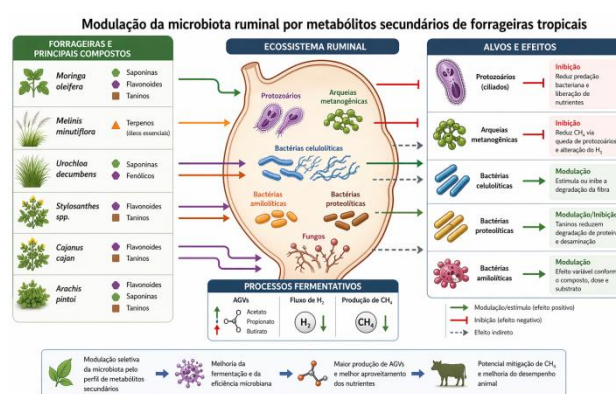
A maioria dos estudos mostra que a digestibilidade da fibra é um dos principais pontos sensíveis à ação dos metabólitos secundários. Compostos fenólicos e terpenos, em níveis elevados, podem reduzir a atividade de enzimas celulolíticas e comprometer a produção de ácidos graxos voláteis, sobretudo acetato, especialmente em pastagens de menor qualidade (Ladeira et al., 2001; Veloso et al., 2000; McSweeney et al., 2001). O uso combinado de gramíneas e leguminosas tende a suavizar esses efeitos, promovendo maior equilíbrio entre compostos bioativos e microbiota, e favorecendo desempenho animal (Patra, 2010; Benchaar et al., 2008). Assim, o impacto dos metabólitos secundários sobre a microbiota e a digestibilidade depende do contexto, das espécies forrageiras, da proporção na dieta e do tempo de adaptação do sistema ruminal.

Além disso, análises do espaço químico de terpenos indicam que compostos com maior potencial antimetanogênico ocupam regiões específicas associadas a faixas intermediárias de massa molecular e elevada lipofilicidade, características que promovem sua interação com a microbiota ruminal e ajudam a explicar a variabilidade de respostas observadas em diferentes sistemas (PEREIRA et al., 2026).

A mitigação do metano entérico constitui um eixo central nas estratégias de intensificação sustentável da pecuária, em consonância com compromissos climáticos assumidos pelo Brasil e operacionalizados por políticas públicas como o Plano ABC+ (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). O metano (CH_4), principal subproduto da fermentação entérica, apresenta elevado potencial de aquecimento global, sendo sua redução considerada prioritária no contexto das emissões agropecuárias. Desta forma, a modulação da microbiota ruminal por meio do uso de forrageiras contendo metabólitos secundários surge como abordagem promissora, uma vez que pode alterar vias fermentativas, reduzir a população de microrganismos metanogênicos e redirecionar o fluxo de hidrogênio para rotas alternativas, como a produção de propionato. Tais efeitos, entretanto, não são uniformes e dependem da natureza química dos compostos, da composição da dieta e do grau de adaptação dos animais. Assim, a adoção de estratégias nutricionais baseadas em forrageiras tropicais bioativas, quando integrada a boas práticas de manejo e sistemas produtivos eficientes, pode contribuir de forma consistente para a redução das emissões de metano entérico, alinhando produtividade e sustentabilidade no âmbito dos compromissos climáticos nacionais.

Os mecanismos de ação dos metabólitos secundários sobre a microbiota ruminal estão sintetizados na

Figura 2. De modo geral, compostos fenólicos, saponinas e terpenos atuam por diferentes vias, incluindo a modulação seletiva de populações microbianas, a inibição de microrganismos específicos e a alteração de rotas fermentativas. Na representação, setas contínuas indicam efeitos de estímulo ou modulação positiva, enquanto setas com sinal negativo representam efeitos inibitórios sobre grupos microbianos ou processos metabólicos. Observa-se que saponinas, como as presentes em *Urochloa decumbens* e *Moringa oleifera*, estão associadas à redução de protozoários e, indiretamente, de arqueias metanogênicas, ao passo que compostos fenólicos tendem a modular a atividade bacteriana e a degradação de proteínas. Por outro lado, terpenos, predominantes em *Melinis minutiflora*, apresentam ação antimicrobiana mais ampla, podendo afetar negativamente bactérias celulolíticas e a digestibilidade da fibra. Esses efeitos combinados resultam em alterações na produção de ácidos graxos voláteis e na eficiência fermentativa do rúmen.



