

Taninos condensados na nutrição de bovinos: emissão de metano, desempenho animal e eficiência energética

Moduladores de fermentação, bovinocultura, gases de efeito estufa, meio ambiente, pecuária.

Isabela Carvalho Costa^{1*}

Felipe Pedrosa Melgaço²

Arthur Alves Silva³

Frederico Guimarães Barata⁴

Alexandre Ferreira Gabriel⁵

¹Mestre em Nutrição Animal, Universidade Federal de Minas Gerais. *E-mail: isabelacarvalhocosta@hotmail.com

²Mestrando em Nutrição Animal, Universidade Federal de Minas Gerais.

^{3,4}Doutorando em Nutrição Animal, Universidade Federal de Minas Gerais.

⁵Médico Veterinário – Centro Universitário de Belo horizonte, UNIBH.

RESUMO

A emissão de metano por ruminantes representa uma importante fonte de gases de efeito estufa, e esse fato tem sido motivo de preocupação para o setor pecuário. No entanto, a produção de gases de efeito estufa por bovinos pode ser manipulada por meio de moduladores de fermentação ruminal, dentre eles os taninos, os quais podem levar à redução na produção desses gases. Objetivou-se fazer uma revisão de literatura sobre os efeitos da inclusão dos taninos nas dietas de bovinos sobre a emissão de metano (CH₄), o desempenho animal e a eficiência energética. Os taninos se ligam às proteínas de origem dietética e às enzimas microbianas presentes do fluido ruminal, diminuindo a fermentação dos carboidratos estruturais. Além disso, os taninos podem reduzir a disponibilidade de carboidratos estruturais para serem fermentados no rúmen, podendo levar à redução da produção de CH₄ pelas bactérias metanogênicas. Porém, devido à variabilidade na estrutura molecular, no grau de condensação e polimerização e na heterogeneidade dos grupos funcionais, não se tem um consenso na literatura sobre os níveis de inclusão de taninos na dieta com vistas a reduzir a produção de CH₄ e melhorar o consumo de matéria seca, a digestibilidade e o desempenho animal.

Palavras-chave: moduladores de fermentação, bovinocultura, gases de efeito estufa, meio ambiente, pecuária.



Nutri·Time

Revista Eletrônica

Vol. 17, Nº 06, nov/dez de 2020

ISSN: 1983-9006

www.nutritime.com.br

A Nutritime Revista Eletrônica é uma publicação bimestral da Nutritime Ltda. Com o objetivo de divulgar revisões de literatura, artigos técnicos e científicos bem como resultados de pesquisa nas áreas de Ciência Animal, através do endereço eletrônico: <http://www.nutritime.com.br>. Todo o conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos seus autores.

CONDENSED TANNINS IN BOVINE NUTRITION: METHANE EMISSION, ANIMAL PERFORMANCE AND ENERGETIC EFFICIENCY

ABSTRACT

Methane emission by ruminants represents an important source of greenhouse gases, and this fact has been the cause of concern for the livestock sector. However, greenhouse gases production in livestock can be manipulated through rumen fermentation modulators, among them tannins, that can contribute to the reduction of gas emission. The objective of this paper was to conduct a literature review on the effects of the inclusion of tannins in the diets of cattle on methane emission, animal performance, and energy efficiency. Tannins bind to dietary protein and microbial enzymes present in the ruminal liquid, decreasing structural carbohydrates fermentation. Furthermore, tannins can decrease the availability of structural carbohydrates that can be fermented in the rumen, leading to the reduction of CH₄ production by methanogenic bacteria. However, due to the variability in molecular structure, the degree of condensation and polymerization, and the heterogeneity of functional groups, there is no consensus in the literature on the levels of inclusion of tannins in the diet to reduce CH₄ production and improve dry matter intake, digestibility and animal performance.

Keyword: fermentation modulators, cattle, greenhouse gases, environment, livestock.

