

Otimização da pecuária nacional de forma sustentável

Optimization of the national livestock sustainably

NATEL, Andressa Santanna^{1*}; FAUSTO, Daiane Aparecida²; ARAGÃO, Thiago Ricielli de Paula²; ABDALLA, Adibe Luiz¹

¹Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Laboratório de Nutrição Animal, Piracicaba, São Paulo, Brasil.

²Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, Brasil.

*Endereço para correspondente: andressa.zoo@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de nitrato de cálcio em substituição ao farelo de soja em dieta de ruminantes sobre a mitigação do metano entérico visando determinar os custos com a dieta do animal e os custos marginais de abatimento de carbono. O estudo foi realizado em duas fases, na primeira foi avaliado o potencial de mitigação de metano do nitrato por produção de gases *in vitro*. Os dados de mitigação de metano foram utilizados na segunda fase, que simulou uma propriedade leiteira com três sistemas de alimentação controle, sem nitrato, e sistemas com inclusão de 1,5 e 3% de nitrato na dieta. Foram utilizadas planilhas de cálculo para avaliar os custos e receitas de cada sistema com vendas de crédito de carbono resultantes da redução de metano ao final de 10 anos. O valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) foram os índices utilizados na avaliação financeira. A venda de crédito de carbono não alterou o VPL, no entanto a inclusão de nitrato a 1,5 e 3% na dieta animal mostrou-se economicamente viável, pois reduziu o valor das dietas (R\$ 5,89 e 5,81/vaca/dia, respectivamente) em comparação com a dieta controle (R\$ 6,13 /vaca/dia), além de contribuir para redução de gases de efeito estufa. Portanto, a suplementação de nitrato, como fonte de nitrogênio não protéico, em dietas para ruminantes, além de reduzir a produção de metano possibilitou uma sensível redução no custo variável da atividade.

Palavras-chave: alimentação animal, emissão de gases, retorno econômico, ruminantes

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the calcium nitrate utilization in replacing to the soybean meal for ruminants diets under the mitigation of enteric methane aiming to determine the animal diet cost and the marginal costs for carbon rebates. The study was conducted in two stages, the first stage was *in vitro* gas production were performed in order to measure the enteric methane mitigation potential of the nitrate. The methane mitigation data were used in the second stage, which simulated a dairy farm with three feed systems: control system without nitrate, and systems with inclusion of 1.5 to 3% nitrate in the diet. The spreadsheets were used to evaluate the costs and revenues of each system resulting carbon credit sales of methane reduction in 10 years. The net present value (NPV) and the internal rate of return (IRR) were the indexes used in the financial evaluation. The carbon credit sale did not change the NPV significantly, however the inclusion of nitrate to 1.5 and 3% in animal feed showed economically feasible, because it reduced the diet value (R\$5.89 e R\$5.81/cow/day, respectively) in comparison to control diet (R\$6.13/cow/day) besides contributing to the reduction and greenhouse gases. Therefore, the nitrate supplementation beside reduced the methane production, has the positive effect on the variable cost of the activity.

Keywords: animal feed, gas emissions, economic return, ruminants

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca mundialmente por possuir o maior rebanho de bovinos comercial, são 212 milhões de cabeças (IBGE, 2013). A cadeia de ruminantes movimentou em 2015 R\$ 169.3 bilhões (CEPEA/USP, 2014), e gera aproximadamente sete milhões de empregos (IBGE, 2013). Contudo, a prática da pecuária causa impactos significativos ao meio ambiente, contribuindo para a depleção e poluição da água, perda da biodiversidade e intensificação das mudanças climáticas globais, em especial, a emissão de gases de efeito estufa - GEE (STEINFEL et al., 2006).

Em relação à emissão de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_2\text{-eq}$), somente o setor de pecuária de leite emitiu em 2007 mais de 19 bilhões de toneladas (FAO, 2010), das quais cerca de 13 bilhões de toneladas foram atribuídas para o leite, contribuindo com 2,7% das emissões de GEE (IPCC, 2007). Estima-se que a emissão por unidade de leite produzido é de 2,4kg de $\text{CO}_2\text{-eq}$ por Kg de leite corrigido para gordura e proteína na porteira da fazenda (FAO, 2010).

O dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4) contribuem com a maior quantidade das emissões de GEE. A emissão destes gases é medida em toneladas de $\text{CO}_2\text{-eq}$ e cada tonelada equivale a um crédito de carbono. Desta forma, considerando o tamanho do rebanho nacional, o setor pecuário tem alto potencial para desenvolvimento de negócios relacionados aos créditos de carbono, principalmente em relação à fonte de fermentação entérica (MOSS et al., 2000).

Entre os compostos químicos, a suplementação de nitrato em dietas para ruminantes tem sido estabelecida para a redução de metano (SILIVONG et al., 2011), pois inibe a metanogênese (VAN ZIJDERVELD et al., 2010), resultando em menor gasto energético ao animal (LENG & PRESTON, 2010). O nitrato pode ainda ser utilizado como fonte de nitrogênio não proteico pelos animais (LI et al., 2013), o que poderia contribuir para o aumento da produtividade. Neste contexto objetivou-se avaliar a possibilidade de comercialização de crédito de carbono na pecuária, utilizando nitrato de cálcio em substituição ao farelo de soja(FS) como fonte de nitrogênio não proteico (NNP) em dieta de ruminantes para a mitigação do metano entérico, visando determinar os custos com a dieta do animal e os custos marginais de abatimento de carbono, onde os créditos são comercializados no mercado voluntário.

MATERIAL E MÉTODOS

A primeira fase do estudo foi desenvolvida no Centro de Energia Nuclear na Agricultura no período de Janeiro a Maio de 2014, a fase seguinte foi realizada entre Outubro a Dezembro de 2014.

Na primeira fase foi realizada uma avaliação do potencial de mitigação do metano pela técnica de produção de gases *in vitro*. Os valores de inclusão de nitrato de cálcio de 1,5 e 3% na dieta, em base da matéria seca, foram considerados a partir de dados da literatura (HULSHOF et al., 2012; LI et al., 2013; EL-ZAIAT et al., 2014) por apresentarem resultados satisfatórios para redução de metano e

não apresentarem problemas a saúde do animal (metahemoglobulinemia), se adicionados gradualmente a dieta de ruminantes.

Para o cálculo de emissão de gases do rebanho foi utilizado um cálculo simplificado a partir do fator de emissão (IPCC, 2007).

Para a elaboração do estudo da segunda fase, adotou-se a metodologia descritiva, para um projeto de mercado de carbono voluntário, através da venda de certificados de emissão reduzida (CREs) aplicado à atividade de bovinocultura de leite, o valor presente líquido (VPL) e a taxa de retorno (TIR) foram os índices utilizados na avaliação financeira.

Os dados de custo e receita descritos foram simulados a partir do levantamento de dados em artigos, revistas e teses sobre bovinocultura leiteira.

Na primeira fase, foram três tratamentos distribuídos em delineamento experimental inteiramente casualizado sendo uma dieta base (50% de feno de Coast Cross: 50% de concentrado) e três níveis de adição de nitrato 0%; 1,5% e 3% (% MS) em substituição ao farelo de soja em equivalente proteico a 0; 23,9 e 48,1% mantendo as dietas isonitrogenadas (15% PB). O substrato incubado (dietas experimentais) foi moído em moinho tipo Willey (Marconi, Piracicaba, SP, Brasil) a 1 mm (Tabela 1).

Tabela 1. Ingredientes e composição química das dietas experimentais (% MS)

Items	Dietas Experimentais ¹		
	0%	1,5%	3%
Ingredientes (%)			
Feno Coast Cross	50,0	50,0	50,0
Milho grão	35,2	37,2	39,3
Farelo Soja	14,8	11,3	7,7
Nitrato	-	1,5	3,0
Composição química¹ (em g / 100 g MS)			
MS, % do alimento	91,2	91,2	91,3
MO	94,3	94,1	93,9
PB	15,4	15,4	15,2
EE	2,7	2,7	2,6
FDN	50,3	50,2	50,2
FDA	27,6	27,2	26,8
NO ₃ ⁻²	-	1,00	2,01

¹MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; FDN = fibra insolúvel em detergente neutro, FDA = fibra insolúvel em detergente ácido (em g / 100 g MS).

²NO₃⁻ = Íon nitrato, estimativa da quantidade em % do total de PNE incluso na dieta.

