

## Aditivos para bovinos de corte

*Flávia Adriane de Sales Silva, Breno de Castro Silva, Sidnei Antônio Lopes, Danillo Domingues Millen, Telma Teresinha Berchielli, Ana Luiza da Costa Cruz Borges, Laura Franco Prados, Mario Luiz Chizzotti, Marcos Vinícius Carneiro Pacheco, Fabyano Fonseca e Silva<sup>†</sup>, Sebastião de Campos Valadares Filho*

### INTRODUÇÃO

O aprimoramento do conhecimento sobre nutrição de ruminantes e a crescente adoção de tecnologias pelos pecuaristas brasileiros revelam novas lacunas de conhecimento que precisam ser preenchidas para fornecer as estimativas mais precisas possíveis das exigências nutricionais dos bovinos. Nesse contexto, o uso de aditivos alimentares que alteram a fermentação ruminal em dietas de bovinos de corte são exemplos dessas tecnologias.

De acordo com levantamentos realizados sobre as recomendações nutricionais e práticas de manejo adotadas nos confinamentos brasileiros, quase 100% dos confinamentos avaliados utilizavam algum tipo de aditivo alimentar nas dietas (Oliveira e Millen, 2014; Pinto e Millen, 2019; Silvestre e Millen, 2021). Além disso, o último levantamento (Silvestre e Millen, 2021) demonstrou que a monensina (ionóforo) foi o principal aditivo utilizado. Outros aditivos comumente utilizados em dietas de bovinos de corte incluem tampões, alcalinizantes, antibióticos não ionóforos, levedura viva, enzimas exógenas e extratos vegetais (por exemplo, óleos essenciais e funcionais).

Os aditivos são incluídos em dietas de bovinos de corte principalmente para alterar benéficamente a fermentação ruminal, prevenir a acidose ruminal e melhorar a utilização de nutrientes (Beauchemin et al., 2018). Os efeitos de aditivos que alteram a fermentação ruminal (principalmente ionóforos) em dietas de bovinos de corte criados em condições temperadas têm sido extensivamente estudados. Sabe-se que os ionóforos alteram a fermentação ruminal limitando o crescimento de bactérias gram-positivas e deslocando a fermentação ruminal para mais propionato e menos acetato e butirato (Bergen e Bates, 1984; NASEM,

2016; Beauchemin et al., 2018). Além disso, a redução da incidência de distúrbios metabólicos, produção de metano e degradação da proteína ruminal também são efeitos da maioria dos aditivos (Beauchemin et al., 2018). Assim, a utilização de aditivos em dietas de ruminantes pode afetar o consumo de alimentos, os parâmetros ruminais e o metabolismo energético e protéico e, conseqüentemente, pode influenciar as exigências nutricionais e o desempenho dos bovinos.

No entanto, os efeitos relatados dos aditivos não são sempre consistentes. Por exemplo, redução do consumo de matéria seca (CMS) e melhoria da eficiência alimentar (EA) associados ou não com aumento do ganho médio diário (GMD) foram observados em bovinos confinados recebendo monensina (Raun et al., 1976; Maturana Filho et al., 2010; Melo et al., 2020), enquanto alguns estudos não encontraram efeitos sobre o CMS e EA de bovinos criados em confinamento ou a pasto (McGinn et al., 2004; Zawadzki et al., 2011; Maciel et al., 2019).

Além disso, alguns estudos recentes observaram maior consumo de alimentos e melhor desempenho produtivo para bovinos em confinamento alimentados com a combinação de um blend de óleos essenciais (OE) e  $\alpha$ -amilase exógena em relação àqueles recebendo a monensina, sem afetar a EA (Gouvêa et al., 2019; Meschiatti e outros, 2019). Contudo, em estudo realizado por Toseti et al. (2020), o uso de uma mistura de OE com  $\alpha$ -amilase exógena em dietas de confinamento melhorou o desempenho produtivo dos animais em comparação aos animais alimentados com monensina, sem diferenças para o CMS e EA. As variações entre as condições experimentais (por exemplo: dosagem do aditivo; dieta basal, duração do experimento, sexo, raça, idade, entre outros) podem dificultar a comparação

dos efeitos dos aditivos alimentares obtidos em diferentes estudos. Nesse sentido, a meta-análise pode ser usada para resumir os efeitos de diferentes aditivos entre os estudos e investigar os fatores que explicam a potencial heterogeneidade da resposta (Duffield et al., 2012).

No entanto, os autores não têm conhecimento de nenhum estudo meta-analítico que aborde os efeitos dos aditivos sobre o desempenho produtivo e parâmetros ruminais de bovinos criados em condições brasileiras. Além disso, a última edição do BR-CORTE (BR-CORTE, 2016) não recomendou nenhum fator de correção para estimar as exigências nutricionais de bovinos recebendo aditivos. Portanto, o comitê da atual edição do BR-CORTE propôs um novo capítulo sobre os efeitos dos aditivos alimentares sobre o desempenho produtivo e parâmetros ruminais de bovinos criados em condições brasileiras.

Dessa forma, a primeira seção deste capítulo é composta por uma revisão dos principais aditivos atualmente disponíveis para bovinos no Brasil. Posteriormente, é apresentada uma meta-análise sobre os efeitos da monensina e dos óleos funcionais sobre o desempenho produtivo e parâmetros ruminais de bovinos confinados em condições brasileiras.

## ADITIVOS DISPONÍVEIS NO BRASIL

De acordo com a instrução Normativa nº 13 de 30 de novembro de 2004 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), aditivos são definidos como “produtos destinados à alimentação animal, tais como substâncias, microrganismos ou produtos formulados, que não são comumente utilizados como ingredientes de rações”. Além disso, tais produtos podem ou não ter valor nutricional; e geralmente são utilizados para melhorar as características de produtos destinados à alimentação animal ou os próprios produtos de origem animal, melhorar o desempenho produtivo de animais saudáveis, atender às exigências nutricionais dos animais ou ter efeito anticoccidiano. No entanto, embora vários aditivos apresentem valor nutricional, eles não são fornecidos para atender às exigências nutricionais dos ruminantes, mas geralmente são fornecidos

para alterar o metabolismo ruminal ou pós-ruminal, melhorando a utilização de nutrientes e a produtividade animal.

Muitos aditivos estão disponíveis para uso na indústria brasileira de carne bovina (a lista de aditivos permitidos pela legislação brasileira pode ser vista em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-pecuarios/alimentacao-animal/aditivos>), e existem diversas formulações e marcas comerciais de cada um. Na prática, eles podem ser classificados em categorias gerais, tais como: antibióticos ionóforos, antibióticos não ionóforos, probióticos, enzimas exógenas, tampões e alcalinizantes, extratos vegetais, entre outros. Alguns aditivos, como os ionóforos, foram extensivamente estudados (pelo menos em condições temperadas), enquanto outros carecem de avaliação robusta. Nesse contexto, pode ser difícil para produtores e consultores equilibrar todas as informações e decidir quais aditivos alimentares utilizar. Uma breve descrição dos principais aditivos utilizados para bovinos de corte será apresentada a seguir.

### *Tamponantes e alcalinizantes*

A acidose ruminal é um grande desafio, quando grandes quantidades de amido prontamente fermentável são fornecidas aos bovinos. Redução do CMS, desempenho animal e EA (acidose subaguda) e, em casos graves, morte do animal (acidose aguda) pode ocorrer se a acidose ruminal não for adequadamente prevenida. Uma opção para reduzir o potencial de acidose é o uso de tamponantes como bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) ou de potássio ( $\text{KHCO}_3$ ) e/ou alcalinizantes, como carbonatos de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e potássio ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) e óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) na dieta. Outros tamponantes e alcalinizantes usados para prevenir a acidose ruminal incluem: carbonatos de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ), de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e de cálcio e magnésio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

Tecnicamente, tamponantes e alcalinizantes são diferentes. Os tamponantes reduzem as flutuações do pH ruminal; enquanto os alcalinizantes aumentam o pH ruminal. Contudo, ambos têm efeito direto no pH do fluido ruminal por meio de alterações

químicas no rúmen, visto que neutralizam a acidez por meio do sequestro de  $H^+$  e aumentam a capacidade tampão do fluido ruminal (Hernández et al., 2014). Além disso, alguns efeitos secundários do uso de tamponantes ou alcalinizantes podem incluir melhor digestibilidade da MS e da fibra (Peirce et al., 1983; Stroud et al., 1985; Kovacik et al., 1986), relação acetato:propionato (Okeke et al., 1983; Ghorbani et al., 1989; González et al., 2008) e desempenho produtivo de bovinos (Wise et al., 1965; Stroud et al., 1985; Zinn, 1991). Tamponantes e alcalinizantes supostamente beneficiam ruminantes que ingerem grandes quantidades de carboidratos prontamente fermentáveis e, portanto, têm sido usados em dietas brasileiras de confinamento para evitar ou mitigar a ocorrência de distúrbios metabólicos (Millen et al., 2009).

O  $NaHCO_3$  é o tamponante mais utilizado na dieta de ruminantes. Este aditivo é considerado um verdadeiro tamponante, pois seu  $pK_a$  está próximo ao pH fisiológico do rúmen e possui excelente solubilidade no rúmen, além de ser naturalmente o principal tampão na saliva e no fluido ruminal (Kohn e Dunlap, 1998). Além disso, o  $NaHCO_3$  pode elevar o pH ruminal (Rogers e Davis, 1982; Ghorbani et al., 1989; Zinn, 1991), por ser um tampão forte (Kohn e Dunlap, 1998) e aumentar a diluição do conteúdo ruminal e, portanto, o fluxo de ácidos e carboidratos fermentáveis do rúmen (Rogers e Davis, 1982; Okeke et al., 1983; Russell e Chow, 1993), embora essas respostas não sejam detectadas em todos os estudos (Kellaway et al., 1978; Zinn e Borques, 1993; Paton et al., 2006; Calsamiglia et al., 2012). Tal aumento no fluxo ruminal pode prevenir o declínio severo do pH ruminal e, conseqüentemente, ser benéfico para bovinos confinados que consomem dietas com alto teor de concentrado.

As respostas ao uso de  $NaHCO_3$  sobre o desempenho produtivo têm sido variáveis. Maiores CMS, GMD e/ou EA foram relatados em bovinos alimentados com dietas ricas em concentrado contendo  $NaHCO_3$  em níveis de 0,75% (Zinn, 1991), 1% (Thomas e Hall, 1984; Stroud et al., 1985; Brethour et al., 1986) e 3% da MS da dieta (Nicholson et al., 1963). Além disso, pesquisas demonstraram desempenho produtivo semelhantes com a inclusão de  $NaHCO_3$  ou monensina (0,75, 2,5 e 5%

$NaHCO_3$  vs. 33 mg/kg de monensina ou 1,14%  $NaHCO_3$  versus 34 mg/kg de monensina) em dietas de terminação, sem nenhum benefício adicional quando ambos foram incluídos em combinação na dieta (Kargaard e Van Niekerk, 1980; Zinn e Borques, 1993; Oliveira et al., 2013).

Em contraste, a adição de 0,75, 1,5, 2,25 e 5% (McKnight et al., 1979) ou 1,0, 1,25, 2,5 e 5%  $NaHCO_3$  (González et al., 2008) em dietas com alto teor de concentrado não influenciou o CMS, GMD e EA ou o CMS e pH ruminal de machos castrados e fêmeas Holandesas, respectivamente. Da mesma forma, a inclusão de 5,7% de  $NaHCO_3$  em dietas com 100% de concentrado não melhorou o consumo de alimentos, GMD ou EA de machos castrados Hereford (Nicholson et al., 1962). Além disso, Thomas e Hall (1984) observaram que a inclusão de 1 e 1,25% de  $NaHCO_3$  em dietas à base de volumoso não influenciou o pH ruminal, CMS, GMD e EA de machos castrados confinados. O aumento da produção de saliva devido ao aumento do tempo de mastigação e ruminação e, conseqüentemente, maior capacidade de tamponamento endógeno é esperado quando dietas à base de volumoso são fornecidas aos bovinos (Bailey, 1961; Maekawa et al., 2002). Essa maior capacidade de tamponamento, juntamente com uma taxa reduzida de produção de ácidos graxos voláteis (AGV), pode reduzir a eficácia e a exigência de suplementação com tamponantes.

Em geral, nenhum efeito sobre as características da carcaça tem sido observado quando  $NaHCO_3$  é suplementado em dietas de confinamento (Nicholson et al., 1962; McKnight et al., 1979; Kargaard e Van Niekerk, 1980); embora pequenos efeitos negativos da inclusão de  $NaHCO_3$  a 0,75 e 1,2% sobre características da carcaça (rendimento de cortes, área de olho de lombo e espessura de gordura subcutânea) tenham sido descritos em alguns estudos (Russell et al., 1980; Zinn, 1991; Zinn e Borques, 1993).

Todavia, existem muitos relatos na literatura que descrevem apenas efeitos de curto prazo em dietas suplementadas, onde a inclusão de 0,9, 1,1 e 1,2% de  $NaHCO_3$  em dietas com alto, moderado ou baixo nível de concentrado, respectivamente, melhorou o desempenho produtivo de bovinos durante os

primeiros 28 dias de alimentação, sem benefício para o período total de alimentação (Russell et al., 1980; Worley et al., 1986; Lanna e Boin, 1990). Tais resultados corroboram com efeitos inconsistentes da suplementação com  $\text{NaHCO}_3$  sobre o desempenho produtivo quando todo o período de alimentação foi considerado.

Os alcalinizantes também podem contribuir para o controle da acidose ruminal, sendo o óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) o mais utilizado. O óxido de magnésio é um agente alcalinizante forte, mas apresenta menor solubilidade na faixa de pH ruminal normal (Erdman et al., 1982; Schaefer et al., 1982; Erdman, 1988). A inclusão de  $\text{MgO}$  a níveis de 0,4, 0,69 e 1,37% em dietas com conteúdo de concentrado moderado ou 0,5, 0,69 e 1,05% para dietas de alto concentrado aumentou o pH ruminal e/ou fecal (Schaefer et al., 1982; Peirce et al., 1983; Christiansen e Webb, 1990), a digestibilidade da MS da dieta (Erdman et al., 1982; Peirce et al., 1983), a concentração molar de acetato (Emery et al., 1965) e a relação acetato:propionato (Teh et al., 1985) de bovinos de corte e leite.

No entanto, as respostas à suplementação com  $\text{MgO}$  sobre o desempenho produtivo de bovinos foram, em geral, limitadas ou variáveis. Nenhum efeito da suplementação de  $\text{MgO}$  a níveis de 0,4, 0,8 e 1,37% foi observado sobre o CMS (Erdman et al., 1982; Teh et al., 1985; Arambel et al., 1988), GMD (Schaefer et al., 1982) ou produção de leite (Erdman et al., 1982; Arambel et al., 1988) de bovinos. Além disso, redução do CMS também tem sido relatada em estudos com bovinos de leite em resposta a suplementação com  $\text{MgO}$  (Thomas e Emery, 1969a; Erdman, 1988). No entanto, vários estudos relataram aumento do teor de gordura do leite, quando o  $\text{MgO}$  foi adicionado à dieta de vacas em lactação (Emery et al., 1965; Thomas e Emery, 1969b; Erdman et al., 1982), sendo este efeito menor à medida que o teor de fibra da dieta aumenta (Erdman, 1988).

Como os alcalinizantes atuam elevando o pH ruminal e os tamponantes resistindo às mudanças de pH, alguns estudos foram realizados para avaliar a possibilidade de um efeito aditivo ou sinérgico da combinação de  $\text{NaHCO}_3$  e  $\text{MgO}$ . Alguns autores relataram aumento do CMS de bovinos de corte e leite

com o uso combinado de  $\text{NaHCO}_3$  e  $\text{MgO}$  no período inicial após a transição de uma dieta rica em forragem para uma dieta rica em concentrado (Erdman et al., 1980; Peirce et al., 1983; Teh et al., 1985). Além disso, Erdman (1988) revisou várias publicações e testou a interação entre  $\text{NaHCO}_3$  e  $\text{MgO}$  sobre o teor de gordura do leite e afirmou que seus efeitos foram aditivos e poderiam ser usados em combinação para prevenir a redução do teor de gordura do leite. No entanto, nenhum efeito aditivo benéfico foi aparentemente observado sobre a produção de leite com uso dessa combinação de aditivos (Teh et al., 1985; Erdman, 1988; Cabrita et al., 2009).

Parece plausível afirmar que a inclusão de tamponantes e/ou alcalinizantes em dietas contendo altos níveis de carboidratos fermentáveis promove algum benefício para os bovinos, pelo menos no início do período de alimentação ou adaptação a dietas com alto teor de concentrado. No entanto, a relação custo-benefício deve ser avaliada previamente ao uso, uma vez que outros aditivos alimentares que promovem melhorias semelhantes ou ainda mais consistentes nas condições ruminais e no desempenho produtivo também estão disponíveis comercialmente.

### **Ionóforos**

Ionóforos são os principais aditivos utilizados em dietas de terminação no Brasil (Oliveira and Millen, 2014; Pinto and Millen, 2019; Silvestre and Millen, 2021). Esses aditivos compõem uma classe de compostos antimicrobianos, os quais não incluem drogas medicamente importantes para humanos. São compostos poliéster carboxílicos, que geralmente são incluídos nas dietas de bovinos em crescimento e terminação para melhorar a fermentação ruminal, permitindo maior EA e redução do risco de acidose e timpanismo (Bergen and Bates, 1984). São conhecidos mais de 120 tipos de ionóforos produzidos principalmente por bactérias do gênero *Streptomyces*. Existem muitos ionóforos atualmente licenciados para uso em nutrição animal no Brasil, tais como: monensina, lasalocida, narasina e salinomicina.

O mecanismo de ação é semelhante entre os diferentes tipos de ionóforos. Eles têm

a capacidade de interagir com cátions, geralmente íons sódio ( $\text{Na}^+$ ), servindo assim como um carreador pelo qual esses íons podem ser transportados através da membrana celular de alguns microrganismos ruminais (Bergen and Bates, 1984). No entanto, vale ressaltar que alguns ionóforos podem ter afinidade maior ou semelhante a outros íons como potássio ( $\text{K}^+$ ) e cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) (Bergen and Bates, 1984; NASEM, 2016). Essa alteração nos gradientes iônicos resulta no aumento da atividade da bomba de prótons e, conseqüentemente, no esgotamento da reserva de energia (ATP), causando divisão celular prejudicada e provável morte do microrganismo (Bergen and Bates, 1984; Russel and Strobel, 1989). Nesse contexto, os ionóforos inibem seletivamente bactérias Gram-positivas enquanto preservam muitas bactérias Gram-negativas, cuja sensibilidade está relacionada às suas diferentes estruturas de parede celular. (Bergen and Bates, 1984; Russel and Strobel, 1989; NASEM, 2016). As bactérias Gram-negativas apresentam uma membrana externa que geralmente é impermeável a ionóforos (tamanho molecular geralmente maior que 500 Daltons) e outras macromoléculas (Russel and Strobel, 1989). Assim, os ionóforos alteram o perfil da população microbiana no rúmen e, conseqüentemente, o padrão de fermentação ruminal.

Sabe-se que os ionóforos alteram a fermentação ruminal limitando o crescimento de bactérias Gram-positivas e deslocam a fermentação ruminal para mais propionato (precursor da glicose) e menos acetato e butirato (Bergen and Bates, 1984; NASEM, 2016; Beauchemin et al., 2018). Conseqüentemente, menos  $\text{H}^+$  está disponível para as bactérias produtoras de metano, levando a uma menor produção de metano (Nagaraja et al., 1997; NASEM, 2016). Assim, a menor perda de energia, devido a redução da produção de metano, e o maior aporte de precursores de glicose para a gliconeogênese no fígado resultam em um maior fornecimento de energia ao animal (melhoraram a eficiência do uso de energia). Além disso, redução da incidência de distúrbios metabólicos (acidose ruminal e timpanismo) da degradação da proteína ruminal em amônia (melhoria da eficiência do uso de N no rúmen) também são

efeitos atribuídos ao uso de ionóforos (Bergen and Bates, 1984; Nagaraja et al., 1997; Beauchemin et al., 2018). Tais efeitos são geralmente atribuídos ao seu efeito anticoccidiano e inibição de microrganismos produtores de lactato ruminal e bactérias fermentadoras obrigatórias de aminoácidos sem inibir os microrganismos consumidores de lactato (Bergen and Bates, 1984; Beauchemin et al., 2018). Assim, seria esperado um melhor desempenho produtivo devido a melhor retenção de energia e N na fermentação ruminal. No entanto, os efeitos do uso de ionóforos sobre o desempenho animal parecem ser dependentes do animal, dose e fatores dietéticos (Tedeschi et al., 2003; Bretschneider et al., 2008; Duffield et al., 2012).

A monensina é o ionóforo mais estudado e também o mais utilizado no Brasil (Silvestre and Millen, 2021). A monensina geralmente diminui o consumo de alimentos com pouco ou nenhum efeito no GMD, e a EA é melhorada quando dietas contendo altos níveis de carboidratos prontamente fermentáveis são fornecidas aos bovinos (Maturana Filho et al., 2010; Duffield et al., 2012; Melo et al., 2020). Em dietas com maiores proporções de forragem ou em sistemas de pastejo, a monensina não diminui o consumo e o GMD geralmente é melhorado, resultando também em melhora da EA (Bretschneider et al., 2008; Prado et al., 2010; Maciel et al., 2019). No entanto, é importante destacar que a maioria das pesquisas realizadas até o momento com ionóforos se concentraram em dietas de alto concentrado; assim, as informações sobre os efeitos desses aditivos em bovinos alimentados com dietas ricas em forragem ainda são limitadas.