INTRODUÇÃO

A produção e emissão de metano (CH₄) por ruminantes representam uma importante fonte de gases de efeito estufa (GEE), e esse fato tem sido motivo de preocupação para o setor pecuário, em especial para a bovinocultura, e para organismos de proteção ambiental. O Brasil apresenta um dos maiores rebanhos comercial de bovinos do mundo, sendo sua produção majoritariamente em pasto. Dessa forma, a produção de bovinos no Brasil tem uma importante participação no aumento da produção e emissão de GEE, chegando a ocupar a primeira posição em emissões de CH₄ entérico no ano de 2005 (EPA, 2012).

Os bovinos contribuem com 4% das emissões antropogênicas totais de GEE e 38% das emissões totais de CH₄ (EEA, 2018). No entanto, a produção e emissão de CH₄ oriunda da pecuária bovina podem ser manipuladas por meio de melhorias na formulação e na composição das dietas (MCCALLISTER & NEWBOLD, 2008; PATRA, 2012). Além disso, pode ser feito o uso de aditivos moduladores da fermentação, os quais inibem diretamente a produção de CH₄ (RIVERA et al., 2010).

Entretanto, devido ao fato de que muitos dos aditivos que modulam a fermentação ruminal são antibióticos e que tem havido uma crescente preocupação da população em relação à segurança alimentar, produtos e substâncias alternativas têm sido testados. A percepção do público em relação à segurança alimentar, devido à presença de resíduos químicos nos alimentos de origem animal e às ameaças do surgimento de bactérias resistentes aos antibióticos, tem levado a uma diminuição no uso destes produtos na produção animal. Houve, inclusive, uma proibição definitiva pela União Europeia da utilização de alguns aditivos (JOUANY & MORGAVI, 2007).

O uso de extratos naturais de taninos condensados pode apresentar eficácia na mitigação do metano, o que tem dado destaque a essa substância com o passar dos anos (BENCHAAAR & GREATHEAD, 2011; BODAS et al., 2012).

Esta revisão aborda os efeitos da inclusão dos tani-

nos às dietas de bovinos quanto à emissão de CH₄, ao desempenho animal e à eficiência energética.

REVISÃO DE LITERATURA

Taninos

Os taninos são complexos grupos de polifenóis de origem vegetal desenvolvidos pela planta para evitar a herbivoria (KRUEGER et al., 2010). Os taninos apresentam peso molecular variável de 500 a 3000 Da (MAKKAR, 2003) e têm a capacidade de se ligar às proteínas, aos íons metálicos e aos polissacarídeos (SCHOFIELD et al., 2001; MAKKAR 2003). Por esse motivo, são considerados fatores antinutricionais para ruminantes, quando excedem 6% da MS nos alimentos. Os taninos também podem reduzir a ingestão de matéria seca (IMS), a digestibilidade da proteína, do fósforo, das fibras e o desempenho dos animais (MCALLISTER et al., 2005; PAGÁN-RIESTRA et al., 2010).

Os taninos são classificados em dois grupos: os taninos hidrolisáveis (TH) e os taninos condensados (TC). Os TH são moléculas complexas com um núcleo central constituído por glicose ou glucitol, ácidos químicos, quercitol e ácido chiquímico, os quais são parcial ou totalmente esterificados a um grupo fenólico, ou seja, ao ácido gálico ou a dímeros de ácido gálico e ácido hexa-hidroxidifênico. Sua hidrólise ocorre por ácidos, bases ou esterases, produzindo carboidratos ou ácidos fenólicos e, desta forma, sua estabilidade no rúmen é comprometida devido à degradação que pode sofrer (PATRA & SAXANA, 2010).

Os TC são constituídos por unidades de flavanol, sendo esse o tipo mais comum de tanino encontrado nas forragens e nas leguminosas (SMITHE et al., 2005; PATRA & SAXANA, 2010). Os TC conhecidos por sua capacidade de complexação com as proteínas, os lipídios, os carboidratos e os minerais, e esta capacidade depende de sua estrutura química e do pH do meio. Possuem elevada estabilidade no rúmen, podendo formar complexos com a proteína no rúmen (pH 6 a 7), sendo essas ligações posteriormente rompidas no abomaso (pH < 3,5). Isso possibilita a digestão gástrica e pancreática da proteína complexada, causando o aumento do fluxo de proteína sobrepassante para o intestino delgado (JONES & MANGAN, 1977; PATRA & SAXENA, 2010).