Fonte: Wina et al. (2005); McSweeney et al. (2001); Patra (2010); Benchaar et al. (2008); Newbold et al. (2015); Kumar et al. (2014); Min et al. (2003).

Fonte: Elaborado pelos autores.

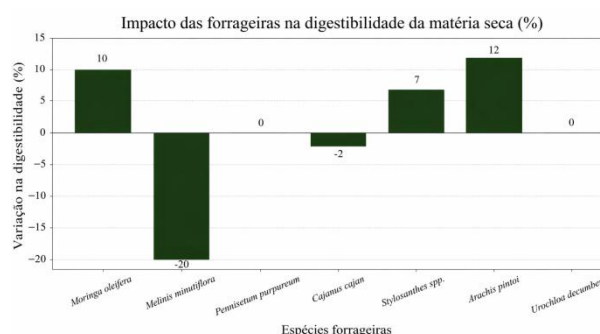
Figura 2. Mecanismos de ação dos metabólitos secundários de forrageiras tropicais (*Moringa oleifera*, *Melinis minutiflora*, *Urochloa decumbens*, *Stylosanthes spp.*, *Cajanus cajan* e *Arachis pintoi*) na modulação da microbiota ruminal. A representação esquemática integra diferentes perfis fitoquímicos e seus efeitos sobre bactérias, protozoários e processos fermentativos no rúmen. Setas contínuas indicam efeitos de modulação/estímulo, enquanto setas com sinal negativo indicam inibição de grupos microbianos ou vias metabólicas. Os mecanismos representados incluem redução de protozoários, modulação de bactérias celulolíticas, alterações na produção de ácidos graxos voláteis e potencial mitigação de metano. Fonte: Elaborado pelos autores com base em Wina et al. (2005), McSweeney et al. (2001), Patra (2010), Benchaar et al. (2008) e Newbold et al. (2015).

É importante enfatizar que os efeitos dos metabólitos secundários sobre a microbiota ruminal não são uniformes e dificilmente podem ser tratados como regra geral. A resposta biológica resulta de uma

combinação complexa de fatores, incluindo a espécie vegetal de origem, a natureza e concentração dos compostos, o grau de adaptação da microbiota, e as condições ambientais e de manejo. Um mesmo metabólito pode ter consequências bastante distintas, dependendo, por exemplo, do arranjo forrageiro, do nível de inclusão na dieta e do histórico alimentar do rebanho. Então, interações entre diferentes metabólitos presentes simultaneamente na dieta podem gerar efeitos sinérgicos ou antagônicos, ampliando ainda mais a variabilidade das respostas observadas. A dinâmica de ingestão dos animais, associada à seletividade no pastejo, também pode influenciar a exposição real aos compostos bioativos, dificultando a padronização dos efeitos. Soma-se a isso a capacidade adaptativa das populações microbianas, que podem modificar sua estrutura e função ao longo do tempo, ajustando-se à presença desses compostos. Dessa forma, a interpretação dos efeitos deve considerar não apenas os componentes isolados, mas o sistema como um todo, em uma abordagem integrada e contextualizada.

No âmbito prático, trabalhos recentes têm demonstrado que *Moringa oleifera* e *Arachis pintoi* tendem a apresentar efeitos mais favoráveis, seja pelo incremento na digestibilidade da matéria seca, ou pela maior eficiência de utilização de nutrientes e pela modulação mais seletiva da microbiota. Essas informações reforçam o potencial de *Moringa oleifera* e *Arachis pintoi* como alternativas promissoras na alimentação animal. Os efeitos observados sobre a digestibilidade e a eficiência nutricional sugerem ganhos produtivos e melhor aproveitamento dos recursos.