De fato, os dados de pesquisas mostraram uma melhoria consistente na EA de bovinos criados em confinamento recebendo monensina, melhorando ou mantendo o GMD e reduzindo o CMS. Goodrich et al (1984) resumiram 228 experimentos nos quais a monensina foi adicionada a dietas de bovinos em confinamento a 31,8 mg/kg MS, em média. Esses autores concluíram que a monensina melhorou o GMD e EA em 1,6 e 6,5%, respectivamente, e reduziu o CMS em 6,4%. Além disso, as características da carcaça não foram influenciadas pela monensina. Posteriormente, uma meta-análise sobre os

efeitos da monensina em bovinos de corte em crescimento e terminação foi realizada por Duffield et al. (2012). Este estudo incluiu dados de 40 artigos científicos publicados e 24 relatórios de experimentos. A dose média de monensina utilizada foi 28,1 mg/kg MS. Os autores afirmaram que a monensina melhorou tanto o GMD quanto a EA em aproximadamente 2,5 e 6,4%, respectivamente, e reduziu o CMS em 3%. No entanto, os autores destacaram que a melhora na EA foi influenciada pela década do estudo, onde a melhora na EA pela monensina diminuiu de 8,1% na década de 1970 para 2,3 a 3,5% nas décadas de 1990 a 2000, respectivamente. Os autores também apontaram que esse decréscimo do efeito da monensina na EA pode estar associado ao aumento do nível de concentrado (e conteúdo energético) nas dietas de confinamento ao longo das décadas.

Bretschneider et al. (2008) resumiram resultados de 48 referências em uma revisão de literatura sobre os efeitos de antibióticos promotores de crescimento (APC) em bovinos de corte recebendo dietas a base de forragem. Monensina e lasalocida estavam entre os APC avaliados, cujas doses médias foram de 70 e 68 mg/100 kg PC, respectivamente. Os autores observaram um aumento de 12,1 e 10,3% no GMD quando a monensina e a lasalocida foram utilizadas, respectivamente. Contudo, nenhum efeito da monesina ou lasalocida foi observado no CMS. Da mesma forma, a EA foi melhorada como resultado da melhora no GMD. Em todas as revisões descritas (Goodrich et al., 1984; Bretschneider et al., 2008; Duffield et al., 2012), a melhora no GMD de bovinos recebendo monensina diminuiu à medida que o GMD dos animais alimentados com a dieta controle (sem monensina) aumentou. Entretanto, Bretschneider et al. (2008) relataram aumento da resposta à lasalocida com o aumento do GMD dos animais controle alimentados com dietas ricas em forragem.

Recentemente, Gadberry et al. (2022ab) realizaram dois estudos metanalíticos sobre os efeitos da suplementação de monensina no desempenho de vacas de corte (21 experimentos), novilhas de reposição (18 experimentos) e bovinos de corte em crescimento recebendo dietas ricas em

forragem (38 experimentos). A suplementação de monensina em doses de 125 a 200 mg/dia não afetou o PC ou o escore de condição corporal (ECC) de vacas de corte. No entanto, as vacas de corte apresentaram redução de 8% no consumo de forragem e de 18 dias ao primeiro estro, enquanto a porcentagem de vacas apresentando estro antes da estação de monta aumentou 19% e a produção de leite aumentou 5,4%, quando a monensina foi oferecida. Esses resultados sugeriram uma maior disponibilidade de energia quando a monensina foi fornecida para vacas de corte.

Além disso, a monensina aumentou o GMD em 5%, a EA em 14% e a porcentagem de novilhas ciclando antes da estação reprodutiva em 15,9%; enquanto diminuiu o CMS em 4,3% e a idade na puberdade em 8,9 dias em novilhas de reposição (Gadberry et al., 2022b). Nos bovinos em crescimento, suplementação com monensina melhorou o GMD em 11%, embora essa resposta tenha sido afetada negativamente pela duração do período de alimentação (Gadberry et al., 2022a). Além disso, o uso de monensina diminuiu a incidência de timpanismo em 20%.

Respostas semelhantes foram observadas para outros ionóforos, como narasina e salinomocina. Nenhuma alteração do CMS, aumento do GMD de 6,7 a 24,8% e melhoria da EA de 5,8 a 25,1% foram reportados para bovinos alimentados com dietas à base de forragem contendo narasina nas doses 7,3, 13, 15,3 e 20 mg/kg MS (Silva, 2016; Polizel et al., 2017; Polizel et al., 2020; Limede et al., 2021). Além disso, redução do CMS de 4 a 6% e melhoria da EA de 6 a 14,8% foram observados em bovinos alimentados com dietas ricas em concentrado contendo níveis de 11 a 50 mg/kg MS de suplementação de salinomocina (Wagner, 1984; Merchen and Berger, 1985; Zinn, 1986a). No entanto, alguns estudos não demonstraram alteração do CMS de bovinos confinados com adição de 11 e 12,6 mg/kg MS de salinomocina (Zinn, 1986b; Neumann et al., 2016) ou 10,6 mg/kg MS de narasina (Gobato et al., 2017). Todavia, vale ressaltar que a narasina e a salinomocina demonstraram ser eficazes na melhora da EA em uma dosagem menor do que a lasalocida e a monensina (Bergen and Bates, 1984).

Vários estudos avaliaram os principais efeitos da monensina e de outros aditivos sobre

o desempenho produtivo de bovinos de corte criados em clima temperado (Goodrich et al., 1984; Bretschneider et al., 2008; Khiaosa-Ard and Zebeli, 2013) e recomendações gerais foram feitas para ajustar as exigências nutricionais de bovinos recebendo aditivos pelo Sistema Norte-Americano (NASEM, 2016). Com base em uma revisão da literatura, o NASEM (2016) recomendou: 1) redução de 3% no CMS quando a monensina é fornecida independentemente da composição da dieta e nenhuma redução quando a lasalocida ou a laylomicina são fornecidas; 2) melhora de 3,5% na EA quando monensina e lasalocida são utilizadas; e 3) melhoria da disponibilidade de energia metabolizável de 2,3% e 1,5% quando monensina e lasalocida ou laylomicina são fornecidas, respectivamente. Contudo, não foram propostas recomendações sobre ajustes da energia da dieta ou de desempenho animal devido à utilização de ionóforos em dietas de bovinos de corte na edição anterior do BR-CORTE (Valadares Filho et al., 2016). Infelizmente, a disponibilidade de dados sobre os efeitos dos ionóforos de estudos realizados em condições brasileiras era muito pequena para fazer alguma recomendação. Na presente edição, o comitê realizou uma meta-análise sobre os principais efeitos da monensina sobre as características ruminais e desempenho produtivo de bovinos criados em condições brasileiras, que serão discutidos mais adiante neste capítulo.

### **Antibióticos não ionóforos**

Assim como os ionóforos, antibióticos não ionóforos, usados como promotores de crescimento, modificam seletivamente a população microbiana no rúmen, resultando em mudanças nas proporções de AGV produzidos (para mais propionato e menos acetato), redução da desaminação de aminoácidos (aumentando o fornecimento de aminoácidos ao animal hospedeiro) e inibição de bactérias produtoras de lactato ruminal; assim, melhoram a EA, a saúde e o desempenho produtivo (Nagaraja and Taylor, 1987; Nagaraja, 1995; Harfoot and Hazlewood, 2016). Os antibióticos não ionóforos disponíveis para uso em dietas de animais no Brasil incluem: virginiamicina e flavomicina. No entanto, os meios pelos quais

compostos específicos exercem seu efeito antimicrobiano diferem.

A virginiamicina é produzida durante a fermentação de *Streptomyces virginiae*, sendo um antibiótico da classe das estreptograminas. Este antibiótico é composto por dois fatores principais (M e S) que funcionam sinergicamente (Boom and Dewart, 1974) e são capazes de se ligar de forma específica e irreversível às unidades ribossomais (Cocito, 1979). Tal ligação inibe a síntese proteica, causando redução no crescimento ou mesmo morte de bactérias Gram-positivas, principalmente (Cocito, 1979). A flavomicina é um antibiótico polipeptídico que inibe a formação de peptidoglicano e, portanto, a formação da parede celular em bactérias Gram-positivas (Aarestrup et al., 1998). A virginiamicina pode ser usada dentro do sistema de produção sem período de carência.

Os benefícios da inclusão de antibióticos não ionóforos nas dietas de bovinos são bem documentados. Maiores proporções de propionato e menores proporções de acetato e butirato tem sido observadas quando virginiamicina é suplementada em dietas a base de forragem e concentrado (Nagaraja et al., 1987; Harfoot and Hazlewood, 2016). Além disso, tem sido associada a aumento do GMD e/ou EA em bovinos em crescimento e terminação alimentados com dietas ricas em forragem ou concentrado, bem como para prevenção de abscessos hepáticos em bovinos confinados (Fiems et al., 1992; Harfoot and Hazlewood, 2016; Tedeschi and Gorocica-Buenfil, 2018). Rogers et al. (1995) observaram uma melhora linear do GMD e da EA e uma redução da incidência e gravidade de abscessos hepáticos de bovinos confinados à medida que a dose suplementada de virginiamicina aumentou de 11 para 27,6 mg/kg MS. Os autores afirmaram que a faixa de dose efetiva para virginiamicina em dietas de confinamento foi de 19,3 a 27,3 mg/kg MS para aumento do GMD, 13,2 a 19,3 mg/kg MS para melhoria da EA e 16,5 a 19,3 mg/kg MS para redução da incidência de abscesso hepático.

Da mesma forma, resultados de um estudo meta-analítico realizado por Tedeschi e Gorocica-Buenfil (2018) demonstraram que a incidência de abscesso hepático reduziu

linearmente à medida que a dosagem de virginiamicina aumentou. Além disso, esses autores observaram que a virginiamicina foi cerca de 2,3 vezes mais eficaz em melhorar o GMD do que a monensina para a mesma dosagem e duração do período de alimentação (2,08 g/dia por ppm comparado com 0,92 g/dia por ppm para monensina). No entanto, os antibióticos não ionóforos apresentam pequena melhora ou nenhum efeito sobre o CMS e as características da carcaça (Lemos et al., 2016; Gorocica and Tedeschi, 2017; Castagnino et al., 2018).

Devido aos seus efeitos seletivos semelhantes sobre os microrganismos do rúmen e mecanismo de ação complementar, várias pesquisas levantaram a hipótese de um efeito aditivo do uso de combinações de antibióticos ionóforos e não ionóforos para bovinos de corte. Estudos recentes realizados em diferentes condições mostraram melhora no desempenho produtivo (aumento do GMD e EA) quando a virginiamicina e a monensina foram utilizadas em combinação em comparação com o uso isolado de monensina em dietas com alto teor de concentrado (Benatti et al., 2017; Heker et al., 2018; Neumann et al., 2020). Semelhantemente, Nunez et al. (2013) sugeriram que a combinação de virginiamicina e salinomomicina em dietas de alto concentrado nas doses de 15 e 13 mg/kg MS, respectivamente, melhorou a eficiência de utilização de energia da dieta quando comparado a bovinos recebendo apenas salinomomicina.

Em contraste, Rigueiro et al. (2020), avaliando o desempenho em confinamento de machos Nelore não castrados recebendo diferentes combinações de virginiamicina (25 mg/kg de MS) e monensina (30 mg/kg de MS) durante os períodos de adaptação e terminação, observaram um melhor desempenho produtivo quando os animais foram alimentados com a combinação de aditivos apenas durante o período de adaptação; sem benefícios quando essa combinação foi suplementada durante o período de terminação ou durante todo o período de alimentação (adaptação e terminação). Os autores postularam que seus resultados refletiam a ausência do impacto negativo da monensina sobre o CMS, uma vez que os animais foram suplementados com ionóforo por um menor período. Ainda,

nenhuma evidência de benefícios foi encontrada para apoiar a suplementação de virginiamicina combinada com monensina para bovinos alimentados com dietas ricas em forragem (Maciel et al., 2019).

A preocupação com a resistência antimicrobiana tem levado a um maior controle no uso de antimicrobianos na produção animal. Nesse contexto, muitos países têm proibido o uso de agentes antimicrobianos como aditivos para melhorar o desempenho animal, como os da União Europeia. No Brasil, o uso de compostos antimicrobianos e outros aditivos promotores de crescimento na produção animal vem sendo gradativamente restringido (Rabello et al., 2020). Isso tem aumentado o interesse por aditivos alternativos e mais naturais, como leveduras, óleos essenciais e funcionais e enzimas exógenas.

### **Leveduras**

A crescente demanda por produtos naturais como alternativa aos antibióticos, com potencial para melhorar a eficiência produtiva em ruminantes, está aumentando o interesse por aditivos como células vivas, microrganismos e/ou seus metabólitos. Nesse sentido, a levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) tem sido cada vez mais utilizada em dietas de bovinos para melhorar a EA, o desempenho produtivo e a saúde animal. Apesar disso, estudos avaliando os efeitos da suplementação de levedura no desempenho produtivo de bovinos de corte são recentes.

Leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) são geralmente fornecidas como preparações secas de células vivas (levedura viva) e, em alguns produtos, as células são misturadas com seu meio de crescimento (cultura de levedura). Produtos contendo células mortas também estão disponíveis comercialmente e, por não conterem células viáveis, são utilizados como ingrediente nutricional. As leveduras são compostas por proteínas de alta qualidade, carboidratos, lipídios e vitaminas do complexo B, tornando-as vantajosas em relação a outros aditivos. Ademais, os produtos comerciais disponíveis variam amplamente na cepa de *Saccharomyces cerevisiae* utilizada e no número de células de levedura presentes.



Em geral, a ação das leveduras tem sido relacionada à promoção de melhores condições ruminais por meio de: 1) remoção dos vestígios de oxigênio, melhorando a anaerobiose ruminal; 2) competição com bactérias produtoras de lactato (por exemplo, *Streptococcus bovis* e *Lactobacillus*) por carboidratos prontamente fermentáveis e, portanto, contribuição para a regulação do pH ruminal; 3) estimulação do crescimento de bactérias digestoras de fibra (por exemplo, *Fibrobacter succinogenes* e *Ruminococcus flavefaciens*) e de bactérias que utilizam lactato (por exemplo, *Megasphaera elsdenii*), o que pode estar relacionado ao efeito probiótico da levedura (Wallace and Newbold, 1992; Jouany and Morgavi, 2007; Chaucheyras-Durand et al., 2008).

Portanto, existem vários relatos na literatura que relacionam a suplementação de dietas de bovinos em crescimento e terminação com levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) com a melhoria do desempenho produtivo e a saúde (Finck et al., 2014; Geng et al., 2016; Peng et al., 2020). Melhores respostas produtivas (CMS, GMD, PC final e/ou EA) atribuídas à levedura geralmente estão relacionadas ao aumento do pH ruminal e concentrações de AGV, digestão de fibras e fluxo de proteína microbiana do rúmen devido à atividade inibitória das bactérias proteolíticas ruminais (Jouany and Morgavi, 2007; Chaucheyras-Durand et al., 2008; Amin and Mao, 2021). Esses efeitos podem ser particularmente importantes, quando dietas ricas em grãos são fornecidas aos bovinos.

No entanto, os efeitos da suplementação de levedura não são consistentes na literatura. Alguns estudos não mostraram benefícios da adição de levedura às dietas de bovinos de corte sobre os parâmetros digestivos ou desempenho produtivo (Adams et al., 1981; Edwards et al., 1990; Gattass et al., 2008). As discrepâncias das respostas à suplementação de levedura parecem ser dependentes de diferentes fatores, como tipo de dieta, cepa de levedura e dose utilizada.

Os efeitos positivos do uso de levedura são mais evidentes quando são fornecidas dietas com níveis mais elevados de concentrado, o que pode estar associado à capacidade da levedura de modular o pH ruminal. Carro et al. (1992) relataram maior

digestibilidade *in vitro* da MS e FDN quando levedura foi suplementada em dietas de alto concentrado, mas nenhum efeito da suplementação de levedura foi observado com dietas contendo médio e baixo nível de concentrado. Similarmente, Desnoyers et al. (2009) realizaram uma meta-análise avaliando a influência da suplementação de levedura sobre os parâmetros ruminais e desempenho de ruminantes (bovinos de corte e leite, caprinos, ovinos e bubalinos) e concluíram que respostas benéficas para CMS, pH ruminal, concentrações de AGV e lactato e produção de leite foram mais pronunciadas nos ruminantes recebendo maiores níveis de concentrado na dieta.

Além disso, a eficácia da levedura parece ser dependente da relação entre a composição da dieta e as demandas nutricionais do animal. A eficácia da levedura em dietas pobres e ricas em proteína foi investigada para vacas leiteiras no início da lactação e os resultados obtidos revelaram que a suplementação de levedura melhorou a produção de leite de vacas que foram alimentadas com dietas pobres em proteína, mas não teve efeito sobre a produção de leite de vacas alimentadas com dietas ricas em proteínas (Putnam et al., 1997).

Diferentes cepas e doses de leveduras possuem diferenças quanto a eficácia em estimular a fermentação ruminal e o desempenho produtivo. A variabilidade na resposta à suplementação de leveduras quanto ao tipo de cepa pode estar relacionada a diferenças em sua atividade metabólica e deve ser considerada na seleção de leveduras para ruminantes (Newbold et al., 1995; Jouany and Morgavi, 2007; Sartori et al., 2017). O efeito de diferentes dosagens ( $0$ ;  $2 \times 10^6$ ;  $4 \times 10^6$  e  $6 \times 10^6$  UFC do substrato total da dieta) de levedura em dietas com diferentes relações volumoso:concentrado (80:20, 60:40, 40:60 e 20:80) sobre a digestibilidade *in vitro* foram investigados e os resultados revelaram que as digestibilidades máximas da MS e MO foram alcançadas com a maior dose de levedura (Phesatcha et al., 2020). A inclusão de uma dose maior de levedura (4 g/dia) melhorou o consumo de alimentos, GMD e EA de bezerras, enquanto a inclusão de uma dose menor (1% levedura seca/kg MS) não teve efeito sobre o desempenho de bezerras

(Lesmeister et al., 2004). Em uma meta-análise, Desnoyers et al. (2009) observaram que o pH ruminal, a concentração de AGV, a digestibilidade da MO e a produção de leite aumentaram linearmente com a dose de levedura suplementada para ruminantes. Ainda, aumento linear no GMD foi observado para novilhas de corte, quando a suplementação de levedura aumentou de 5 para 20 g/dia na dieta (Greene, 2002).

### **Óleos essenciais e funcionais**

Esse tipo de aditivo alimentar inclui extratos vegetais que geralmente apresentam efeito antimicrobiano, causando alterações no perfil de fermentação. A maioria dos extratos de plantas geralmente tem sido associada a óleos essenciais (OE). Os OE são um grupo diversificado de metabólitos secundários de plantas obtidos de suas frações aromáticas voláteis (por exemplo, timol, carvacrol e eugenol), que possuem propriedades antimicrobianas (Patra e Saxena, 2010). No entanto, alguns óleos vegetais não podem ser classificados como OE porque não são derivados de porções aromáticas. Em vez disso, esses óleos são chamados de óleos funcionais (OF) porque têm funções que vão além de seu valor nutricional. Os ácidos anarcárdico e ricinoleico (principal grupo de lipídios fenólicos) são exemplos de OF. Embora possam ser classificados de forma diferente, uma variedade de efeitos positivos na saúde, como propriedades antitumorais, antioxidantes, gastroprotetoras e antimicrobianas, tem sido atribuída a esses extratos vegetais (Dahham et al., 2015; Salehi et al., 2020). Assim, OE e OF fazem parte de uma alternativa natural para melhorar a saúde animal e o desempenho produtivo, reduzindo o uso de antimicrobianos na pecuária. Como OF é uma classificação mais ampla que OE, ambos os tipos de extratos vegetais têm sido descritos cada vez mais simplesmente como OF.

Acredita-se que o efeito antimicrobiano da maioria dos OE e OF seja semelhante ao dos ionóforos, nos quais, na maioria das vezes, as bactérias Gram-positivas são inibidas seletivamente (Calsamiglia et al., 2007; Watanabe et al., 2010). Tal seletividade também é análoga à dos ionóforos, na medida em que a natureza hidrofóbica dos óleos

permite sua interação com a membrana bacteriana resultando em transporte e gradiente de íons alterados (Calsamiglia et al., 2007; Watanabe et al., 2010). No entanto, vale ressaltar que esses extratos vegetais também podem ser eficazes contra algumas bactérias Gram-negativas (embora sejam menos sensíveis que as bactérias Gram-positivas) e alguns compostos possuem outros modos de ação, atuando no citoplasma ou organelas das células microbianas (Burt, 2004; Benchaar e Greathead, 2011).

Nesse sentido, espera-se que os principais efeitos desses óleos na fermentação ruminal incluam uma mudança nas proporções de AGV para menos acetato e mais propionato e, assim, diminuição da produção de metano no rúmen; diminuição da degradação de proteínas; e melhor utilização de nutrientes e EA. Muitos estudos têm sido realizados para avaliar os benefícios da suplementação de OE e OF, bem como seus componentes na dieta de ruminantes. Esses estudos utilizaram uma ampla gama de procedimentos experimentais, compostos, doses e dietas; assim, os resultados têm sido inconsistentes.

Vários estudos *in vitro* indicaram o potencial dos OE e seus componentes para manipulação benéfica da fermentação ruminal (McIntosh et al., 2003; Castillejos et al., 2005; Benchaar et al., 2008). Um aumento da concentração total de AGV e/ou relação propionato:acetato, bem como redução da concentração de N amoniacal e produção de metano tem sido descritos, quando diferentes OE e seus componentes e doses foram incluídos em dietas/substratos prontamente fermentáveis e com níveis moderados e altos de fibra (Cardozo et al., 2005; Busquet et al., 2006; Chaudhry and Khan, 2012). No entanto, a ocorrência de resultados positivos tem se mostrado dependente do substrato/dieta, tipo de OE e/ou seus componentes ou misturas, dose utilizada e pH do meio. Por exemplo, Busquet et al (2006) demonstraram *in vitro* que a proporção molar de propionato aumentou e a proporção molar de acetato diminuiu quando o óleo de alho foi incluído em uma dieta com relação 50:50 forragem:concentrado em doses de 300 e 3000 mg/L, mas não em dose de 3 ou 30 mg/L. Ainda, outros OE, como os óleos de gengibre, cade, pimentão e yucca, não apresentaram efeito sobre as proporções

molares de propionato ou acetato em todas as doses testadas de inclusão em um mesmo estudo (3, 30, 300 e 3000 mg/L). Em alguns casos, os efeitos benéficos sobre as proporções de AGV, metabolismo ruminal de N e produção de metano *in vitro* foram alcançados apenas em altas concentrações de suplementação de alguns OE (Busquet et al., 2006; Benchaar et al., 2008; Benchaar e Greathead, 2011), que também podem inibir o processo de fermentação ruminal (diminuição da digestão dos alimentos e produção total de AGV) e são improváveis de serem usados na prática (*in vivo*). Os efeitos também podem ser transitórios devido a uma adaptação da microbiota ao OE (Benchaar et al., 2008).

