

METANO RUMINAL E O USO DE TANINOS CONDENSADOS COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO

CAREGA, Maria Fernanda Correia da Silva
DANTAS, Ariane

Recebido em: 2016.09.21

Aprovado em: 2017.08.03

ISSUE DOI: 10.3738/21751463.1831

RESUMO: São crescentes as preocupações em relação ao meio ambiente, enfatizando-se o aquecimento global. Neste contexto, as atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis, a produção de dejetos urbanos, juntamente com a produção agrícola e animal, são consideradas as principais atividades responsáveis pela emissão de gases que causam o aumento do efeito estufa na atmosfera, tais como dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). O Brasil por possuir o maior rebanho comercial de bovinos do mundo e utilizar primordialmente as forrageiras tropicais como base de alimentação destes animais tem sido apontado como considerável produtor de CH₄, o que tem causado grande preocupação a comunidade científica, devido ao fato de que este gás possui efeito mais nocivo do que o CO₂, em relação aos prejuízos ambientais que pode causar. Desta forma, há necessidade da implementação de práticas que visem o aumento da eficiência zootécnica nos sistemas pecuários, associado ao manejo nutricional dos animais. A melhoria das práticas alimentares em sistemas de produção animal nos trópicos, como o uso de alimentos contendo taninos condensados parece ser uma interessante alternativa na tentativa de mitigar a emissão de CH₄, podendo também resultar em benefícios ambientais, bem como econômicos. Deste modo, esta revisão tem por objetivo analisar os principais aspectos relacionados as emissões de CH₄ entérico de ruminantes, bem como destacar a atuação de taninos condensados na dieta de ruminantes como inibidores da metanogênese.

Palavras-chave: Ruminante. Fermentação ruminal. Plantas taniníferas

METHANE AND RUMINAL TANNINS USE AS CONDENSED MITIGATION STRATEGY

SUMMARY: Concerns about the environment, with emphasis on global warming, are growing. In this context, human activities such as burning fossil fuels, generation of urban waste, coupled with agricultural and animal production, are considered the main activities responsible for the emission of gases that cause the increase of the greenhouse effect in the atmosphere, such as dioxide carbon (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O). Brazil, for having the largest commercial cattle herd in the world and for using primarily a tropical forage based diet to feed these animals, has been identified as an considerable producer of CH₄. This has caused great concern to the scientific community, due to the fact that CH₄ has more detrimental effect than CO₂, in relation to the environmental damage it can cause. Thus, there is a need to implement practices focusing a higher efficiency of livestock systems, associated with the nutritional management of animals. Improving dietary practices in animal production systems in the tropics, such as the use of foods containing condensed tannins seems to be an interesting alternative in an attempt to mitigate the emission of CH₄ and may also result in environmental benefits as well as economic. Thus, this review aims to examine the main issues of CH₄ emissions from ruminant enteric and highlights the role of condensed tannins in the diet of ruminants as methanogenesis inhibitors.

Keywords: Ruminant. Ruminal fermentation. Tanniniferous plants

INTRODUÇÃO

O aumento dos gases de efeito estufa na atmosfera tem sido apontado como uma das principais causas das mudanças climáticas, por aumentarem o potencial de aquecimento global

(TRENBERTH, 2010). O gás metano (CH_4) é considerado o segundo maior contribuinte para o aquecimento global, apresentando potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o CO_2 e tempo de vida na atmosfera de 9 a 15 anos, sendo sua taxa de crescimento anual de 7,0% (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2007).

O CH_4 produzido em sistemas de criação de bovinos origina-se, principalmente, da fermentação entérica (85 a 90%), sendo o restante produzido a partir dos dejetos destes animais (ALUWONG et al., 2011). Do CH_4 produzido do processo ruminal, 95% é excretado por eructação, e o restante 89% é excretado através da respiração e apenas 11% pelo reto (MURRAY et al., 1976).

Os bovinos em geral produzem de 150 a 420 litros de CH_4 por dia, contribuindo com 29% das emissões globais deste gás (MARTINEZ, 2009). Já ovinos produzem 25 a 55 L/dia (McALLISTER et al., 1996), o que corresponde a emissões anuais de 6,5 a 14,4 kg (MACHADO et al., 2011).

