

<https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n07a1160.1-16>

Inclusão de aditivos ionóforos na suplementação de bovinos: Revisão

Carlos Renato Viegas¹, Amanda Nunes Assis dos Anjos^{1*}, João Carlos de Carvalho Almeida¹, Felipe Almeida Soares², Ana Luiza Schaefer Bitarães de Miranda³, Raphael Pavesi Araujo⁴

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Zootecnia, BR 465 Km 07, s/n, CEP 23890-000, Seropédica, RJ, Brasil.

²Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Rolfs, s/n, CEP 3670-900, Viçosa, MG, Brasil.

³Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Zootecnia, Campus Capão do Leão, CEP 96001-970, Pelotas, RS, Brasil.

⁴Instituto Federal do Tocantins, Campus Colinas do Tocantins, Av. Bernardo Sayão, Setor Santa Maria, CEP 77760-000, TO, Brasil.

*Autor para correspondência, E-mail: assiszoot@yahoo.com.br

Resumo. Os ionóforos atuam na manipulação da fermentação ruminal e podem aumentar a eficiência alimentar, melhorando a performance animal. E são oriundos da fermentação de algumas espécies de *Streptomyces*. Os ionóforos são classificados como substâncias capazes de interagir passivamente com íons, cátions, servindo, desta forma, como um veículo de transporte para estes através de membranas celulares. Atualmente são conhecidos alguns tipos de ionóforos, destacando-se a Monensina, Salinomycin, Lasalocida e Narasina. Objetivou-se, a partir desta revisão abordar os resultados apresentados na literatura sobre o uso de ionóforos e outros aditivos na nutrição de ruminantes, e esclarecer o papel destes na fermentação ruminal, consumo, digestão e aplicações práticas nos sistemas de produção.

Palavras-chave: Desempenho, nutrição, ruminantes

Inclusion of additives in the supplementation of cattle: Review

Abstract. Ionophores can manipulate rumen fermentation and increase feed efficiency, increasing the animal performance. And the com from fermentation arising from some *Streptomyces* species. Ionophores are classified as substances able to passively interact with ions and cations, acting in this way, as a transport vehicle for them through cellular membranes. Currently, some types of ionophore are known, standing Monensina, Salinomycin, Lasalocida and Narasina. The objective of this review was to approach the results presented in the literature on the use of ionophores and other additives in the ruminal nutrition, and to clarify their role in ruminal fermentation, consumption, digestion and practical applications in production systems.

Keywords: Performance, nutrition, ruminant

Introdução

O aumento da população tem elevado à demanda de proteína de origem animal, fazendo com em poucas décadas tenhamos uma demanda maior que a produção. Até 2050, espera-se que a demanda de alimentos aumente em cerca de 70% ([FAPRI, 2021](#)).

Alternativas para aumentar a eficiência de conversão dos nutrientes consumidos em produtos consumíveis nos animais domésticos são de extrema importância. Para atender as expectativas de demanda da população por produtos de origem animal, práticas que melhoram o desempenho como o uso de aditivos nutricionais se tornam indispensáveis para o desenvolvimento da pecuária, com menor ciclo de produção.

De acordo com ANVISA (2010), o aditivo pode ser definido como uma substância adicionada com a finalidade de melhorar o desempenho, passível de ser utilizada sob determinadas normas, desde que não deixe resíduo no produto. Uma ampla gama de aditivos está disponível no mercado, tendo como principal efeito melhorar o desempenho dos animais. Um dos aditivos mais utilizados são os ionóforos, produtos da fermentação de vários tipos de actinomicetos, produzidos principalmente por bactérias do gênero *Streptomyces*, sendo os mais empregados na alimentação de ruminantes: Monensina, Salinomocina, Lasalocida e Narasina (Nagaraja, 1995). O efeito primário dos aditivos é a melhoria da eficiência alimentar e/ou ganho de peso. Podendo atuar por diferentes mecanismos, que incluem alteração da fermentação ruminal, estabilização do ambiente ruminal e proteção do trato gastrointestinal de agentes patogênicos (Nicodemo, 2001).

Todavia, um dos principais entraves no uso de ionóforos está relacionado às respostas contraditórias obtidas com a utilização destes na dieta de ruminantes. Com isso, objetivou-se com esta revisão abordar os resultados apresentados na literatura sobre o uso de ionóforos e outros aditivos na nutrição de ruminantes, e esclarecer o papel destes na fermentação ruminal, consumo, digestão e aplicações práticas nos sistemas de produção.

Mecanismos de ação do ionóforo

A teoria quimiosmática de Baumont et al. (2004) e Mitchell (1961) estabelece que as bactérias utilizam ATP para transportar prótons através da membrana celular, o que origina potenciais elétricos e químicos, que forma a força motriz de prótons. Algumas bactérias dependem do gradiente iônico através de sua membrana celular, gerar energia (ATP) a partir da força motriz de prótons (Russell, 1987).

As bactérias ruminais Gram-negativas são mais resistentes aos ionóforos que as Gram-positivas, em virtude do seu envoltório celular ser constituído por uma parede celular e uma membrana externa de proteção, formada por proteínas, lipoproteínas e lipopolissacarídeos, a qual contém porinas (canais de proteínas) com tamanho limite de, aproximadamente, 600 Da. A maioria dos ionóforos é maior que 600 Da e, conseqüentemente, não passa através das porinas, tornando as células impermeáveis aos ionóforos. Por outro lado, as bactérias Gram-positivas possuem apenas uma camada espessa de peptidoglicano, que por ser porosa, não impede a ação da monensina (Berchielli et al., 2011).

Os ionóforos afetam as bactérias ruminais, devido à interrupção da troca iônica e mudanças nos gradientes protônicos e catiônicos da membrana celular. Como resposta essa modificação de gradientes, as bactérias iniciam um bombeamento ativo de prótons ao exterior que lhes permite manter as concentrações iônicas e o equilíbrio ácido-básico em seu interior (Ipharraguerre & Clark, 2003; Marques & Cooke, 2021).

Ciclo de troca de cátions e prótons, mediado pelo ionóforo liga-se à superfície de contato da membrana celular onde é estabilizado pela característica do ambiente polar da mesma. Como ânion, o ionóforo é capaz de ligar-se a um metal catiônico, ambos com terminação de ácido carboxílico. Essa ligação inicia a formação de um ciclo complexo lipofílico cátion-ionóforo que pode difundir-se para o interior da célula (Bergen & Bates, 1984).

A monensina e a lasalocida se encaixam nessa categoria, sendo que os ionóforos deverão estar na forma aniônica antes de serem capazes de ligar-se ao cátion. A monensina, media primariamente o Na^+ , pois sua afinidade a esse íon é dez vezes maior que o K^+ , e não tem afinidade a íons divalentes, já a lasalocida tem maior afinidade para k^+ e menor atração pelo Ca^{++} e Na^+ (Rangel et al., 2008).

Como mencionado anteriormente, estes mecanismos de troca de cátions e prótons gastam energia (ATP) para expulsar o excesso intracelular de H^+ , então a energia disponível para o metabolismo, crescimento e de reprodução bacteriano é consideravelmente reduzida fazendo com que população de bactérias resistentes aos ionóforos seja favorecida (Russell, 1987).

Efeitos do ionóforo na fermentação ruminal

É vastamente conhecida a importância dos ácidos graxos voláteis (AGV) como fonte de energia para os ruminantes. O efeito dos ionóforos na proporção de AGV se deve a um processo biológico de bactérias, as produtoras de ácido láctico, acético, butírico e fórmico e hidrogênio como principal produto

final são suscetíveis aos ionóforos, enquanto as bactérias produtoras de ácido succínico e propiônico e aquelas que fermentam lactato são resistentes.

Ao pesquisarem os efeitos *in vitro* de diferentes aditivos (monensina e própolis) sobre a fermentação ruminal de aminoácidos utilizando líquido ruminal de bovinos em pastejo, Oliveira et al. (2006) descreveram que a produção de amônia normalizou assim que o ionóforo monensina foi removido do meio de cultura, resultado que pode ser explicado em razão do restabelecimento da população de bactérias produtoras de amônia, comprovando que esse antibiótico inibe estes microrganismos. Em decorrência da mudança na população microbiana, há uma alteração também nos produtos finais da fermentação, de forma geral as pesquisas têm reportado uma diminuição na razão de acetato e propionato.