Os TC são encontrados de três maneiras nos tecidos das plantas: ligados à proteína (TCPB), à fibra (TCFB) ou aos extraíveis (TCE), os quais são encontrados nos vacúolos das células, onde não interferem no metabolismo da planta. Os compostos são liberados através da ruptura do tecido vegetal, que pode ser causada por processos mecânicos, como a mastigação (TERRILL et al., 1992; MIN et al., 2003; WOLFE et al., 2008). A distribuição dos TC na planta dependerá de fatores como: os níveis de estresse induzidos por clima e nutrientes, a idade e a origem anatômica do tecido vegetal. Também ocorre variação na distribuição de TC nos tecidos vegetais entre diferentes espécies de plantas e até mesmo entre indivíduos da mesma espécie (MANSFIELD et al., 1999; VETELI et al., 2007). Desta forma, a diversidade no grau de condensação, a heterogeneidade dos grupos funcionais e o grau de polimerização (duas a cinquenta unidades flavanóides) dificultam elucidar com clareza o papel e os mecanismos de ação da atividade biológica desses compostos.

Mecanismos de atuação dos taninos no rúmen e no metabolismo bacteriano

O rúmen é essencialmente uma câmara de fermentação, que contém microrganismos anaeróbicos como bactérias, protozoários e fungos, que fermentam os componentes da matéria orgânica da dieta (ZOTTI & PAULINO, 2009; COTTLE, 2011; KNAPP, 2014). Os carboidratos são fermentados em ácidos graxos voláteis (AGV), processo pelo qual também são liberados produtos como o dióxido de carbono (CO₂), o hidrogênio (H₂) e o CH₄.

A produção de CH₄ é consequência da atuação das bactérias metanogênicas que removem o H₂ do ambiente ruminal e reduzem o CO₂. A remoção de H₂ é importante porque, quando há um acúmulo no rúmen, a reoxidação de NADH a NAD⁺ é restringida, inibindo a fermentação dos carboidratos, a produção de adenosina trifosfato (ATP) e o crescimento microbiano (COTTLE, 2011). Porém, em termos de eficiência energética para o bovino, a produção de CH₄ não é vantajosa, pois há uma perda de energia bruta nesse processo, a qual pode chegar a 15% (PATRA & SAXENA, 2010).

Knapp et al. (2014) destacam três estratégias para a mitigação do CH₄: por meio dos alimentos, com o

manejo da alimentação e nutrição, diminuindo a relação acetato: propionato; por meio dos moduladores da fermentação ruminal, diminuindo a população de bactérias metanogênicas e aquelas produtoras de H₂ (bactérias celulolíticas, protozoários e fungos); por meio da produção animal, com a utilização de animais mais produtivos e eficientes na conversão do alimento em produto de origem animal (BEACH et al., 2015).

Dentre as três estratégias de mitigação do CH₄, o uso de moduladores de fermentação tem destaque, principalmente os moduladores de fermentação provenientes dos extratos naturais de plantas (taninos condensados, saponinas e óleos essenciais), que têm se mostrando efetivos no controle da produção e emissão de CH₄ (TEDESHI, 2011).

O mecanismo de ação dos taninos no rúmen é bastante diverso, devido ao grande número de compostos fenólicos em sua molécula. O *Quebracho*, por exemplo, apresenta 57 compostos químicos na formação de seu tanino. Assim, na literatura, são descritos principalmente dois mecanismos de ação dos taninos. Pode ocorrer a redução da digestão ruminal da fibra dietética e da digestibilidade aparente da fibra pela ligação dos taninos com os compostos fibrosos da dieta (BARRY & MANLEY, 1984; BARRY et al., 1986^a), além da inibição direta do crescimento das bactérias metanogênicas (TAVENDALE et al., 2005).