De acordo com Thorpe (2009), a Índia e o Brasil lideram o ranking mundial de emissão total de CH_4 entérico, com 14,5 e 10,3 Tg^1 de CH_4 /ano, respectivamente, e quando é considerada apenas a emissão por bovinos, o Brasil é apontado como o maior emissor (9,6 Tg de CH_4 /ano), seguido da Índia (8,6 Tg de CH_4 /ano) e dos Estados Unidos da América (5,1 Tg de CH_4 /ano).

Além de ser caracterizado como um importante gás de efeito estufa, responsável por 15% do aquecimento global, o CH_4 de origem entérica tem relação direta com a eficiência da fermentação ruminal em virtude da perda de carbono e, conseqüentemente, perda de energia, influenciando o desempenho animal (WAGHORN; HEGARTY, 2011).

O conhecimento dos mecanismos de síntese de CH_4 e os fatores que afetam sua produção são importantes, pois atualmente um dos maiores desafios no sistema produtivo de ruminantes é desenvolver dietas e estratégias de manejo que minimizem a produção relativa de CH_4 , possibilitando maior eficiência produtiva e redução da contribuição negativa da pecuária para o aquecimento global (KNAPP et al., 2014).

O CH_4 é produzido em condições anaeróbicas por microrganismos metanogênicos presentes no ambiente ruminal, sendo influenciado pela idade e nível produtivo do animal (FITZSIMONS et al., 2013). O CH_4 produzido está, em grande parte, na dependência da dieta ingerida pelo animal, sendo que aquelas de menor qualidade nutricional, principalmente as ricas em fibra e com menores teores de carboidratos, as que resultam em maiores quantidades de gases, como o CO_2 e o CH_4 (HASSANAT; BENCHAAAR, 2013).

Desta forma, a realização de estudos nessa área é de fundamental importância para que o sistema produtivo tenha como viabilizar sua colaboração com a mitigação do aquecimento global

(KUMAR et al., 2014). Neste contexto, essa revisão tem por objetivo apresentar o impacto da produção de CH₄ ruminal e o uso de alimentos contendo taninos condensados como estratégia para sua mitigação, além de identificar relatos atuais na literatura sobre esse assunto.

Metanogênese ruminal

O rúmen é essencialmente uma câmara de fermentação contendo uma quantidade variável de digesta (4-7 kg em ovinos e 50-80 kg em vacas leiteiras) que é determinada pelo balanço das funções de entrada (alimentação) e taxas de fluxo, sendo os movimentos do rúmen e retículo os responsáveis pela mistura do conteúdo ruminal, saída do alimento para ruminação e eructação de gases de fermentação (DAVIDSON; STABENFELDT, 2014).

A ruminação consiste em uma série de processos (regurgitação do alimento, remastigação, reinsalivação e redeglutição da digesta ruminal) que possibilita a redução do tamanho das partículas dos alimentos, favorecendo a função microbiana e facilita a passagem para os outros compartimentos do estômago (retículo, omaso e abomaso), liberando como produtos finais os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), amônia, células microbianas e CH₄ (ZOTTI; PAULINO, 2009). Portanto, a produção de CH₄ (metanogênese) é parte da atividade digestiva normal dos herbívoros ruminantes e ocorre em seu pré-estômago (rúmen).

Entretanto, os AGCC formados durante a fermentação ruminal, tais como os ácidos acético, propiônico e butírico não são equivalentes em termos de liberação de hidrogênio (H₂). A produção de acetato e butirato, predominante durante a fermentação de carboidratos fibrosos, resulta em liberação líquida de H₂ e favorece a metanogênese. Já a formação de propionato é uma via competitiva de utilização de H₂ no rúmen, reduzindo a disponibilidade de substrato para a metanogênese. Assim, a produção de CH₄, depende do balanço de H₂ no rúmen, sendo influenciada pelas taxas de produção de acetato e propionato (McCALLISTER; NEWBOLD, 2008).

Além disso, a metanogênese é considerada uma reação consumidora de energia, o que permite melhor rendimento total de adenosinatrifosfato, proporcionando formação de mais células microbianas, aumentando, desta forma, a proteína disponível para o ruminante. Isso indica que a produção de CH₄ pode trazer também benefício aos animais ruminantes, já que promove uma fermentação mais eficaz e mantém baixa a concentração de H₂ no rúmen (COTTLE et al., 2011). No entanto, a intensidade da emissão de CH₄ pelo animal depende da espécie, da quantidade e do grau de digestibilidade da massa digerida e do esforço a que se submete o animal (SHIBATA; TERADA, 2010).