Lana & Russell (2001) ao avaliarem os efeitos da monensina sobre as mudanças nos padrões de fermentação das bactérias ruminais de bovinos recebendo dietas ricas em volumoso ou concentrado reportaram que a monensina ocasionou decréscimo na produção de AGV e reduziu a razão de acetato e propionato, eles também mencionam que as bactérias de animais que receberam forragem foram mais sensíveis à monensina que aquelas de dietas contendo 90% de concentrado. Quando a concentração de monensina foi aumentada a razão de acetato e propionato das bactérias de animais recebendo forragem declinou 1,4 unidades (de 3,8 para 2,4) e das bactérias de animais em dieta rica em concentrado, somente 0,5 unidades (de 1,75 para 1,25). Mesmo no tratamento com pequena quantidade de produto, a monensina causou decréscimo na produção de metano das bactérias provenientes de animais alimentados com forragem e o efeito dessa resposta aumentou de acordo com um aumento nos níveis de monensina.

Borges et al. (2008) ao avaliarem o efeito da administração da enramicina em comparação à monensina sódica, sobre a fermentação ruminal e a digestibilidade total em bovinos, observaram que ocorreu uma diminuição na razão de ácido acético e propiônico (tempo de 0 a 6 h) no grupo que recebeu a monensina. Esse efeito da monensina em aumentar a proporção molar de ácido propiônico e diminuir a de ácido acético é comumente reportado na literatura. Esses efeitos estão diretamente relacionados à ação do ionóforo em diminuir as bactérias produtoras de ácido acético e favorecer as que produzem ácido propiônico.

Matloup et al. (2017) ao pesquisarem o efeito do óleo de coentro e da salinomicina de vacas em lactação, observou efeito da salinomicina sobre a concentração de nitrogênio amoniacal do rúmen, entretanto não reportaram efeito na concentração total e individual de ácidos graxos de cadeia curta. De modo geral a quantidade de ácidos graxos de cadeia curta é pouco afetada. Entretanto, observa-se expressiva alteração nas proporções relativas dos mesmos, ao mesmo tempo que as concentrações de ácido acético e butírico diminuem ou se mantêm e a de ácido propiônico aumenta significativamente em resposta ao aditivo (Berchielli et al., 2011).

Hungate (1966) reportou que o rúmen de animais alimentados à base de volumoso é composta principalmente de organismos Gram-negativos, enquanto em animais alimentados com dietas com alta quantidade de grãos há maior número de organismos Gram-positivos. Assim, espera-se que os ionóforos sejam mais eficientes em dietas com alta concentração de concentrado do que em dietas com alto teor de volumoso, visto que os ionóforos atuam principalmente em bactérias Gram-positivas. A intensidade desses efeitos é dependente do tipo de dieta e do nível de suplementação com os ionóforos.

Vargas et al. (2001), ao avaliarem os efeitos do óleo de soja e monensina com diferentes níveis de concentrado na dieta de bovinos sobre os parâmetros ruminais, reportaram que o teor de acetato no AGV total decresceu linearmente com aumento do nível de concentrado, o propionato aumentou e a razão de acetato e propionato diminuiu na presença da monensina. A razão de acetato e propionato tendeu, ainda, a diminuir linearmente em função do nível de concentrado. Uma possível explicação para o decréscimo de acetato e da razão de acetato e propionato pelo nível de concentrado, é pela tendência de bactérias fibrolíticas em produzir acetato e amilolíticas em produzir propionato (Bergen & Bates, 1984; Martineau et al., 2007).

Oliveira et al. (2007) ao avaliar os efeitos da monensina sódica administrada pela forma convencional ou por dispositivo de liberação lenta sobre o perfil fermentativo ruminal de bovinos alimentados com volumosos de baixo valor nutritivo, demonstraram que adição da monensina independente da forma de

administração aumentou proporção de propionato, além de reduzir as concentrações da razão de acetato e propionato.

Ao realizarem uma meta-análise contendo 16 trabalhos em bovinos alimentados contendo dietas com no mínimo 80% de concentrado em sua composição, Ellis et al. (2012) reportaram que a monensina aumentou a proporção molar de propionato e reduziu a concentração de butirato, entretanto os autores também observaram que a mudança no perfil de ácidos graxos de cadeia curta é dependente da dose de aditivo fornecido, a quantidade está relacionada ao nível de ação dos ionóforos, fazendo com que eles afetem de forma mais agressiva ou branda as bactérias do rúmen. A produção de acetato pelas bactérias celulolíticas produz uma alta quantidade de H₂ que juntamente com o CO₂ é utilizado pelas bactérias metanogênicas para formação de CH₄.

De acordo com Johnson & Johnson (1995) a emissão de metano entérico em ruminantes, que é produzida pela fermentação de alimentos no rúmen por arqueias metanogênicas, pode representar uma perda de 2 a 12% da energia bruta dos alimentos, além do que também contribui para o efeito estufa. Assim, alternativas para mitigação do metano em ruminantes são de extrema importância, tanto pelo ponto de vista econômico quanto o ponto de vista ambiental (Pereira, 2013).

Pesquisas *in vitro* e *in vivo* indicam que os ionóforos diminuem a produção de metano. Este efeito pode estar relacionado à inibição das bactérias que produzem e fornecem H₂ e formato para a metanogênese, do que com um efeito direto sobre a população de metanogênicas, uma vez que essas bactérias são mais resistentes aos ionóforos do que aquelas que fornecem os substratos (Berchielli et al., 2011).

Alguns trabalhos reportam que diminuição na produção de metano observada na presença de ionóforo também pode estar associada à inibição no crescimento de protozoários, que, conhecidamente produzem H₂ e são colonizados por metanogênicas (Guan et al., 2006). Martinele et al. (2008) ao avaliarem os efeitos da monensina e do óleo de soja na dieta de vacas lactantes sobre a contagem de protozoários ciliados e parâmetros da fermentação ruminal, observaram que a defaunação dos protozoários promovida pelos aditivos utilizados na dieta dos animais, aumentaram as proporções de propionato nos ácidos graxos voláteis, indicando que a redução no número total de protozoários pelos tratamentos pode reduzir a emissão de metano por ruminantes. Pesquisas sugerem que a suplementação rotativa, diária ou semanalmente, de ionóforos pode aumentar o desempenho de animais confinados mais do que a suplementação contínua de um único ionóforo, este efeito pode ser em decorrência do mecanismo de não adaptação microbiana tecidual. Entretanto, alguns estudos não reportaram benefício da rotação de ionóforos sobre o uso ininterrupto de um único ionóforos.

Clary et al. (1993) ao avaliarem a utilização de lasalocida e monensina + tilosina e uma rotação diária desses aditivos sobre o desempenho e padrão fermentativo de bovinos em terminação, não reportaram diferença na utilização da rotação, resultados também reportados por Guan et al. (2006). Guan et al. (2006) ao avaliarem o efeito da emissão de metano entérico em bovinos alimentados com monensina ou a rotação de dois ionóforos (monensina e lasalocida) de novilhos Angus, reportou que a diminuição na produção de metano entérico devido à suplementação de ionóforo foi de curta duração, tanto para os animais que tiveram uma alimentação a base de dietas forrageiras quanto dietas concentradas. O autor também reportou que houve um aumento da proporção de acetato e propionato e diminuição do nitrogênio amoniacal quando os ionóforos foram suplementados tanto em dietas forrageiras quanto em dietas concentradas. Entretanto, a rotação de ionóforos não foi capaz de evitar a adaptação dos protozoários, e manter a baixa emissão de metano.

Ao avaliarem os efeitos do 3-nitrooxipropanol (NOP), monensina e a sua combinação sobre a produção de metano *in vitro* em uma dieta de alto teor de grãos, Romero-Pérez et al. (2017) reportaram que a relação acetato: propionato foi reduzida em 21% com a combinação de NOP e monensina, enquanto que a concentração de nitrogênio amoniacal não foi afetado pelos tratamentos, os autores também reportaram uma diminuição de 77,7% e 75,95% na produção de metano para os tratamentos com NOP e NOP + monensina respectivamente. Apesar da combinação de NOP + monensina ter mostrado a maior diminuição na razão molar de acetato e maior proporção de acetato e propionato, ela não foi capaz de reduzir o metano. A diminuição das emissões de metano com tratamentos que incluíram NOP ocorreu com uma diminuição no número de metanógenos associados às fases sólida e líquida, confirmando os efeitos inibitórios da NOP nestes microrganismos.