Efeitos aditivos, antagônicos e sinérgicos têm sido sugeridos entre diferentes extratos vegetais e seus componentes (Burt, 2004; Toroglu, 2007; Fandiño et al., 2020), o que resultou em uma variedade de produtos comerciais combinando diferentes OE, OF ou seus componentes disponíveis para ruminantes no mercado, atualmente. No entanto, os estudos publicados sobre os efeitos do uso de OE e OF em bovinos de corte são limitados, quando comparados ao número de pesquisas que foram realizadas em bovinos de leite. No geral, os resultados dos estudos *in vivo* são inconsistentes dependendo do tipo de extrato vegetal, fonte, dieta e doses avaliadas. No entanto, existem alguns exemplos na literatura que descrevem os potenciais benefícios da suplementação com OE e OF para bovinos de corte. Em um estudo, Yang et al. (2010) relataram um aumento linear na proporção molar de propionato e uma diminuição linear da relação acetato:propionato com o aumento da dose de OE (0, 400, 800, 1600 mg/dia de eugenol) na dieta de bovinos de corte em crescimento. Ornaghi et al. (2017) observaram melhora no CMS, GMD e PC final e de carcaça em bovinos terminados em confinamento recebendo OE de cravo e canela. Ademais, os autores também afirmaram que as respostas para a maioria dessas variáveis aumentaram linearmente à medida que a dose de OE aumentou de 3,5 para 7 g/dia.

Semelhantemente, maiores GMD e EA foram relatados para novilhas Nelore confinadas que receberam *blends* de OE protegidos (compostos por eugenol, timol e vanilina + OE de cravo ou eugenol, timol e

vanilina + OE de alecrim e cravo); (Souza et al., 2019). Além disso, Valero et al. (2014) reportaram melhor desempenho produtivo (PC final, GMD e EA) e peso de carcaça para machos não castrados em confinamento recebendo suplementação de OF (blend de óleo de rícino e de casca da castanha de caju). Esses resultados podem criar expectativas quanto ao uso de OE e OF na nutrição de bovinos de corte. Em contraste, outros estudos não mostraram efeito sobre os parâmetros de fermentação ruminal, desempenho produtivo, características de carcaça ou EA de bovinos alimentados com dietas de alto, médio e baixo concentrado contendo diferentes misturas comerciais de OE e OF em diferentes dosagens (Beauchemin et al., 2006; Silva et al., 2019; Melo et al., 2020; Wang et al., 2020; Wilson et al., 2020).

Em um estudo metanalítico, Khiaosa-Ard e Zebeli (2013) investigaram os efeitos de diferentes OE e seus compostos sobre a fermentação ruminal, desempenho produtivo e EA de ruminantes (bovinos de corte, bovinos de leite e pequenos ruminantes). Embora dose-dependente, os resultados indicaram uma melhora geral na fermentação ruminal (produção de AGV e concentração individual de AGV) com a suplementação de OE em ruminantes. Entretanto, as respostas positivas sobre a composição de AGV e produção de metano foram mais pronunciadas em bovinos de corte quando comparados a bovinos leiteiros e pequenos ruminantes. Os autores atribuíram a melhor resposta de bovinos de corte a um efeito sinérgico entre o OE e seu baixo pH ruminal, uma vez que menor pH ruminal é comumente observado em sistemas de confinamento devido ao uso de dietas ricas em grãos. Nenhum efeito benéfico sobre a degradação ruminal da proteína ou desempenho produtivo e EA de bovinos leiteiros foram atribuídos à suplementação de OE. Os efeitos da suplementação de OE no desempenho produtivo de bovinos de corte e pequenos ruminantes não foram avaliados devido ao número limitado de estudos até aquele momento. Assim, parece que a manipulação da fermentação ruminal para rotas energeticamente mais eficientes é o benefício mais consistente da utilização de OE em ruminantes.

Apesar dos resultados limitados e inconsistentes relatados até agora sobre o desempenho produtivo de bovinos de corte, OE e OF são atualmente uma das melhores alternativas para o uso de antibióticos ionóforos. Nesse contexto, Torres et al. (2021) realizaram uma meta-análise avaliando os efeitos de diferentes OE como alternativa à monensina em dietas de bovinos de corte. Esses autores relataram que a substituição da monensina por OE não teve influência nos parâmetros de desempenho, mas afetou positivamente o rendimento de carcaça, área de olho de lombo e espessura de gordura subcutânea de bovinos de corte alimentados com dietas ricas em grãos. No entanto, os autores também concluíram que OE apresentou baixa eficácia na prevenção de abscessos hepáticos nesses animais.

Semelhantemente, Purevjav et al. (2013) avaliaram os efeitos de OF (blend de óleo de rícino e de casca da castanha de caju) com ou sem monensina no desempenho e características de carcaça de machos castrados confinados. Os autores descreveram melhores características de carcaça (rendimento de carcaça, área de olho de lombo e classificação em *prime grade*) em bovinos que receberam apenas suplementação de OF; porém, também apresentaram maior incidência de abscesso hepático, principalmente na maior dose aplicada (500 mg/kg MS). Embora ainda seja necessária uma avaliação mais aprofundada, os dados publicados sugerem que ainda há potencial de substituição de antibióticos ionóforos por OE ou OF em dietas de bovinos de corte.

Para os autores, o conhecimento sobre o potencial de uso desses extratos vegetais em bovinos de corte, principalmente naqueles criados em condições brasileiras, ainda é muito limitado. Dessa forma, o comitê realizou uma meta-análise sobre os principais efeitos do OF sobre as características ruminais e desempenho produtivo de bovinos criados em sistemas de produção brasileiros, que serão discutidos mais adiante neste capítulo.

### **Enzimas exógenas**

As enzimas exógenas são outra classe de aditivos alimentares naturais que têm potencial para substituir os promotores de

crescimento, como os antibióticos ionóforos. Os aditivos enzimáticos são extratos complexos de fermentação bacteriana (e.g., *Bacillus*) ou fúngica (e.g., *Aspergillus*, *Trichoderma*) com atividades enzimáticas específicas como amilases, xilanases, celulasas e proteases. Enzimas são proteínas que são, ao final, digeridas ou excretadas pelo animal, não deixando resíduos na carne ou no leite.

Em ruminantes, enzimas exógenas auxiliam a população microbiana do rúmen realizando parte da digestão dos alimentos, principalmente. Assim, esses compostos têm potencial de melhorar a digestão ruminal dos ingredientes da dieta, a disponibilidade de nutrientes e a EA (Beauchemin et al., 2004; NASEM, 2016; Beauchemin et al., 2018). Além disso, podem ser usados para complementar as enzimas produzidas por animais jovens onde, devido a um sistema digestivo imaturo, a produção de enzimas pode ser inadequada.

O modo de ação das enzimas exógenas ainda não é bem compreendido. No entanto, o modo de ação proposto para enzimas exógenas inclui hidrólise direta, estimulação da população microbiana, sinergismo com enzimas microbianas e melhor aderência microbiana às partículas de alimento (Beauchemin et al., 2004; Salem et al., 2013).

A maioria das pesquisas em ruminantes avaliaram os potenciais efeitos de enzimas fibrolíticas exógenas (por exemplo, xilanase e celulase) em melhorar a digestibilidade da fibra no rúmen (NASEM, 2016; Beauchemin et al., 2018), porque o aumento da digestibilidade da fibra pode aumentar a ingestão de energia pelo animal. Ainda, a melhoria da digestibilidade da fibra no rúmen estimula o crescimento microbiano, o que geralmente aumenta a oferta de proteína metabolizável ao animal. Como resultado, melhores produtividade e EA podem ser alcançadas. Menos trabalhos têm sido realizados em relação a outros tipos de enzimas exógenas, como amilases e proteases.

As pesquisas realizadas avaliaram vários produtos enzimáticos que foram aplicados em várias doses de várias maneiras (por exemplo, pulverizado sobre forragem, adicionado ao concentrado, etc.) a diferentes tipos de dietas oferecidas a diferentes categorias de animais (por exemplo, gado de

corte em crescimento e terminação, vacas leiteiras em lactação, etc.); assim, os resultados mostraram alta variabilidade. Por exemplo, maior digestibilidade (particularmente da fibra), desempenho produtivo (GMD, PC final e/ou EA) e/ou características de carcaça foram relatadas em alguns estudos (Salem et al., 2013; Neumann et al., 2018; Lourenco et al., 2020) mas não em outros (ZoBell et al., 2000; Miller et al., 2008; Encinas et al., 2018) quando enzimas fibrolíticas exógenas foram suplementadas em dietas com alto teor de forragem e concentrado fornecidas para bovinos em crescimento e terminação.

Em um estudo meta-analítico, Tirado-González et al. (2018) avaliaram os efeitos do uso de enzimas fibrolíticas exógenas em dietas de ruminantes com conteúdo variável de forragem (gramíneas ou leguminosas) sobre o desempenho produtivo de vacas leiteiras em lactação, bovinos de corte em crescimento e ovinos. O trabalho incluiu dados de 74 artigos publicados em periódicos. Em geral, os resultados sugeriram que a inclusão de enzimas fibrolíticas exógenas melhora o desempenho produtivo de bovinos de leite e de corte, mas as respostas foram dependentes da atividade enzimática (celulases, xilanases ou diferentes misturas de ambas) de acordo com a composição da dieta (tipo de forragem, relação volumoso:concentrado). Vale ressaltar que as enzimas fibrolíticas exógenas melhoraram o desempenho produtivo em bovinos leiteiros quando suplementadas em dietas com alto teor de forragem, enquanto melhores respostas produtivas em bovinos de corte foram observadas quando enzimas fibrolíticas exógenas foram adicionadas a dietas com baixo teor de forragem. Os efeitos da suplementação de enzimas fibrolíticas exógenas sobre o desempenho produtivo de ovinos foram inconsistentes. Esses resultados sugerem que as respostas às enzimas fibrolíticas exógenas são maiores quando a energia limita a produtividade animal, o que geralmente é o caso de vacas leiteiras em lactação e bovinos de corte em rápido crescimento.

Embora estudos tenham levantado a hipótese de que a digestão de amido e proteína não seria limitada no rúmen, alguns trabalhos tem sido realizados com o intuito de avaliar o potencial de uso da suplementação de enzimas

exógenas com atividade amilolítica (Tricarico et al., 2007; DiLorenzo et al., 2011; de Oliveira et al., 2015) e proteolítica (Licitra et al., 1999; Vera et al., 2012; Amaro et al., 2021) para melhorar o desempenho produtivo de ruminantes. De forma geral, o uso de amilases e proteases exógenas parece ter potencial de melhorar a digestão dos alimentos e o desempenho produtivo de bovinos, especialmente quando adicionados a dietas ricas em grãos (Tricarico et al., 2007; Vera et al., 2012; Jolly-Breithaupt et al., 2019).

Além disso, estudos recentes (Gouvêa et al., 2019; Meschiatti et al., 2019; Toseti et al., 2020) sugeriram um efeito sinérgico positivo sobre o CMS e a digestibilidade do amido e, conseqüentemente, melhoria do desempenho animal, quando OE e  $\alpha$ -amilase exógena foram incluídos em dietas de confinamento, quando comparados com outros aditivos, como monensina. Espera-se que o uso de aditivos enzimáticos aumente à medida que o uso de antibióticos nas dietas de ruminantes diminua. Contudo, os resultados de experimentos com enzimas exógenas para ruminantes ainda são inconsistentes ou limitados. Portanto, embora muito progresso tenha sido feito em relação a tecnologia de enzimas exógenas, não se pode concluir no momento que a suplementação de enzimas possa ser uma maneira eficaz de aumentar a produtividade de ruminantes.

### **3-nitrooxipropanol (3-NOP)**

O 3-nitrooxipropanol (3-NOP; DSM Nutritional Products Ltd., Kaiseraugst, Suíça), comercializado como Bovaer® desde 2021 no Brasil, é um inibidor da produção de CH<sub>4</sub> ruminal através da inativação da enzima metil-coenzima M redutase utilizada por *archaeas* (Duin et al., 2016). A suplementação de 3-NOP parece não ter efeitos adversos nos bovinos ou outros microrganismos ruminais (Jayanegara et al., 2018; Honan et al., 2022). Ainda, os resíduos de 3-NOP no leite e na carne são mínimos ou inexistentes (Thiel et al., 2019), sendo os riscos de segurança desse aditivo aparentemente baixos.

Os resultados sobre a mitigação de CH<sub>4</sub> por 3-NOP têm sido promissores. Vyas et al. (2016) relataram que a suplementação de 200 mg/kg MS de 3-NOP reduziu a produção de

CH<sub>4</sub> em bovinos de corte em crescimento e terminação em 37,6% e 84,3%, respectivamente, quando comparados com o grupo controle. Da mesma forma, Alemu et al. (2021) relataram uma diminuição na produção de CH<sub>4</sub> de 25,7%, em média, em machos castrados em crescimento suplementados com doses crescentes de 3-NOP (de 150 a 200 mg/kg de MS), enquanto McGuinn et al. (2019), utilizando o nível de suplementação de 125 mg/kg MS para bovinos de corte em terminação, encontraram uma redução de aproximadamente 70% na produção de CH<sub>4</sub>. Em uma metanálise, Hristov et al. (2022) demonstraram uma redução consistente de 28 a 32% nas emissões de CH<sub>4</sub> em vacas leiteiras alimentadas com 3-NOP em doses variando de 40 a 200 mg/kg MS, sem efeito sobre o CMS, produção de leite, PC ou mudança no PC, e um ligeiro aumento na concentração (0,19%) e rendimento (90 g/dia) de gordura do leite.

De fato, os efeitos do 3-NOP parecem depender da dose, tipo de animal, características da dieta e duração da suplementação. Em uma meta-análise sobre os efeitos do 3-NOP em bovinos de leite e de corte, Dijkstra et al. (2018) concluíram que o efeito de mitigação de CH<sub>4</sub> deste composto foi dependente da dose utilizada e foi menos pronunciado em bovinos de corte (redução de 22%) do que em bovinos leiteiros (redução de 39%), bem como o aumento do teor de FDN da dieta diminuiu a eficácia do aditivo. Portanto, para um mesmo tipo de animal e dose aplicada, o efeito de mitigação do 3-NOP foi maior em dietas mais concentradas.

Um estudo metanalítico mais recente relatou que o aumento da dose de 3-NOP diminuiu linearmente a emissão de CH<sub>4</sub> (g/kg CMS), independentemente do tipo de animal e duração do período de alimentação, bem como a proporção de acetato e a relação acetato: propionato (A: P) em bovinos de leite e de corte (Kim et al., 2020). Além disso, esses autores também observaram uma tendência de diminuição do CMS em bovinos de corte, mas não em bovinos leiteiros, com o aumento da dose de 3-NOP, enquanto a maior suplementação de 3-NOP tendeu a diminuir a produção de leite (kg/dia) e aumentou a gordura do leite (%) e proteína (%). Os efeitos da suplementação de 3-NOP sobre o GMD, PC

ou EA de bovinos de corte não foram avaliados no estudo de Kim et al. (2020).

Em contraste, embora as emissões de CH<sub>4</sub> tenham diminuído linearmente, o aumento do nível de suplementação de 3-NOP não teve efeito sobre o CMS de ruminantes (vacas leiteiras, gado de corte e ovinos; Jayanegara et al., 2018). Além disso, o desempenho produtivo de bovinos de leite e de corte não foi influenciado pelo uso de 3-NOP neste estudo, exceto a EA e gordura do leite (%). Melhores EA e gordura do leite (%) foram observados para animais recebendo 3-NOP, sugerindo uma maior disponibilidade de energia devido a redução das emissões de CH<sub>4</sub>. Há relatos na literatura que suportam esses achados, nos quais foram observados maiores teores de gordura do leite e melhores EA sem efeito sobre a produção de leite e GMD, quando se fornece 3-NOP para bovinos de leite e de corte, respectivamente (Vyas et al., 2018; Hristov et al., 2022). Contudo, menores CMS para bovinos de corte alimentados com dieta rica em forragem tem sido frequentemente observados (Romero-Perez et al., 2014; Vyas et al., 2016; Vyas et al., 2018).

Outros fatores podem afetar a resposta à suplementação com 3-NOP, como o método utilizado para medir as emissões de CH<sub>4</sub> (câmaras respirométricas, técnica do gás traçador [SF<sub>6</sub>] e sistema Greenfeed) e os efeitos de interação, quando o 3-NOP é combinado com outras estratégias de mitigação. Gruninger et al. (2022) mostraram que a combinação de 3-NOP com óleo de canola em uma dieta rica em forragem para bovinos de corte resultou em um efeito aditivo sobre a redução da emissão de CH<sub>4</sub> em g/kg MS (3-NOP = -28%; óleo de canola = -24%; 3-NOP + óleo de canola = -52%).

O 3-NOP parece ser uma estratégia eficaz para mitigar as emissões de CH<sub>4</sub> de ruminantes. No entanto, os resultados sobre o desempenho animal (especialmente o CMS) têm sido mais variáveis. Além disso, pouco se sabe sobre a eficácia do 3-NOP para animais em pastejo e seus impactos a longo prazo. Ainda, os autores não têm conhecimento de nenhum estudo publicado avaliando o 3-NOP em condições brasileiras. Assim, ainda são necessárias mais informações sobre o uso de 3-NOP em uma maior gama de sistemas de alimentação e por períodos mais prolongados.

## META-ANÁLISE

O uso de aditivos em dietas de bovinos de corte pode melhorar o desempenho produtivo. Contudo, a literatura mostra resultados inconsistentes para a maioria dos aditivos disponíveis. Além disso, a maioria dos estudos sobre os efeitos dos aditivos para bovinos foi realizada em condições temperadas. Nesse contexto, como a meta-análise pode sintetizar resultados de diferentes estudos, o comitê da edição atual do BR-CORTE avaliou os efeitos da monensina e dos OF sobre o desempenho produtivo e os parâmetros ruminais de bovinos criados em condições brasileiras por meio de um método meta-analítico.

### **Banco de dados**

Um processo de busca e triagem de literatura foi realizado usando geradores de busca de dados públicos, como *Google Scholar*, *Science direct* e *Scielo*, para criar um banco de dados de estudos realizados no Brasil avaliando o uso de aditivos usando as palavras-chave: “*feed additives, cattle, and Brazil*”, “*additive, cattle, and Brazil*”, “*monensin, cattle, and Brazil*”, “*essential oils, cattle, and Brazil*” or “*functional oils, cattle, and Brazil*”. As mesmas palavras-chave também foram pesquisadas em Português. Não foram utilizadas restrições de data na busca; assim, estudos publicados em qualquer data estavam disponíveis para pesquisa. Além disso, pesquisadores e organizações brasileiras foram consultados quando ao envio de dados publicados ou não que poderiam ser utilizados para essa análise. Os experimentos foram tratados individualmente, mesmo que tenham sido publicados no mesmo estudo.

Todos os dados foram inicialmente avaliados quanto à aceitabilidade, determinando se a pesquisa foi realizada no Brasil e qual aditivo foi usado. Artigos que avaliaram os efeitos de OE e OF, bem como seus compostos bioativos específicos e *blends* foram elegíveis para inclusão no banco de dados como OF, visto que OF é um termo mais genérico. Assim, daqui em diante OE, OF, compostos bioativos e *blends* são referidos simplesmente como OF. A triagem inicial dos dados foi realizada por dois autores. Quaisquer rejeições e inclusões foram revisadas por um dos autores e confirmadas por outros dois autores. Os estudos deveriam ser ensaios aleatórios (delineamentos inteiramente casualizado, em blocos completos ou esquemas fatoriais) realizados em condições brasileiras e conter tratamento controle para serem elegíveis. Cada tratamento (controle, monensina e OF) deveria apresentar o número de animais/baias por tratamento, média do tratamento e uma medida de dispersão.

Como resultado, um total de 22 artigos publicados ou não foram obtidos (Tabela 16.1). A lista completa dos experimentos utilizados pode ser encontrada no Apêndice 16.1. Foram incluídos dados de animais de diferentes classes (machos não castrados, machos castrados, fêmeas e vacas) de diferentes grupos genéticos (*Bos taurus taurus*, *Bos taurus indicus* ou cruzados), criados em confinamento. Outros fatores que poderiam influenciar os resultados foram incluídos no processo de extração de dados: estado fisiológico (crescimento, terminação ou vaca), dose do tratamento (mg/kg MS), dias em alimentação, relação volumoso:concentrado, tipo de estudo (publicado [P] ou não [N]) e condição do animal (fistulado ou não).