Jayanegara et al. (2012) avaliaram o efeito do tanino na redução do CH₄ e na digestibilidade comparando estudos *in vivo* e *in vitro*. Os autores observaram que parte da diminuição da produção de CH₄, com a adição de taninos, pode ser atribuída a um declínio na digestibilidade dos nutrientes, causados pela complexação dos taninos com as proteínas e os carboidratos. Essa explicação corrobora com Barry e Manley (1984) e Barry et al. (1986a), os quais afirmam que a fibra parece interagir com os taninos através de ligações de hidrogênio formadas com o grande número de grupos fenólicos livres, deixando a fibra indisponível para ser fermentada pelos microrganismos.

Bhatta et al. (2009) também relataram que os taninos diminuíram a população total de microrganismos me-

tanogênicos *in vitro*. Em relação aos tratamentos controle, houve em média uma redução de 12% da população de microrganismos quando foram incubados com 130-185 g de TH/kg de MS, e de 29% quando foram incubados com 53-113 g de TH misturados com TC por kg de MS.

Tavendale et al. (2005), em estudo *in vitro* utilizando *Lotus pedunculatus* e *Medicago sativa*, observaram efeitos de *Lotus pedunculatus* na inibição completa da formação de CH₄. Nesse trabalho ocorreu a primeira observação de inibição do crescimento da cepa bacteriana *Methanobrevibacter ruminantium*. A inibição do crescimento microbiano, segundo Smith et al. (2005), ocorre devido à complexação dos taninos com as proteínas, e outros compostos, resultando na inibição da ação de enzimas extracelulares bacterianas e indisponibilizando os substratos do alimento para a fermentação, o que leva à inibição dos microrganismos e, por fim, à sua morte. Os taninos podem também atuar na integridade da membrana bacteriana, inibindo processos celulares essenciais como a fosforilação oxidativa, e interrompendo os processos de transporte na membrana celular bacteriana.

Resultados *in vivo*

Ebert et al. (2017) avaliaram a inclusão de 0; 0,5 e 1% de TC comerciais (By-pro *Quebracho*), na dieta de bovinos confinados alimentados com milho floculado, sobre a emissão de GEE, partição energética e desempenho. Não foram verificadas diferenças no consumo de matéria orgânica (CMO), no ganho médio diário (GMD), no peso corporal final (PC) e na conversão alimentar (CA). As emissões de CO₂ e CH₄ não diferiram. Esse efeito pode ser explicado pela elevada proporção de concentrado, gordura e ionóforo na dieta, compostos conhecidos por inibir a metanogênese. Em relação à partição energética, não foram observadas diferenças entre os tratamentos na energia bruta (EB), na energia digestível (ED) e na energia metabolizável (EM).

Riviera et al. (2017) realizaram dois experimentos para avaliar duas fontes de tanino (TC e TH) em dietas de bovinos da raça holandês em terminação. O primeiro experimento avaliou apenas a inclusão de TC na dieta, e foram utilizados quatro tratamentos: 0; 0,2; 0,45 e 0,6 % de TC na MS.

O segundo experimento avaliou a combinação de TC e TH na dieta, e os tratamentos foram 0,6 % de TC, 0,6 % de TH e a combinação de 0,3 TC + 0,3 TH. Os autores observaram aumento no GMD com a suplementação de TC. Quando incluso na maior concentração, independente da fonte houve uma tendência ao aumento do GMD ($P=0.08$), havendo também uma tendência no aumento da IMS no tratamento 0,3 TC + 0,3 TH ($P=0.06$). De acordo com os autores, o maior GMD nos tratamentos com inclusão de TC se deu possivelmente devido ao maior CMS nesses tratamentos.

Jayanegara et al. (2012) realizaram um estudo de metanálise, com 15 experimentos totalizando 41 tratamentos, para verificar a efetividade do tanino em reduzir a emissão de CH₄ *in vivo*. Os autores observaram que as emissões por unidade de peso vivo metabólico diminuíram com o aumento da concentração de taninos na dieta. Essa relação foi maior quando expressa por unidade de MS ingerida ($P < 0.01$, $R^2 = 0.47$). Houve decréscimo da produção de CH₄ por unidade de MO digestível, porém houve uma tendência no aumento do CMS com a adição dos taninos ($P=0,08$). A digestibilidade total no trato gastrointestinal, a digestibilidade aparente da proteína bruta (DPB) e a digestibilidade da fibra em detergente neutro (DFDN) diminuíram ($P < 0,01$) com a inclusão de taninos.