Fonseca et al. (2016) ao avaliarem os efeitos da suplementação da monensina, virgiamicina ou a combinações de ambos em bovinos confinados com dieta composta de silagem de sorgo e concentrado (50:50), sobre a produção de metano, reportaram uma diminuição da produção de metano no tratamento com a combinação dos dois aditivos. Os autores reportam que a redução do metano era esperada, visto que houve uma tendência consistente nos resultados expressados em quantidades diárias. A produção de metano também pode estar relacionada à concentração de ionóforos administrados na dieta. Beauchemin et al. (2008) ao elaborarem uma revisão sobre as estratégias de manejo nutricional para diminuir a produção de metano, reportaram que em trabalhos que utilizavam de 15 a 20 ppm de monensina, não houve efeito significativo para reduzir a produção de metano, entretanto ao utilizar dosagens mais altas (24-35 ppm) os trabalhos demonstraram que houve uma redução de até 30% de metano. Entretanto os mesmos citam que apesar do efeito com altas doses de monensina na dieta serem satisfatórios, esse efeito pode não ser persistente ao longo do tempo. O trabalho de Guan et al. (2006) corrobora com essa hipótese, visto que os mesmos reportaram que ao adicionar a monensina houve uma diminuição na produção de metano (30%). Entretanto, após dois meses, os níveis de metano foram restaurados. Porém, outras pesquisas sugerem que a redução na produção de metano pode se manter por períodos maiores com a suplementação de ionóforos. Odongo et al. (2007) ao avaliarem o efeito a longo prazo da adição da monensina na produção de metano em vacas leiteiras em lactação, observaram que houve uma redução na produção de metano de 9%, valores que se mantiveram nos 6 meses do período experimental.

Os ionóforos, além de mudar a proporção de ácidos graxos de cadeia curta e diminuir a emissão de metano, têm provocado mudança no metabolismo no N. Vários trabalhos têm demonstrado a redução da concentração de amônia ruminal, tanto *in vitro* como *in vivo*. O trabalho inicial de Bladen et al. (1961) reportaram que uma variedade de bactérias ruminais produziram amônia sobre o hidrolisado de proteínas, sendo as cepas de bactérias *M. elsdenii* e *Selenomonas ruminantium* as mais ativas. Os autores ainda reportam que a resistência dessas espécies produtoras de amônia para monensina foi difícil de ser comprovada com a diminuição da produção de amônia *in vitro* e *in vivo*. Entretanto estudos do líquido ruminal, produziu um *peptostreptococcus* que foi sensível à monensina. Este novo isolado estava presente em números significativos *in vivo* e teve uma atividade específica de produção de amônia que era 20 vezes maior que a de anteriormente estudada de bactérias ruminais produtoras de amônia.

Os protozoários ruminais podem representar metade da massa microbiana no rúmen. Os ionóforos parecem ter efeito negativo sobre a população de protozoários do rúmen, principalmente os das espécies *Entodinium* spp. e *Enoplopastron* ssp. Esse resultado afeta de forma direta a população de bactérias, uma vez que os protozoários são importantes organismos predadores de bactérias. Desse modo, a diminuição da atividade protozoária, encadeara em um aumento na população de bactérias, na fermentação e aumento no fluxo de proteínas bacteriana para o duodeno (Martinele et al., 2008). Todavia, deve-se considerar que os protozoários também demonstraram resistência a monensina após longo período de suplementação (Berchielli et al., 2011). Pesquisas pioneiras já reportavam que os protozoários estão envolvidos na reciclagem de bactérias, proteínas e que a defaunação muitas vezes também auxilia na diminuição da concentração de nitrogênio amoniacal do rúmen (Russell & Strobel, 1989).

Algumas pesquisas reportam que os ionóforos podem provocar efeitos negativos na digestibilidade ruminal da fibra. Rodrigues et al. (2007) reportaram que a administração de monensina de forma convencional ou por dispositivo de liberação lenta, diminuíram a degradabilidade efetiva da FDN do feno de 11,9 a 34,4%. Estes valores que podem estar relacionados no efeito da defaunação na população de fungos e protozoários do rúmen, que possuem um papel importante na degradação de alimentos altamente fibrosos.

Lana & Russell (2001) ao avaliarem os efeitos da monensina sobre as mudanças nos padrões das bactérias ruminais provenientes de bovinos recebendo dietas ricas em volumoso (100%) ou concentrado (90%), reportaram que bactérias provenientes de dieta rica em concentrado produziram menos acetato, mais propionato e menos metano que bactérias provenientes de dieta de volumoso e as taxas de acetato e propionato foram de 1,75:1 e 3,75:1, respectivamente. Valores que estão de acordo com vários trabalhos publicados. Esses resultados também podem estar relacionados ao pH ruminal, animais que receberam 90% de concentrado apresentaram pH ruminal menor que 6,0. A incapacidade das bactérias de dietas ricas em concentrado em produzir grande quantidade de metano e aumentar a razão de acetato

e propionato é consistente com o efeito inibitório da acidez sobre a metano gênese. Os autores ainda citam que as bactérias de animais que receberam forragem foram mais sensíveis à monensina que aquelas de dietas contendo 90% de concentrado.

Quando a concentração de monensina foi aumentada em unidades logarítmicas de 0 para 10 mM, a razão de acetato e propionato das bactérias de animais recebendo forragem declinou 1,4 unidades (de 3,8 para 2,4) e das bactérias de animais em dieta rica em concentrado, somente 0,5 unidades (de 1,75 para 1,25). Mesmo a aplicação de pequena concentração de monensina acarretou a diminuição na produção de metano das bactérias provenientes de animais alimentados com forragem, ainda sim essa resposta foi aumentando proporcionalmente à medida que se aumentou os níveis de monensina.

Efeitos dos ionóforos sobre o consumo de alimento

Várias pesquisas mostram que a inclusão de ionóforos na dieta de ruminantes tem aumentado a eficiência alimentar, enquanto os efeitos sobre o ganho de peso e consumo de alimentos têm sido variáveis (Duffield et al., 2012). A melhoria na eficiência alimentar acontece em consequência do aumento na proporção de propionato em relação ao acetato, depressão na produção de metano e na degradação de proteína na dieta (Berchielli et al., 2011). Os resultados observados da monensina e salinomicina na literatura verificado sobre o consumo de suplemento e desempenho pode estar relacionado aos aspectos como aumento da concentração ruminal de ácido propiônico com redução nas concentrações dos ácidos acéticos e butírico, levando ao aumento na eficiência energética e resultam em menor consumo de alimentos.

Em animais que recebem dieta volumosa, a diminuição do consumo pode estar relacionada pela diminuição da taxa de reciclagem de sólidos e líquidos no rúmen e consequente aumento do enchimento ruminal (Allen & Harrison, 1979), enquanto a reduzida motilidade ruminal induzida pela monensina pode ser a causa da diminuição da reciclagem ruminal (Deswysen et al., 1987). No entanto, algumas pesquisas reportam que os ionóforos não são capazes de reduzir o consumo quando os animais estão recebendo uma dieta com alto teor de volumoso. Mourthe et al. (2011) ao avaliarem o efeito da suplementação múltipla com diferentes doses (100 e 200 mg/cab/dia) de ionóforos (monensina e lasalocida) sobre o consumo e fermentação ruminal, reportaram que o uso de ionóforos no suplemento não influenciou o consumo de matéria seca.

Pesquisas que avaliam o consumo de animais a pasto, geralmente, atribuem grande parte da ingestão de matéria seca as características químicas bromatológicas da forragem (Ribeiro et al., 2005; Ruas et al., 2000). Segundo Van Soest (1994), o consumo pode estar relacionado ao teor da fibra das dietas, com maior proporção do volumoso. Sabe-se que quantidade da fibra das forrageiras de clima tropical é geralmente alto, o que pode acarretar um maior tempo de retenção no rúmen e refletindo de forma direta na redução do consumo. Algumas pesquisas reportam que os ionóforos, normalmente, em animais a pasto, melhoram o ganho de peso sem alterar o consumo de matéria seca, resultado em melhor conversão alimentar. Goodrich et al. (1984) relataram que os ionóforos pode causar uma melhoria de até 7,5% na conversão alimentar. O uso da monensina em animais de pastejo deve estar vinculada à preocupação de se melhorar o processo digestivo ou minimizar as perdas de nutrientes.

Existem algumas hipóteses para explicar o mecanismo de redução do consumo do alimento com a adição de ionóforos. Em animais que recebem dieta volumosa, o decréscimo no consumo pode ser em parte explicado pela diminuição na taxa de *turnover* de sólidos e líquidos no rúmen e consequente aumento do enchimento ruminal, enquanto a reduzida motilidade ruminal induzida pelo ionóforo pode ser a causa da diminuição do *turnover* ruminal (Allen & Harrison, 1979).

A redução ou modulação do consumo de alimento tem sido observada principalmente com a monensina (Maas et al., 2001; Oliveira et al., 2006; Valero et al. 2015), enquanto outros ionóforos, como lasalocida, salinomicina e narasina não afetam ou aumentam o consumo de alimento (Roso & Restle, 2001). Matloup et al. (2017) ao avaliarem o desempenho de vacas em lactação utilizando dois aditivos (óleo de coentro e salinomicina) reportaram que os aditivos, aumentaram ingestão de matéria seca comparados ao controle, e também aumentaram a produção de leite, resultados que corroboram com a hipótese que a salinomicina não têm um efeito redutor do consumo como a monensina, porém ela melhora o desempenho dos animais.