Além disso, a modulação mais seletiva da microbiota indica possíveis benefícios à saúde ruminal. Ainda assim, são necessários estudos de longo prazo para confirmar a consistência desses resultados em diferentes sistemas de produção. Esses benefícios são atribuídos ao perfil fitoquímico equilibrado dessas espécies, com teores moderados de flavonoides, saponinas e taninos, que proporcionam ajuste fino da atividade microbiana sem comprometer as funções essenciais do rúmen. Em contraste, *Melinis minutiflora*, embora reconhecida pela alta produtividade de biomassa e adaptação ao clima tropical, pode representar um desafio maior. O predomínio de terpenos voláteis no seu perfil químico exige manejo criterioso, pois a inclusão excessiva dessa gramínea na dieta pode comprometer a digestibilidade da fibra devido à ação pouco seletiva dos metabólitos sobre microrganismos celulolíticos.



Fonte: Dados compilados da literatura (Santos et al., 2020; Costa et al., 2021; Carro et al., 2017; Carvalho et al., 2019; Barcellos et al., 2008; Euclides et al., 2014).

Figura 3. Variação na digestibilidade da matéria seca em função do uso de diferentes forrageiras tropicais contendo metabólitos secundários. Os valores são expressos como variação percentual (%) em relação a um tratamento controle (0%), correspondente a uma dieta basal sem a inclusão das forrageiras avaliadas, composta predominantemente por volumoso convencional (ex.: capim-elefante, *Pennisetum purpureum*) associado a concentrado padrão (milho e farelo de soja). Os dados foram compilados da literatura citada na fonte e apresentados como média ponderada pelo número de observações (n) de cada estudo. Eixo X: espécies forrageiras tropicais; eixo Y: variação percentual na digestibilidade da matéria seca (%).

Essas informações reforçam que a avaliação do potencial das forrageiras tropicais deve considerar o contexto de uso, a composição da dieta e o manejo empregado para explorar ao máximo os efeitos positivos e minimizar possíveis prejuízos ao desempenho animal.

A maioria das pesquisas foi desenvolvida em sistemas in vitro, os quais, embora fundamentais para esclarecer mecanismos de ação e testar diferentes doses e combinações, não reproduzem fielmente a complexidade dos sistemas de produção em campo. Em condições reais, fatores como a adaptação gradual da microbiota, variações sazonais na oferta e qualidade das forrageiras, diferenças no manejo e a interação com outros ingredientes da dieta podem modificar substancialmente a resposta dos animais. Assim, a extrapolação dos resultados laboratoriais para a prática deve ser feita com cautela, e há consenso na literatura sobre a necessidade de ampliar estudos in vivo, com duração adequada e conduzidos em ambientes tropicais, para validar o real potencial dos metabólitos secundários em sistemas produtivos (Benchaar et al., 2008; Jayanegara et al., 2012).

A Tabela 1 apresenta de forma sintetizada os principais resultados dos estudos analisados, evidenciando a expressiva variabilidade na resposta da microbiota ruminal frente aos diferentes

metabólitos secundários presentes em espécies forrageiras tropicais. Em vez de um padrão único e previsível, os dados revelam um mosaico de efeitos, desde ganhos em digestibilidade e eficiência de utilização de nutrientes até reduções consideráveis na degradação da fibra, dependendo da espécie, do composto predominante e da dose utilizada. Deve-se ressaltar, contudo, que os valores apresentados correspondem a faixas observadas sob diferentes condições experimentais, sendo fortemente influenciados por fatores como manejo da pastagem, fertilidade do solo, regime hídrico, estágio de maturidade das plantas e nível de inclusão na dieta. Em sistemas extensivos ou sob baixa fertilização, tanto a produção de matéria seca quanto os efeitos positivos sobre a digestibilidade tendem a ser inferiores aos aqui reportados. Adicionalmente, espécies com elevado teor de metabólitos secundários, como *Melinis minutiflora*, apresentam maior variabilidade de resposta, sendo os efeitos negativos sobre a digestibilidade frequentemente mais pronunciados.

Tabela 1. Comparação integrada entre forrageiras tropicais e seus efeitos ruminais.