Ou seja, parte da diminuição de CH₄ com a adição de taninos parecem estar atribuídas a um declínio concomitante na digestibilidade dos nutrientes.

Grainger et al. (2009) realizaram dois experimentos com vacas leiteiras de alta produção da raça holandês a pasto. As vacas foram suplementadas com triticale (4,5 kg/dia), e os tratamentos consistiram em três níveis de inclusão de tanino à dieta (*A. mearnsii*, 0%; 0,9% ou 163g, e 1,8% ou 326g). Foram avaliadas a produção de leite, as emissões de CH₄, o balanço de nitrogênio (N) e a partição de energia. Ambos os níveis de suplementação com taninos reduziram ($P < 0,05$) as emissões de CH₄ em 14% e 29%, respectivamente. A produção de leite também reduziu com a inclusão de tanino ($P < 0,05$), principalmente no tratamento de maior inclusão (33, 31,8 e 29,8 kg dia). A digestibilidade da energia reduziu de 76,9% para 70,9%

e 66%, semelhantemente ao N urinário, cuja redução foi de 39% para 26% e 22% respectivamente para os tratamentos controle, 136 g e 244 g de inclusão de tanino. Os autores justificaram que a queda na produção de leite em ambos os experimentos pode ter sido consequência de problemas experimentais referentes à maior dose (326 g). *A.mearnsii* parece ter maior capacidade de ligações com a proteína, levando a um menor aproveitamento da dieta no rúmen e consequentemente a maior passagem da proteína bruta para o intestino.

Tabke et al. (2017) avaliaram o efeito da inclusão de uma mistura de taninos em dietas de terminação contendo milho floculado sobre o desempenho, as características de carcaça e a digestibilidade dos nutrientes. As inclusões de tanino foram de 0, 30 e 60 gramas de tanino por animal/dia (ByPro; Silvateam USA, Ontario, CA). Houve aumento quadrático na IMS de 0 a 35 dias, permanecendo como tendência nas demais pesagens (0 a 105 e 0 ao abate, $P = 0.07$ e $P = 0.06$). Não houve diferenças no GMD e na C.A. As características de carcaça não foram alteradas. Houve um decréscimo linear na digestibilidade do amido com a inclusão de tanino, e uma tendência de decréscimo na digestibilidade da PB ($P=0,09$), assim como uma tendência no aumento na digestibilidade da MO, no menor nível de inclusão de taninos ($P=0,09$).

Beauchemin et al. (2007) testaram três doses de taninos condensados (extrato de *Quebracho* comercial) 0, 1, 2% na MS da dieta. Avaliaram-se o desempenho, a digestibilidade dos nutrientes e as emissões de CH₄ de novilhos em crescimento. A dieta basal foi constituída de 70% de forragem (silagem de milho) com 16% de PB. Não houve efeito da inclusão de taninos condensados sobre o PC, o GMD e a IMS, bem como na digestibilidade da MS, da energia, da FDA e da FDN. Contudo, a digestibilidade total da PB no trato gastrointestinal decresceu linearmente ($P < 0.001$) em 5 e 15%, nos tratamentos com 1 e 2% de inclusão de taninos condensados na MS. A proporção de acetato no rúmen reduziu com a inclusão de tanino, consequentemente a relação acetato: propionato também reduziu nos maiores níveis de inclusão. Porém, não houve efeito sobre a produção de meta-