Antigamente, os estudos acreditavam que a diminuição no consumo de animais com dietas concentradas poderia estar relacionado ao sabor desagradável da monensina (Baile & McLaughlin, 1987). Entretanto, Vargas et al. (2001), ao avaliarem a influência da monensina e diferentes níveis de concentrado (0, 25, 50 e 75%) na dieta de bovinos, sobre os parâmetros ruminais e consumo de matéria seca, reportaram que a monensina acarretou na redução no consumo de alimentos à medida que o nível de concentrado foi aumentando, os autores explicam que os animais em confinamento, em que o nível de energia regula o consumo, o aumento da eficiência energética, pelo decréscimo das perdas de metano, favorece a redução do consumo de alimentos para satisfazer as necessidades nutricionais. Rodrigues et al. (2013) citam que a diminuição do consumo de matéria seca, pode estar relacionada com a concentração ruminal de ácido propiônico e redução nas concentrações dos ácidos acéticos e butírico, levando ao aumento na eficiência energética. Entretanto, também existem alguns trabalhos que não reportam efeito no consumo e desempenho dos animais. Ao avaliarem os efeitos da administração de enramicina e monensina sódica sobre o consumo de matéria seca em bovinos alimentados numa dieta com ração de volumoso (40%) e concentrado (60%) Borges et al. (2008) não reportaram diferença significativa para o consumo de matéria seca digestível e de NDT.

Gomes et al. (2010) e Maturana Filho et al. (2010) citam que bovinos suplementados com monensina sódica fermentam os alimentos de forma mais eficaz, incrementado a produção de propionato, em consequência da diminuição do acetato. Schelling (1984) reporta que a monensina melhora a utilização de proteína pelo animal, principalmente em animais jovens, quando a necessidade destes nutrientes é maior, principalmente devido à síntese de musculatura.

Salles & Lucci (2000) ao analisarem o efeito da suplementação de diferentes doses de monensina (0; 0,4; 0,8; e 1,2 mg de monensina/kg PV) sobre os parâmetros ruminais e digestibilidade, de bezerras da raça Holandesa alimentados com ração peletizada, observaram que com o aumento dos níveis de monensina também houve o aumento valores ruminais de pH, em contrapartida os valores de nitrogênio amoniacal, ácido acético e ácido butírico diminuíram no rúmen, esses resultados proporcionaram aos animais um aumento da digestibilidade do alimento e maior quantidade de nutrientes a ser disponibilizado para o animal, esses resultados afetaram diretamente o ganho de peso dos animais, melhorando os parâmetros de carcaça e um melhor benefício econômico. Oliveira et al. (2005) ao avaliarem a influência da monensina no consumo e na fermentação ruminal em bovinos recebendo dietas com teores baixo e alto de proteína, reportaram que as dietas com alto teor proteico proporcionaram aumento da concentração ruminal do ácido butírico e da amônia, e que o fornecimento da monensina independente do teor proteico das dietas, promoveu a diminuição do consumo de matéria seca, aumento da concentração de ácido propiônico e a redução do teor de ácido butírico, entretanto quando a monensina foi associada a dieta com baixo teor proteico, também ocasionou a diminuição da concentração do ácido acético e elevação do pH.

A maioria dos trabalhos utilizando ionóforos e avaliando os parâmetros nutricionais dos mesmos, seguem o mesmo entendimento sobre como os ionóforos melhoram a eficiência alimentar dos animais, eles estarão sempre relacionados ao aumento na proporção de propionato em relação ao acetato, diminuição na produção de metano. Sabendo que o propionato é essencial para o metabolismo energético dos ruminantes, sua maior disponibilidade contribuirá para a redução do incremento calórico, poupar aminoácidos normalmente destinados para gliconeogênese e promover assim, a síntese de proteína corporal (Berchielli et al., 2011).

Efeitos dos ionóforos na digestão

Um dos principais efeitos dos ionóforos na dieta de ruminantes é a capacidade de reduzir as bactérias Gram-positivas no rúmen, o que resulta no aumento da digestibilidade de nutrientes, acarretando no aumento da disponibilidade de energia e nitrogênio dos alimentos para o organismo animal. Os ionóforos têm uma melhor eficácia na redução da digestibilidade da fibra, da proteína bruta e da matéria orgânica em dietas que contêm fontes de concentrado rapidamente degradável do que em dietas com alta porcentagem de volumoso (feno e silagem, forrageiras), visto que a proteína solúvel do feno e da silagem possuem alta concentração de nitrogênio não proteico em comparação ao concentrado (Van Soest, 1994).

Martinele et al. (2008) ao avaliarem o efeito da monensina e óleo de soja sobre os protozoários ciliados do rúmen e a correlação dos protozoários com parâmetros digestivos, reportaram que a monensina, óleo de soja e a combinação dos dois diminuíram a contagem de protozoários em relação a dieta controle de 43,1; 24,32 e 15,8% respectivamente. As populações de protozoários que apresentam celulases e hemicelulases, denominados celulolíticos e compostos pelos gêneros *Diplodinium*, *Eudiplodinium*, *Ostracodinium*, *Polyplastron* e *Epidinium* também foram reduzidas tanto por efeito de óleo e soja, como de monensina.

Os autores ainda reportam, que as dietas controle, monensina e óleo de soja apresentaram valores similares (43,68; 45,71 e 45,08%, respectivamente), sobre o parâmetro de digestibilidade ruminal da FDN enquanto a dieta combinada dos dois aditivos (monensina + óleo de soja) apresentou menor digestibilidade ruminal da FDN que as demais (39,75%). Os autores mencionam que embora a monensina tenha ação sobre as bactérias celulolíticas, outras espécies tolerantes ao ionóforo tomam o papel na fermentação da fibra. Os resultados encontrados por Martinele et al. (2008) mostram uma correlação positiva entre os protozoários celulolíticos e a digestibilidade ruminal da FDN. Costa et al. (2008) ao avaliarem o efeito da suplementação com ionóforo na dieta sobre os parâmetros digestivos e sobre a produção de proteína microbiana de novilhas leiteiras, observaram que a monensina teve um efeito positivo sobre a digestibilidade da FDN, os autores sugerem que esse efeito pode ter sido ocasionado pelo potencial da monensina de aumentar ou impedir a queda do pH ruminal, provendo um ambiente ruminal favorável ao crescimento de bactérias celulolíticas, como resultado melhorando a digestibilidade da fibra.

Outras pesquisas sugerem que, além da capacidade de atuação do ionóforo sobre o pH ruminal, ele também pode exercer uma alteração no local de digestibilidade da fibra. Osborne et al. (2004) ao pesquisarem os efeitos da suplementação de monensina sobre as características do pH ruminal e degradabilidade da forragem e a digestibilidade da dieta total, durante uma acidose subaguda induzida por grãos em vacas de leite em lactação, reportaram que as taxas de degradação da fibra forrageira ruminal foram semelhantes entre as vacas do tratamento controle e a monensina, entretanto foi observado que a suplementação da monensina aumentou a digestão total da fibra do trato, este resultado evidencia que a digestão de nutrientes do trato total alterado pela monensina aumenta a digestão das fibras em locais posteriores ao rúmen.

Ao avaliarem os efeitos da monensina e do probiótico (*Saccharomyces cerevisiae* + selênio + cromo) sobre os parâmetros de digestibilidade parcial e total de rações para bubalinos e bovinos, em rações com 50:50% de volumoso: concentrado, Zeoula et al. (2008) reportaram que a adição do ionóforo aumentou o coeficiente de digestibilidade total da matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta e extrato etéreo, em relação as demais rações, possivelmente os resultados decorreram da alteração na microbiota ruminal. Também citam que a adição do ionóforo melhorou o coeficiente de digestibilidade ruminal da FDN, FDA e amido, o possível efeito do ionóforo sobre a digestibilidade da fibra pode ser atribuída a diversos fatores, como o aumento do tempo de retenção da MS no rúmen, ao menor consumo voluntário de alimentos, à melhora das condições ruminais e a um aumento no estímulo à ruminação. Zeoula et al. (2014) ao avaliarem o coeficiente de digestibilidade aparente (CDA) de dietas volumosas (80% de volumoso na dieta) com a inclusão de ionóforo ou probiótico para bubalinos e bovinos reportaram que a digestibilidade da proteína e FDA foram melhoradas com adição do ionóforo, o resultado corrobora com outras pesquisas que relatam que a monensina tem efeito de aumentar a digestibilidade da PB independente do teor de fibra na dieta. Os autores citam que o possível efeito de melhora na qualidade da fibra seja decorrente do aumento do tempo de retenção da MS no rúmen, devido ao menor consumo voluntário de alimento. Resultados distintos também são reportados na literatura, Borges et al. (2008) ao avaliarem os efeitos da enramicina e monensina sódica sobre a digestão total dos nutrientes da dieta e o consumo de matéria seca digestível em fêmeas bovinas não gestantes e não lactantes, relatou que nenhum dos aditivos na dieta alterou a digestibilidade de matéria seca, proteína bruta, extrato etéreo, fibra em detergente ácido, fibra em detergente neutro, amido, energia bruta e NDT. Os autores sugerem que uma provável explicação para os resultados obtidos na pesquisa seja em decorrência do incremento do número de bactérias resistentes aos antibióticos e de bactérias fibrolíticas, resultando em redução da quantidade de bactérias sensíveis aos produtos.