Microrganismos metanogênicos do rúmen

O CH₄ entérico é derivado da atividade das *Archaea* metanogênicas, um grupo microbiano distinto das *Eukarya* (protozoários e fungos) e *Bacteria*, que caracterizam-se por possuir cofatores (coenzima M, F420 e F430) e lipídeos (ésteres de isopranyl glicerol) únicos (McALLISTER et al., 1996). A parede celular destes microrganismos é composta por pseudopeptidoglicano (pseudomureína), proteína, glicoproteína ou heteropolissacarídeos e a sequência de nucleotídeos indica uma evolução inicial distinta das bactérias (ISHINO et al., 1998).

Diante da função central do H₂ no metabolismo, as metanogênicas são extremamente importantes para o funcionamento do rúmen e nutrição animal, apesar de responderem por pequena parte da biomassa microbiana ruminal (JANSSEN; KIRS, 2008). Segundo Jarvis et al. (2000), oito diferentes espécies representam os cinco gêneros de metanogênicas mais encontradas no rúmen, sendo essas: *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium bryanti*, *Methanobacterium vibacter smithii*, *Methanosarcina barkeri*, *Methanoculleus olentangyi*, *Methanobacterium formicicum*, *Methanosarcina barkeri* e *Methanomicrobium mobile*.

No rúmen, as *Archaea* metanogênicas podem ser encontradas tanto intimamente associadas aos protozoários ciliados, seja aderidas em sua superfície celular ou na fase intracelular dos mesmos, quanto unidas com as bactérias, estabelecendo assim com ambos, uma relação de simbiose (WREDE et al., 2012). Deste modo, a redução de protozoários e bactérias do ambiente ruminal, resultará na diminuição também dos microrganismos metanogênicos e conseqüentemente da produção de CH₄.

O ciclo de formação do CH₄ pelas *Archaea* metanogênicas a partir do CO₂ envolve a captação de quatro moléculas de H₂: $CO_2 + 4 H_2 \rightarrow CH_4 + 2 H_2O$. Primeiro os microrganismos digestivos como bactérias, protozoários e fungos hidrolisam o amido dietético e polissacarídeos da parede celular vegetal produzindo açúcares, AGCC, CO₂ e H₂. Os açúcares e proteínas são então fermentados por microrganismos secundários formando os AGCC, amônia, H₂ e de CO₂. As metanogênicas então removem H₂ e reduzem CO₂ para formar CH₄ (ZOTTI; PAULINO, 2009). A produção CH₄ pelos microrganismos metanogênicos tem como consequência a manutenção de baixos níveis de H₂ no rúmen, favorecendo o crescimento de outras espécies bacterianas, o que torna a fermentação mais eficiente (CHAOKAUR et al., 2015).

Assim, as vias metabólicas envolvidas na formação de H₂, bem como as relações interespecíficas da população metanogênica com os demais microrganismos do ecossistema ruminal, além da identificação de todo o espectro e diversidade destes microrganismos, são importantes fatores que devem ser considerados no desenvolvimento de estratégias para o controle da emissão de CH₄ por ruminantes (MACHADO et al., 2011). Corroborando com

Morgavi et al. (2010), segundo o qual, a gestão do H₂ no rúmen é a chave para controlar as emissões de CH₄ pelos ruminantes.

Estratégias de mitigação de CH₄ entérico

Qualquer estratégia adotada de evasão de CH₄ oriundo do sistema de criação animal deve ter como foco um ou mais dos objetivos listados abaixo: 1- Redução da produção de H₂ sem prejudicar a digestão dos alimentos; 2- Estimulação da utilização do H₂ por meio de vias de produção de produtos alternativos benéficos para o ruminante; 3- Inibição das *Archeae* metanogênicas (número e/ou atividade), com concomitante estímulo de vias que consomem H₂ para evitar os efeitos negativos do aumento da pressão parcial de H₂ no rúmen (LASCANO; CÁRDENAS, 2010).

De acordo com Patra (2012), as alternativas para reduzir ou desviar a formação de CH₄ entérico envolvem a manipulação da fermentação ruminal através de dois meios: (i) o uso de dietas que propiciem uma relação acetato:propionato (C2:C3) menor e (ii) ação direta sobre os microorganismos metanogênicos e/ou os produtores de H₂, como protozoários, fungos e principalmente as bactérias celulolíticas. Portanto, a redução da metanogênese pode ser obtida através da inibição de reações que liberam H₂ no ambiente ruminal ou por meio da promoção de reações alternativas que consomem H₂ (BEACH et al., 2015).