Forrageira	MS (t/ha/ano)	Protozoários (%)	Digestibilidade (%)	Efeito predominante	Referências principais
<i>Moringa oleifera</i>	10 - 20	↓30 - 50	+5 a +10	Modulação positiva	Makkar & Becker (1997); Costa et al. (2021)
<i>Melinis minutiflora</i>	20 - 40	↓20 - 40	-10 a +5	Inibição não seletiva	Carro et al. (2017); Bakkali et al. (2008)
<i>Cajanus cajan</i>	5 - 12	↓10 - 30	-10 a +5	Proteção proteica	Cabral et al. (2011)
<i>Stylosanthes spp.</i>	4 - 10	↓15 - 25	+5 a +10	Estabilidade	Barcellos et al. (2008)
<i>Arachis pintoi</i>	3 - 8	baixo	+10 a +15	Alta digestibilidade	Santos et al. (2020); Costa et al. (2021)
<i>Pennisetum purpureum</i>	20 - 30	nulo	estável	Base fibrosa	Pereira et al. (2016)

Fonte: Compilado pelos autores com base em Makkar e Becker (1997), Bakkali et al. (2008), Cabral et al. (2011), Pereira et al. (2016), Carro et al. (2017), Santos et al. (2020) e Costa et al. (2021).

A análise integrada desses dados mostra que compostos como flavonoides e saponinas frequentemente promovem ajustes mais seletivos na comunidade microbiana, favorecendo grupos específicos de microrganismos e, consequentemente, melhorando o aproveitamento dos nutrientes. Por outro lado, terpenos e alguns taninos, principalmente em concentrações elevadas, estão associados à

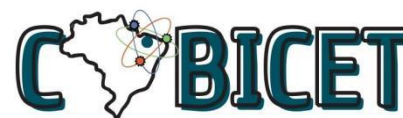
redução da atividade de bactérias celulolíticas, o que pode comprometer a digestibilidade da fibra. Essas diferenças ajudam a elucidar porque espécies forrageiras agronomicamente semelhantes podem gerar respostas tão distintas no ambiente ruminal.

Outro aspecto importante ressaltado pela tabela é o papel do modelo experimental e do contexto de uso. Ensaios conduzidos in vitro tendem a registrar respostas mais extremas, tanto positivas quanto negativas, do que estudos in vivo, nos quais a adaptação gradual da microbiota, as variações sazonais da dieta e as condições reais de manejo costumam suavizar os efeitos observados em laboratório. Assim, a síntese apresentada reforça a necessidade de cautela na extrapolação dos resultados, valorizando abordagens que considerem a espécie forrageira, o contexto produtivo e o histórico alimentar dos animais.

A utilização de metabólitos secundários como estratégia de modulação da microbiota ruminal deve ser pensada dentro de uma abordagem integrada de manejo nutricional. Não basta identificar a presença de taninos, saponinas ou flavonoides em determinada planta; é fundamental compreender como esses compostos interagem com a dieta como um todo, com a microbiota já estabelecida e com as condições de criação (Detmann et al., 2014; Wallace et al., 2017).

Nesse contexto, sistemas consorciados entre gramíneas e leguminosas despontam como alternativa promissora. Ao combinar espécies com perfis fitoquímicos distintos, é possível equilibrar efeitos positivos e negativos dos metabólitos secundários, reduzindo riscos de perdas proteicas ou de queda na digestibilidade da fibra. Gramíneas estruturais contribuem com fibra efetiva e estabilidade fermentativa, enquanto leguminosas ricas em compostos bioativos colaboram para melhorar o aproveitamento proteico, modular grupos microbianos específicos e, em certos casos, contribuir para a mitigação das emissões de metano. Quando bem planejadas, essas associações favorecem um equilíbrio produtivo, ruminal e ambiental.

A escolha das forrageiras vai além da decisão agrônoma e passa a exigir atenção à composição fitoquímica e ao perfil de metabólitos secundários de cada espécie. Informações sobre teor e tipo de taninos, presença de saponinas, flavonoides ou terpenos, assim como sua variação sazonal e sob diferentes manejos, tornam-se ferramentas estratégicas para ajustar a oferta de volumosos e formular dietas mais eficientes, produtivas e



sustentáveis (Detmann et al., 2014; Valadares Filho; Pina, 2011; Patra, 2010; Wallace et al., 2017).