Eifert et al. (2005) ao avaliarem o efeito do óleo de soja, monensina e a combinação dos dois sobre os parâmetros de digestão em vacas lactantes, reportaram que a monensina estimulou a digestão da fibra, os autores atribuem esses efeitos na redução das concentrações ruminiais na presença de monensina, aumentando o tempo de retenção da digesta no rúmen.

As bactérias que degradam a fibra, utilizam como fonte principal de nitrogênio a amônia, que é produzida no rúmen através do processo de fermentação da proteína. Todavia, altas concentrações de amônia no fluido ruminal, diminuem a eficiência da síntese microbiana, o que pode aumentar a excreção de nitrogênio, e ainda aumentar o custo energético de produção de ureia (Russell et al., 1992). Do mesmo modo o excesso de amônia será excretado via urina, podendo contaminar solos e cursos d'água. Provavelmente os intermediários da produção de amônia (aminoácidos e peptídeos), são advindos da quebra de proteína solúvel do alimento através das enzimas microbianas no rúmen, os mesmos, dependendo da taxa de produção podem ser incorporados à proteína microbiana ou ser desaminados. Entretanto, com uma alta taxa de quebra de peptídeos, estes não conseguem ser assimilados totalmente, ocorrendo perda desses na forma de amônia.

Além dos efeitos sobre a digestão da fibra, os ionóforos também exercem uma função importante na digestão de proteína, esses aditivos podem afetar o desenvolvimento de algumas bactérias que promovem proteólise e deaminação no rúmen dos animais, em consequência diminuem a degradação da proteína nesse ambiente, permitindo a sua digestão. Schelling (1984), também reportam a importante função do ionóforo em aumentar a quantidade de aminoácidos glicogênicos na corrente sanguínea oriundos do intestino delgado. Visto que ao diminuir as bactérias que promovem a proteólise e desaminação no rúmen, reduzem a degradação das proteínas nesse compartimento, favorecendo a sua digestão posterior ao rúmen. Em decorrência, as proteínas de valor biológico superior ao das proteínas bacterianas que passam pelo rúmen sem serem degradadas, geram um ganho adicional ao animal, que recebe uma proteína melhor e em maior quantidade, uma vez que não existem as perdas do processo de proteólise e síntese proteica bacteriana. O melhor aproveitamento de proteína pelo animal também tem uma relação com a maior quantidade de proteína bruta na dieta, enquanto dietas com baixo teor de proteína livre ou com alto teor de NNP parecem ter um menor efeito do ionóforo do que dietas com elevados teores de proteína e carência de energia (Zanine & Macedo Júnior, 2006). O aumento da disponibilidade de proteína de origem alimentar no intestino delgado implica em redução do custo energético com ureia no fígado (Borges et al., 2008). Pesquisas reportam que os ionóforos afetam negativamente três espécies de bactérias produtoras de amônia *Clostridium sticklandii*, *Peptostreptococcus anaerobicus* e *Clostridium aminophilum* (Russell, 1987).

A utilização do nitrogênio não proteico (NNP) pelas bactérias do rúmen depende de forma direta da degradabilidade das proteínas e carboidratos (Sniffen et al., 1992). Assim sendo a entrada máxima de todo nitrogênio da dieta que chega ao intestino delgado é o montante do que foi incorporado à massa microbiana adicionada da fração que passa estruturado na proteína da dieta.

Zeoula et al. (2008) ao avaliarem os efeitos da monensina e do probiótico (*Saccharomyces cerevisiae* + selênio + cromo) sobre os parâmetros de digestibilidade total, digestibilidade ruminal e digestibilidade intestinal de rações para bubalinos e bovinos, em rações com 50:50% de volumoso:concentrado, reportaram que para ambas as espécies, a adição de ionóforo foi efetiva em aumentar a fermentação ruminal da MS, reduzir a degradação da proteína bruta no rúmen e elevar o coeficiente de digestibilidade intestinal da proteína, quando expresso em % do total digerido. Valores esperados, visto o efeito efetivo da monensina em diminuir a fermentação da proteína ruminal, aumentando a disponibilidade de proteína no intestino delgado do animal. Os autores ainda esclarecem que o resultado apresentado foi decorrente das reduções na produção de amônia ruminal como resultado da menor fermentação da proteína, como já demonstrado nas pesquisas acima citadas (Borges et al., 2008; Oliveira et al., 2007; Russell et al., 1992).

Ao avaliarem a influência da monensina sódica no consumo, e digestibilidade de dietas com diferentes teores de proteína (11,4 e 16,5%) para ovinos castrados, Oliveira et al. (2007) reportaram que o fornecimento de monensina acarretou na diminuição significativa no consumo de nitrogênio e diminuição das perdas de nitrogênio nas fezes; entretanto, as perdas pela urina foram semelhantes, o balanço de nitrogênio indicou que a retenção foi maior nos animais alimentados com a dieta sem monensina. Os autores sugerem que, nos animais que receberam monensina, provavelmente houve

aumento na concentração ruminal de ácido propiônico e, em nível metabólico, redução da degradação dos aminoácidos gliconeogênicos (glutamina, alanina e glicina) para a síntese de glicose. Como os animais eram adultos e nesses animais a taxa de deposição muscular é menor, possivelmente parte dos aminoácidos foi degradada a amônia no fígado, ocasionando formação de ureia e aumento da excreção urinária. Já os animais alimentados com a dieta sem adição da monensina tiveram maior consumo de nitrogênio (reflexo da maior ingestão de alimentos) e maior perda fecal de aminoácidos. Visto que possivelmente essas dietas proporcionaram menor concentração ruminal de ácido propiônico, parte dos aminoácidos absorvidos foi utilizada para síntese de glicose, com consequente diminuição do nitrogênio excretado na urina.

Fereli et al. (2010) ao avaliarem o efeito da monensina sódica, *Saccharomyces cerevisiae* e a mistura de ambos em dietas de bovinos, observaram que a digestão da proteína no rúmen foi maior para a dieta utilizando apenas a monensina, e que a digestão intestinal da proteína foi maior no tratamento utilizando apenas o probiótico. Os resultados de Fereli et al. (2010) sobre a digestão ruminal e intestinal pode estar relacionado a dieta utilizada, que ocasionou um desbalanço entre fontes de nitrogênio e carboidratos, resultando em perdas no rúmen, principalmente de proteína, refletido nos valores elevados e positivos de digestibilidade de proteína bruta no rúmen.

A inclusão de ionóforos na dieta de ruminantes apresentam potencial para manipular o ambiente ruminal, melhorando o aproveitamento da fibra na dieta e melhorando a absorção de proteína intestinal, além de diminuir a excreção de compostos nitrogenados e a emissão de metano, uma vez que a produção destes está diretamente relacionado a ineficiência do processo fermentativo do rúmen, e aumentando a poluição ambiental.

Consequências práticas da utilização de ionóforos

Um dos fatores mais importantes para o consentimento de utilização de aditivos ionóforos pelo produtor rural é a questão econômica. Salles & Lucci (2000) ao avaliarem o efeito da suplementação de diferentes níveis de monensina (0; 0,4; 0,8; e 1,2 mg de produto/kg de PV) no desempenho, características e composição de carcaça e análise econômica, utilizando bezerros holandeses, reportaram que os animais alimentados com a monensina apresentaram maior receita, implicando em maior benefício. A adição dos diferentes níveis da monensina aumentou a receita por bezerro em R\$ 6,64; R\$ 1,84 e R\$ 8,77 pela adição de 0,4; 0,8 e 1,2 mg de monensina/kg PV respectivamente. Resultados semelhantes também foram reportados por Oliveira et al. (2009) ao avaliar a influência de diferentes níveis de monensina sódica (0, 14, 28 e 42 mg de monensina/kg de MS da dieta total) sobre o desempenho e avaliação econômica de novilhas holandesas confinadas em dietas com 70:30 volumoso:concentrado. Os autores reportaram que a adição de monensina elevou a despesa do confinamento, entretanto a adição de 28 mg do produto melhorou o custo da dieta em 1,43% comparada ao controle, tendo um lucro de 4 centavos por quilo de peso vivo adquirido, esses resultados aparentemente insignificantes passam a ser proeminente quando se têm uma alta quantidade de animais.