Tabela 16.1 - Descrição dos experimentos incluídos no banco de dados

Estudo	Fonte P = publicado N = não publicado	Tratamentos , n	Classe animal	Grupo Genético	Sistema de produção	Fistulado S = Sim N = Não	Estado fisiológico	Dias em alimentação	Repetições por tratamento, n	Aditivo MON = monensina OF = óleos funcionais	Doses testadas (mg/kg MS)	Variáveis <sup>1</sup>
Chagas, L. J.	N	4	Macho não castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	124	10	MON, OF	MON = 30 OF = 300 e 500	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Fonseca et al.	P	4	Macho não castrado	<i>Cruzado</i>	Confinado	Não	Crescimento	70	5	MON	22	CMS, GMD, EA
Mogentale et al.	P	3	Vaca	<i>Cruzado</i>	Confinado	Sim	Vaca	21	4	MON	26.5	CMS, pH ruminal, NH <sub>3</sub> , AGV, acetato, propionato, butirato, A:P
Gomes et al.	P	4	Macho castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	84	18	MON	30	CMS, PC, GMD
Maturana Filho et al.	P	3	Macho castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	84	6	MON	30.8	CMS, PC, GMD, EA
Pereira, M. C. S.	N	5	Macho não castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	70	12	MON	9, 18, 27, e 36	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Prado et al.	P	4	Macho castrado	<i>Bos taurus taurus</i>	Confinado	Sim	Crescimento	21	4	MON	32.8	CMS, pH ruminal, NH <sub>3</sub> , AGV, acetato, propionato, butirato, A:P
Ribeiro, F. G.	N	4	Fêmea	<i>Bos taurus taurus</i>	Confinado	Não	Terminação	84	16	MON	13.3	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Segabinazzi, L. R.	N	3	Vaca	<i>Cruzado</i>	Confinado	Não	Vaca	64	8	MON	24.2	CMS, PC, GMD, EA
Sitta, C.	N	5	Macho não castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	102	22	MON	30	CMS, PC, GMD, EA
Sitta, C.	N	5	Macho não castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	109	23	MON	30	PC, GMD, EA
Zawadzki et al.	P	3	Macho não castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	84	11	MON	32.8	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Souza, K. A.	N	5	Fêmea	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	73	8	OF	789, 640, 678, e 644	CMS, PC, GMD, PCARC, EA

<sup>1</sup>CMS = consumo de matéria seca; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; PCARC = peso de carcaça; EA = eficiência alimentar; NH<sub>3</sub> = amônia ruminal; AGV = ácidos graxos voláteis; A:P = relação acetato:propionato.



Tabela 16.1 - Descrição dos experimentos incluídos no banco de dados (continuação)

Estudo	Fonte P = publicado N = não publicado	Tratamentos, n	Classe animal	Grupo Genético	Sistema de produção	Fistulado S = Sim N = Não	Estado fisiológico	Dias em alimentação	Repetições por tratamento, n	Aditivo MON = monensina OF = óleos funcionais	Doses testadas (mg/kg MS)	Variáveis <sup>1</sup>
Zotti, C. A.	N	4	Macho castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Sim	Terminação	21	6	MON, OF	MON = 30 e 40 OF = 400	CMS, pH ruminal, NH <sub>3</sub> , AGV, acetato, propionato, butirato, A:P
Almeida et al.	P	5	Macho castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Sim	Terminação	21	5	MON, OF	MON = 30 OF = 500	CMS, acetato, propionato, butirato, A:P
Fugita et al.	P	4	Macho não castrado	Cruzado	Confinado	Não	Terminação	-	12	OF	485	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Martinele et al.	P	4	Vaca	Cruzado	Confinado	Sim	Vaca	21	4	MON	33	CMS, pH ruminal, NH <sub>3</sub> , AGV, acetato, propionato, butirato, A:P
Melo et al.	P	4	Macho não castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	89	6	MON, OF	MON = 27 OF = 500	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Perna Júnior et al.	P	3	Vaca	<i>Bos taurus taurus</i>	Confinado	Sim	Vaca	30	6	MON	17.8	CMS, pH ruminal
Chagas, L. J.	N	4	Macho castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Sim	Terminação	21	4	MON, OF	MON = 25 OF = 300	CMS, pH ruminal, NH <sub>3</sub> , AGV, acetato, propionato, butirato
Figueira, D.	N	5	Macho não castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	112	7	MON	20	CMS, PC, GMD, PCARC, EA
Benatti, J. M. B.	N	4	Macho não castrado	<i>Bos taurus indicus</i>	Confinado	Não	Terminação	84	11	MON	7	CMS, PC, GMD, PCARC, EA

<sup>1</sup>CMS = consumo de matéria seca; PC = peso corporal; GMD = ganho médio diário; PCARC = peso de carcaça; EA = eficiência alimentar; NH<sub>3</sub> = amônia ruminal; AGV = ácidos graxos voláteis; A:P = relação acetato:propionato.

Nem todas as variáveis de resposta estavam disponíveis para cada aditivo e em todas as observações, levando a muitos dados ausentes. Portanto, subconjuntos de dados para cada aditivo testado foram construídos de acordo com cada variável dependente: CMS, PC, GMD, EA, peso de carcaça (PCARC), pH ruminal, amônia ruminal (N-NH<sub>3</sub>), AGV totais, acetato (% do AGV totais), propionato (% do AGV totais), butirato (% do AGV totais) e relação acetato:propionato (A:P). Ainda, devido ao número limitado de estudos obtidos e para evitar vieses que possam ocorrer a partir de diferenças em relação às condições experimentais (grupo genético, classe animal, PC, etc.), a análise de cada variável dentro de cada aditivo foi realizada baseada nas diferenças ajustadas de acordo com os valores do tratamento controle correspondentes (diferença = (valor no tratamento com aditivo – valor do tratamento controle)/valor do tratamento controle). Isso removeu qualquer efeito de viés entre estudos (Ellis et al., 2012).

### **Análises estatísticas**

Uma meta-análise foi realizada através do procedimento MIXED do SAS (versão 9.4, Inst. Inc., Cary, NC, EUA). Um modelo de efeito fixo foi primeiro conduzido para cada parâmetro dentro de cada aditivo avaliado para estimar o efeito (*effect size*; ES), intervalo de confiança de 95% (IC) e significância estatística do efeito. As diferenças de tratamento relativas ao controle foram ajustadas pelo inverso da variância (*weighted mean differences*; WMD).

A heterogeneidade entre os estudos foi quantificada usando a estatística I<sup>2</sup> (Higgins et al., 2003), a qual descreve a porcentagem da variação total entre os experimentos que se deve à heterogeneidade e não ao acaso. Os intervalos de incerteza para I<sup>2</sup> foram calculados. Valores negativos de I<sup>2</sup> foram igualados a 0 (Duffield et al., 2012; Torres et al., 2021). Consequentemente, I<sup>2</sup> está entre 0 e 1. Valor superior a 0,5 foi considerado heterogeneidade substancial (Duffield et al., 2012). Se houvesse evidência de heterogeneidade, um modelo de efeitos aleatórios foi usado. Um nível de 0,05 foi

estabelecido como o nível crítico de probabilidade para um erro do tipo I.

### **Resultados**

O resumo dos experimentos usados para este estudo metanalítico é fornecido na Tabela 16.1 e a estatística descritiva do banco de dados utilizado para avaliar os efeitos da monensina e dos FO está disponível na Tabela 16.2. O número total de bovinos incluídos neste estudo quanto aos efeitos da monensina e FO sobre o desempenho produtivo e parâmetros ruminais foram: 448 e 153 para CMS; 353 e 118 para PC; 363 e 118 para GMD; 327 e 118 para EA; 196 e 118 para PCARC; 70 e 20 para pH ruminal; 58 e 20 para N-NH<sub>3</sub>; 73 e 35 para AGV totais, acetato (% AGV totais), propionato (% AGV totais) e butirato (% AGV totais); e 65 e 27 para A:P, respectivamente. A dose média de monensina testada foi de 24,3 mg/kg MS, com variação de 7 a 40 mg/kg MS, enquanto a dose média de OF avaliada foi de 488 mg/kg MS, com variação de 300 a 789 mg/kg MS. Todos os estudos utilizaram o sistema de alimentação com dieta total (*total mixed ration*; TMR), a relação volumoso:concentrado variou de 72,5:27,5 a 7,75:92,25 nos estudos de monensina e de 50:50 a 12:88 nos estudos de OF.

### **Monensina**

O resumo da meta-análise para cada variável resposta da suplementação de monensina é apresentado na Tabela 16.3. Houve heterogeneidade entre os estudos na resposta da monensina sobre a A:P (I<sup>2</sup> = 0,75; IC = 0, 0,87). De acordo com Higgins et al. (2003), valores da estatística I<sup>2</sup> acima de 0,5 denotam alta heterogeneidade. Assim, o modelo para A:P foi avaliado usando efeito aleatório de experimento. Nesse contexto, se a variância entre estudos não fosse considerada no modelo, inflaria a variância residual. Consequentemente, o aumento da variância residual promoveria uma maior taxa de erro tipo II. Ou seja, o erro que ocorre quando se aceita uma hipótese nula que na verdade é falsa (resposta falso-negativa).

Tabela 16.2 - Estatística descritiva de banco de dados utilizado para avaliar os efeitos da monensina e óleos funcionais no desempenho produtivo e características ruminais de bovinos criados em condições brasileiras

Item <sup>1</sup>	Estudos	n	Média	DP	Máximo	Mínimo
<i>Monensina</i>						
Consumo de matéria seca (kg)	20	448	10,5	2,80	18,0	6,10
Peso corporal (kg)	12	353	504	43,0	597	426
Ganho médio diário (kg/d)	13	363	1,33	0,187	1,58	0,87
Eficiência alimentar	13	327	0,13	0,028	0,22	0,09
Peso de carcaça quente (kg)	7	196	283	34,0	341	223
pH ruminal	6	70	6,21	0,324	6,75	5,74
N-NH <sub>3</sub> ruminal (mg/dL)	5	58	11,6	5,54	20,5	6,72
AGV totais (mM)	6	73	109	15,2	142	81,0
Acetato (% AGV totais)	6	73	60,1	9,08	71,7	46,4
Propionato (% AGV totais)	6	73	27,6	5,09	37,3	19,9
Butirato (% AGV totais)	6	73	9,37	3,674	14,6	5,32
Relação acetato:propionato (A:P)	5	65	2,52	0,879	4,23	1,31
<i>Óleos funcionais</i>						
Consumo de matéria seca (kg)	7	153	8,24	1,699	10,3	5,07
Peso corporal (kg)	4	118	439	69,6	506	343
Ganho médio diário (kg/d)	4	118	1,17	0,357	1,76	0,47
Eficiência alimentar	4	118	0,14	0,032	0,19	0,09
Peso de carcaça quente (kg)	4	118	238	40,1	282	186
pH ruminal	2	20	5,87	0,128	6,06	5,79
N-NH <sub>3</sub> ruminal (mg/dL)	2	20	13,9	6,97	20,3	7,32
AGV totais (mM)	3	35	124	20,0	147	101
Acetato (% AGV totais)	3	35	56,9	8,86	69,1	45,6
Propionato (% AGV totais)	3	35	29,0	5,84	37,3	23,0
Butirato (% AGV totais)	3	35	11,3	3,94	14,7	6,2
Relação acetato:propionato (A:P)	2	27	1,85	0,632	2,59	1,27

<sup>1</sup>AGV = ácidos graxos voláteis.

Tabela 16.3 - Resumo das estimativas do efeito (*effect size*) da monensina sobre o desempenho produtivo e características ruminais em bovinos criados em condições brasileiras

Variáveis <sup>1</sup>	Diferença média ajustada relativa ao controle (95% IC) <sup>2</sup>	% Variação	Estudos, n	Animais, n	I <sup>2</sup> (95% intervalo de incerteza) <sup>3</sup>	Efeito ( <i>effect size</i> ) P-value
Consumo de matéria seca (kg/d)	-0,45 (-0,58,-0,32)	-4,96	20	448	0 (0, 0,28)	<0,001
Peso corporal (kg)	-1,03 (-4,57, 2,52)	-0,22	12	353	0 (0, 0,01)	0,838
Ganho médio diário (kg/d)	-0,007 (-0,04, 0,03)	-0,58	13	363	0 (0, 0,01)	0,932
Eficiência alimentar	0,0003 (-0,004,0,004)	0,93	13	327	0 (0, 0,05)	0,991
Peso de carcaça (kg)	-1,67 (-5,57, 2,23)	-0,69	7	196	0 (0, 0,01)	0,672
pH ruminal	-0,06 (-0,08, -0,03)	-0,96	6	70	0 (0, 0,01)	0,001
N-NH <sub>3</sub> ruminal (mg/dL)	0,26 (-0,10, 0,63)	-3,30	5	58	0 (0, 0,01)	0,322
AGV totais (mM)	-3,38 (-6,65, -0,10)	-2,99	6	73	0,06 (0, 0,43)	0,123
Acetato (% AGV totais)	-3,07 (-3,96, -2,18)	-5,28	6	73	0 (0, 0,30)	<0,001
Propionato (% AGV totais)	4,08 (3,17, 4,99)	22,2	6	73	0 (0, 0,27)	<0,001
Butirato (% AGV totais)	-0,13 (-0,62, 0,37)	-1,60	6	73	0,10 (0, 0,38)	0,860
Relação Acetato:propionato (A:P)	-0,33 (-0,64, -0,02)	-10,3	5	65	0,75 (0, 0,87)	0,062

<sup>1</sup>AGV = ácidos graxos voláteis.

<sup>2</sup>Diferença média ajustada relativa ao controle, onde os ajustes utilizados foram o inverso da variância das diferenças das médias; IC = intervalo de confiança.

<sup>3</sup>I<sup>2</sup> é uma medida de variação além do acaso (Higgins et al., 2003).

A suplementação de monensina reduziu o CMS (- 0,45 kg; % variação = - 4,96;  $P < 0,001$ ), pH ruminal ( - 0,06; % variação = -0,96;  $P = 0,001$ ) e concentração de acetato (-0,45; % variação = -0,96;  $P < 0,001$ ). A concentração de propionato aumentou com a inclusão de monensina nas dietas (4,08; % variação = 22,2;  $P < 0,001$ ). No entanto, não houve efeito da suplementação da dieta com monensina sobre o PC, GMD, EA, PCARC, concentração ruminal de N-NH<sub>3</sub>, AGV totais, concentração de butirato ou A:P ( $P \geq 0,062$ ).

### Óleos funcionais

Os resultados da meta-análise sobre os efeitos da inclusão de OF nas dietas dos bovinos estão descritos na Tabela 16.4. Alta heterogeneidade entre os estudos foi observada quando os efeitos do OF sobre o

GMD, pH ruminal e A:P foram avaliados no presente estudo ( $I^2 = 0,54$  e  $IC = 0, 0,73$  para GMD;  $I^2 = 0,53$  e  $IC = 0, 0,53$  para pH ruminal; e  $I^2 = 0,71$  e  $IC = 0, 0,74$  para A:P). Portanto, os modelos para GMD, pH ruminal e A:P foram avaliados usando efeito aleatório de experimento. Conforme discutido na seção anterior, se essa variância entre estudos não fosse considerada no modelo, aumentaria a probabilidade de ocorrência do erro tipo II.

A inclusão de OF aumentou o PC (12,9 kg; % variação = 3,75;  $P = 0,047$ ) e PCARC (7,21 kg; % variação = 3,80;  $P = 0,017$ ) e reduziu a concentração ruminal de N-NH<sub>3</sub> (- 0,81 mg/dL; % variação = 4,40;  $P = 0,009$ ) e AGV totais (- 3,62 mM; % variação = - 3,01;  $P = 0,022$ ). Contudo, não foram observados efeitos da suplementação de OF sobre o CMS, GMD, EA, pH ruminal, A:P ou concentrações de acetato, propionato e butirato no rúmen ( $P \geq 0,157$ ).

Tabela 16.4 - Resumo das estimativas do efeito (*effect size*) dos óleos funcionais sobre o desempenho produtivo e características ruminais em bovinos criados em condições brasileiras

Variáveis <sup>1</sup>	Diferença média ajustada relativa ao controle (95% IC) <sup>2</sup>	% Variação	Estudos, n	Animais, n	I <sup>2</sup> (95% intervalo de incerteza) <sup>3</sup>	Efeito ( <i>effect size</i> ) P-value
Consumo de matéria seca (kg/d)	0,24 (-0,02; 0,50)	4,05	7	153	0,04 (0; 0,37)	0,157
Peso corporal (kg)	12,9 (3,05; 22,8)	3,75	4	118	0 (0; 0,01)	0,047
Ganho médio diário (kg/dia)	0,09 (-0,05; 0,24)	12,5	4	118	0,54 (0; 0,73)	0,364
Eficiência alimentar	0,0008 (-0,004; 0,006)	0,04	4	118	0 (0; 0,01)	0,941
Peso de carcaça (kg)	7,21 (2,76; 11,7)	3,80	4	118	0 (0; 0,01)	0,017
pH ruminal	-0,02 (-0,59; 0,56)	-0,26	2	20	0,53 (0; 0,53)	0,944
N-NH <sub>3</sub> ruminal (mg/dL)	-0,81 (-1,05; -0,57)	-4,40	2	20	0 (0; 0,01)	0,009
AGV totais (mM)	-3,62 (-5,81; -1,42)	-3,01	3	35	0 (0; 0,01)	0,022
Acetato (% AGV totais)	-0,70 (-2,74; 1,34)	-14,6	3	35	0 (0; 0,01)	0,697
Propionato (% AGV totais)	0,08 (0,36; 0,73)	1,10	3	35	0 (0; 0,01)	0,996
Butirato (% AGV totais)	0,04 (-0,92; 1,00)	-0,01	3	35	0 (0; 0,18)	0,994
Relação Acetato:propionato (A:P)	0,07 (-0,41; 0,56)	6,70	2	27	0,71 (0; 0,74)	0,832

<sup>1</sup>AGV = ácidos graxos voláteis.

<sup>2</sup>Diferença média ajustada relativa ao controle, onde os ajustes utilizados foram o inverso da variância das diferenças das médias; IC = intervalo de confiança.

<sup>3</sup>I<sup>2</sup> é uma medida de variação além do acaso (Higgins et al., 2003).

## Discussão

Para o conhecimento dos autores, esta é a primeira tentativa de resumir estudos avaliando os efeitos da monensina e OF em dietas de bovinos que foram conduzidos nas condições brasileiras. Apesar do número limitado de estudos no banco de dados, os principais resultados parecem corroborar com dados publicados anteriormente sobre os efeitos da monensina ou OF em dietas de bovinos em todo o mundo.

Os principais resultados obtidos para a análise da monensina concordaram com seus principais efeitos relatados para bovinos confinados na literatura, que incluem fermentação ruminal alterada para mais propionato e menos acetato e diminuição do consumo de alimentos com pouco ou nenhum efeito sobre o GMD (Maturana Filho et al., 2010; Ellis et al., 2012; Melo et al., 2020). No presente estudo, bovinos recebendo monensina apresentaram uma redução de aproximadamente 5% no CMS e concentração de acetato, bem como um aumento de 22% na concentração de propionato. Semelhantemente, Goodrich et al. (1984) e Duffield et al. (2012) concluíram em dois estudos metanalíticos que a inclusão de monensina em doses médias de 31,8 e 28,1 mg/kg MS em dietas de bovinos de corte reduziu o CMS em 6,4 e 3%, respectivamente. Além disso, respostas similares à monensina sobre a fermentação ruminal foram obtidas por McGinn et al. (2004) e Tomkins et al. (2015). Esses autores descreveram um aumento nas concentrações de propionato de 18 e 23,7% e uma diminuição na concentração de acetato de 3,6 e 5%, quando a monensina foi adicionada a dietas com alto teor de concentrado e alto teor de volumoso, respectivamente. Entretanto, diferentemente dos resultados obtidos pelas meta-análises de Goodrich et al. (1984) e Duffield et al. (2012), nenhum efeito da monensina foi observado sobre GMD ou EA no presente estudo.

Conforme discutido anteriormente, os resultados sobre os efeitos do OF sobre o desempenho produtivo e parâmetros de fermentação ruminal de bovinos têm sido variáveis devido a muitos fatores, como o tipo de OF, as doses utilizadas e a composição da dieta. De fato, a heterogeneidade entre os

estudos foi mais pronunciada nos resultados dos OF, quando comparado aos resultados da monensina no presente estudo. A maior heterogeneidade entre os estudos, juntamente com o número limitado de estudos no banco de dados, pode ter prejudicado a obtenção de diferenças significativas mesmo quando ocorreram grandes mudanças numéricas devido à suplementação de OF, como para a variável GMD (aumento de 12%). No entanto, os efeitos significativos da suplementação de OF para bovinos observados neste estudo concordaram com resultados anteriores encontrados na literatura.

Alguns estudos descreveram melhora no GMD, PC final e/ou PCARC quando OF foram incluídos nas dietas de bovinos de corte, o que geralmente foi associado ao aumento do CMS e ausência de efeito sobre a EA (Valero et al., 2014; Ornaghi et al., 2017; Silva et al., 2019). Esses efeitos positivos da suplementação de OF corroboram parcialmente com os resultados obtidos, uma vez que a EA não foi afetada e um aumento de aproximadamente 3,8% no peso corporal e de carcaça foram observados para bovinos recebendo OF. Entretanto, nenhum efeito significativo da suplementação de OF sobre o CMS ou GMD foi observado no presente estudo.

Muitos estudos disponíveis na literatura sobre suplementação de OF em ruminantes indicam que as concentrações totais de AGV permanecem inalteradas ao invés de aumentar ou até mesmo diminuir (Khorrami et al., 2015; Tomkins et al., 2015; Ghizzi et al., 2018), o que não é consistente com os resultados do presente estudo. No entanto, as concentrações totais de AGV inalteradas devido aos OF ainda podem ser benéficas se a concentração ruminal de N-NH<sub>3</sub> diminuir.

No presente estudo, a inclusão de OF reduziu a concentração ruminal de N-NH<sub>3</sub> em 4,4%, indicando que os OF podem ser eficazes na redução da perda de proteína da dieta devido à menor degradação ruminal. Em concordância, alguns estudos têm associado a inclusão de OF na dieta com redução na degradação ruminal de proteínas e aminoácidos (McIntosh et al., 2003; Cardozo et al., 2006; Bodas et al., 2012), resultando em concentrações reduzidas de amônia ruminal e

maior passagem de proteína para o intestino delgado.