A modulação da microbiota por compostos bioativos também permite explorar efeitos sinérgicos, como a redução controlada de protozoários, que normalmente resulta em menor emissão de metano e maior eficiência na utilização da proteína microbiana (Newbold et al., 2015; Wanapat et al., 2013). Se realizada de forma gradual e considerando o tempo de adaptação da microbiota, é possível minimizar perdas energéticas ou proteicas sem comprometer a fermentação da fibra.

Estratégias de consorciação que combinam leguminosas ricas em taninos condensados com gramíneas de boa estrutura ilustram esse potencial: taninos podem limitar a degradação excessiva de proteína no rúmen, enquanto a fibra física adequada mantém a mastigação, a ruminação e o pH estáveis. Essa complementaridade favorece não apenas o ganho de peso e a produção de leite, mas também práticas de produção animal mais alinhadas com a sustentabilidade, particularmente em regiões tropicais. Além do mais, esses sistemas consorciados contribuem para diversificar e estabilizar a oferta de nutrientes ao longo do ano, diminuindo os impactos de variações sazonais e promovendo maior resiliência dos sistemas produtivos. A utilização conjunta de diferentes espécies também pode reduzir a incidência de distúrbios metabólicos e favorecer uma melhor adaptação dos animais às condições ambientais, refletindo em desempenho mais consistente e menor necessidade de intervenções externas. Assim, o manejo integrado de forrageiras emerge como uma estratégia chave para otimizar a eficiência do uso dos recursos naturais, com benefícios diretos tanto para a produtividade quanto para a sustentabilidade ambiental.

Logo, o avanço no entendimento dos efeitos dos metabólitos secundários, aliado à caracterização enzimática e à análise da resposta microbiana, oferece base sólida para o desenvolvimento de sistemas alimentares mais eficientes e menos dependentes de insumos externos. O uso racional da diversidade vegetal disponível nos ambientes tropicais e subtropicais passa a ser visto não apenas como um recurso para aumentar a oferta de forragem, mas como estratégia integrada para nutrir o animal, preservando sua saúde ruminal e mitigando impactos ambientais adversos. Tal abordagem permite explorar de forma mais estratégica as interações entre espécies, potencializando efeitos sinérgicos e reduzindo riscos de antagonismos nutricionais, o que é extremamente benéfico em sistemas tropicais de produção animal, nos quais a variabilidade climática e forrageira exerce forte influência sobre o desempenho

produtivo. Além disso, incentiva a adoção de práticas agropecuárias mais sustentáveis, capazes de harmonizar produtividade com conservação dos recursos naturais e bem-estar animal. Nesse contexto, o manejo integrado de forrageiras com diferentes perfis fitoquímicos contribui para maior estabilidade funcional da microbiota ruminal e melhor aproveitamento dos nutrientes ao longo do tempo. Assim, a integração entre conhecimento científico e manejo prático torna-se fundamental para a construção de modelos de produção mais resilientes, eficientes e ambientalmente responsáveis.

CONCLUSÃO

Esta revisão permitiu analisar criticamente o papel dos metabólitos secundários de forrageiras tropicais na modulação da microbiota ruminal, evidenciando que seus efeitos antimicrobianos não são uniformes, mas condicionados à classe química, à dose e ao contexto nutricional. De modo consistente, compostos como flavonoides e saponinas apresentam ação mais seletiva sobre a microbiota, contribuindo para o equilíbrio entre populações microbianas, com reflexos positivos na digestibilidade da fibra e no aproveitamento do nitrogênio. Em contraste, terpenos demonstram atividade antimicrobiana mais ampla e menos específica, podendo comprometer microrganismos benéficos e reduzir a eficiência fermentativa quando utilizados em níveis elevados.