Os benefícios da utilização de ionóforos na dieta de ruminantes são reportados por vários trabalhos. Entretanto, pesquisas recentes reportam que a maioria dos consumidores do Brasil e EUA, os dois maiores produtores de carne bovina do mundo, desejam carne produzida sem antibióticos. Entretanto apenas 35% dos consumidores estão dispostos a pagar um adicional por isso, o que torna a exclusão desses aditivos um desafio à produção animal. A utilização desses aditivos pode limitar a exportação de carne, leite e derivados, visto que a União Europeia banuiu a utilização de ionóforos como promotor de crescimento em 2006 (artigo nº 11, regulamento 1831/2003) (OJEU, 2003) e recentemente em 2016, os Estados Unidos também recomendou reduzir sua utilização, essa preocupação está relacionada a possibilidade de os antibióticos aumentarem a quantidade de microrganismos resistentes que pudessem afetar a saúde humana. Entretanto, vários estudos que pesquisam com a utilização de ionóforos na dieta de ruminantes não reportaram esse efeito do produto.

Os maiores importadores de carne bovina do Brasil em 2017 foram Hong Kong e China (FAPRI, 2021). Os dois países juntos totalizaram uma importação 1161 bilhões de dólares, resultado equivalente a aproximadamente 37% da receita de exportação total (\$3.143,7 bilhões). (ABIEC, 2021). Esses resultados demonstram que a Rússia, antes o principal comprador, atualmente apresenta importância intermediária para o mercado nacional. O cenário da exportação de carne bovina atual é favorável ao

produtor que utiliza ionóforos e deseja investir nesse mercado, visto que os maiores importadores ainda não colocaram barreiras para o comércio de carne com a utilização de antibióticos como promotores de crescimento. Ainda assim, a utilização de ionóforos relacionado à resistência bacteriana necessita ser pesquisada a fundo, com o intuito de prevenir o potencial prejuízo à saúde humana e animal, entretanto, esse tema deve ser pesquisado sem extremismos.

A maioria das pesquisas reporta que o descontrole na utilização de antibióticos está relacionado ao uso desses como medicamentos e não como aditivos alimentares (Torres & Zarazaga, 2002). Ao avaliarem espécies bacterianas resistentes aos antibióticos, Torres & Zarazaga (2002) reportaram que das 20 espécies bacterianas resistentes aos antibióticos, 12 não possuem relação com a cadeia alimentar, e nas oito restantes constatou-se que o percentual de contribuição de resistência bacteriana através dos alimentos é menor que 1%. A análise da resistência bacteriana provocada por ingestão de alimentos contendo aditivos ionóforos necessita de uma pesquisa multidisciplinar, com estudos envolvendo o antibiótico na produção animal, a presença de resistência, o consumo humano e um rastreamento genético da bactéria (Sales et al., 2015).

Um dos obstáculos ao produtor na utilização de ionóforos na alimentação animal ainda é a intoxicação acidental, efeito frequentemente sucedido de falhas na preparação das dietas (alta dosagem, diluição inadequada, identificação de recipientes). A concentração ideal de cada aditivo ionóforo é variável e dependente da espécie animal, categoria e finalidade da utilização (Tabela 1). Na maioria das vezes a intoxicação dá-se no período inicial de adaptação do aditivo à dieta e muitas vezes envolvem erros na mistura e altas dosagens (Nogueira et al., 2009).

Tabela 1. Utilização e posologia dos principais antibióticos ionóforos

Ionóforo	Espécie/categoria animal	Teores	
		Mínimos (mg/kg)	Máximos (mg/kg)
Salinomicina	Leitões	30	60
	Suínos de engorda	15	30
	Coelhos de engorda	20	25
	Frangos de engorda	50	70
	Bovinos de corte	10	40
Monensina	Perus	90	100
	Frangos de engorda	100	125
Narasina	Frangos de postura	100	120
	Frangos de engorda	60	70
Lasalocida	Bovinos de corte	10	40
	Frangos de engorda	75	125
	Frangos de postura	75	125

Fonte: Adaptado de Nogueira et al. (2009).

Gava et al. (1997) ao pesquisarem um surto de intoxicação por salinomicina em bovinos Simmental, reportaram que em um grupo de 45 animais, 13 morreram após a intoxicação (28,8%), os autores reportaram que a intoxicação foi motivada pela ingestão inadequada do aditivo, foi constatado uma dose de 21,3 mg/kg, dose de 3,5 vezes superior a recomendada (0,6 mg/kg). Os autores ainda sugerem que, como a utilização do cocho era comunitária, uma parte dos animais ingeriram uma maior quantidade do aditivo, enquanto outros não consumiram a quantidade estipulada da mistura, o que explica a intoxicação de apenas 28,8% do lote. Ao analisarem um surto de intoxicação por monensina sódica em ovinos no município de Dourados – MS, Dias & Correa (2016) reportaram que de 102 ovinos de um lote, 85 animais apresentavam sinais clínicos de intoxicação (diarreia, dispnéia, taquipnéia, urina com coloração de café) e cinco animais foram a óbito. Na anamnese os autores descobriram que estava sendo misturada uma quantidade de monensina muito superior ao recomendado para categoria, o que ocasionou o surto de intoxicação. O nível de mortalidade por intoxicação foi baixo, ficando em 4,9%, resultado que pode ser explicado pela retirada imediata do aditivo na dieta após os primeiros sinais clínicos do envenenamento.

Mesmo existindo alguns entraves para a utilização dos ionóforos na dieta de ruminantes, esses aditivos melhoram significativamente a produção dos mesmos. O efeito de intoxicação não deve ser observado como um obstáculo, visto que esse não acontece se o ionóforo for homogeneizado na ração de forma correta e colocado na recomendação adequada para a categoria, à maioria das pesquisas sobre

intoxicação alimentar por ionóforos reportam que essas só foram causadas por utilização de doses inadequadas. O custo de produção e lucratividade é o principal foco do produtor ao decidir por utilizar ou não novas tecnologias, visto que as pesquisas têm demonstrado o aumento dos lucros com adição dos ionóforos, esses aditivos se tornam uma alternativa viável ao produtor.

Considerações finais

Os resultados divergentes sobre a utilização de ionóforos são frequentemente reportados na literatura. Em grande parte, essas implicações estão relacionadas às condições nos quais os animais se encontram à influência da dieta ofertada, e às condições de estresse animal. A falta de padronização nas pesquisas destes aditivos ainda é uma limitação para consolidação destes na pecuária.

A monensina é o aditivo que tem apresentado resultados mais consistentes em comparação aos outros aditivos (Salinomicina, Lasalocida e Narasina), visto que este ionóforo é o mais pesquisado. Entretanto a maioria dos trabalhos demonstra que os ionóforos acarretam algum benefício na produção animal, seja na melhoria do desempenho, nas características de carcaça, na melhoria da eficiência de aproveitamento do nutriente na ração ou ainda melhorando a lucratividade da atividade.

Com a crescente busca pelo desenvolvimento sustentável, mais estudos são necessários referentes aos ionóforos. O completo esclarecimento dos mecanismos de ação e a determinação das melhores condições de aplicação determinaram o potencial que os aditivos podem alcançar na pecuária e reduzir as limitações existentes.