Foram utilizados quatro diferentes inóculos considerados como repetição e dois frascos por inóculo considerados como réplicas. Para cada inóculo, um branco (garrafa sem substrato, contendo apenas inóculo e meio de incubação) foi

incluído em duplicata para correção dos dados de produção de gás e degradabilidade. Um padrão interno constituído de feno de Tifton 85 (substrato com produção de gás conhecida) foi incluído em duplicata por

inóculo para monitorar as condições de incubação. Assim, para cada inóculo, foram incubadas 16 garrafas contendo os tratamentos experimentais, branco e padrão interno.

Os inóculos utilizados foram retirados de oito ovinos Santa Inês, machos, castrados, com peso médio de 62 kg ($\pm$ 3,5kg), fistulados no rúmen e mantidos em confinamentos. Cada inóculo foi composto do líquido ruminal de dois doadores diferentes, totalizando quatro inóculos. Os animais eram alimentados individualmente com uma dieta composta por 50% de feno de Tifton (*Cynodon spp*) e 50% de concentrado com 18% PB (milho moído, FS e mistura mineral), com adição de 1% de nitrato por grama de matéria seca ofertada com acesso livre a sal mineral e água. A alimentação foi fornecida duas vezes ao dia (7:00 h e 16:00h), em partes iguais. O período de adaptação foi de 14 dias até a coleta dos inóculos. A adição do nitrato na dieta dos doadores de inóculo deu-se para aumentar as bactérias redutoras de nitrato no líquido ruminal para essas competirem com as metanogênicas (JEYANATHAN et al., 2011). O inóculo de ovinos foi utilizado por ser o modelo animal com o qual o laboratório onde foi desenvolvida a primeira fase trabalhava.

Foi utilizada a técnica *in vitro* de produção de gases (THEODOROU et al., 1994) adaptada ao sistema semiautomático do Laboratório de Nutrição Animal – Lana/CENA para avaliação da produção de metano *in vitro* (BUENO et al., 2005; LONGO et al., 2006), usando um transdutor de pressão e um data logger (Press Data 800, Lana, CENA / USP, Piracicaba, SP, Brasil).

Meio grama de cada dieta experimental foi adicionado em saquinho de determinação de FDN (#F57 bags; 50

mmx40mm; 25 $\pm$ 10 μ m pore size; ANKOM, Tecnology Corporation, Fairport, USA) e incubado em frascos de vidro de 160 mL de volume total e head space de 85mL, com 50mL de meio de incubação (meio tampão THEODOROU descrito em PRESTON, 1994) e 25mL de inóculo. Os frascos foram fechados, misturados manualmente, e incubados a 39°C em estufa de circulação forçada (Marconi MA35, Piracicaba, SP, Brasil) por 24 h.

A pressão do gás foi medida às 2, 4, 8, 16 e 24 h de incubação. Para determinação da produção de metano, 2mL de gás foram amostrados em cada tempo de mensuração de pressão, utilizando seringa de 5mL e armazenados em tubo de vácuo de 10mL.

O volume total de gases foi calculado por uma equação de regressão pré-definida para as condições locais (Equação 1):

$$V = 7,365 \times p \quad (n=500; R^2=0,99) \quad (1)$$

Em que: V= volume de gás (mL); e p= pressão mensurada (psi).

A produção de gás total (PGT), em 24 h de incubação, foi considerada como a somatória parcial da produção de gás em cada intervalo de tempo.

A concentração de metano foi determinada em cromatógrafo gasoso (Shimadzu GC-2014) acoplado a um detector de ionização de chama (FID) com coluna Shincarbon ST 100/120 micro empacotada (1,5875mm x 1,0mm x 1m). As temperaturas de forno de coluna, injetor e detector de chama foram 60, 200 e 240 °C, respectivamente. O gás de arraste foi o hélio a um fluxo de 10mL/min. Concentrações de metano foram determinadas por calibração externa usando a curva analítica (0, 30, 90 e 120mL/L) preparado com metano puro (White Martins PRAXAIR Gases Industriais Inc.; pureza 99,5mL/ L). A

produção de metano (PCH_4) foi determinada de acordo com Longo et al. (2006), eq. (2):

$$PCH_4 \text{ (mL)} = (\text{total gás} + \text{Head space}) * (\text{concentração de } CH_4) \quad (2)$$

Os valores de PGT e PCH_4 foram expressos em função da matéria orgânica verdadeiramente degradada – MOVD (mL/g).