Modificadores da fermentação ruminal estão sendo cada vez mais empregados com intuito de reduzir a emissão de CH₄ entérico na atmosfera, dentre eles cita-se a inclusão na dieta de bovinos de alguns tipos de alimentos tais como: a monensina sódica, a própolis, óleos de canola, linhaça e girassol, leucena e leveduras, além de dietas com menor relação volumoso:concentrado (BEAUCHEMIN et al., 2008; MARTIN et al., 2008).

Em geral, dietas que proporcionam alta taxa de digestão reduzem a emissão de CH₄, já que o alimento não permanece por tempo prolongado no rúmen. A quantidade de forragem na dieta, conteúdo de proteína bruta, método de conservação, estágio de crescimento da planta forrageira, tamanho da partícula e grau de moagem, a quantidade de grãos na dieta, a adição de lipídeos e aditivos são importantes componentes que afetam e estão envolvidos com a produção de CH₄ no rúmen (WANAPAT et al., 2013).

Dentre as estratégias viáveis para a mitigação das emissões de CH₄, destaca-se o uso de alimentos concentrados, que, além de elevarem a produção de propionato, com impacto direto sobre a emissão de CH₄ possibilitam o abate precoce dos animais, o que reduz as emissões de CH₄ totais, durante a vida do animal, e por kg de carne produzida (WAGHORN; HEGARTY, 2011).

Algumas outras alternativas para a redução de CH₄ seriam: a redução do tamanho do rebanho, mantendo o mesmo nível de desempenho; a melhoria da qualidade da dieta, através da suplementação com concentrado; a diminuição da parede celular das forragens e o aumento de proteína na dieta (WANAPAT et al., 2012).

O uso de plantas selecionadas e melhoradas que promovam melhor desempenho animal podem ser indicadas para mitigação de CH₄ entérico (BODAS et al., 2012), contudo, outras opções para mitigação de CH₄ entérico ainda em estudo, tais como: o uso de compostos halogenados, a imunização por vacina, a defaunação e o aumento da população de acetogênicos (ECKARD et al., 2010).

Contudo, o maior impacto sobre a produção de CH₄ está relacionado com a unidade de produto. A redução dos ciclos produtivos reduz drasticamente a produção de CH₄ por unidade de produto, carne ou leite (BROUCEK, 2014). Quando se trata do manejo aplicado na atividade pecuária também se deve destacar a utilização de técnicas que garantam o melhoramento dos índices zootécnicos, como o melhoramento genético, controle reprodutivo, o controle sanitário do rebanho (BASARAB et al., 2013), gestão estratégica das pastagens e manejo nutricional dos animais (PACHECO et al., 2014).

Esse conjunto de medidas deve elevar os índices produtivos e garantir menor relação de produção de CH₄ por unidade de produto (WANAPAT et al., 2015). Portanto, a estratégia de mitigação mais bem-sucedida deve possibilitar aumento rentável da produção de leite e/ou carne, como também promover redução persistente da emissão de CH₄ entérico (GRAINGER et al., 2010).

Taninos

Os taninos são definidos como um complexo heterogêneo de polifenóis de origem vegetal com peso molecular entre 500 e 3.000 daltons, capazes de formar complexos com proteínas, saponinas, alcaloides (LIMA FILHO et al., 2011), íons metálicos, aminoácidos e polissacarídeos, reduzindo a digestibilidade destes (MAKKAR, 2003).

Estes compostos são popularmente reconhecidos por apresentarem odor repulsivo, gosto amargo, por atuarem como fatores antinutricionais, e por seu potencial em provocar intoxicações nos animais (MUIR, 2011).

Os taninos, normalmente, encontram-se nos vacúolos das células onde não interferem no metabolismo da planta, agindo apenas com a ruptura da célula, o que pode ser causado por algum processo mecânico, como a mastigação (MIN et al., 2003).