no. Os autores sugerem que a redução na digestibilidade da PB, pode ter sido consequência de uma incompleta dissociação no abomaso da proteína que foi complexada pelo tanino no rúmen. Em relação à redução de metano, os autores ponderam que a inclusão de 2% não é suficiente para reduzir a produção de CH₄ de bovinos em crescimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de taninos na nutrição de bovinos pode se mostrar eficiente na redução da produção de CH₄. Porém, a variabilidade da estrutura e composição dos taninos dificulta a conclusão sobre os níveis de inclusão e fontes de taninos na dieta. Os efeitos de redução da produção e emissão de CH₄ devem estar associados com a manutenção de uma boa digestibilidade da dieta e utilização dos nutrientes pelos bovinos, em especial as proteínas. Dessa forma, mais estudos são necessários para se compreender os melhores níveis e fontes de taninos condensados e seus efeitos na produção de CH₄, desempenho e eficiência energética de bovinos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRY, T.N.; MANLEY, T.R.; DUNCAN, S.J. The role of condensed tannins in the nutritional value of *Lotus pedunculatus* for sheep. 4. Site of carbohydrate and protein digestion as influenced by dietary reactive tannin concentrations. **British Journal of Nutrition.**, v.55, p.123–137,1986.
- BEACH, R. H.; CREASON, J.; OHREL, S. B. 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.
- BEAUCHEMIN, K.A.; MCGINN, S.M.; MARTINEZ, T. F. and McALLISTER, T. A. Use of condensed tannin extract from quebracho trees to reduce methane emissions from cattle, **Journal of Animal Science**, v.85, p.1990–1996, 2007.
- BENCHAAR, C.; GREATHEAD, H., Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. **Animal Feed Science and Technology**,v.60, p.166– 167, 2011.
- BHATTA, R.; UYENO, Y.; TAJIMA, K.; TAKENAKA, A, et al. Difference in nature of tannins on in vitro ruminal methane and volatile fatty acid production and on methanogenic archaea and protozoal populations. **Journal of Dairy Science.**,v.92, n.1, p.5512–5522, 2009.

- BODAS, R.; PRIETO, N.; GARCIA-GONZALEZ, R. et al. Manipulation of rumen fermentation and methane production with plant secondary metabolites. **Animal Feed Science and Technology.**, v.82, p.78–93, 2012.
- COTTLE, D.J.; NOLAN, J.V.; WIEDEMANN, S.G. Ruminant enteric methane mitigation: a review. **Animal Production Science.**, v.51, p.491-514, 2011.
- EEA (European Environment Agency), 2018. **Annual European Community Greenhouse Gas Inventory 1990–2016 and Inventory Report 2018.** Submission to the UNFCCC Secretariat, EEA, Copenhagen, Denmark, 975 pp.
- EBERT, P. J.; BAILEY, E. A.; SHRECK, A. L. et al. Effect of condensed tannin extract supplementation on growth performance, nitrogen balance, gas emissions, and energetic losses of beef steers. **Journal of Animal Science.** n.95, p.1345–1355, 2017.
- EPA (United States Environmental Protection Agency), 2012. **Methane and Nitrous Oxide Emissions from Natural Sources. United States Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, Washington, DC, USA.** Disponível em: <http://www.epa.gov/methane/pdfs/Methane-and-Nitrous-Oxide-Emissions-From-Natural-Sources.pdf>. Acessado em: 22 fev. 2019.
- GRAINGER, C.; CLARKE, T.; AULDIST, M.J. et al. Potential use of *Acacia mearnsii* condensed tannins to reduce methane emissions and nitrogen excretion from grazing dairy cows. **Canadian Journal of Animal Science.**, v.89, p.241–251, 2009.
- JAYANEGARA, A.; LEIBER, F.; KREUZER, M. Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from *in vivo* and *in vitro* experiments. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.**, v.96, p.365–375, 2012.
- JONES W.T.; MANGAN J.L. Complexes of the Condensed Tannins of Sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) with Fraction 1 Leaf Protein and with Submaxillary Mucoprotein, and their Reversal by Polyethylene Glycol and pH. **Journal of the Science of Food and Agriculture.**, v.28, n.2, p.126-136, 1977.
- JOUANY, J.; MORGAVI, D. Use of 'natural' products as alternatives to antibiotic feed additives in ruminant production. **Animal.**, v.1, n.10, p.1443, 2007.
- KNAPP, J. R.; LAUR, G. L.; VADAS, P. A. 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.
- KRUEGER, W.K.; GUTIERREZ-BANUELOS, H.; CARSTENS, G.E. et al. Effects of dietary tannin source on performance, feed efficiency, ruminal fermentation, and carcass and non-carcass traits in steers fed a high-grain diet. **Animal Feed Science and Technology.**, v.159, p.1–9, 2010.
- 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, p.241-256, 2003.
- MANSFIELD J.L., CURTIS P.S., ZAK D.R., and PREGITZER K.S. Genotypic variation for condensed tannin production in trembling aspen (*Populus tremuloides*, Salicaceae) under elevated CO₂ and in high and low fertility soil. **American Journal of Botany.**, v.86, p.1154–1159, 1999.
- McALLISTER, T.A.; MARTINEZ, T.; BAE, H.D. et al. Characterization of condensed tannins purified from legume forages: chromophore production, protein precipitation, and inhibitory effects on cellulose digestion. **Journal of Chemical Ecology.**, v.31, n.9, p.2049-2068, 2005.
- McCALLISTER, T.A.; NEWBOLD, C.J. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. **Australian Journal of Experimental Agriculture.**, v.48, p.7-13, 2008.
- 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.
- PAGÁN-RIESTRA, S.; MUIR, J.P.; LAMBERT, B.D. et al. Phosphorus and other nutrient disappearance from plants containing condensed tannins using the mobile nylon bag technique. **Animal Feed Science and Technology.**, v.156, p.19-25, 2010.
- PATRA, A.K.; SAXENA, J. A new perspective on the use of plant secondary metabolites to inhibit