Conforme discutido anteriormente, vários estudos avaliaram os efeitos de aditivos, como monensina e OF, na produtividade de bovinos criados em clima temperado (Goodrich et al., 1984; Duffield et al., 2012; Khiaosa-Ard and Zebeli, 2013), e recomendações gerais foram feitas pelo Sistema Norte-Americano (NASEM, 2016) para ajustar as exigências nutricionais de bovinos de corte recebendo aditivos.

Os resultados do presente estudo sugerem que monensina e OF podem afetar positivamente o metabolismo ruminal e o desempenho produtivo de bovinos. O comitê recomenda reduzir o CMS estimado em 5% quando monensina é incluída nas dietas de confinamento. Embora a inclusão de OF nas dietas de bovinos tenha aumentado numericamente o CMS e GMD em aproximadamente 4 e 12,5%, respectivamente, nenhum ajuste é proposto pelo atual comitê do BR-CORTE, pois esses efeitos não foram significativos. Mais pesquisas são necessárias para se determinar os efeitos dos OF sobre o CMS e GMD de bovinos criados em condições brasileiras.

Vale ressaltar que o aumento de cerca de 22% na concentração de propionato e a redução de aproximadamente 5% nas concentrações de acetato promovidas pela monensina podem ter melhorado a utilização de energia pelos bovinos. Estequiometricamente, a produção de gás (dióxido de carbono e metano) e, conseqüentemente, a perda de energia no rúmen geralmente é reduzida quando a fermentação é direcionada para mais propionato do que acetato (Wolin et al., 1997). Durante a formação do propionato, nenhum gás é gerado, mas ao contrário do acetato e butirato, parte do excesso de hidrogênio gerado

durante sua produção é usado para formar propionato.

## **OUTROS ESTUDOS BRASILEIROS COM ADITIVOS**

Infelizmente, não foi possível reunir dados suficientes para realizar estudos metanalíticos sobre o uso de outros aditivos em condições brasileiras. No entanto, foi realizada uma triagem de literatura semelhante à relatada no tópico anterior para monensina e OF, e os dados obtidos foram descritos na Tabela 16.5 (A lista de estudos está disponível no Apêndice 16.2).

Em geral, foram observadas reduções numéricas de 1,15, 0,83 e 0,85 kg/dia no CMS quando a monensina foi utilizada em associação com OF, virginiamicina ou levedura, respectivamente. Além disso, houve aumento numérico no PC de 11,3, 8,90 e 14,1 kg quando a virginiamicina foi incluída nas dietas dos bovinos isoladamente ou em associação com monensina ou levedura, respectivamente.

A inclusão de virginiamicina combinada com monensina reduziu numericamente o GMD em 0,090 kg/dia, enquanto a associação de virginimicina e levedura aumentou numericamente o GMD em 0,13 kg/dia. Além disso, a adição de salinomicina em dietas de bovinos aumentou numericamente o PC e GMD em 9,5 kg e 0,060 kg/dia, respectivamente. Contudo, maiores aumentos numéricos de EA somente foram observados quando monensina em associação com OF ou levedura foram incluídos nas dietas de bovinos. Esses resultados preliminares corroboram com a discussão realizada nos tópicos anteriores deste capítulo. No entanto, mais resultados experimentais são necessários para se chegar a qualquer conclusão sobre os efeitos desses aditivos nas dietas de bovinos.



Tabela 16.5 - Diferenças numéricas médias obtidas em relação ao controle para diferentes aditivos alimentares, para consumo de matéria seca (CMS), peso corporal (PC), ganho médio diário (GMD) eficiência alimentar (EA) e peso de carcaça (PCARC)

Item	Estudo	CMS (kg/dia)	PC (kg)	GMD (kg/dia)	EA	PCARC (kg)
Lasalocida	Cortada Neto, I. M.; Gonçalves, P. H.; Maturana Filho et al.	-0,08	-0,52	-0,01	0,003	4,00
Monensina + óleos funcionais	Melo et al.; Chagas, L. J.	-1,15	0,00	0,00	0,02	0,00
Monensina + virginiamicina	Fonseca et al.; Sitta, C.	-0,82	8,90	-0,08	0,004	-
Narasina	Gobato et al.	-	3,35	0,03	-	-
Salinomicina	Cortada Neto, I. M.; Ferreira et al.	-0,28	9,50	0,06	-	-
Salinomicina + virginiamicina	Sitta, C.	-	-1,20	-0,01	-0,009	-
Virginiamicina	Cortada Neto, I. M.; Fonseca et al.; Guimarães, K. L.; Sitta, C.; Ferreira et al.	-0,27	11,3	0,03	0,011	-
Leveduras	Gomes et al.; Guimarães, K. L.; Sitta, C.; Fugita et al.; Benatti, J. M. B.	0,29	1,04	-0,002	-0,003	0,30
Leveduras + monensina	Gomes et al.; Benatti, J. M. B.	-0,84	-6,05	-0,05	0,013	-7,00
Leveduras + virginiamicina	Guimarães, K. L.	-	14,1	0,13	-	-

Diferenças numéricas médias obtidas em relação ao controle para diferentes aditivos alimentares para consumo de matéria seca (CMS), peso corporal (PC), ganho médio diário (GMD) eficiência alimentar (EA) e peso de carcaça (PCARC)

## AVALIAÇÃO PRÁTICA DE ADITIVOS EM DIETAS BRASILEIRAS

Dois estudos foram conduzidos concomitantemente para avaliar os efeitos de dietas contendo diferentes aditivos alimentares sobre o metabolismo (Estudo 1) e desempenho produtivo (Estudo 2) de machos Nelore não castrados criados em condições brasileiras. Para isso, o consumo, a digestibilidade dos nutrientes e os parâmetros ruminais de machos Nelore não castrados alimentados com dietas contendo diferentes aditivos foram avaliados no estudo 1 (Silva et al., 2021). No estudo 2, foram avaliados os efeitos da suplementação de diferentes aditivos sobre o consumo, GMD e EA de machos Nelore não castrados em terminação (Pacheco, dados não publicados).

Em ambos os estudos, os animais foram alimentados com dieta basal composta por 30% de silagem de milho e 70% de concentrado (na base da MS). Os tratamentos avaliados em ambos os casos consistiram na adição de seis aditivos (na base da MS), sendo: bicarbonato 1,4% e óxido de magnésio na proporção 3:1 (BOX); 36 mg/kg MS de lasalocida sódica (LAS); 30 mg/kg MS de monensina sódica (MON); 25 mg/kg MS de virginiamicina (VIR); 30 mg/kg DM de monensina sódica e 25 mg/kg MS de virginiamicina (MV); e 3,15% de suplemento mineral comercial contendo D-limoneno e  $\alpha$ -amilase exógena (EOA).

### Estudo 1

Neste estudo, seis machos Nelore não castrados fistulados no rúmen (idade =  $8 \pm 1,0$  meses; PC inicial =  $225 \pm 13,2$  kg) foram distribuídos em delineamento quadrado latino  $6 \times 6$ , com seis tratamentos (diferentes aditivos) e seis períodos. O experimento teve duração de 144 dias, com seis períodos de 24 dias. Cada período consistiu de 14 dias para adaptação à dieta, 3 dias para coleta total de fezes e urina e 7 dias para coleta de digesta omasal e ruminal. Os principais resultados estão descritos abaixo (Figura 16.1 e Tabela 16.6). Mais detalhes podem ser obtidos em Silva et al. (2021).

Os consumos de MS e demais nutrientes (MO, amido, FDN e PB) foram maiores nos animais alimentados com a dieta BOX quando comparados a todos os outros tratamentos (LAS, MON, VIR, MV e EOA;

Figura 16.1 A e B). Ressalta-se que a melhoria no CMS dos animais alimentados com dietas BOX, em relação aos alimentados com outras dietas foi de aproximadamente 17,5%. Há relatos na literatura que corroboram com esses resultados, em que se observou maior consumo para bovinos de corte recebendo dietas contendo BOX em relação àqueles que não receberam aditivos ou receberam outros aditivos, como monensina (Adams et al., 1981; Peirce et al., 1983), visto que monensina reduz CMS.

Em geral, a digestibilidade ruminal e intestinal da maioria dos nutrientes foi semelhante entre todos os aditivos, exceto para a digestibilidade ruminal do amido. Animais alimentados com EOA apresentaram digestibilidade ruminal do amido aproximadamente 4,1% maior (tendência;  $P = 0,09$ ) em comparação àqueles alimentados com dietas com BOX, LAS, MON, VIR ou MV (Tabela 16.6). Além disso, os animais alimentados com EOA apresentaram digestibilidade total da MS aproximadamente 6,5 % maior ( $P < 0,05$ ) em comparação aos animais alimentados com BOX, LAS, MON, VIR ou MV. Em concordância, o potencial da  $\alpha$ -amilase exógena em melhorar a digestibilidade do amido ruminal tem sido relatado na literatura (Nozière et al., 2014; Andreazzi et al., 2018).

No entanto, não foi observado efeito de aditivo ( $P > 0,05$ ) sobre a digestibilidade intestinal ou total do amido, eficiência microbiana ou pH ruminal. O pH ruminal médio variou entre 6,0 e 6,3 para todas as dietas. Além disso, a duração do pH entre 5,6 e 5,2 foi baixa e valores de pH ruminal abaixo de 5,2 não foram observados, sugerindo que todos os aditivos alimentares avaliados foram eficientes em controlar o pH ruminal e prevenir acidose aguda e/ou subaguda.

Em resumo, parece plausível afirmar que dietas contendo os aditivos monensina, virginiamicina, monensina + virginiamicina e óleos essenciais +  $\alpha$ -amilase exógena reduziram o consumo de MS e nutrientes de machos Nelore não castrados em comparação com dietas contendo a combinação de bicarbonato de sódio e óxido de magnésio. Além disso, os resultados deste estudo sugerem que não parece ocorrer grandes diferenças nos parâmetros digestivos para os aditivos alimentares avaliados (BOX, LAS, MON, VIR, MV e EOA). Ademais, os resultados de pH ruminal deste estudo

confirmam que todos os aditivos avaliados podem ser utilizados em dietas de confinamento para minimizar distúrbios

metabólicos e, conseqüentemente, seus impactos negativos sobre os parâmetros digestivos.

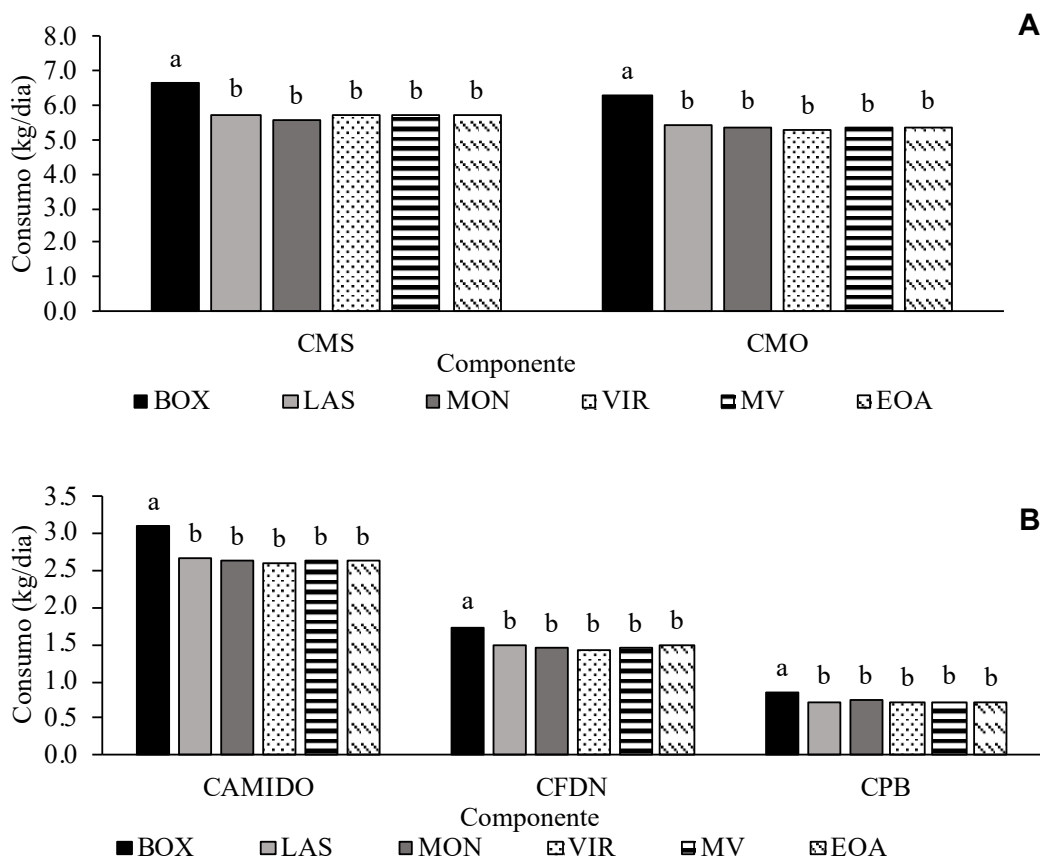


Figura 16.1 - Efeito de diferentes aditivos sobre o consumo de MS (CMS; A), matéria orgânica (CMO; A), amido (CAMIDO; B), fibra em detergente neutro (CFDN; B) e proteína bruta (CPB; B) de machos Nelore não castrados. Os tratamentos foram (com base na MS): BOX = 1,4% bicarbonato e óxido de magnésio na proporção 3:1; LAS = 36 mg/kg MS lasalocida sódica; MON = 30 mg/kg MS de monensina sódica; VIR = 25 mg/kg MS de virginiamicina; MV = 30 mg/kg MS de monensina sódica + 25 mg/kg MS de virginiamicina; e EOA = 3,15% de suplemento mineral comercial contendo D-limoneno e  $\alpha$ -amilase exógena [Adaptada de Silva et al. (2021)].

Tabela 16.6 - Efeitos de diferentes aditivos sobre a digestibilidade do amido, eficiência microbiana e pH ruminal de machos Nelore não castrados [Adaptada de Silva et al. (2021)]

Item	Tratamento <sup>1</sup>						EPM	P-valor
	BOX	LAS	MON	VIR	MV	EOA		
Digestão da matéria seca (%)								
Rúmen	50,2	48,4	81,4	50,2	50,0	52,3	2,53	0,897
Intestinos	21,0	23,9	25,0	24,4	24,1	26,4	2,84	0,813
Trato total	71,2c	72,2bc	75,2b	74,5bc	73,4bc	78,7a	1,49	0,012
Digestão do amido (%)								
Rúmen	78,4	79,5	81,4	81,3	79,8	83,3	1,13	0,090
Intestinos	10,7	9,13	8,11	8,59	9,39	8,72	1,187	0,717
Trato total	89,1	88,6	89,5	89,9	89,2	92,0	1,42	0,514
Eficiência microbiana (g PBmic/kg NDT)								
pH ruminal médio	6,27	5,96	6,05	6,03	6,01	5,95	<0,001	0,634
Duração pH (min/dia)								
pH > 5.6	1308	1089	1223	1161	1215	1129	139,4	0,887
5.6 < pH < 5.2	132	351	217	279	225	311	137,9	0,888
pH < 5.2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-

<sup>1</sup>Tratamentos foram (com base na MS): BOX = 1,4% bicarbonato e óxido de magnésio na proporção 3:1; LAS = 36 mg/kg MS lasalocida sódica; MON = 30 mg/kg MS de monensina sódica; VIR = 25 mg/kg MS de virginiamicina; MV = 30 mg/kg MS de monensina sódica + 25 mg/kg MS de virginiamicina; e EOA = 3,15% de suplemento mineral comercial contendo D-limoneno e  $\alpha$ -amilase exógena

## Estudo 2

Quarenta e dois machos Nelore não castrados (idade =  $8 \pm 1,0$  meses; PC inicial =  $257 \pm 26,3$  kg) foram distribuídos aleatoriamente em seis grupos com sete animais cada e alocados em confinamento. Os seis tratamentos descritos anteriormente para o Estudo 1 foram distribuídos aleatoriamente para cada grupo. Este estudo teve duração de 140 dias, consistindo de cinco períodos experimentais de 28 dias cada, sendo: d 1-28, d 29-56, d 57-84; d 85-112 e d 113-140. Os principais resultados de desempenho produtivo estão descritos abaixo.

Não foram observadas diferenças ( $P \geq 0,38$ ) para o CMS, GMD ou EA (Figura 16.2) durante o período total de confinamento (d 1 a 140). Contudo, o tipo de aditivo afetou ( $P \leq 0,017$ ) o CMS e o GMD durante o período d 1-28 avaliado. Os animais alimentados com BOX tiveram o maior ( $P < 0,05$ ) CMS (Figura 16.2; A), enquanto aqueles alimentados com LAS tiveram o menor ( $P < 0,05$ ) CMS; animais alimentados com MON, VIR, MV e EOA apresentaram CMS intermediário e não diferiram ( $P > 0,05$ ) dos demais tratamentos. O GMD (Figura 16.2; B) no período d 1-28 foi maior ( $P < 0,05$ ) nos animais alimentados com BOX e EOA em comparação àqueles

alimentados com LAS, VIR e MV ( $P < 0,05$ ). Animais alimentados com MON apresentaram GMD intermediário e não diferiram ( $P > 0,05$ ) dos demais tratamentos. Está bem documentado na literatura que MON reduz o CMS de bovinos confinados (Maturana Filho et al., 2010; Duffield et al., 2012; Melo et al., 2020). Além disso, há relatos na literatura que descrevem maior CMS para bovinos alimentados com BOX ou EOA em comparação àqueles que não receberam aditivos ou receberam outros aditivos, como MON (Peirce et al., 1983; Gouvêa et al., 2019; Meschiatti et al., 2019). Ainda, nenhum benefício adicional do uso combinado de monensina e virginiamicina (MV) em dietas de bovinos tem sido relatado recentemente (Fonseca et al., 2016; Lemos et al., 2016; Maciel et al., 2019).

Ademais, as dietas BOX e EOA resultaram no maior GMD dos animais, enquanto aqueles alimentados com LAS, VIR e MV apresentaram o menor GMD durante o período d 1-28. Assim, esses resultados sugerem que a inclusão de BOX e EOA às dietas de confinamento pode trazer algum benefício quanto ao maior consumo e ganho médio diário, enquanto a LAS pode reduzir o consumo e ganho de peso nos primeiros 28 dias de adaptação de machos Nelore não castrados.

## CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESTUDOS 1 e 2

Em geral, os resultados dos estudos 1 e 2 sugerem:

1 – Todos os aditivos avaliados foram eficientes no controle do pH ruminal e na prevenção da acidose aguda e/ou subaguda; portanto, todos os aditivos são recomendados para tal finalidade.

2 – Ao longo prazo (140 dias de confinamento), todos os aditivos alimentares testados apresentaram efeitos semelhantes sobre CMS, GMD e EA (d 1 a 140).

3 – No curto prazo (primeiros 28 dias de confinamento), animais alimentados com BOX apresentaram maior CMS em relação aos alimentados com LAS.

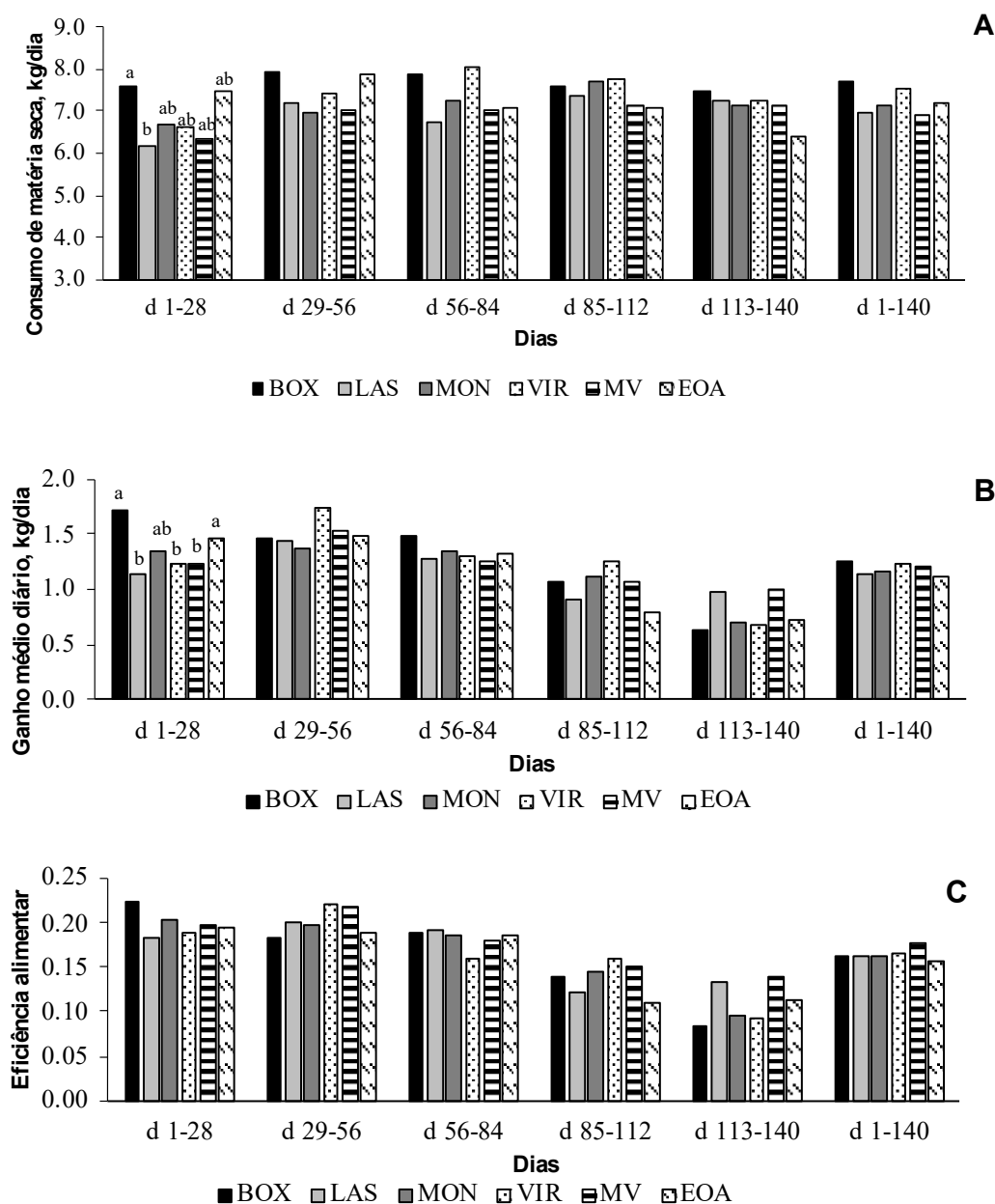


Figura 16.2 - Efeito de diferentes aditivos sobre o consumo de matéria seca (CMS; A), ganho médio diário (GMD; kg/d; B) eficiência alimentar (EA; C) de machos Nelore não castrados em terminação. Os tratamentos foram (com base na MS): BOX = 1,4% bicarbonato e óxido de magnésio na proporção 3:1; LAS = 36 mg/kg MS lasalocida sódica; MON = 30 mg/kg MS de monensina sódica; VIR = 25 mg/kg MS de virginiamicina; MV = 30 mg/kg MS de monensina sódica + 25 mg/kg MS de virginiamicina; e EOA = 3,15% de suplemento mineral comercial contendo D-limoneno e  $\alpha$ -amilase exógena.