Referências bibliográficas

- ABIEC. (2021). *Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. Exportações Brasileiras de Carne Bovina – Brazilian Beef Exports* (P. e A. Ministério da Agricultura (ed.)). Governo brasileiro.
- Allen, J. D., & Harrison, D. G. (1979). The effect of the dietary addition of monensin upon digestion in the stomachs of sheep. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 38(2), 32A.
- ANVISA. (2010). *Farmacopeia Brasileira* (5th ed., Vol. 1). Agência Nacional de Vigilância Sanitária e Fundação Oswaldo Cruz.
- Baile, C. A., & McLaughlin, C. L. (1987). Mechanisms controlling feed intake in ruminants: a review. *Journal of Animal Science*, 64(3), 915–922. <https://doi.org/10.2527/jas1987.643915x>.
- Baumont, R., Cohen-Salmon, D., Prache, S., & Sauvant, D. (2004). A mechanistic model of intake and grazing behaviour in sheep integrating sward architecture and animal decisions. *Animal Feed Science and Technology*, 112(1–4), 5–28. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2003.10.005>
- Beauchemin, K. A., Kreuzer, M., O'Mara, F., & McAllister, T. A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Animal Production Science*, 48(2), 21–27.
- Berchielli, T. T., Pires, A. V., & Oliveira, S. G. (2011). *Nutrição de Ruminantes*. FUNEP.
- Bergen, W. G., & Bates, D. B. (1984). Ionophores: their effect on production efficiency and mode of action. *Journal of Animal Science*, 58(6), 1465–1483. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5861465x>.
- Bladen, H. A., Bryant, M. P., & Doetsch, R. N. (1961). A study of bacterial species from the rumen which produce ammonia from protein hydrolyzate. *Applied Microbiology*, 9(2), 175–180. <https://doi.org/10.1128/am.9.2.175-180.1961>.
- Borges, L. F. O., Passini, R., Meyer, P. M., Pires, A. V., & Rodrigues, P. H. M. (2008). Efeitos da enramicina e da monensina sódica no consumo de matéria seca, na fermentação ruminal e no comportamento alimentar em bovinos alimentados com dietas com alto nível de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37, 681–688. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008000400014>.
- Borges, O. L. F., Passini, R., Meyer, P. M., Henrique, P., & Rodrigues, M. (2008). Efeitos da enramicina e monensina sódica sobre a digestão de nutrientes em bovinos alimentados com dietas contendo alto nível de concentrados. *Revista Brasileira Zootecnia*, 37(4), 674–680.

- Clary, E. M., Brandt Junior, R. T., Harmon, D. L., & Nagaraja, T. G. (1993). Supplemental fat and ionophores in finishing diets: feedlot performance and ruminal digesta kinetics in steers. *Journal of Animal Science*, 71(11), 3115–3123. <https://doi.org/10.2527/1993.71113115x>.
- Costa, P. B., Queiroz, A. C., Magalhães, A. L. R., Zorzi, K., Mello, R. O., & Oliveira, A. A. M. A. (2008). Parâmetros digestivos e produção de proteína microbiana em novilhas em crescimento compensatório. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60(5), 1135–1141. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000500015>.
- Deswysen, A. G., Ellis, W. C., & Pond, K. R. (1987). Interrelationships among voluntary intake, eating and ruminating behavior and ruminal motility of heifers fed corn silage. *Journal of Animal Science*, 64(3), 835–841. <https://doi.org/10.2527/jas1987.643835x>.
- Dias, T. O., & Correa, E. B. (2016). Intoxicação espontânea por monensina sódica em ovinos no Estado do Mato Grosso do Sul—Relato de caso. *Revista Eletrônica Da Faculdade de Ciências Exatas e Agrárias Produção/Construção e Tecnologia*, 5(9).
- Duffield, T. F., Merrill, J. K., & Bagg, R. N. (2012). Meta-analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain, and dry matter intake. *Journal of Animal Science*, 90(12), 4583–4592. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-5018>.
- Eifert, E. C., Lana, R. P., Leão, M. I., Arcuri, P. B., Valadares Filho, S. V., Leopoldino, W. M., Oliveira, J. S., & Sampaio, C. B. (2005). Efeito da combinação de óleo de soja e monensina na dieta sobre o consumo de matéria seca e a digestão em vacas lactantes. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34(1), 297–308. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000100034>
- Ellis, J. L., Dijkstra, J., Bannink, A., Kebreab, E., Hook, S. E., Archibeque, S., & France, J. (2012). Quantifying the effect of monensin dose on the rumen volatile fatty acid profile in high-grain-fed beef cattle. *Journal of Animal Science*, 90(8), 2717–2726. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-3966>.
- FAPRI. (2021). *Food and Agricultural Policy Research Institute*. Food and Agricultural Policy Research Institute; Iowa State University and University of Missouri-Columbia.
- Fereli, F., Branco, A. F., Jobim, C. C., Coneglian, S. M., Granzoto, F., & Barreto, J. C. (2010). Monensina sódica e *Saccharomyces cerevisiae* em dietas para bovinos: fermentação ruminal, digestibilidade dos nutrientes e eficiência de síntese microbiana. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(1), 183–190.
- Fonseca, M. P., Borges, A. L. C. C., Silva, R. R., Lage, H. F., Ferreira, A. L., Lopes, F. C. F., Pancoti, C. G., & Rodrigues, J. A. S. (2016). Intake, apparent digestibility, and methane emission in bulls receiving a feed supplement of monensin, virginiamycin, or a combination. *Animal Production Science*, 56(7), 1041–1045. <https://doi.org/10.1071/AN14742>.
- Gava, A., Wouters, A. T. B., Wouters, F., Nizgoski, L., & Barros, C. S. L. (1997). Intoxicação por salinomicina em bovinos. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 17, 127–130. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X1997000300007>.
- Gomes, R., Antunes, M. T., Nogueira Filho, J. C., Ítavo, L. C., & Leme, P. R. (2010). Leveduras vivas e monensina em dietas de alto concentrado para bovinos: parâmetros ruminais e degradabilidade in situ". *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 11(1), 202–216.
- Goodrich, R. D., Garrett, J. E., Gast, D. R., Kirick, M. A., Larson, D. A., & Meiske, J. C. (1984). Influence of monensin on the performance of cattle. *Journal of Animal Science*, 58(6), 1484–1498. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5861484x>.
- Guan, H. O., Wittenberg, K. M., Ominski, K. H., & Krause, D. O. (2006). Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane. *Journal of Animal Science*, 84(7), 1896–1906. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-652>.
- Hungate, R. E. (1966). The Rumen and its microbes. In *The rumen and its microbes* (Academic P). <https://doi.org/10.1016/B978-1-4832-3308-6.50005-X>
- Ipharraguerre, I. R., & Clark, J. H. (2003). Usefulness of ionophores for lactating dairy cows: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 106(1–4), 39–57. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00065-8)

- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73(8), 2483–2492. <https://doi.org/http://dix.doi.org/10.2527/1995.7382483x>.
- Lana, R. P., & Russell, J. B. (2001). Efeitos da monensina sobre a fermentação e sensibilidade de bactérias ruminais de bovinos sob dietas ricas em volumoso ou concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 254–260. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000100036>
- Maas, J. A., Wilson, G. F., McCutcheon, S. N., Lynch, G. A., Burnham, D. L., & France, J. (2001). The effect of season and monensin sodium on the digestive characteristics of autumn and spring pasture fed to sheep. *Journal of Animal Science*, 79(4), 1052–1058. <https://doi.org/10.2527/2001.7941052x>.
- Marques, R. S., & Cooke, R. F. (2021). Effects of ionophores on ruminal function of beef cattle. *Animals*, 11(10), 2871. <https://doi.org/10.3390/ani11102871>.
- Martineau, R., Benchaar, C., Petit, H. V., Lapierre, H., Ouellet, D. R., Pellerin, D., & Berthiaume, R. (2007). Effects of lasalocid or monensin supplementation on digestion, ruminal fermentation, blood metabolites, and milk production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90(12), 5714–5725. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0368>.
- Martinele, I., Eifert, E. C., Lana, R. P., Arcuri, P. B., & D'Agosto, M. (2008). Efeito da monensina e do óleo de soja sobre os protozoários ciliados do rúmen e correlação dos protozoários com parâmetros da fermentação ruminal e digestivos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(6), 1129–1136.
- Matloup, O. H., Abd El Tawab, A. M., Hassan, A. A., Hadhoud, F. I., Khattab, M. S. A., Khalel, M. S., Sallam, S. M. A., & Kholif, A. E. (2017). Performance of lactating Friesian cows fed a diet supplemented with coriander oil: feed intake, nutrient digestibility, ruminal fermentation, blood chemistry, and milk production. *Animal Feed Science and Technology*, 226, 88–97. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeeds.2017.02.012>.
- Maturana Filho, M., Oliveira, M. G., Del Claro, G. R., Oliveira, H. P. Q., Saran Netto, A., Correia, L. B., Porcionato, M. A. F., & Zanetti, M. A. (2010). Parâmetros sanguíneos e desempenho de bovinos de corte em confinamento, submetidos a diferentes fontes de ionóforos. *Revista Brasileira de Saúde Produção Animal*, 11(3), 772–782.
- Mitchell, P. (1961). Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemi-osmotic type of mechanism. *Nature*, 191(4784), 144–148. <https://doi.org/10.1038/191144a0>.
- Mourthe, M. H. F., Reis, R. B., Ladeira, M. M., Souza, R. C., Coelho, S. G., & Saturnino, H. M. (2011). Suplemento múltiplo com ionóforos para novilhos em pasto: consumo, fermentação ruminal e degradabilidade in situ. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63, 129–135. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000100020>.
- Nagaraja, T. G. (1995). Ionophores and antibiotics in ruminants. *Biotechnology in Animal Feeds and Animal Feeding*, 174, 173–204. <https://doi.org/10.1002/9783527615353.ch9>.
- Nicodemo, M. L. F. (2001). *Uso de aditivos na dieta de bovinos de corte* (EMBRAPA (ed.); Vol. 1). Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte.
- Nogueira, V. A., França, T. N., & Peixoto, P. V. (2009). Intoxicação por antibióticos ionóforos em animais. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 29(3), 191–197. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2009000300001>.
- Odongo, N. E., Bagg, R., Vessie, G., Dick, P., Or-Rashid, M. M., Hook, S. E., Gray, J. T., Kebreab, E., France, J., & McBride, B. W. (2007). Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 90(4), 1781–1788. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-708>.
- OJEU. (2003). Regulation (EC) No 1831/2003 of the European Parliament and the Council of 22 September 2003 on additives for use in animal nutrition. In *Official Journal of European Union* (Issues 1–2, p. L268/36).
- Oliveira, J. S., Queiroz, A. C., Lana, R. P., Mantovani, H. C., & Generoso, R. A. R. (2006). Efeito da monensina e da própolis sobre a atividade de fermentação de aminoácidos in vitro pelos microrganismos ruminais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(1), 275–281. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982002000300023>.