A análise comparativa das espécies forrageiras indica uma hierarquia clara de resposta. *Moringa oleífera* e *Arachis pinto* evidenciam-se pelos efeitos mais consistentes e favoráveis, associando modulação seletiva da microbiota a melhorias nos parâmetros fermentativos e na digestibilidade. *Cajanus cajan* e *Stylosanthes spp.* apresentam efeitos intermediários, sobretudo relacionados à presença de compostos fenólicos e à proteção parcial de nutrientes. Por outro lado, *Melinis minutiflora* demanda maior cautela, uma vez que seu perfil rico em terpenos está associado a efeitos menos seletivos, com potencial impacto negativo sobre a degradação da fibra.

No que se refere à robustez das evidências, a principal limitação identificada é a predominância de estudos conduzidos em condições *in vitro*. Embora esses modelos permitam maior controle experimental e compreensão dos mecanismos de ação, sua capacidade de representar a complexidade do ambiente ruminal *in vivo* é limitada, especialmente quanto à adaptação microbiana, interações dietéticas e variações associadas ao manejo.

Sob a perspectiva aplicada, os resultados indicam que o uso de metabólitos secundários pode contribuir

para a melhoria da eficiência nutricional em ruminantes, desde que sua utilização seja orientada por critérios técnicos, considerando a espécie vegetal, o perfil fitoquímico e o nível de inclusão na dieta. A adoção indiscriminada, por outro lado, pode resultar em efeitos antagônicos, reforçando a necessidade de abordagens baseadas em evidências. Nesse contexto, abordagens de quimiointormática emergem como ferramentas promissoras para a triagem e caracterização de compostos bioativos, permitindo relacionar propriedades estruturais, como massa molecular, lipofilicidade e similaridade química, com seus efeitos potenciais sobre a microbiota ruminal, favorecendo estratégias mais racionais e eficientes de uso desses compostos na nutrição de ruminantes.

Conclui-se que os metabólitos secundários constituem moduladores determinantes da microbiota ruminal, com implicações diretas sobre a digestibilidade e a eficiência produtiva. Em termos aplicados, recomenda-se, para sistemas pecuários baseados em *Urochloa* no Cerrado brasileiro, a adoção de consórcios com leguminosas tropicais, notadamente *Arachis pintoi*, como estratégia de modulação seletiva da microbiota e de estabilização dos padrões fermentativos. Tal abordagem deve ser sistematicamente integrada ao monitoramento sazonal do perfil fitoquímico das forrageiras, bem como ao ajuste dinâmico dos níveis de inclusão na dieta, considerando variações na concentração e na composição dos metabólitos bioativos. Adicionalmente, a incorporação de ferramentas analíticas, incluindo abordagens de quimiointormática e caracterização estrutural de compostos, pode subsidiar a predição de respostas biológicas e a tomada de decisão em nível de sistema. Esse direcionamento permite avançar de uma perspectiva descritiva para um manejo nutricional orientado por mecanismos, com maior previsibilidade dos efeitos sobre a microbiota ruminal e sobre o desempenho animal em condições tropicais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas do GNAFOR – Grupo de Pesquisa em Nutrição Animal e Forragicultura, pelas discussões, sugestões e estímulo constante, que contribuem diariamente para nosso trabalho. Registramos também nossa gratidão à Universidade Estadual de Minas Gerais pelo apoio institucional, pelo ambiente acadêmico propício à pesquisa e pela oportunidade de desenvolvimento científico.

REFERÊNCIAS

ANWAR, F.; LATIF, S.; ASHRAF, M.; GILANI, A. H. *Moringa oleifera*: a food plant with multiple

medicinal uses. *Phytotherapy Research*, v. 21, p. 17–25, 2007. <https://doi.org/10.1002/ptr.2023>

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils: a review. *Food and Chemical Toxicology*, v. 46, n. 2, p. 446–475, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>

BARCELLOS, A. O.; VILELA, L.; LUPATINI, G. C. Sustentabilidade de sistemas de produção animal em pastagens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, p. 52–60, 2008.

BAYER, E. A.; LAMED, R.; WHITE, B. A.; FLINT, H. J. From cellulosomes to cellulosomes. *Chemical Record*, v. 8, p. 364–377, 2008.