## REFERÊNCIAS

- Aarestrup, F. M., F. Bager, N. E. Jensen, M. Aarestrup, F. M., F. Bager, N. E. Jensen, M. Madsen, A. Meyling, and H. C. Wegener. 1998. Surveillance of antimicrobial resistance in bacteria isolated from food animals to antimicrobial growth promoters and related therapeutic agents in Denmark. *Apmis*. 106:606–622. doi:10.1111/j.1699-0463.1998.tb01391.x.
- Adams, D. C., M. L. Galyean, H. E. Kiesling, J. D. Wallace, and M. D. Finkner. 1981. Influence of Viable Yeast Culture, Sodium Bicarbonate and Monensin on Liquid Dilution Rate, Rumen Fermentation and Feedlot Performance of Growing Steers and Digestibility in Lambs. *J. Anim. Sci.* 53:780–789. doi:10.2527/jas1981.533780x.
- Alemu, A. W., Pekrul, L. K., Shreck, A. L., Booker, C. W., McGinn, S. M., Kindermann, M., & Beauchemin, K. A. (2021). 3-Nitrooxypropanol decreased enteric methane production from growing beef cattle in a commercial feedlot: implications for sustainable beef cattle production. *Frontiers in Animal Science*, 2, 641590. doi:10.3389/fanim.2021.641590.
- Amaro, F. X., D. Kim, M. C. N. Agarussi, V. P. Silva, T. Fernandes, K. G. Arriola, Y. Jiang, A. P. Cervantes, A. T. Adesogan, L. F. Ferraretto, S. Yu, W. Li, and D. Vyas. 2021. Effects of exogenous  $\alpha$ -amylases, glucoamylases, and proteases on ruminal in vitro dry matter and starch digestibility, gas production, and volatile fatty acids of mature dent corn grain. *Transl. Anim. Sci.* 5:1–16. doi:10.1093/tas/txaa222.
- Amin, A. B., and S. Mao. 2021. Influence of yeast on rumen fermentation, growth performance and quality of products in ruminants: A review. *Anim. Nutr.* 7:31–41. doi:10.1016/j.aninu.2020.10.005.
- Andreazzi, A. S. R., M. N. Pereira, R. B. Reis, R. A. N. Pereira, N. N. Morais Júnior, T. S. Acedo, R. G. Hermes, and C. S. Cortinhas. 2018. Effect of exogenous amylase on lactation performance of dairy cows fed a high-starch diet. *J. Dairy Sci.* 101:7199–7207. doi:10.3168/jds.2017-14331.
- Arambel, M. J., R. D. Wiedmeier, D. H. Clark, R. C. Lamb, R. L. Boman, and J. L. Walters. 1988. Effect of Sodium Bicarbonate and Magnesium Oxide in an Alfalfa-Based Total Mixed Ration Fed to Early Lactating Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 71:159–163. doi:10.3168/jds.S0022-0302(88)79537-5.
- Bailey, C. B. 1961. Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. *Br. J. Nutr.* 15:489–498. doi:10.1079/bjn19610062.
- Beauchemin, K. A., D. Colombatto, D. P. Morgavi, W. Z. Yang, and L. M. Rode. 2004. Mode of action of exogenous cell wall degrading enzymes for ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 84:13–22. doi:10.4141/A02-102.
- Beauchemin, K. A., K. M. Koenig, W. Yang, and T. A. McAllister. 2018. Additives that alter ruminal fermentation and gastrointestinal function in beef cattle. In: S. de C. Valadares Filho, editor. *7th International Symposium of Beef cattle Production*. Suprema Gráfica Ltda, Viçosa, MG.
- Beauchemin, K. A., C. R. Krehbiel, and C. J. Newbold. 2006. Chapter 7 Enzymes, bacterial direct-fed microbials and yeast: principles for use in ruminant nutrition. *Elsevier* Ltda.
- Benatti, J. M. B., J. A. Alves Neto, I. M. de Oliveira, F. D. de Resende, and G. R. Siqueira. 2017. Effect of increasing monensin sodium levels in diets with virginiamycin on the finishing of Nellore cattle. *Anim. Sci. J.* 88:1709–1714. doi:10.1111/asj.12831.
- Benchaar, C., S. Calsamiglia, A. V. Chaves, G. R. Fraser, D. Colombatto, T. A. McAllister, and K. A. Beauchemin. 2008. A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145:209–228. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.04.014.
- Benchaar, C., and H. Greathead. 2011. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167:338–355. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.04.024.
- Bergen, W. G., and D. B. Bates. 1984. Ionophores: Their effect on production efficiency and mode of action. *J. Anim. Sci.* 58:1465–1483. doi:https://doi.org/10.2527/jas1984.5861465x.
- Bodas, R., N. Prieto, R. García-González, S. Andrés, F. J. Giráldez, and S. López. 2012. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. *Anim. Feed Sci. Technol.* 176:78–93. doi:10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010.
- Boom, B., and R. Dewart. 1974. Methods for identification and assay of virginiamycin in animal feeds. *Analyst.* 99:19–25.
- Brethour, J. R., B. Lee, and J. G. Riley. 1986. *Adding fat and/or sodium bicarbonate to steer finishing rations that contain wheat*. In: K. S. U. A. E. S. and C. E. Service, editor. *Cattlemen's Day*. Kansas State University, Manhattan, KS. p. 4–11.

- Bretschneider, G., J. C. Elizalde, and F. A. Pérez. 2008. The effect of feeding antibiotic growth promoters on the performance of beef cattle consuming forage-based diets: A review. *Livest. Sci.* 114:135–149. doi:10.1016/j.livsci.2007.12.017.
- Burt, S. 2004. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. *Int. J. Food Microbiol.* 94:223–253. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022.
- Busquet, M., S. Calsamiglia, A. Ferret, and C. Kamel. 2006. Plant extracts affect in vitro rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 89:761–771. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72137-3.
- Cabrita, A. R. J., J. M. P. Vale, R. J. B. Bessa, R. J. Dewhurst, and A. J. M. Fonseca. 2009. Effects of dietary starch source and buffers on milk responses and rumen fatty acid biohydrogenation in dairy cows fed maize silage-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 152:267–277. doi:10.1016/j.anifeedsci.2009.04.020.
- Calsamiglia, S., M. Blanch, A. Ferret, and D. Moya. 2012. Is subacute ruminal acidosis a pH related problem? Causes and tools for its control. *Anim. Feed Sci. Technol.* 172:42–50. doi:10.1016/j.anifeedsci.2011.12.007.
- Calsamiglia, S., M. Busquet, P. W. Cardozo, L. Castillejos, and A. Ferret. 2007. Invited review: Essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *J. Dairy Sci.* 90:2580–2595. doi:10.3168/jds.2006-644.
- Cardozo, P. W., S. Calsamiglia, A. Ferret, and C. Kamel. 2005. Screening for the effects of natural plant extracts at different pH on in vitro rumen microbial fermentation of a high-concentrate diet for beef cattle. *J. Anim. Sci.* 83:2572–2579. doi:10.2527/2005.83112572x.
- Cardozo, P. W., S. Calsamiglia, A. Ferret, and C. Kamel. 2006. Effects of alfalfa extract, anise, capsicum, and a mixture of cinnamaldehyde and eugenol on ruminal fermentation and protein degradation in beef heifers fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 84:2801–2808. doi:10.2527/jas.2005-593.
- Carro, M. D., P. Lebzien, and K. Rohr. 1992. Influence of yeast culture on the in vitro fermentation (Rusitec) of diets containing variable portions of concentrates. *Anim. Feed Sci. Technol.* 37:209–220. doi:10.1016/0377-8401(92)90005-Q.
- Castagnino, P. S., G. Fiorentini, E. E. Dallantonia, E. San Vito, J. D. Messana, J. A. Torrecilhas, A. G. Silva Sobrinho, and T. T. Berchielli. 2018. Fatty acid profile and carcass traits of feedlot Nellore cattle fed crude glycerin and virginiamycin. *Meat Sci.* 140:51–58. doi:10.1016/j.meatsci.2018.02.013.
- Castillejos, L., S. Calsamiglia, A. Ferret, and R. Losa. 2005. Effects of a specific blend of essential oil compounds and the type of diet on rumen microbial fermentation and nutrient flow from a continuous culture system. *Anim. Feed Sci. Technol.* 119:29–41. doi:10.1016/j.anifeedsci.2004.12.008.
- Chaucheyras-Durand, F., N. D. Walker, and A. Bach. 2008. Effects of active dry yeasts on the rumen microbial ecosystem: Past, present and future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145:5–26. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.04.019.
- Chaudhry, A. S., and M. M. H. Khan. 2012. Impacts of different spices on in vitro rumen dry matter disappearance, fermentation and methane of wheat or ryegrass hay based substrates. *Livest. Sci.* 146:84–90. doi:10.1016/j.livsci.2012.01.007.
- Christiansen, M. L., and K. E. Webb. 1990. Intestinal acid flow, dry matter, starch and protein digestibility and amino acid absorption in beef cattle fed a high-concentrate diet with defluorinated rock phosphate, limestone or magnesium oxide. *J. Anim. Sci.* 68:2105. doi:10.2527/1990.6872105x.
- Cocito, C. 1979. Antibiotics of the virginiamycin family, inhibitors which contain synergistic components. *Microbiol. Rev.* 43:145–198. doi:10.1128/mmbr.43.2.145-192.1979.
- Dahham, S. S., Y. M. Tabana, M. A. Iqbal, M. B. K. Ahamed, M. O. Ezzat, A. S. A. Majid, and A. M. S. A. Majid. 2015. The anticancer, antioxidant and antimicrobial properties of the sesquiterpene  $\beta$ -caryophyllene from the essential oil of *Aquilaria crassna*. *Molecules.* 20:11808–11829. doi:10.3390/molecules200711808.
- Desnoyers, M., S. Giger-Reverdin, G. Bertin, C. Duvaux-Ponter, and D. Sauvant. 2009. Meta-analysis of the influence of *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on ruminal parameters and milk production of ruminants. *J. Dairy Sci.* 92:1620–1632. doi:10.3168/jds.2008-1414.
- Dijkstra, J., A. Bannink, J. France, E. Kebreab, and S. van Gastelen. 2018. Short communication: Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. *J. Dairy Sci.* 101:9041-9047. doi:10.3168/jds.2018-14456.

- DiLorenzo, N., D. R. Smith, M. J. Quinn, M. L. May, C. H. Ponce, W. Steinberg, M. A. Engstrom, and M. L. Galyean. 2011. Effects of grain processing and supplementation with exogenous amylase on nutrient digestibility in feedlot diets. *Livest. Sci.* 137:178–184. doi:10.1016/j.livsci.2010.11.003.
- Duffield, T. F., J. K. Merrill, and R. N. Bagg. 2012. Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. *J. Anim. Sci.* 90:4583–4592. doi:10.2527/jas.2011-5018.
- Duin, E. C., T. Wagner, S. Shima, D. Prakash, B. Cronin, D. R. Yáñez-Ruiz, S. Duval, R. Rumbeli, R. T. Stemmler, and R. K. Thauer. 2016. Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113:6172–6177. doi:10.1073/pnas.1600298113
- Edwards, I. E., T. Mutsvangwra, J. H. Topps, and G. M. Paterson. 1990. The effect of supplemental yeast culture (yea-sacc) on patterns of rumen fermentation and growth performance of intensively fed bulls. *Proc. Br. Soc. Anim. Prod.* 1990:116–116. doi:10.1017/S0308229600018961.
- Ellis, J. L., J. Dijkstra, A. Bannink, E. Kebreab, S. E. Hook, S. Archibeque, and J. France. 2012. Quantifying the effect of monensin dose on the rumen volatile fatty acid profile in high-grain-fed beef cattle. *J. Anim. Sci.* 90:2717–2726. doi:10.2527/jas2011-3966.
- Emery, R. S., L. D. Brown, and J. W. Bell. 1965. Correlation of Milk Fat with Dietary and Metabolic Factors in Cows Fed Restricted-Roughage Rations Supplemented with Magnesium Oxide or Sodium Bicarbonate. *J. Dairy Sci.* 48:1647–1651. doi:10.3168/jds.S0022-0302(65)88543-5.
- Encinas, C. M. A., G. V. Villalobos, J. D. Viveros, G. C. Flores, E. A. Almora, and F. C. Rangel. 2018. Animal performance and nutrient digestibility of feedlot steers fed a diet supplemented with a mixture of direct-fed microbials and digestive enzymes. *Rev. Bras. Zootec.* 47. doi:10.1590/rbz4720170121.
- Erdman, R. A. 1988. Dietary Buffering Requirements of the Lactating Dairy Cow: A Review. *J. Dairy Sci.* 71:3246–3266. doi:10.3168/jds.S0022-0302(88)79930-0.
- Erdman, R. A., R. L. Botts, R. W. Hemken, and L. S. Bull. 1980. Effect of Dietary Sodium Bicarbonate and Magnesium Oxide on Production and Physiology in Early Lactation. *J. Dairy Sci.* 63:923–930. doi:10.3168/jds.S0022-0302(80)83027-X.
- Erdman, R. A., R. W. Hemken, and L. S. Bull. 1982. Dietary Sodium Bicarbonate and Magnesium Oxide for Early Postpartum Lactating Dairy Cows: Effects of Production, Acid-Based Metabolism, and Digestion. *J. Dairy Sci.* 65:712–731. doi:10.3168/jds.S0022-0302(82)82259-5.
- Fandiño, I., G. Fernandez-Turren, A. Ferret, D. Moya, L. Castillejos, and S. Calsamiglia. 2020. Exploring additive, synergistic or antagonistic effects of natural plant extracts on in vitro beef feedlot-type rumen microbial fermentation conditions. *Animals.* 10. doi:10.3390/ani10010173.
- Fiems, L. O., C. V. Boucque, B. G. Cottyn, R. J. Moermans, and D. L. Brabander. 1992. Effect of virginiamycin supplementation on the performance of young grazing cattle. *Grass Forage Sci.* 47:36–40. doi:10.1111/j.1365-2494.1992.tb02245.x.
- Finck, D. N., F. R. B. Ribeiro, N. C. Burdick, S. L. Parr, J. A. Carroll, T. R. Young, B. C. Bernhard, J. R. Corley, A. G. Estefan, R. J. Rathmann, and B. J. Johnson. 2014. Yeast supplementation alters the performance and health status of receiving cattle. *Prof. Anim. Sci.* 30:333–341. doi:10.15232/S1080-7446(15)30125-X.
- Fonseca, M. P., A. L. Da Costa Cruz Borges, R. Reise Silva, H. F. Lage, A. L. Ferreira, F. C. F. Lopes, C. G. Pancoti, and J. A. S. Rodrigues. 2016. Intake, apparent digestibility, and methane emission in bulls receiving a feed supplement of monensin, virginiamycin, or a combination. *Anim. Prod. Sci.* 56:1041–1045. doi:10.1071/AN14742.
- Gadberry, S., Beck, P., Moore, M., White, F., Linneen, S., & Lalman, D. (2022). Meta-analysis of the effects of monensin on performance of beef replacement heifers and beef cows. *Translational Animal Science*, 6(3), txac086. doi: 10.1093/tas/txac086.
- Gadberry, S., Lalman, D., White, F., Linneen, S., & Beck, P. (2022). Meta-analysis of the effects of monensin on growth and bloat of cattle on pasture. *Translational Animal Science*, 6(2), txac031. doi: 10.1093/tas/txac031.
- Gattass, C. B. A., M. da G. Morais, U. G. P. Abreu, B. Lempp, J. Stein, T. Z. Albertini, and G. L. Franco. 2008. Consumo, digestibilidade aparente e ganho de peso em bovinos de corte confinados e suplementados com cultura de levedura (*Saccharomyces cerevisiae* cepa 1026). *Ciência Anim. Bras.* 9:535–542.



- Geng, C. Y., L. P. Ren, Z. M. Zhou, Y. Chang, and Q. X. Meng. 2016. Comparison of active dry yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and yeast culture for growth performance, carcass traits, meat quality and blood indexes in finishing bulls. *Anim. Sci. J.* 87:982–988. doi:10.1111/asj.12522.
- Ghizzi, L. G., T. A. Del Valle, C. S. Takiya, G. G. da Silva, E. M. C. Zilio, N. T. S. Grigoletto, L. S. Martello, and F. P. Rennó. 2018. Effects of functional oils on ruminal fermentation, rectal temperature, and performance of dairy cows under high temperature humidity index environment. *Anim. Feed Sci. Technol.* 246:158–166. doi:10.1016/j.anifeedsci.2018.10.009.
- Ghorbani, G. R., J. A. Jackson, and R. W. Hemken. 1989. Effects of Sodium Bicarbonate and Sodium Sesquicarbonate on Animal Performance, Ruminal Metabolism, and Systemic Acid-Base Status. *J. Dairy Sci.* 72:2039–2045. doi:10.3168/jds.S0022-0302(89)79327-9.
- Gobato, L. G. M., R. G. Silva, A. A. Miszura, D. M. Polizel, M. V. C. F. Junior, G. B. Oliveira, A. V. Bertoloni, J. P. R. Barroso, and A. V. Pires. 2017. Effect of narasin addition in mineral mixture on gain and intake of feedlot Nellore heifers. *J. Anim. Sci.* 95:266–266. doi:10.2527/asasann.2017.544.
- González, L. A., A. Ferret, X. Manteca, and S. Calsamiglia. 2008. Increasing sodium bicarbonate level in high-concentrate diets for heifers. I. Effects on intake, water consumption and ruminal fermentation. *Animal.* 2:705–712. doi:10.1017/S1751731108001675.
- Goodrich, R. D., J. E. Garrett, D. R. Gast, M. A. Kirick, D. A. Larson, and J. C. Meiske. 1984. Influence of Monensin on the Performance of Cattle. *J. Anim. Sci.* 58:1484–1498. doi:10.2527/jas1984.5861484x.
- Gorocica, M. A., and L. O. Tedeschi. 2017. A meta-analytical approach to evaluate the performance of cattle fed virginiamycin or monensin under feedlot conditions from seven European countries. *J. Anim. Sci.* 95:71–71. doi:10.2527/asasann.2017.145.
- Gouvêa, V. N., M. A. P. Meschiatti, J. M. M. Moraes, C. D. A. Batalha, J. R. R. Dórea, T. S. Acedo, L. F. M. Tamassia, F. N. Owens, and F. A. P. Santos. 2019. Effects of alternative feed additives and flint maize grain particle size on growth performance, carcass traits and nutrient digestibility of finishing beef cattle. *J. Agric. Sci.* 157:456–468. doi:10.1017/S0021859619000728.
- Greene, W. Use of *Saccharomyces cerevisiae* in beef cattle. In: *Simposio Goiano sobre manejo e nutrição de bovinos de corte*, 4., 2002, Goiânia. Proceedings. Goiânia: CBNA, 2002. p.79-96.
- Harfoot, C. G., and G. P. Hazlewood. 2016. *Rumenology*. (D. D. Millen, M. De Beni Arrigoni, and R. D. Lauritano Pacheco, editors.). Springer International Publishing, Cham.
- Heker, J. C., M. Neumann, R. K. Ueno, M. K. Falbo, S. Galbeiro, A. M. De Souza, B. J. Venancio, L. C. Santos, and E. J. Askel. 2018. Effect of monensin sodium associative to virginiamycin and/or essential oils on the performance of feedlot finished steers. *Semin. Agrar.* 39:261–274. doi:10.5433/1679-0359.2018v39n1p261.
- Hernández, J., J. L. Benedito, A. Abuelo, and C. Castillo. 2014. Ruminal acidosis in feedlot: From aetiology to prevention. *Sci. World J.* 2014. doi:10.1155/2014/702572.
- Higgins, J. P. T., S. G. Thompson, J. J. Deeks, and D. G. Altman. 2003. Measuring inconsistency in meta-analyses. *Br. Med. J.* 327:557–560. doi:10.1136/bmj.327.7414.557.
- Honan, M., Feng, X., Tricarico, J. M., & Kebreab, E. (2022). Feed additives as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: modes of action, effectiveness and safety. *Animal Production Science*. doi: 10.1071/AN20295.
- Hristov, A. N., Melgar, A., Wasson, D., & Arndt, C. (2022). Symposium review: Effective nutritional strategies to mitigate enteric methane in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. doi: 10.3168/jds.2021-21398.
- Jayanegara, A., K. A. Sarwono, M. Kondo, H. Matsui, M. Ridla, E. B. Laconi, and Nahrowi. 2018. Use of 3-nitrooxypropanol as feed additive for mitigating enteric methane emissions from ruminants: a meta-analysis. *Ital. J. Anim. Sci.* 17:650-656. doi:10.1080/1828051x.2017.1404945
- Jolly-Breithaupt, M. L., M. E. Harris, B. L. Nuttelman, D. B. Burken, J. C. MacDonald, M. K. Luebbe, T. K. Iragavarapu, and G. E. Erickson. 2019. Effects of Syngenta Enogen Feed Corn containing an  $\alpha$ -amylase trait on finishing cattle performance and carcass characteristics. *Transl. Anim. Sci.* 3:504–512. doi:10.1093/tas/txy121.
- Jouany, J.-P., and D. P. Morgavi. 2007. Use of ‘natural’ products as alternatives to antibiotic feed additives in ruminant production. *Animal.* 1:1443–1466. doi:10.1017/S1751731107000742.
- Kargaard, J., and B. D. H. Van Niekerk. 1980. Effect of monensin, sodium bicarbonate and vitamin A on feedlot gain in cattle. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 10:19–25.