Estão divididos em dois grupos principais: hidrolisáveis e condensados, divisão essa baseada nos tipos estruturais, embora existam taninos compostos por ambos os grupos (MAKKAR, 2003). Os taninos hidrolisáveis são poliésteres complexos de ácidos fenólicos, consistindo em uma cadeia de carboidrato central, normalmente a D-glicose, na qual duas ou mais hidroxilas são esterificadas com ácido gálico ou ácido hexahidroxidifênico, os quais são prontamente hidrolisados por ácidos, ou enzimas, em açúcar, ou álcool polihídrico relacionado e ácido carboxílico fenólico. A natureza deste último determinará a subdivisão em galotaninos e elagiotaninos (MIN et al., 2003; LIMA FILHO et al., 2011).

Os taninos condensados (TC) são oligômeros ou polímeros de derivados fenólicos complexos, compostos por 2 a 50 (ou mais) unidades de flavonoides, flavan-3-ols (catequina) ou flavan-3,4-diols (leucoantocianidina), ligados por pontes carbono-carbono, cujas ligações não são susceptíveis a ruptura por hidrólise, e, como consequência, não são absorvidos pelo trato gastrointestinal. São também denominados de proantocianidinas ou leucoantocianinas (SCHOFIELD et al., 2001).

Os TC podem ser responsáveis por efeitos adversos ou benéficos ao metabolismo animal, dependendo de suas características estruturais, concentração no alimento, estágio fisiológico do animal e composição da dieta (NAUMANN et al., 2013). O uso de TC na dieta de ruminantes tem efeito modulador da fermentação ruminal, pois apesar dos TC diminuírem a disponibilidade de nutrientes, eles causam uma mudança na partição desses, carreando a maior proporção dos nutrientes disponíveis para a síntese de massa microbiana e menos para a produção de AGCC (MAKKAR, 2003).

Desta forma, o conhecimento dos ingredientes utilizados na nutrição animal pode auxiliar na utilização de determinadas substâncias, que antes eram consideradas nocivas, de forma benéfica para que o objetivo de maior eficiência produtiva seja alcançado (TEDESCHI et al., 2014). Os TC se enquadram nesse contexto por estarem associados a determinados efeitos benéficos no metabolismo animal, como aumento na absorção de aminoácidos e redução da população de parasitas no intestino (NOVOBILSKÝ et al., 2011), aumento na síntese de proteína microbiana (MAKKAR, 2003) e redução da produção de CH₄ ruminal, e posteriormente sua eliminação para a atmosfera (GOEL; MAKKAR, 2012).

Influência dos taninos condensados na mitigação de CH₄

Forrageiras de clima tropical e temperado contendo TC têm sido pesquisadas por sua provável capacidade de diminuir a produção de CH₄ (CIESLAK et al., 2013). A ação dos TC na metanogênese ruminal pode ser atribuída a efeito indireto sobre a redução na produção de H₂

como consequência de uma menor digestibilidade da fibra, e por um efeito inibitório direto na população metanogênica (GEMEDA; HASSEN, 2015).

Longo (2007) em trabalho feito com substrato 100% de leguminosas tropicais ricas em taninos (*Mucuna* preta, *Mucuna* cinza, *Leucaena leucocephala* e *Mimosa caesalpiniaefolia*), observou que essas leguminosas foram capazes de reduzir a produção de CH₄ e alterar as populações dos microrganismos estudados.

Estudos mostraram redução da emissão de CH₄ entérico em até 16% com a utilização de *Lotus sp.* em estudo realizado com ovinos (CARULLA et al., 2005). De acordo com Woodward et al. (2001), o fornecimento de dietas contendo 2,59% de TC na matéria seca (*Lotus corniculatus*) propiciou menor produção de CH₄ por unidade de matéria seca ingerida (MSC) por bovinos.

Puchala et al. (2012) avaliaram caprinos alimentados com *Sericea lespedeza* (leguminosa com 20% TC em sua composição), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*) e alfafa (*Medicago sativa*) constaram uma menor produção de CH₄ por MSC de *Lepedeza* do que para as outras forrageiras (11,1, 17,6 e 18,8g CH₄/kg MSC). Os autores relatam que, embora a presença de TC na dieta tenha prejudicado sua digestibilidade (49,4% para *Lepedeza* contra 60,3% e 65% para alfafa e sorgo forrageiro, respectivamente), isto foi compensado por um aumento no consumo de matéria seca da forragem, além de contribuírem para menores taxas de emissão de CH₄.

Estes resultados corroboram estudo realizado pelos mesmo autores publicados em 2005 no qual observaram que o consumo de matéria seca foi maior em caprinos alimentados com a leguminosa taninífera *Lepedeza cuneata* do que com mistura de *Digitaria ischaemum* e *Festuca arundinacea*, assim como a degradabilidade *in vitro* da matéria seca. A emissão de CH₄ e a concentração de amônia no rúmen e de nitrogênio na ureia no plasma também foram reduzidas com o uso da leguminosa.