Os dados da primeira fase foram testados por modelo misto usando máxima verossimilhança restrita (Restricted Maximum Likelihood: REML) no procedimento MIXED do programa SAS® v93 (Statistical Analysis System Int., Cary, NC). O modelo inclui o efeito fixo da dose de nitrato e do inóculo e a interação entre dose de nitrato e inóculo. A variável resposta foi a média por frasco por inóculo. As médias foram obtidas pelo comando LSMEANS (SAS®). Os efeitos significativos foram identificados pelo teste

F e teste de Tukey-Kramer. Foi declarada diferença estatística quando $P < 0,05$.

A segunda fase utilizou a metodologia descritiva e para realização dos cálculos foi utilizando o software de planilhas Microsoft Excel®. A análise das emissões de GEE consistiu na divisão do total de CO_2 -eq emitido pelo rebanho em um ano, pelo total de produto final produzido pelo rebanho. Portanto a unidade funcional adotada foi: kg de CO_2 -eq por kg de leite. As emissões de gases de efeito estufa para cada cenário avaliado foram calculadas utilizando os fatores default do IPCC (2007), e alguns fatores obtidos em estudos para as condições brasileiras (Tabela 2). O total de animais de cada categoria dentro do rebanho dos cenários prototípicos é multiplicado por estes fatores, obtendo-se a emissão total de cada gás do rebanho.

Tabela 2. Dados para o cálculo de emissão de CO_2 -eq

Gás	Categoria	Fator de emissão	Unidade
CH_4 entérico	Touro	64	Kg CH_4 / (cab.ano) ⁻¹
	Vaca leiteira	62	
	Vaca Seca	42	
	Novilha (o)	49	
CH_4 fezes	Touro	1	Kg CH_4 / (cab.ano) ⁻¹
	Vaca	1	
	Novilha (o)	0,5	
N_2O	Vaca leiteira	0,030625	t N_2O (cab.ano) ⁻¹
	Vaca seca	0,0175	
CH_4	Resíduo- Leite pasteurizado	3,3	Kg CH_4 /leite t ⁻¹
CO_2 -eq	Produção leite até porteira	3,5	Kg CO_2 -eq/kg LCGP

Fonte: IPCC (2007); Alves & Vieira (2010); EMBRAPA (2010a; 2010b).

A emissão total de GEE em cada sistema (eq. 3) foi calculada de acordo com os critérios do IPCC (2007), onde as emissões de N_2O e CH_4 emitidas em um ano foram convertidas em toneladas de

CO_2 -eq segundo dados obtidos no IPCC (2007) e somadas ao total de CO_2 emitido pela produção do leite. Neste estudo não foram consideradas a produção de alimentos e outras atividades dentro da

fazenda, necessárias para o manejo do rebanho.

$$T(\text{CO}_2) = (X1 * 25) + (X2 * 298) + X3 \quad (3)$$

Em que, $T(\text{CO}_2)$ = Emissão anual de CO_2 emitido pelo rebanho de cada nível de adição de nitrato; $X1$ = Emissão anual de CH_4 oriundo da fermentação entérica e fezes do rebanho em um ano; $X2$ = Emissão anual de N_2O oriundo das fezes e urina do rebanho em um ano; e $X3$ = Emissão anual de CO_2 das demais atividades (combustível, agricultura, adubação de pastagem – neste caso só foi considerada produção de leite até a porteira e a pasteurização do leite).

Posteriormente, obteve-se o balanço considerando a mudança do cenário pelo uso do produto nitrato em substituição a FS. O fator de redução do nitrato foi considerado apenas para a emissão de metano entérico. A redução de metano foi transformada em $\text{CO}_2\text{-eq}$, conforme eq. (4):

$$\text{Saldo de } \text{CO}_2\text{-eq} = T(\text{CO}_2) - \Delta\text{CH}_4 * 21 \quad (4)$$

Em que, $T(\text{CO}_2)$ = Emissão total de CO_2 do sistema; ΔCH_4 = Redução de CH_4 pelo uso de nitrato de cálcio em substituição ao FS obtido pela avaliação in vitro; e 21 = Fator de transformação da variável CH_4 em $\text{CO}_2\text{-eq}$ (IPCC, 2007).