- Kellaway, R. C., D. E. Beever, D. J. Thomson, A. R. Austin, S. B. Cammell, and M. L. Elderfield. 1978. The effect of nacl or nahcO3 on digestion in the stomach of weaned calves. *J. Agric. Sci.* 91:497–503. doi:10.1017/S002185960004661X.
- Khiaosa-Ard, R., and Q. Zebeli. 2013. Meta-analysis of the effects of essential oils and their bioactive compounds on rumen fermentation characteristics and feed efficiency in ruminants. *J. Anim. Sci.* 91:1819–1830. doi:10.2527/jas.2012-5691.
- Khorrami, B., A. R. Vakili, M. D. Mesgaran, and F. Klevenhusen. 2015. Thyme and cinnamon essential oils: Potential alternatives for monensin as a rumen modifier in beef production systems. *Anim. Feed Sci. Technol.* 200:8–16. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.11.009.
- Kim, H., Lee, H. G., Baek, Y. C., Lee, S., & Seo, J. (2020). The effects of dietary supplementation with 3-nitrooxypropanol on enteric methane emissions, rumen fermentation, and production performance in ruminants: a meta-analysis. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(1), 31. doi: 10.5187/jast.2020.62.1.31.
- Kohn, R. A., and T. F. Dunlap. 1998. Calculation of the Buffering Capacity of Bicarbonate in the Rumen and In Vitro. *J. Anim. Sci.* 76:1702–1709. doi:10.2527/1998.7661702x.
- Kovacik, A. M., S. C. Loerch, and B. Dehority. 1986. Effect of supplemental sodium bicarbonate on nutrient digestibilities and ruminal pH measured continuously. *J. Anim. Sci.* 62:226–234.
- Lanna, D. P. D., and C. Boin. 1990. *Efeito de bicarbonato de sódio, feno e bagaço “in natura” sobre a digestibilidade e o desempenho de zebuínos em crescimento alimentados com bagaço de cana auto-hidrolisado.* An. da Esc. Super. Agric. Luiz Queiroz. 47:417–434. doi:10.1590/s0071-12761990000200009.
- Lemos, B. J. M., F. G. F. Castro, L. S. Santos, B. P. C. Mendonça, V. R. M. Couto, and J. J. R. Fernandes. 2016. Monensin, virginiamycin, and flavomycin in a no-roughage finishing diet fed to zebu cattle. *J. Anim. Sci.* 94:4307–4314. doi:10.2527/jas.2016-0504.
- Lesmeister, K. E., Heinrichs, A. J., & Gabler, M. T. (2004). Effects of supplemental yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) culture on rumen development, growth characteristics, and blood parameters in neonatal dairy calves. *Journal of dairy science*, 87(6), 1832-1839.
- Licitra, G., P. J. Van Soest, I. Schadt, S. Carpino, and C. J. Sniffen. 1999. Influence of the concentration of the protease from *Streptomyces griseus* relative to ruminal protein degradability. *Anim. Feed Sci. Technol.* 77:99–113. doi:10.1016/S0377-8401(98)00233-8.
- Limede, A. C., R. S. Marques, D. M. Polizel, B. I. Cappellozza, A. A. Miszura, J. P. R. Barroso, A. Storti Martins, L. A. Sardinha, M. Baggio, and A. V. Pires. 2021. Effects of supplementation with narasin, salinomycin, or flavomycin on performance and ruminal fermentation characteristics of *Bos indicus* Nellore cattle fed with forage-based diets. *J. Anim. Sci.* 99:1–11. doi:10.1093/jas/skab005.
- Lourenco, J. M., F. J. Maia, J. H. J. Bittar, J. R. Segers, J. J. Tucker, B. T. Campbell, and R. L. Stewart. 2020. Utilization of exogenous enzymes in beef cattle creep feeds. *J. Appl. Anim. Res.* 48:70–77. doi:10.1080/09712119.2020.1732985.
- Maciél, I. C. F., H. M. Saturnino, F. A. Barbosa, V. M. R. Malacco, J. M. C. Andrade Júnior, G. H. B. Maia Filho, and P. M. Costa. 2019. Virginiamycin and sodium monensin supplementation for beef cattle on pasture. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 71:1999–2008. doi:10.1590/1678-4162-10659.
- Maekawa, M., K. A. Beauchemin, and D. A. Christensen. 2002. Effect of concentrate level and feeding management on chewing activities, saliva production, and ruminal pH of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:1165–1175. doi:10.3168/jds.S0022-0302(02)74179-9.
- Maturana Filho, M., M. G. Oliveira, G. Del Claro, Ribeiro, H. P. Q. Oliveira, A. Netto Saran, M. A. F. Correia, Lísia Bertanha Porcionato, and Zanetti Marcus Antonio. 2010. Parâmetros sanguíneos e desempenho de bovinos de corte em confinamento, submetidos. *J. Chem. Inf. Model.* 11:772–782.
- McGinn, S. M., K. A. Beauchemin, T. Coates, and D. Colombatto. 2004. Methane emissions from beef cattle: Effects of monensin, sunflower oil, enzymes, yeast, and fumaric acid. *J. Anim. Sci.* 82:3346–3356. doi:10.2527/2004.82113346x.
- McGinn, S. M., Flesch, T. K., Beauchemin, K. A., Shreck, A., & Kindermann, M. (2019). Micrometeorological Methods for Measuring Methane Emission Reduction at Beef Cattle Feedlots: Evaluation of 3-Nitrooxypropanol Feed Additive. *Journal of environmental quality*, 48(5), 1454-1461. doi: 10.2134/jeq2018.11.0412.

- McIntosh, F. M., P. Williams, R. Losa, R. J. Wallace, D. A. Beever, and C. J. Newbold. 2003. Effects of essential oils on ruminal microorganisms and their protein metabolism. *Appl. Environ. Microbiol.* 69:5011–5014. doi:10.1128/AEM.69.8.5011-5014.2003.
- McKnight, D. R., G. S. Hooper, L. A. Drevjany, and W. E. Pollock. 1979. Effect of sodium bicarbonate all-concentrate rations fed to holstein steers. *Can. J. Anim. Sci.* 59:805–807. doi:10.4141/cjas79-102.
- Melo, A. C. B., M. C. S. Pereira, A. L. N. Rigueiro, D. D. Estevam, A. F. Toledo, A. H. P. M. Assumpção, J. V. T. Dellaqua, A. L. J. Lelis, and D. D. Millen. 2020. Impacts of adding functional oils or sodium monensin in high-concentrate diets on performance, feeding behaviour and rumen morphometrics of finishing Nellore cattle. *J. Agric. Sci.* 158:136–142. doi:10.1017/S002185962000026X.
- Merchen, N. R., and L. L. Berger. 1985. Effect of salinomycin level on nutrient digestibility and ruminal characteristics of sheep and feedlot performance of cattle. *J. Anim. Sci.* 60:1338–1346. doi:10.2527/jas1985.6051338x.
- Meschiatti, M. A. P., V. N. Gouvêa, L. A. Pellarin, C. D. A. Batalha, M. V. Biehl, T. S. Acedo, J. R. R. Dórea, L. F. M. Tamassia, F. N. Owens, and F. A. P. Santos. 2019. Feeding the combination of essential oils and exogenous  $\alpha$ -amylase increases performance and carcass production of finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 97:456–471. doi:10.1093/jas/sky415.
- Millen, D. D., R. D. L. Pacheco, M. D. B. Arrigoni, M. L. Galyean, and J. T. Vasconcelos. 2009. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. *J. Anim. Sci.* 87:3427–3439. doi:10.2527/jas.2009-1880.
- Miller, D. R., R. Elliott, and B. W. Norton. 2008. Effects of an exogenous enzyme, Roxazyme® G2, on intake, digestion and utilisation of sorghum and barley grain-based diets by beef steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145:159–181. doi:10.1016/j.anifeedsci.2007.05.045.
- Nagaraja, T. G. 1995. Ionophores and antibiotics in ruminants. In: R. J. Wallace and A. Chesson, editors. *Biotechnology in animal feeds and animal feeding*. VCH Publishers Inc., New York. p. 173–204.
- Nagaraja, T. G., C. J. Newbold, C. J. van Nevel, and D. I. Demeyer. 1997. Manipulation of ruminal fermentation. In: *The Rumen Microbial Ecosystem*. Springer Netherlands, Dordrecht. p. 523–632.
- Nagaraja, T. G., and M. B. Taylor. 1987. Susceptibility and resistance of ruminal bacteria to antimicrobial feed additives. *Appl. Environ. Microbiol.* 53:1620–1625. doi:10.1128/aem.53.7.1620-1625.1987.
- Nagaraja, T. G., M. B. Taylor, D. L. Harmon, and J. E. Boyer. 1987. In vitro lactic acid inhibition and alterations in volatile fatty acid production by antimicrobial feed additives. *J. Anim. Sci.* 65:1064–1076. doi:10.2527/jas1987.6541064x.
- NASEM. 2016. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Eighth Rev. The National Academies Press, Washington, DC.
- Neumann, M., G. F. M. Leão, E. H. Horst, O. F. Stuani, C. P. Sangali, and R. Castilho. 2018. Exogenous enzymes improve performance and carcass traits of feedlot cattle fed high-grain diet. *Rev. Bras. Zootec.* 47. doi:10.1590/rbz4720170308.
- Neumann, M., G. B. Pontarolo, F. B. Cristo, B. J. Venancio, A. D. Manchur, R. K. Ueno, A. M. de Souza, E. M. Moresco, and C. Czelusniak. 2020. Associative effect of monensin sodium to virginiamycin on the performance of beef steers in the initial feedlot phase. *Semin. Agrar.* 41:2349–2364. doi:10.5433/1679-0359.2020v41n5Sup1p2349.
- Neumann, M., R. K. Ueno, E. H. Horst, L. H. Kowalski, A. K. Eto, J. O. J. Barcellos, and I. Y. Mizubuti. 2016. Production performance and safety of meat from beef cattle finished in feedlots using salinomycin in the diet. *Semin. Agrar.* 37:4221–4234. doi:10.5433/1679-0359.2016v37n6p4221.
- Newbold, C. J., R. J. Wallace, X. B. Chen, and F. M. McIntosh. 1995. Different strains of *Saccharomyces cerevisiae* differ in their effects on ruminal bacterial numbers in vitro and in sheep. *J. Anim. Sci.* 73:1811–1818. doi:10.2527/1995.7361811x.
- Nicholson, J. W. G., H. M. Cunningham, and D. W. Friend. 1962. The addition of buffers to ruminant rations. 2. Additional observations on weight gains, efficiency of gains and consumption by steers of all-concentrate rations. *Can. J. Anim. Sci.* 42:75–81.
- Nicholson, J. W. G., H. M. Cunningham, and D. W. Friend. 1963. Effect of Adding Buffers to All-Concentrate Rations on Feedlot Performance of Steers, Ration Digestibility and Intra-Rumen Environment. *J. Anim. Sci.* 22:368–373. doi:https://doi.org/10.2527/jas1963.222368x.

- Nozière, P., W. Steinberg, M. Silberberg, and D. P. Morgavi. 2014. Amylase addition increases starch ruminal digestion in first-lactation cows fed high and low starch diets. *J. Dairy Sci.* 97:2319–2328. doi:10.3168/jds.2013-7095.
- Nuñez, A. J. C., Caetano, M., Berndt, A., Demarchi, J. J. A. D. A., Leme, P. R., & Lanna, D. P. D. (2013). Combined use of ionophore and virginiamycin for finishing Nellore steers fed high concentrate diets. *Scientia Agricola*, 70, 229-236.
- Okeke, G. C., J. G. Buchanan-Smith, and W. L. Grovum. 1983. Effects of buffers on ruminal rate of passage and degradation of soybean meal in steers. *J. Anim. Sci.* 56:1393–1399.
- Oliveira, A. P., R. A. Reis, L. M. A. Bertipaglia, G. M. P. Melo, T. T. Berchielli, J. A. Oliveira, D. R. Casagrande, and M. A. A. Balsalobre. 2013. Substituição de monensina sódica por bicarbonato de sódio em dietas de novilhas confinadas. *Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec.* 65:1149–1157. doi:10.1590/S0102-09352013000400030.
- Oliveira, C. A., and D. D. Millen. 2014. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197:64–75. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.08.010.
- Oliveira, L. G., R. N. Ferreira, J. T. Padua, C. J. Ulhoa, C. Dos Santos Settimi Cysneiros, and E. Arnhold. 2015. Desempenho de bovinos não castrados confinados e alimentados com dietas contendo complexo enzimático. *Acta Sci. - Anim. Sci.* 37:181–186. doi:10.4025/actascianimsci.v37i2.26446.
- Ornaghi, M. G., R. A. C. Passetti, J. A. Torrecilhas, C. Mottin, A. C. P. Vital, A. Guerrero, C. Sañudo, M. del Mar Campo, and I. N. Prado. 2017. Essential oils in the diet of young bulls: Effect on animal performance, digestibility, temperament, feeding behaviour and carcass characteristics. *Anim. Feed Sci. Technol.* 234:274–283. doi:10.1016/j.anifeedsci.2017.10.008.
- Paton, L. J., K. A. Beauchemin, D. M. Veira, and M. A. G. Von Keyserlingk. 2006. Use of sodium bicarbonate, offered free choice or blended into the ration, to reduce the risk of ruminal acidosis in cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 86:429–437. doi:10.4141/A06-014.
- Patra, A. K., and J. Saxena. 2010. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit methanogenesis in the rumen. *Phytochemistry*. 71:1198–1222. doi:10.1016/j.phytochem.2010.05.010.
- Peirce, S. B., L. D. Muller, and H. W. Harpster. 1983. Influence of sodium bicarbonate and magnesium oxide on digestion and metabolism in yearling beef steers abruptly changed from high forage to high energy diets. *J. Anim. Sci.* 57:1561–1567. doi:10.2527/jas1983.5761561x.
- Peng, Q. hui, L. Cheng, K. Kang, G. Tian, M. Al-Mamun, B. Xue, L. zhi Wang, H. wei Zou, M. G. Gicheha, and Z. sheng Wang. 2020. Effects of yeast and yeast cell wall polysaccharides supplementation on beef cattle growth performance, rumen microbial populations and lipopolysaccharides production. *J. Integr. Agric.* 19:810–819. doi:10.1016/S2095-3119(19)62708-5.
- Phesatcha, K., B. Phesatcha, M. Wanapat, and A. Cherdthong. 2020. Roughage to concentrate ratio and *saccharomyces cerevisiae* inclusion could modulate feed digestion and in vitro ruminal fermentation. *Vet. Sci.* 7:1–13. doi:10.3390/vetsci7040151.
- Pinto, A. C. J., and D. D. Millen. 2019. Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: The 2016 Brazilian survey. *Can. J. Anim. Sci.* 99:392–407. doi:10.1139/cjas-2018-0031.
- Polizel, D. M., M. J. P. T. Barbosa, B. I. Cappelozza, C. N. Lopes, M. V. C. F. Junior, L. G. M. Gobato, J. R. S. Gonçalves, and A. V. Pires. 2017. The addition of narasin into a mineral mixture improves performance of grazing Nellore steers. *J. Anim. Sci.* 95:267–267. doi:10.2527/asasann.2017.545.
- Polizel, D. M., B. I. Cappelozza, F. Hoe, C. N. Lopes, J. P. Barroso, A. Miszura, G. B. Oliveira, L. Gobato, and A. V. Pires. 2020. Effects of narasin supplementation on dry matter intake and rumen fermentation characteristics of *Bos indicus* steers fed a high-forage diet. *Transl. Anim. Sci.* 4:118–128. doi:10.1093/tas/txz164.
- Prado, O. P. P., L. M. Zeoula, L. P. P. de Moura, S. L. Franco, I. N. do Prado, and H. C. C. Gomes. 2010. Digestibilidade e parâmetros ruminais de dietas à base de forragem com adição de própolis e monensina sódica para bovinos. *Rev. Bras. Zootec.* 39:1336–1345. doi:10.1590/s1516-35982010000600024.
- Purejav, T., M. P. Hoffman, A. Ishdorj, A. J. Conover, M. E. Jedlicka, K. Prusa, J. Torrent, and G. M. Pusillo. 2013. Effects of functional oils and monensin on cattle finishing programs. *Prof. Anim. Sci.* 29:426–434. doi:10.15232/S1080-7446(15)30256-4.

- Putnam, D. E., C. G. Schwab, M. T. Socha, N. L. Whitehouse, N. A. Kierstead, and B. D. Garthwaite. 1997. Effect of Yeast Culture in the Diets of Early Lactation Dairy Cows on Ruminal Fermentation and Passage of Nitrogen Fractions and Amino Acids to the Small Intestine. *J. Dairy Sci.* 80:374–384. doi:10.3168/jds.S0022-0302(97)75947-2.
- Rabello, R. F., R. R. Bonelli, B. A. Penna, J. P. Albuquerque, R. M. Souza, and A. M. F. Cerqueira. 2020. Antimicrobial resistance in farm animals in Brazil: An update overview. *Animals*. 10:1–43. doi:10.3390/ani10040552.
- Raun, A. P., C. O. Cooley, E. L. Potter, R. P. Rathmacher, and L. F. Richardson. 1976. Effect of monensin on feed efficiency of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 43:670–677. doi:10.2527/jas1976.433670x.
- Rigueiro, A. L. N., M. C. S. Pereira, M. M. Squizatti, M. M. Ferreira, S. C. Dondé, F. P. Luiz, A. M. Silvestre, L. R. Muller, C. P. Garcia, A. P. D. Bueno, L. V. Toledo, D. D. Estevam, C. L. Martins, M. D. B. Arrigoni, and D. D. Millen. 2020. Different combinations of sodium monensin and virginiamycin during feedlot finishing of Nellore cattle. *Anim. Prod. Sci.* 60:1061–1072. doi:10.1071/AN18657.
- Rogers, J. A., M. E. Branine, C. R. Miller, M. I. Wray, S. J. Bartle, R. L. Preston, D. R. Gill, R. H. Pritchard, R. P. Stilborn, and D. T. Bechtol. 1995. Effects of dietary virginiamycin on performance and liver abscess incidence in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 73:9–20. doi:10.2527/1995.7319.
- Rogers, J. A., and C. L. Davis. 1982. Rumen Volatile Fatty Acid Production and Nutrient Utilization in Steers Fed a Diet Supplemented with Sodium Bicarbonate and Monensin. *J. Dairy Sci.* 65:944–952. doi:10.3168/jds.S0022-0302(82)82295-9.
- Romero-Perez, A., Okine, E. K., McGinn, S. M., Guan, L. L., Oba, M., Duval, S. M., ... & Beauchemin, K. A. (2014). The potential of 3-nitrooxypropanol to lower enteric methane emissions from beef cattle. *J. Anim. Sci.* 92(10), 4682–4693. doi: 10.2527/jas.2014-7573.
- Russel, J. B., and H. J. Strobel. 1989. Effect of Ionophores on ruminal fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 55:1–6. doi:10.1128/aem.55.1.1-6.1989.
- Russell, J. B., and J. M. Chow. 1993. Another Theory for the Action of Ruminal Buffer Salts: Decreased Starch Fermentation and Propionate Production. *J. Dairy Sci.* 76:826–830. doi:10.3168/jds.S0022-0302(93)77407-X.
- Russell, J. R., A. W. Young, and N. A. Jorgensen. 1980. Effect of Sodium Bicarbonate and Limestone Additions to High Grain Diets on Feedlot Performance and Ruminal and Fecal Parameters in Finishing Steers. *J. Anim. Sci.* 51:996–1002. doi:10.2527/jas1980.514996x.
- Salehi, B., M. Gültekin-Özğüven, C. Kirkin, B. Özçelik, M. F. B. Morais-Braga, J. N. P. Carneiro, C. F. Bezerra, T. G. da Silva, H. D. M. Coutinho, B. Amina, L. Armstrong, Z. Selamoglu, M. Sevindik, Z. Yousaf, J. Sharifi-Rad, A. M. Muddathir, H. P. Devkota, M. Martorell, A. K. Jugran, W. C. Cho, and N. Martins. 2020. Antioxidant, Antimicrobial, and Anticancer Effects of Anacardium Plants: An Ethnopharmacological Perspective. *Front. Endocrinol.* (Lausanne). 11:1–16. doi:10.3389/fendo.2020.00295.
- Salem, A. Z. M., H. M. Gado, D. Colombatto, and M. M. Y. Elghandour. 2013. Effects of exogenous enzymes on nutrient digestibility, ruminal fermentation and growth performance in beef steers. *Livest. Sci.* 154:69–73. doi:10.1016/j.livsci.2013.02.014.
- Sartori, E. D., M. E. A. Canozzi, D. Zago, Ê. R. Prates, J. P. Velho, and J. O. J. Barcellos. 2017. The Effect of Live Yeast Supplementation on Beef Cattle Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Agric. Sci.* 9:21. doi:10.5539/jas.v9n4p21.
- Schaefer, D. M., L. J. Wheeler, C. H. Noller, R. B. Keyser, and J. L. White. 1982. Neutralization of Acid in the Rumen by Magnesium Oxide and Magnesium Carbonate. *J. Dairy Sci.* 65:732–739. doi:10.3168/jds.S0022-0302(82)82260-1.
- Silva, A. P. S., C. A. Zotti, R. F. Carvalho, R. R. Corte, N. R. B. Cônsolo, S. da L. e Silva, and P. R. Leme. 2019. Effect of replacing antibiotics with functional oils following an abrupt transition to high-concentrate diets on performance and carcass traits of Nellore cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 247:53–62. doi:10.1016/j.anifeedsci.2018.10.015.
- Silva, B. de C., M. V. C. Pacheco, L. A. Godoi, G. A. P. de Souza, N. V. Trópia, P. Pucetti, F. A. de Sales Silva, A. C. B. Menezes, L. N. Rennó, M. F. Paulino, J. P. Schoonmaker, and S. de Campos Valadares Filho. 2021. Feed intake, nutrient digestibility, and selected rumen parameters in feedlot bulls fed diets with different feed additives. *PLoS One*. 16:1–16. doi:10.1371/journal.pone.0259414.