Em experimento semelhante, Woodward et al. (2001) avaliaram ovinos alimentados com *Lotus pedunculatus* (leguminosa rica em TC), azevém (*Lolium multiflorum*) e alfafa (*Medicago sativa*) e observaram menor produção de CH₄ MSC com *Lotus* do que com as outras forrageiras. Os mesmos autores conduziram outro ensaio com doze vacas em lactação (raça Friesian) alimentadas com silagem de *Lotus* e de azevém e observaram que quando utilizaram silagem de *Lotus*, a emissão de CH₄ foi reduzida de 35,1 para 26,9 g CH₄/kg MSC. Segundo Woodward et al. (2002), a leguminosa taninífera *Sulla* (*Hedysarum coronarium*) quando oferecida a vacas leiteiras resultou em 19,5 CH₄/kg MSC em contraste com 24,6 g CH₄/kg MSC obtido em pasto de gramínea.

Carulla et al. (2005), utilizando extrato de *Acacia mearnsii* (0,615 g/g TC) em dietas de *Lolium perenne* sozinho, *L. perenne* + trevo vermelho e *L. perenne* + alfafa para ovinos mantidos em gaiolas metabólicas, observaram que a suplementação de TC reduziu 13% em média a emissão de CH₄, além de reduzir a concentração de NH₃ e a excreção de nitrogênio urinário. Possenti et al. (2008), estudaram a inclusão de feno de leucena (*Leucaena leucocephala*) na dieta de bovinos e constataram que a emissão de CH₄ reduziu em 12,3% com o fornecimento de 50% de leucena na dieta.

Portanto, o uso de taninos em países como o Brasil, cuja a base da dieta usada na alimentação de ruminantes provém principalmente de pastagem, apresenta perspectivas favoráveis para o controle da emissão de CH₄.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de plantas taniníferas na nutrição de animais de produção de interesse zootécnico apresenta considerável efeito mitigador sobre a produção de metano, sendo uma importante alternativa natural de regulação do metabolismo e a fermentação ruminal, bem como do aquecimento global.

Entretanto, mais estudos são necessários para a incorporação dessas forragens nos sistemas de alimentação de animais ruminantes.

REFERÊNCIAS

- ALUWONG, T.; WUYEP, P. A.; ALLAM, L. Livestock-environment interactions: Methane emissions from ruminants. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 8, p. 1265-1269, 2011. Disponível em: <http://www.academicjournals.org/AJB>
- BASARAB, J. A. Reducing GHG emissions through genetic improvement for feed efficiency: Effects on economically important traits and enteric methane production. **Animal**, v. 7, n. 2, p. 303-315, 2013. Disponível em: [10.1017/S1751731113000888](https://doi.org/10.1017/S1751731113000888)
- BEACH, R. H. et al. Global mitigation potential and costs of reducing agricultural non-CO₂ greenhouse gas emissions through 2030. **Journal of Integrative Environmental Sciences**, v. 12, n. 1, p. 87-105, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/1943815X.2015.1110183>
- BEAUCHEMIN, K. A. et al. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 2, p. 21-27, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/EA07199>
- BODAS, R. et al. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. **Animal Feed Science and Technology**, v. 176, n. 1, p. 78-93, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.010>

BROUCEK, J. Production of Methane Emissions from Ruminant Husbandry: A Review. **Journal of Environmental Protection**, v.5, n. 15, p. 1482-1493, 2014. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/jep> <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2014.515141>

CARULLA, J. E. et al. Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 56, n. 9, p. 961-970, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/AR05022>

CIESLAK, A. et al. Plant components with specific activities against rumen methanogens. **Animal**, v. 7, n. 2, p. 253-265, 2013. Disponível em: [10.1017/S1751731113000852](http://dx.doi.org/10.1017/S1751731113000852)

CHAOKAUR, A. et al. Effects of feeding level on methane emissions and energy utilization of Brahman cattle in the tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 199, p. 225-230, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.09.014>

COTTLE, D. J.; NOLAN, J. V.; WIEDEMANN, S. G. Ruminant enteric methane mitigation: a review. **Animal Production Science**, v. 51, n. 6, p. 491-514, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/AN10163>

DAVIDSON, P. A.; STABENFELDT, H. G. **Cunningham tratado de fisiologia veterinária**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 624 p.