Então, dividiu-se o total de $\text{CO}_2\text{-eq}$ pela produção anual de leite corrigido para gordura e proteína (LCGP) para se obter a pegada de carbono de cada sistema, o que representa o CO_2 liberado na atmosfera.

Para as análises econômicas foi simulada uma propriedade leiteira tecnificada, da bacia leiteira da região de Castro no Paraná. Foram consideradas 150 vacas holandesas em lactação com produção de leite (kg/vaca/ano) de 22,25, considerando a densidade do leite de 1,03, e período de lactação de 230 dias com consumo de

25kg de Matéria Original/vaca/dia (83% MS). O que resulta numa produção anual de 4783,5 kg de leite/ vaca/ lactação. A idade ao primeiro parto, porcentagem de vacas em lactação, descarte de vacas e mortalidade de bezerros foi de 36 meses, 75%, 6% e 0,5%, respectivamente.

Para fins de cálculo de preço do leite e produção de $\text{CO}_2\text{-eq/ L}$ de leite corrigido para gordura e proteína (LCGP) utilizou-se os valores médio de gordura de 3,49, proteína 3,17 e CCS de 414.200 para a raça Holandesa, de acordo com estudo realizado por Ribeiro Junior et al.(2014) com propriedades na região de Castro, bacia leiteira do Paraná.

Para formação do rebanho, ainda foi considerado 50 novilhas e vacas secas com peso médio de 500 kg que foram mantidas em semi-confinamento, representando desta forma 15,6 % do rebanho. As novilhas de 12 a 24 meses (460 kg) e as bezerras de até 12 meses (340 kg) foram mantidas em pasto mais suplementação e representaram 6,3 e 31,3 % do rebanho, sendo composto, portanto por 20 e 100 animais, respectivamente.

A propriedade simulada conta com oito hectares, um sistema de ordenha a vácuo (Kepler Weber®, KW 900 L/M) com capacidade de seis vacas, sendo ordenhadas 48 vacas/ hora. Os animais em lactação são mantidos confinados em sistema de estábulo livre com acesso a área de lazer. A alimentação é fornecida em forma de dieta total no cocho conforme Tabela 3.

Os custos referentes às dietas foram calculados conforme o valor (R\$) da tonelada do ingrediente em matéria original (MO). Posteriormente, realizou-se o cálculo do custo em R\$/ vaca/ dia e o custo em R\$/ kg de MO consumida/ vaca (Tabela 3). Para os cálculos do valor dos ingredientes da dieta foram utilizados

dados de preço adaptados do CEPEA/USP (2014).

O preço do nitrato de cálcio é incerto, pois não é utilizado comumente como um aditivo em alimentação de ruminantes para mitigação de metano, é usado como adubo nitrogenado e seu preço pode variar largamente. O preço de referência do produto agrícola disponível (fórmula química: $5\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{NH}_4 \text{NO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) é de R\$ 4760,00 a tonelada (Produto

Calcinit Yara, valor em 20 de Julho de 2016). Contudo, o produto a base de nitrato será utilizado em substituição à ureia e ao FS como fonte de NNP, trazendo o benefício da redução de metano entérico, assim optou-se em utilizar para base de cálculo o preço do nitrato de cálcio igual ao preço da ureia, uma vez que para o produtor a ureia será o aditivo concorrente.

Tabela 3. Dieta das com níveis de inclusão de nitrato de cálcio para vacas leiteiras em confinamento

Ingrediente (% MS) ¹	% MS			kg de MO/vaca/dia		
	Níveis de inclusão de nitrato de cálcio					
	Controle	1,5%	3%	Controle	1,5%	3%
Silagem de milho	50,010	50,010	50,010	11,040	11,040	11,040
Milho moído	10,730	17,015	29,170	2,370	3,510	4,500
Polpa cítrica	10,730	10,730	10,730	2,370	2,370	2,370
Farelo de soja	12,500	9,530	3,510	3,310	2,520	1,720
Farelo de algodão	12,500	9,520	3,520	2,210	1,680	1,150
Ureia	0,650	0,300	0,150	0,140	0,000	0,00
Nitrato	0,000	0,015	0,030	0,000	0,330	0,660
Mineral	2,180	2,180	2,180	0,480	0,480	0,480
Bicarbonato de sódio	0,700	0,700	0,700	0,150	0,150	0,150
Custo Ração Total (R\$/ kg Matéria Original)				0,280	0,270	0,260

Fonte: Resultados da pesquisa.