- methanogenesis in the rumen. **Phytochemistry.**, v.71, p.1-10, 2010.
- 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.
- RIVERA-MÉNDEZ, A.; PLASCENCIA, N.; TORRENTERA, R.A. Zinn Effect of level and source of supplemental tannin on growth performance of steers during the late finishing phase. **Journal of Applied Animal Research**, v.45 (1). pp. 199-203, 2007.
- RIVERA, A.R.; BERCHIELLI, T.T.; MESSANA, J.D.; VELASQUEZ, P.T, et al. Fermentação ruminal e produção de metano em bovinos alimentados com feno de capim-tifton 85 e concentrado com aditivos. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.39, p.617-624, 2010.
- 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.
- SMITH, A.H.; ZOETENDAL, E.G.; MACKIE, R.I. Bacterial mechanisms to overcome inhibitory effects of dietary tannins. **Microbial Ecology.**, v.50, p.197–205, 2005.
- TABKE, M. C.; SARTURI, J. O.; GALYEAN, M. L. et al. Effects of tannic acid on growth performance, carcass characteristics, digestibility, nitrogen volatilization, and meat lipid oxidation of steers fed steam-flaked corn– based finishing diets. **Journal of Animal Science.**; v.(11): p.5124-5136, 2007.
- TAVENDALE, M. H.; MEAGHER, L. P.; PACHECO, D. et al. Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. **Animal Feed Science and Technology.**, p.123–124, 2005.
- TEDESCHI, LO.; CALLAWAY, TR. Potential environmental benefits of feed additives and other strategies for ruminant production. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v.40, p.291–309, 2011b.
- TERRILL T.H.; ROWAN A.M.; DOUGLAS G.B. et al. Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants, protein concentrate meals and cereal grains. **Journal of the Science of Food and Agriculture.**, V.58, p.321–329, 1992.
- VETELI T.O., MATTSON W.J., NIEMELÄ P. et al. Do elevated temperature and CO₂ generally have counteracting effects on phenolic phytochemistry of boreal trees. **Journal of Chemical Ecology.**, v.33 p.287–296, 2007.
- WOLFE R.M.; TERRILL T.H.; and MUIR J.P. Drying method and origin of standard affect condensed tannin (CT) concentrations in perennial herbaceous legumes using simplified butanol-HCl CT analysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture.**, v.88 p.1060–1067, 2008.
- ZOTTI, C.A.; PAULINO, V.T. Metano na produção animal: emissão e minimização de seu impacto. Nova Odessa: **Instituto de Zootecnia**, 2009. 24 p.