BENCHAAAR, C.; CALSAMIGLIA, S.; CHAVES, A. V.; et al. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, v. 145, p. 209–228, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014>

BENCHAAAR, C.; GREATHEAD, H. Essential oils and methane mitigation in ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, v. 166–167, p. 338–355, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.024>

BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. *Nutrição de ruminantes*. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2011.

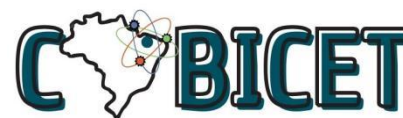
BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G.; MEDEIROS FILHO, S. Germinação e desenvolvimento de *Moringa oleifera*. *Revista Ciência Agronômica*, v. 35, p. 221–227, 2004.

BHAT, M. K. Cellulose degrading enzymes and their potential industrial applications. *Biotechnology Advances*, v. 15, p. 583–620, 1997.

BHAT, M. K. et al. Cellulases and related enzymes in biotechnology. *Biotechnology Advances*, v. 31, p. 180–191, 2013.

BODAS, R.; PRIETO, N.; GARCÍA-GONZÁLEZ, R.; et al. Plant secondary metabolites and rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, v. 176, p. 78–93, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010>

CABRAL, L. S.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E. Taninos na alimentação de



ruminantes. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 12, n. 3, p. 789–802, 2011.

CALSAMIGLIA, S.; BUSQUET, M.; CARDOZO, P. W.; et al. Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, v. 90, p. 2580–2595, 2007. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-644>

CARRO, M. D.; RANILLA, M. J.; TEJIDO, M. L. Effects of essential oils on rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, v. 225, p. 1–14, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.008>

CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V.; VELOSO, C. M. Compostos bioativos em forragens tropicais. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 2, p. 745–760, 2019.

CARVALHO, G. R.; COSTA, C. N.; YAMAGUCHI, L. C. T.; HOTT, M. C. Análise de produtividade. *Agroanalysis*, v. 27, n. 9, p. 19–22, 2007.

CARVALHO, P. C. F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 191–204, 2010.

COSTA, J. B.; SILVA, T. M.; SOUZA, A. L. Uso de *Moringa oleifera* na alimentação de ruminantes. *Revista Ciência Agronômica*, v. 52, n. 3, p. 1–10, 2021.

CUSHNIE, T. P. T.; LAMB, A. J. Antimicrobial activity of flavonoids. *International Journal of Antimicrobial Agents*, v. 38, p. 99–107, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2011.02.014>

DETMANN, E.; PAULINO, M. F.; VALADARES FILHO, S. C.; et al. Nutrição de ruminantes. Viçosa: Suprema, 2010.

DETMANN, E.; PAULINO, M. F.; VALADARES FILHO, S. C.; HUHTANEN, P. Nutritional aspects applied to grazing cattle in the tropics. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 195–210, 2010.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C.; PINA, D. S.; et al. *Métodos para análise de alimentos*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2014.

DREMAIER, D.; BARROS, S. S.; BARROS, C. S. L. Intoxicação por *Brachiaria decumbens* em bovinos no Brasil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, v. 17, n. 2, p. 83–88, 1997.

DIAS, F. A.; et al. Saponins in tropical forages and their effects on ruminal fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, v. 219, p. 219–228, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.06.012>

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; OLIVEIRA, M. P. Avaliação de forrageiras tropicais em sistemas de produção. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 97–105, 2010.

EUCLIDES, V. P. B.; MACEDO, M. C. M.; VALLE, C. B. *Pastagens tropicais no Brasil*. Brasília: Embrapa, 2014.

FIORAVANTI, M. C. S.; RIBEIRO, M. G.; RODRIGUES, C. A.; et al. Intoxicação por *Brachiaria* spp. em bovinos: aspectos clínicos e patológicos. *Ciência Animal Brasileira*, v. 8, n. 3, p. 497–506, 2007.

FLINT, H. J.; BAYER, E. A.; RINCON, M. T.; et al. Polysaccharide utilization by gut bacteria. *Nature Reviews Microbiology*, v. 6, p. 121–131, 2008. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1812>

GETACHEW, G.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. Tannins in tropical browses. *Animal Feed Science and Technology*, v. 88, p. 163–190, 2000.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova*, v. 30, n. 2, p. 374–381, 2007.