- Silva, R. G. da. 2016. *Efeito da adição de narsina na mistura mineral sobre o desempenho de novilhas Nelore*. Universidade de São Paulo.
- Silvestre, A. M., and D. D. Millen. 2021. The 2019 Brazilian Survey On Nutritional Practices Provided By Feedlot Cattle Consulting Nutritionists. *Rev. Bras. Zootec.* 50:1–25. doi:10.37496/RBZ5020200189.
- Souza, K. A. de, J. de O. Monteschio, C. Mottin, T. R. Ramos, L. A. de M. Pinto, C. E. Eiras, A. Guerrero, and I. N. do Prado. 2019. Effects of diet supplementation with clove and rosemary essential oils and protected oils (eugenol, thymol and vanillin) on animal performance, carcass characteristics, digestibility, and ingestive behavior activities for Nelore heifers finished in feedlot. *Livest. Sci.* 220:190–195. doi:10.1016/j.livsci.2018.12.026.
- Stroud, T. E., J. E. Williams, D. R. Ledoux, and J. A. Paterson. 1985. The Influence of Sodium Bicarbonate and Dehydrated Alfalfa as Buffers on Steer Performance and Ruminant Characteristics. *J. Anim. Sci.* 60:551–559.
- Tedeschi, L. O., D. G. Fox, and T. P. Tytlutki. 2003. Potential Environmental Benefits of Ionophores in Ruminant Diets. *J. Environ. Qual.* 32:1591–1602. doi:10.2134/jeq2003.1591.
- Tedeschi, L. O., and M. A. Gorocica-Buenfil. 2018. An assessment of the effectiveness of virginiamycin on liver abscess incidence and growth performance in feedlot cattle: A comprehensive statistical analysis. *J. Anim. Sci.* 96:2474–2489. doi:10.1093/jas/sky121.
- Teh, T. H., R. W. Hemken, and R. J. Harmon. 1985. Dietary Magnesium Oxide Interactions with Sodium Bicarbonate on Cows in Early Lactation. *J. Dairy Sci.* 68:881–890. doi:10.3168/jds.S0022-0302(85)80905-X.
- Thiel, A., Rübels, R., Mair, P., Yeman, H., Beilstein, P. 3-NOP: ADME studies in rats and ruminating animals. *Food Chem. Toxicol.* 2019, 125, 528–539.
- Thomas, E. E., and M. W. Hall. 1984. Effect of Sodium Bicarbonate and Tetrasodium Pyrophosphate upon Utilization of Concentrate- and Roughage-Based Cattle Diets: Cattle Studies 2. *J. Anim. Sci.* 59:1309–1319. doi:10.2527/jas1984.5951309x.
- Thomas, J. W., and R. S. Emery. 1969a. Effects of Sodium Bicarbonate, Magnesium Oxide, and Calcium Hydroxide on Milk Fat Secretion. *J. Dairy Sci.* 52:60–63. doi:10.3168/jds.S0022-0302(69)86501-X.
- Thomas, J. W., and R. S. Emery. 1969b. Additive Nature of Sodium Bicarbonate and Magnesium Oxide on Milk Fat Concentrations of Milking Cows Fed Restricted-Roughage Rations. *J. Dairy Sci.* 52:1762–1769. doi:10.3168/jds.S0022-0302(69)86838-4.
- Tirado-González, D. N., L. A. Miranda-Romero, A. Ruíz-Flores, S. E. Medina-Cuéllar, R. Ramírez-Valverde, and G. Tirado-Estrada. 2018. Meta-analysis: Effects of exogenous fibrolytic enzymes in ruminant diets. *J. Appl. Anim. Res.* 46:771–783. doi:10.1080/09712119.2017.1399135.
- Tomkins, N. W., S. E. Denman, R. Pilajun, M. Wanapat, C. S. McSweeney, and R. Elliott. 2015. Manipulating rumen fermentation and methanogenesis using an essential oil and monensin in beef cattle fed a tropical grass hay. *Anim. Feed Sci. Technol.* 200:25–34. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.11.013.
- Toroglu, S. 2007. In vitro antimicrobial activity and antagonistic effect of essential oils from plant species. *J. Environ. Biol.* 28:551–559.
- Torres, R. N. S., J. R. Paschoaloto, J. M. B. Ezequiel, D. A. V. da Silva, and M. T. C. Almeida. 2021. Meta-analysis of the effects of essential oil as an alternative to monensin in diets for beef cattle. *Vet. J.* 272:105659. doi:10.1016/j.tvjl.2021.105659.
- Toseti, L. B., R. S. Goulart, V. N. Gouvêa, T. S. Acedo, G. S. F. M. Vasconcellos, A. V. Pires, P. R. Leme, A. Saran, and S. L. Silva. 2020. Effects of a blend of essential oils and exogenous  $\alpha$ -amylase in diets containing different roughage sources for finishing beef cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 269. doi:10.1016/j.anifeedsci.2020.114643.
- Tricarico, J. M., Abney, M. D., Galyean, M. L., Rivera, J. D., Hanson, K. C., McLeod, K. R., & Harmon, D. L. (2007). Effects of a dietary *Aspergillus oryzae* extract containing  $\alpha$ -amylase activity on performance and carcass characteristics of finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 85(3), 802–811.
- Valero, M. V., R. M. do Prado, F. Zawadzki, C. E. Eiras, G. S. Madrona, and I. N. do Prado. 2014. Propolis e óleos essenciais na dieta melhoraram o desempenho animal e eficiência alimentar de bovinos não castrados terminados em confinamento. *Acta Sci. - Anim. Sci.* 36:419–426. doi:10.4025/actascianimsci.v36i4.23856.
- Vera, J. M., A. H. Smith, D. R. ZoBell, A. J. Young, and J.-S. Eun. 2012. Effects of an exogenous proteolytic enzyme on growth performance of beef steers and in vitro ruminal fermentation in continuous cultures 1. *Prof. Anim. Sci.* 28:452–463. doi:10.15232/s1080-7446(15)30385-5.

- Vyas, D., S. McGinn, S. Duval, M. Kindermann, and K. Beauchemin. 2016. Effects of sustained reduction of enteric methane emissions with dietary supplementation of 3-nitrooxypropanol on growth performance of growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 94:2024-2034.
- Vyas, D., Alemu, A. W., McGinn, S. M., Duval, S. M., Kindermann, M., & Beauchemin, K. A. (2018). The combined effects of supplementing monensin and 3-nitrooxypropanol on methane emissions, growth rate, and feed conversion efficiency in beef cattle fed high-forage and high-grain diets. *J. Anim. Sci.* 96(7), 2923-2938. doi:10.1093/jas/sky174.
- Wagner, D. 1984. Ionophore Comparisons for Feedlot Cattle. *Bov. Pract.* 151-154.
- Wallace, R. J., and C. J. Newbold. 1992. Probiotics for ruminants. In: Probiotics: The Scientific Basis. Springer Netherlands, Dordrecht. p. 317-353.
- Wang, L. M., I. B. Mandell, and B. M. Bohrer. 2020. Effects of feeding essential oils and benzoic acid to replace antibiotics on finishing beef cattle growth, carcass characteristics, and sensory attributes. *Appl. Anim. Sci.* 36:145-156. doi:10.15232/aas.2019-01908.
- Watanabe, Y., R. Suzuki, S. Koike, K. Nagashima, M. Mochizuki, R. J. Forster, and Y. Kobayashi. 2010. In vitro evaluation of cashew nut shell liquid as a methane-inhibiting and propionate-enhancing agent for ruminants. *J. Dairy Sci.* 93:5258-5267. doi:10.3168/jds.2009-2754.
- Wilson, H. C., F. H. Hilscher, L. J. McPhillips, B. M. Boyd, A. K. Watson, G. E. Erickson, and J. C. MacDonald. 2020. Impact of a fumaric acid and palm oil additive on beef cattle performance and carcass characteristics in diets containing increasing concentrations of corn silage. *Transl. Anim. Sci.* 4:910-921. doi:10.1093/TAS/TXAA043.
- Wise, M. B., T. N. Blumer, H. B. Craig, and E. R. Barrick. 1965. Influence of Rumen Buffering Agents and Hay on Performance and Carcass Characteristics of Steers Fed All-Concentrate Rations. *J. Anim. Sci.* 24:83-88.
- Worley, R. R., J. A. Paterson, K. P. Coffey, D. K. Bowman, and J. E. Williams. 1986. The effects of corn silage dry matter content and sodium bicarbonate addition on nutrient digestion and growth by lambs and calves. *J. Anim. Sci.* 63:1728-1736. doi:10.2527/jas1986.6361728x.
- Yang, W. Z., C. Benchaar, B. N. Ametaj, and K. A. Beauchemin. 2010. Dose response to eugenol supplementation in growing beef cattle: Ruminal fermentation and intestinal digestion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 158:57-64. doi:10.1016/j.anifeedsci.2010.03.019.
- Zawadzki, F., I. N. Prado, J. A. Marques, L. M. Zeoula, P. P. Rotta, B. B. Sestari, M. V. Valero, and D. C. Rivaroli. 2011. Sodium monensin or propolis extract in the diets of feedlot-finished bulls: Effects on animal performance and carcass characteristics. *J. Anim. Feed Sci.* 20:16-25. doi:10.22358/jafs/66153/2011.
- Zinn, R. A. 1986a. Effect of Salinomycin Supplementation on Characteristics of Digestion and Feedlot Performance of Cattle. *J. Anim. Sci.* 63:1996-2004. doi:10.2527/jas1986.6361996x.
- Zinn, R. A. 1986b. Influence of forage level on response of feedlot steers to salinomycin supplementation. *J. Anim. Sci.* 63:2005-2012. doi:10.2527/jas1986.6362005x.
- Zinn, R. A. 1991. Comparative feeding value of steam-flaked corn and sorghum in finishing diets supplemented with or without sodium bicarbonate. *J. Anim. Sci.* 69:905-916. doi:10.2527/1991.693905x.
- Zinn, R. A., and J. L. Borques. 1993. Influence of sodium bicarbonate and monensin on utilization of a fat-supplemented, high-energy growing-finishing diet by feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 71:18-25. doi:10.2527/1993.71118x.
- ZoBell, D. R., R. D. Wiedmeier, K. C. Olson, and R. Treacher. 2000. The effect of an exogenous enzyme treatment on production and carcass characteristics of growing and finishing steers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 87:279-285. doi:10.1016/S0377-8401(00)00202-9.

## APÊNDICE 16.1

Lista dos trabalhos utilizados no estudo metanalítico sobre os efeitos da monensina e óleos funcionais no desempenho produtivo e parâmetros ruminais de bovinos criados em condições brasileiras:

Almeida, M. T. C., J. R. Paschoaloto, H. L. Perez, V. B. Carvalho, A. C. Homem Junior, V. R. Favaro, H. T. Blair, and J. M. B. Ezequiel. 2019. Effect of adding crude glycerine to diets with feed additives on the feed intake, ruminal degradability, volatile fatty acid concentrations and in vitro gas production of feedlot Nelore cattle. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl.)* 103:988-996. doi:10.1111/jpn.13105.

- Benatti, J. M. B., J. A. Alves Neto, I. M. de Oliveira, F. D. de Resende, and G. R. Siqueira. 2017. Effect of increasing monensin sodium levels in diets with virginiamycin on the finishing of Nelore cattle. *Anim. Sci. J.* 88:1709–1714. doi:10.1111/asj.12831.
- Chagas, L. J. 2015. *Desempenho, metabolismo e emissão de metano de bovinos Nelore em terminação recebendo óleos funcionais em substituição ou combinação com monensina sódica na dieta.*
- Figueira, D. N. 2018. *Estratégias de retirada da monensina na dieta de bovinos em terminação como modulador de consumo de matéria seca. Universidade Estadual Paulista.*
- Da Fonseca, M. P., A. L. Da Costa Cruz Borges, R. Reise Silva, H. F. Lage, A. L. Ferreira, F. C. F. Lopes, C. G. Pancoti, and J. A. S. Rodrigues. 2016. Intake, apparent digestibility, and methane emission in bulls receiving a feed supplement of monensin, virginiamycin, or a combination. *Anim. Prod. Sci.* 56:1041–1045. doi:10.1071/AN14742.
- Fugita, C. A., R. M. Do Prado, M. V. Valero, E. G. Bonafé, C. B. Carvalho, A. Guerrero, C. Sañudo, and I. N. Do Prado. 2018. Effect of the inclusion of natural additives on animal performance and meat quality of crossbred bulls (Angus × Nelore) finished in feedlot. *Anim. Prod. Sci.* 50:2076–2083. doi:10.1071/AN16242.
- Gomes, R. C., M. T. Antunes, S. L. Silva, and P. R. Leme. 2010. Desempenho e digestibilidade de novilhos zebuínos confinados recebendo leveduras vivas e monensina. *Arch. Zootec.* 60:1077–1086. doi:10.21071/az.v60i232.3992.
- Junior, F. P., E. C. O. Cassiano, M. F. Martins, L. A. Romero, D. C. V. Zapata, L. A. Pinedo, C. T. Marino, and P. H. M. Rodrigues. 2017. Effect of tannins-rich extract from *Acacia mearnsii* or monensin as feed additives on ruminal fermentation efficiency in cattle. *Livest. Sci.* 203:21–29. doi:10.1016/j.livsci.2017.06.009.
- Martinele, I., E. D. C. Eifert, R. D. P. Lana, P. B. Arcuri, and M. D’Agosto. 2008. Effect of monensin and soybean oil on rumen ciliate protozoa and correlation between protozoa with ruminal fermentation and digestive parameters. *Rev. Bras. Zootec.* 37:1129–1136. doi:10.1590/s1516-35982008000600025.
- Maturana Filho, M., M. G. Oliveira, G. Del Claro, Ribeiro, H. P. Q. Oliveira, A. Netto Saran, M. A. F. Correia, Lísia Bertonha Porcionato, and Zanetti Marcus Antonio. 2010. Parâmetros sanguíneos e desempenho de bovinos de corte em confinamento, submetidos. *J. Chem. Inf. Model.* 11:772–782.
- Melo, A. C. B., M. C. S. Pereira, A. L. N. Rigueiro, D. D. Estevam, A. F. Toledo, A. H. P. M. Assumpção, J. V. T. Dellaqua, A. L. J. Lelis, and D. D. Millen. 2020. Impacts of adding functional oils or sodium monensin in high-concentrate diets on performance, feeding behaviour and rumen morphometrics of finishing Nelore cattle. *J. Agric. Sci.* 158:136–142. doi:10.1017/S002185962000026X.
- Mogentale. 2010. Effects of Flavomycin on Ruminal Fermentation, In Situ Degradability and In Vivo Digestibility in Bovine Fed Sugarcane Diets. *Am. J. Anim. Vet. Sci.* 5:76–85. doi:10.3844/ajavsp.2010.76.85.
- Pereira, M. C. S. 2014. *Efeitos Da Dosagem De Monensina Sódica Sobre O Desempenho Produtivo, Comportamento Ingestivo, Saúde Ruminal E Características De Carcaça Em Bovinos Nelore Confinados.* 69.
- Prado, O. P. P., L. M. Zeoula, L. P. P. de Moura, S. L. Franco, I. N. do Prado, and H. C. C. Gomes. 2010. Digestibilidade e parâmetros ruminais de dietas à base de forragem com adição de própolis e monensina sódica para bovinos. *Rev. Bras. Zootec.* 39:1336–1345. doi:10.1590/s1516-35982010000600024.
- Ribeiro, F. G. 2014. *Simbióticos e ionóforo em dietas para bovinos mestiços angus: desempenho, características de carcaça e qualidade de carne.* Universidade Estadual Paulista - Campus Botucatu.
- Segabinazzi, L. R. 2008. *Aditivo a base de extratos vegetais como alternativa à monensina sódica na dieta de vacas de corte terminadas em confinamento.* Universidade Federal de Santa Maria.
- Sitta, C. 2011. *Aditivos ( ionóforos, antibióticos não ionóforos e probióticos ) em dietas com altos teores de concentrado para tourinhos da raça Nelore em terminação.* Universidade de São Paulo.
- Souza, K. A. 2018. *Compostos naturais sobre o desempenho, comportamento, resposta imune e características de carcaça de bovinos.* Universidade Estadual de Maringá.
- Zawadzki, F., I. N. Prado, J. A. Marques, L. M. Zeoula, P. P. Rotta, B. B. Sestari, M. V. Valero, and D. C. Rivaroli. 2011. Sodium monensin or propolis extract in the diets of feedlot-finished bulls: Effects on animal performance and carcass characteristics. *J. Anim. Feed Sci.* 20:16–25. doi:10.22358/jafs/66153/2011.



Zotti, C. A. 2014. *Uso de monensina e óleos funcionais de mamona e líquido da casca de caju em dietas com elevada proporção de concentrado fornecidas de forma abrupta para bovinos Nelore confinados*. Universidade de São Paulo.

## APPÊNDICE 16.2

- Benatti, J. M. B. 2014. *Uso da levedura Yea-Sacc, monensina sódica e sua associação em dietas para tourinhos Nelore, alimentados com elevada proporção de concentrado*. Universidade Estadual Paulista - Campus Jaboticabal.
- Chagas, L. J. 2015. *Desempenho, metabolismo e emissão de metano de bovinos Nelore em terminação recebendo óleos funcionais em substituição ou combinação com monensina sódica na dieta*.
- Cortada Neto, I. M. 2014. *Promotores De Crescimento Para Bovinos De Corte Estabulados Recebendo Suplemento Concentrado*. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.
- Ferreira, S. F., J. J. De Resende Fernandes, J. T. Padua, U. O. Bilego, M. D. De Freitas Neto, and R. G. Furtado. 2019. Use of virginiamycin and salinomycin in the diet of beef cattle reared under grazing during the rainy season: Performance and ruminal metabolism. *Cienc. Anim. Bras.* 20:1–10. doi:10.1590/1809-6891v20e-26867.
- Fonseca, M. P., A. L. Da Costa Cruz Borges, R. Reise Silva, H. F. Lage, A. L. Ferreira, F. C. F. Lopes, C. G. Pancoti, and J. A. S. Rodrigues. 2016. Intake, apparent digestibility, and methane emission in bulls receiving a feed supplement of monensin, virginiamycin, or a combination. *Anim. Prod. Sci.* 56:1041–1045. doi:10.1071/AN14742.
- Fugita, C. A., R. M. Do Prado, M. V. Valero, E. G. Bonafé, C. B. Carvalho, A. Guerrero, C. Sañudo, and I. N. Do Prado. 2018. Effect of the inclusion of natural additives on animal performance and meat quality of crossbred bulls (Angus × Nelore) finished in feedlot. *Anim. Prod. Sci.* 50:2076–2083. doi:10.1071/AN16242.
- Gobato, L. G. M., R. G. Silva, A. A. Miszura, D. M. Polizel, M. V. C. F. Junior, G. B. Oliveira, A. V. Bertoloni, J. P. R. Barroso, and A. V. Pires. 2017. Effect of narasin addition in mineral mixture on gain and intake of feedlot Nellore heifers. *J. Anim. Sci.* 95:266–266. doi:10.2527/asasann.2017.544. Available from: [https://academic.oup.com/jas/article/95/suppl\\_4/266/4765502](https://academic.oup.com/jas/article/95/suppl_4/266/4765502)
- Gomes, R. C., M. T. Antunes, S. L. Silva, and P. R. Leme. 2010. Desempenho e digestibilidade de novilhos zebuínos confinados recebendo leveduras vivas e monensina. *Arch. Zootec.* 60:1077–1086. doi:10.21071/az.v60i232.3992.
- Gonçalves, P. H. 2018. *Avaliação do processamento do milho e da lasalocida na terminação de bovinos Nelore em sistema de alta suplementação na seca*. Universidade Estadual Paulista - Campus Jaboticabal.
- Guimarães, K. de L. 2017. *Leveduras vivas e Virginiamicina na dieta de bovinos de corte semiconfinados*. Universidade Estadual de Maringá.
- Maturana Filho, M., M. G. Oliveira, G. Del Claro, Ribeiro, H. P. Q. Oliveira, A. Netto Saran, M. A. F. Correia, Lísia Bertonha Porcionato, and Zanetti Marcus Antonio. 2010. Parâmetros sanguíneos e desempenho de bovinos de corte em confinamento, submetidos. *J. Chem. Inf. Model.* 11:772–782.
- Melo, A. C. B., M. C. S. Pereira, A. L. N. Rigueiro, D. D. Estevam, A. F. Toledo, A. H. P. M. Assumpção, J. V. T. Dellaqua, A. L. J. Lelis, and D. D. Millen. 2020. Impacts of adding functional oils or sodium monensin in high-concentrate diets on performance, feeding behaviour and rumen morphometrics of finishing Nellore cattle. *J. Agric. Sci.* 158:136–142. doi:10.1017/S002185962000026X.
- Sitta, C. 2011. *Aditivos ( ionóforos, antibióticos não ionóforos e probióticos ) em dietas com altos teores de concentrado para tourinhos da raça Nelore em terminação*. Universidade de São Paulo.