ECKARD, R. J., GRAINGER, C.; KLEIN, C. A. M. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. **Livestock Science**, v. 130, n. 1, p. 47-56, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.010>

FITZSIMONS, C. et al. Methane emissions, body composition, and rumen fermentation traits of beef heifers differing in residual feed intake. **Journal of Animal Science**, v. 91, n. 12, p. 5789-5800, 2013. Disponível em: [10.2527/jas.2013-6956](http://dx.doi.org/10.2527/jas.2013-6956).

FURLAN, R. L.; MACARI, M.; FILHO, D. E. F. Anatomia e fisiologia do trato gastrointestinal. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. **Nutrição de ruminantes**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, p. 1-25, 2011.

GEMEDA, B. S.; HASSEN, A. Effect of Tannin and Species Variation on In vitro Digestibility, Gas, and Methane Production of Tropical Browse Plants. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 28, n. 2, p. 188-199, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5713/ajas.14.0325>

GRAINGER, C. et al. A high dose of monensina does not reduce methane emissions of dairy cows offered pasture supplemented with grain. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 11, p. 5300-5308, 2010. Disponível em: [10.3168/jds.2010-3154](http://dx.doi.org/10.3168/jds.2010-3154)

GOEL, G.; MAKKAR, H. P. S. Methane mitigation from ruminants using tannins and saponins. **Tropical Animal Health and Production**. v. 44, n. 4, p. 729-739, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11250-011-9966-2>

HASSANAT, F.; BENCHAAAR, C. Assessment of the effect of condensed (acacia and quebracho) and hydrolysable (chestnut and valonea) tannins on rumen fermentation and methane production *in vitro*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 93, n. 2, p. 332-339, 2013. Disponível em: [10.1002/jsfa.5763](http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.5763).

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Fourth Assessment Report: Mitigation of Climate Change, 2007. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html. Acesso em: 11 set 2016.

ISHINO, Y. et al. A novel DNA polymerase family found in Archaea. **Journal of Bacteriology**, v. 180, n. 8, p. 2232-2236, 1998.

JANSSEN, P. H.; KIRS, M. Structure of the archaeal community of the rumen. **Applied Environmental Microbiology**, v. 74, n. 12, p. 3619-3625, 2008. Disponível em: 10.1128/AEM.02812-07

JARVIS, G. N. et al. Isolation and identification of ruminal methanogens from grazing cattle. **Current Microbiology**, v. 40, n. 5, p. 327-332, 2000. Disponível em: 10.1007/s002849910065

KNAPP, J. R. et al. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 6, p. 3231-3261, 2014. Disponível em: 10.3168/jds.2013-7234.

KUMAR, S. New aspects and strategies for methane mitigation from ruminants. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 98, n. 1, p. 31-44, 2014. Disponível em: 10.1007/s00253-013-5365-0

LASCANO, C. E.; CÁRDENAS, E. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 175-182, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001300020>

LIMA FILHO, O. F.; ABDALLA, A. L. **Desordens nutricionais e síntese de compostos fenólicos e taninos totais em gandu e leucena**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 87 p.

LONGO, C. **Avaliação *in vitro* de leguminosas taniníferas tropicais para mitigação de metano entérico**. 2007. 153 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MACHADO, F. S. et al. **Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2011. 92 p.

MAKKAR, H. P. S. Effect and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. **Small Ruminant Research**, v. 49, n. 3, p. 241-256, 2003. Disponível em: 10.1016/S0921-4488(03)00142-1

MARTIN, C. et al. Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil. **Journal of Animal Science**, v. 86, n. 10, p. 2642-2650, 2008. Disponível em: 10.2527/jas.2007-0774.

MARTINEZ, J.C. Redução da produção de metano em sistemas de produção animal - responsabilidade ambiental, a busca por um futuro sustentável, 2009. Disponível em: www.milkpoint.com.br. Acesso em: 11 setembro 2016.