¹Preço dos ingredientes (R\$/ton MO): Silagem de milho (MS): 120,00; Milho grão = 395,00; Polpa cítrica = 395,00; Farelo de soja = 930,00; Farelo de algodão = 430,00; Ureia = 1.489,00; Nitrato = 1.489,00; Bicarbonato = 1.200,00; Suplemento mineral = 1.170,00; Pastagem Coast Cross (MS) = 0,12. Adaptado de CEPEA (2014).

A receita obtida através da venda do leite foi calculada utilizando o simulador para o cálculo de Valores de Referência do leite segundo a qualidade (CONSELEITE-PARANÁ, 2014), com base no valor realizado no mês de setembro de 2014 de R\$ 0,9221 (Tabela 4). Já a receita pela venda dos terneiros e descarte foi calculada usando como base os preços sugeridos pelo

CEPEA/USP (Setembro, 2014) de R\$ 800,00.

Para o planejamento econômico, custo e receita, foram utilizadas planilhas de cálculo do Microsoft Excel®. Os custos do sistema controle foram aplicados levando em consideração uma empresa/fazenda do setor leiteiro e abordam os valores de implantação do sistema, custos fixos e custos variáveis para

funcionamento do negócio. As receitas correspondem à soma dos valores apurados com a venda de leite e animais. Para base de cálculo nenhuma mudança foi aplicada nos cenários com adição de nitrato de cálcio, 1,5% e 3%, os quais mantiveram as mesmas receitas, exceto no último ano onde foram vendidos os

certificados de emissão reduzida (CREs). Quanto aos custos, apenas os custos variáveis foram alterados em função do valor da alimentação entre os sistemas, pela inclusão do nitrato de cálcio como fonte de NNP em substituição ao FS e retirada da ureia.

Tabela 4. Receitas advindas de um sistema padrão de produção de leite conforme

Receita Anuais	R\$/und	Quant/ano	Total R\$/ano
Leite (litro) ¹	0,9221	1166400	1075537,44
Terneiros + Descartes ²	800,000	79	63200,00
Total (R\$ /ano)			1138737,44

Fonte : Resultados da pesquisa

¹Preço Leite: CONCELEITE-Pr (Setembro, 2014); ²CEPEA/USP, 2014.

Para análise de viabilidade do projeto em função da redução de GEE, procurou-se não entrar na elegibilidade do projeto pecuário quanto à geração de créditos de carbono, haja vista que os critérios para este fim não são bem definidos, assim como não foram feitos cálculos para a reforma de pastagem, outra forma de mitigação de gases. Portanto a análise foi realizada considerando apenas a redução de metano entérico pelo uso de nitrato na dieta dos animais. Contudo, projetos pecuários apresentam grande potencial de aprovação pelas entidades operacionais certificadas pelo Comitê Executivo da Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, dada a sua capacidade de redução de emissão de metano aplicando métodos simples.

Para efeito de cálculo levou-se em conta o preço mínimo pago pela tonelada de CO₂-eq em leilões da BMF & BOVESPA – Edital no. 001/2012 (2012) de 2,70 €/tCO₂. Esse valor é do mercado voluntário, caso houvesse um projeto de

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), esses valores poderiam ser mais elevados. Dióxido de carbono equivalente é uma métrica utilizada para equalizar as emissões de vários GEE com base na relativa importância de cada gás, em relação ao CO₂. Para a transformação em reais foi utilizado o valor do euro referente à cotação da primeira quinzena de outubro de 2014 de R\$ 3,198.

Para avaliação financeira do estudo foram utilizados os critérios de taxa interna de retorno (TIR) e valor presente líquido (VPL) (WESTON & BRIGHAM, 2000). Em que o VPL é a diferença entre o valor presente das receitas menos o valor presente dos custos. Neste estudo, considerou-se a taxa mínima de atratividade (TMA) como 10% ao ano. Optou-se por utilizar a TMA de 10% ao ano, pois é a recomendada pelo Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002), que trata da Proposta Revisada de Critério e

Indicadores de Elegibilidade para a Avaliação de Projetos Candidatos ao MDL no Brasil.