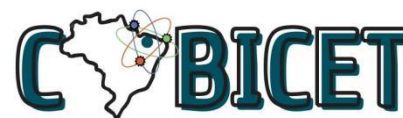
GOEL, G.; MAKAR, H. P. S.; BECKER, K. Saponins and rumen microbial structure. *Journal of Applied Microbiology*, v. 105, p. 770–777, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2008.03818.x>

HOBSON, P. N.; STEWART, C. S. *The rumen microbial ecosystem*. 2. ed. London: Springer, 1997.

HRISTOV, A. N.; OH, J.; FIRKINS, J. L.; et al. Methane mitigation in animal production. *Journal of Animal Science*, v. 91, p. 5045–5069, 2013. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6583>

HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R. L. Essential oils: mechanisms of action. *Frontiers in Microbiology*, v. 3, p. 12, 2012. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>

JAYANEGARA, A.; LEIBER, F.; KREUZER, M. Meta-analysis of plant secondary metabolites. *Livestock Science*, v. 145, p. 97–103, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.12.017>



LADEIRA, M. M.; VALADARES FILHO, S. C.; SILVA, J. F. C. Digestibilidade de nutrientes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 30, p. 1549–1558, 2001.

LEMONS, R. A. A.; RIET-CORREA, F.; BARROS, C. S. L.; et al. Photosensitization in cattle caused by *Brachiaria decumbens* in Brazil. *Veterinary and Human Toxicology*, v. 38, p. 321–324, 1996.

LEONE, A.; SPADA, A.; BATTEZZATI, A.; et al. *Moringa oleifera*: phytochemistry and pharmacology. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 16, p. 12791–12835, 2015. <https://doi.org/10.3390/ijms160612791>

MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Nutritional value and antinutritional components of *Moringa oleifera*. *Animal Feed Science and Technology*, v. 63, p. 211–228, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)01067-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01067-4)

MAKKAR, H. P. S.; FRANCIS, G.; BECKER, K. Bioactivity of phytochemicals in livestock. *Animal*, v. 1, p. 1371–1391, 2007. <https://doi.org/10.1017/S1751731107000298>

NEWBOLD, C. J.; DE LA FUENTE, G.; BELANCHE, A.; et al. Role of ciliate protozoa in the rumen. *Animal*, v. 9, p. 1–12, 2015. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002727>

PATRA, A. K.; SAXENA, J. Dietary phytochemicals as rumen modifiers. *Phytochemistry*, v. 71, p. 1198–1222, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.05.012>

PEDREIRA, M. S.; BERCHIELLI, T. T.; PRADO, I. N.; et al. Effects of saponins on ruminal fermentation and performance of ruminants: a review. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47, e20170045, 2018.

PEREIRA, V. V.; SCHNITZLER, M. C.; VILLAR, J. A. F. P.; TAVARES, C. de Q.; FERREIRA, A. P. R. Análise quimioinformática do espaço químico de terpenos em forrageiras tropicais com potencial antimetanogênico. *Revista Políticas Públicas & Cidades*, v. 15, n. 4, e3322, 2026. DOI: 10.23900/2359-1552v15n4-15-2026.

RIET-CORREA, F.; MEDEIROS, R. M. T.; TOKARNIA, C. H. Plant poisoning in Brazil. In: RIET-CORREA, F.; PFISTER, J.; SCHILD, A. L.; WIERENGA, T. (eds.). *Poisoning by plants, mycotoxins and related toxins*. Wallingford: CAB International, 2011. p. 99–120.

WALLACE, R. J.; RYMER, C.; et al. Rumen microbiome and fermentation. *Animal*, v. 11, p. 1–14, 2017. <https://doi.org/10.1017/S1751731117002244>

WINA, E.; MUETZEL, S.; BECKER, K. The impact of saponins or saponin-containing plant materials on ruminant production—A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 53, n. 21, p. 8093–8105, 2005.