- Oliveira, Marcus Vinícius Morais, Lana, R. P., Eifert, E. C., Luz, D. F., Pereira, J. C., & Pérez, J. R. O. (2007). Influência da monensina sódica no consumo e na digestibilidade de dietas com diferentes teores de proteína para ovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(3), 643–651.
- Oliveira, Marcus Vinícius Morais, Lana, R. P., Eifert, E. C., Luz, D. F., & Vargas Júnior, F. M. (2009). Desempenho de novilhas Holandesas confinadas com dietas com diferentes níveis de monensina sódica. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 1835–1840. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900028>.
- Oliveira, P. S., Tomonaga, E. H., Ambiel, A. C., & Ferreira, A. C. D. (2005). Uso de uréia e ionóforos na suplementação de bezerros desmamados. *Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215*, 1(2), 28–37.
- Osborne, J. K., Mutsvangwa, T., Alzahal, O., Duffield, T. F., Bagg, R., Dick, P., Vessie, G., & McBride, B. W. (2004). Effects of monensin on ruminal forage degradability and total tract diet digestibility in lactating dairy cows during grain-induced subacute ruminal acidosis. *Journal of Dairy Science*, 87(6), 1840–1847. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73341-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73341-X).
- Pereira, L. G. R. (2013). Métodos de avaliação e estratégias de mitigação de metano entérico em ruminantes. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuaria*, 26, 264–277.
- Rangel, A. H. N., Leonel, F. P., Simplício, A. A., & Mendonça Júnior, A. F. (2008). Utilização de ionóforos na produção de ruminantes. *Revista de Biologia e Ciências Da Terra*, 8(1), 264–273.
- Ribeiro, M. D., Pereira, J. C., Vieira, R. A. M., Pacheco, B. M., & Paula Leonel, F. (2005). Consumo e desempenho de novilhas em pastagem recebendo suplementos com diferentes níveis de proteína não degradável no rúmen. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34(6), 2486–2495.
- Rodrigues, É., Arrigoni, M. B., Andrade, C. R. M., Martins, C. L., Millen, D. D., Parra, F. S., Jorge, A. M., & Andrighetto, C. (2013). Performance, carcass characteristics and gain cost of feedlot cattle fed a high level of concentrate and different feed additives. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 42(1), 61–69.
- Rodrigues, P. H. M., Peixoto Júnior, K. C., Morgullis, S. C. F., Silva, E. J. A., Meyer, P. M., & Pires, A. V. (2007). Avaliação da monensina administrada pela forma convencional ou por dispositivo de liberação lenta (bólus) em bovinos alimentados com forragens de baixo valor nutritivo e suplementados ou não com uréia. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 1937–1944. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000800030>.
- Romero-Pérez, A., Okine, E. K., Guan, L. L., Duval, S. M., Kindermann, M., & Beauchemin, K. A. (2017). Rapid communication: Evaluation of methane inhibitor 3-nitrooxypropanol and monensin in a high-grain diet using the rumen simulation technique (Rusitec). *Journal of Animal Science*, 95(9), 4072–4077. <https://doi.org/10.2527/jas.2017.1896>.
- Roso, C., & Restle, J. (2001). Lasalocid added to salt for beef heifers grazing annual temperate grasses. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, 830–834. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982001000300031>.
- Ruas, J. R. M., Torres, C. A. A., Valadares Filho, S. C., Pereira, J. C., Borges, L. E., & Marcatti Neto, A. (2000). Efeito da suplementação protéica a pasto sobre consumo de forragens, ganho de peso e condição corporal, em vacas Nelore. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29, 930–934. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000300039>.
- Russell, J. B. (1987). A proposed mechanism of monensin action in inhibiting ruminant bacterial growth: Effects on ion flux and protonmotive force. *Journal of Animal Science*, 64(5), 1519–1525. <https://doi.org/10.2527/jas1987.6451519x>.
- Russell, J. B., O'connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J., & Sniffen, C. J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, 70(11), 3551–3561. <https://doi.org/10.2527/1993.7151298x>.
- Russell, J. B., & Strobel, H. J. (1989). Effect of ionophores on ruminal fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 55(1), 1–6. <https://doi.org/10.1128/aem.55.1.1-6.1989>.
- Sales, R. L., Rocha, J. L. M., & Bressan, J. (2015). Utilização de hormônios e antibióticos em produtos alimentícios de origem animal: aspectos gerais e toxicológicos. *Nutrire*, 40(3), 409–420. <https://doi.org/10.4322/2316-7874.10013>.

- Salles, M. S. V., & Lucci, C. S. (2000). Monensin for ruminant calves in fast rate growth: 1. Performance. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29(2), 573–581. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000200034>.
- Schelling, G. T. (1984). Monensin mode of action in the rumen. *Journal of Animal Science*, 58(6), 1518–1527. <https://doi.org/10.1255/jnirs.822>.
- Sniffen, C. J., O'Connor, J. D., Van Soest, P. J., Fox, D. G., & Russell, J. B. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, 70(11), 3562–3577. <https://doi.org/http://dix.doi.org/10.2527/1992.70113562x>.
- Torres, C., & Zarazaga, M. (2002). Antibióticos como promotores del crecimiento en animales: ¿Vamos por el buen camino? *Gaceta Sanitaria*, 16(2), 109–112.
- Valero, M. V. V., Zeoula, L. M., Pontara Peres de Moura, L., Gonçalves-Costa Júnior, J. B., Sestari, B. B., Prado, I. N. (2015). Extrato de própolis na dieta de machos mestiços (½ Angus vs. ½ Nelore) não castrados terminados em confinamento: desempenho animal, eficiência alimentar e características de carcaça. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (2) 557-570. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p557>
- Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. In *Nutritional Ecology of the Ruminant* (Vol. 1, Issue 2). Cornell University Press. <https://doi.org/10.7591/9781501732355>
- Vargas, L H, Lana, R. P., Mâncio, A. B., & Campos, J. M. S. (2001). Influência de Rumensin®, óleo de soja e níveis de concentrado sobre o consumo e os parâmetros fermentativos ruminais em bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(5), 1650–1658. <https://doi.org/10.1590/s1516-35982001000600035>.
- Zanine, A. M., & Macedo Júnior, G. L. (2006). Importância do consumo da fibra para nutrição de ruminantes. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 7(4), 1–11.
- Zeoula, L M, Beleze, J. R. F., Geron, L. J. V, Maeda, E. M., Prado, I. N., & Paula, M. C. (2008). Digestibilidade parcial e total de rações com a inclusão de ionóforo ou probiótico para bubalinos e bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(3), 563–571.
- Zeoula, Lúcia Maria, Prado, O. P. P., Geron, L. J. V., Beleze, J. R. F., Aguiar, S. C., & Maeda, E. M. (2014). Digestibilidade total e degradabilidade ruminal in situ de dietas volumosas com inclusão de ionóforo ou probiótico para bubalinos e bovinos. *Semina: Ciências Agrárias*, 35(4), 2063–2076. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n4p2063>.

Histórico do artigo**Recebido:** 5 de abril de 2022.**Aprovado:** 7 de maio de 2022.**Disponível online:** 25 de junho de 2022.**Licenciamento:** Este artigo é publicado na modalidade Acesso Aberto sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 (CC-BY 4.0), a qual permite uso irrestrito, distribuição, reprodução em qualquer meio, desde que o autor e a fonte sejam devidamente creditados.