McALLISTER, T. A. et al. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 76, n. 2, p. 231-243, 1996. Disponível em: 10.4141/cjas96-035

McALLISTER, T. A.; NEWBOLD, C. J. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, n. 2, p. 7-13, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/EA07218>

MIN, B. R. The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 106, n. 1, p. 3-19, 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401\(03\)00041-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00041-5)

MORGAVI, D. P. et al. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. **Animal**, v. 4, n. 7, p. 1024-1036, 2010. Disponível em: 10.1017/S1751731110000546

MUIR, J. P. The multi-faceted role of condensed tannins in the goat ecosystem. **Small Ruminant Research**, v. 98, n. 1, p. 115-120, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.028>

MURRAY, R. M.; BRYANT, A. M.; LENG, R. A. Rates of production of methane in the rumen and large intestines of sheep. **British Journal Nutrition**, v. 36, n. 1, p. 1-14, 1976.

NAUMANN, H. D. et al. Condensed tannins in the ruminant environment: a perspective on biological activity. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 1, n. 1, p. 8-20, 2013.

NOVOBILSKÝ, A.; MUELLER-HARVEY, I.; THAMSBORG, S. M. Condensed tannins act against cattle nematodes. **Veterinary Parasitology**, v. 182, n. 2, p. 213-220, 2011. Disponível em: 10.1016/j.vetpar.2011.06.003

PATRA, A. K. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 4, p. 1929-1952, 2012. Disponível em: 10.1007/s10661-011-2090-y

POSSENTI, R. A. et al. Efeitos de dietas contendo *Leucaena leucocephala* e *Saccharomyces cerevisiae* sobre a fermentação ruminal e a emissão de gás metano em bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, p. 1509-1516, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982008000800025>

PUCHALA, R. et al. The effect of condensed tannin-containing forage on methane emission by goats. **Journal of Animal Science**, v. 83, n. 1, p. 182-186, 2005.

PUCHALA, R. et al. Effects of different fresh-cut forages and their hays on feed intake, digestibility, heat production, and ruminal methane emission by Boer x Spanish goats. **Journal of Animal Science**, v. 90, n. 8, p. 2754-62, 2012. Disponível em: 10.2527/jas.2011-4879 2012.

SCHOFIELD, P.; MBUGUA, D. M.; PELL, A. N. Analysis of condensed tannins: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 91, n. 1, p. 21- 40, 2001. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00228-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00228-0)

- SHIBATA, M.; TERADA, F. Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. **Animal Science Journal**, v. 81, n. 1, p. 2-10, 2010. Disponível em: 10.1111/j.17400929.2009.00687.x
- TEDESCHI, L. O. et al. Developing a conceptual model of possible benefits of condensed tannins for ruminant production. **Animal**, v. 8, n. 7, p. 1095-1105, 2014. Disponível em: 10.1017/S1751731114000974
- TRENBERTH, K. E. Global change: The ocean is warming, isn't it? **Nature**, v. 465, n. p. 304-304, 2010. Disponível em: 10.1038/465304a
- THORPE, A. Enteric fermentation and ruminant eructation: the role (and control?) of methane in the climate change debate. **Climatic change**, v. 93, n. 7, p. 407-431, 2009. Disponível em: 10.1007/s10584-008-9506-x
- ZOTTI, C.A.; PAULINO, V.T. **Metano na produção animal: emissão e minimização de seu impacto**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 2009. 24 p.
- WAGHORN, G. C.; HEGARTY, R. S. Lowering ruminant methane emissions through improved feed conversion efficiency. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166, n. 23, p. 291-301, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.019>
- WANAPAT, M.; CHANTHAKHOUN, V.; PILAJUN, R. Dietary Manipulation to Reduce Rumen Methane Production. **Journal of Natural Sciences**, v. 1, n.11, 483-490, 2012.
- WANAPAT, M.; KANG, S.; POLYORACH, S. Development of feeding systems and strategies of supplementation to enhance rumen fermentation and ruminant production in the tropics. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 4, n. 32, p. 1-11, 2013. Disponível em: <http://www.jasbsci.com/content/4/1/32>
- WANAPAT, M. et al. Dietary sources and their effects on animal production and environmental sustainability. **Animal Nutrition**, v. 1, n. 3, p. 96-103, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aninu.2015.07.004>
- WREDE, C. et al. Archaea in Symbioses. **Archaea**, v. 2012, p. 1-11, 2012. Disponível em: 10.1155/2012/596846
- WOODWARD, S. L. et al. Early indications that feeding Lotus will reduce methane emissions from ruminants. In: THE NEW ZEALAND SOCIETY OF ANIMAL PRODUCTION, 2001, **Proceedings...** Adelaide: Australian Centre for International Agricultural Research, p. 23- 26. 2001.