A análise dos dados da segunda fase foi descritiva, usando a hipótese de um cenário padrão (sem inclusão de nitrato na dieta) comparando as mudanças deste cenário com outros dois, com inclusão de dose de 1,5 e 3% de nitrato na dieta. Todos os cálculos foram realizados utilizando o software de planilhas Microsoft Excel®. Os resultados são apresentados como a média de valores econômicos e o potencial de redução de metano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na fase um, avaliação do potencial de mitigação de metano *in vitro*, após 24h de incubação houve redução potencial de aproximadamente 50% na produção de

metano quando comparada a dieta com 3% de nitrato (%MS) com a dieta controle (0%) (Tabela 5). Este resultado pode estar relacionado ao fato do nitrato agir como receptor de elétrons mais competitivo que o CO₂, reduzindo a disponibilidade de H₂ para as bactérias metanogênicas. Desta forma, quando o nitrato está presente no rúmen, o H₂ é utilizado na redução de nitrato a nitrito a amônia, diminuindo assim a produção de metano (UNGERFELD & KOHN, 2006). Outra hipótese é que a inibição da produção de CH₄ pode ser atribuída à toxicidade direta de nitrito e outros produtos da redução de nitrato a amônia sobre as archeas metanogênicas (BOZIC et al., 2009; SAR et al., 2005), mas, no presente experimento, não foi mensurada a expressão genica das bactérias ruminais. Os resultados da PGT e MOVD não foram alterados (P>0,05) pela adição de nitrato em substituição a proteína da soja.

Tabela 5. Matéria orgânica verdadeiramente degradada (MOVD), matéria seca verdadeiramente degradada (MSVD) e produção de gases total (PGT) e metano (CH₄) *in vitro* em dietas com nitrato de cálcio substituindo o farelo de soja

Item	Níveis de inclusão de nitrato de cálcio*			EMP*	p-valor
	Controle%	1,5%	3%		
MOVD, g/kg	551,7 ^a	534,1 ^a	549,5 ^a	13,22	0,77
MSVD, g/kg	566,5 ^a	561,4 ^a	576,8 ^a	12,53	0,59
PGT, mL/g MOVD	106,3 ^a	103,7 ^a	101,2 ^a	1,97	0,84
CH ₄ , mL/g DVMO	17,4 ^a	12,3 ^b	9,3 ^c	1,47	<0,01
CH ₄ , %	16,4 ^a	11,9 ^b	9,2 ^c	1,77	<0,01

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; EMP = erro médio padrão.

Utilizando os fatores default do IPCC (2007) para gado de leite, foi calculada a quantidade de GEE produzidos no cenário padrão (sistema controle), os valores

calculados foram: 27,7; 0,46 e 13,8 toneladas de CH₄, NO₃-N e CO₂, respectivamente, corrigindo esses valores pela equação para CO₂-eq (IPCC, 2007)

foi observado um total de 843,3 toneladas de CO₂-eq emitido pelo sistema controle (Tabela 6). A partir dos valores obtidos no sistema controle foram estimados os valores dos sistemas com inclusão de nitrato de cálcio pela equação de mudança de cenário (IPCC, 2007), sendo observada uma redução de 10,2 e 16,5 toneladas de CO₂-eq/ano com a inclusão de 1,5 e 3% de nitrato de cálcio, respectivamente. Como o

nitrato age exclusivamente no rúmen, esse percentual está relacionado apenas à redução de metano entérico pelos animais. Estes números representam uma significativa queda na emissão de CO₂-eq, visto que no Brasil existem aproximadamente 930 mil produtores trabalhando no mercado de comercialização do leite (IBGE, 2013).

Tabela 6. Emissões de CO₂-eq do sistema controle de alimentação (0% nitrato de cálcio) e sistemas com inclusão de nitrato de cálcio (1,5% e 3%)

Emissões/ano ¹	Níveis de inclusão de nitrato de cálcio			EPM ²
	Controle	1,5 %	3 %	
Emissão, tCO ₂ -eq/ano	843,3	833,2	826,8	3,39
Pegada de Carbono, tCO ₂ -eq/t LCGP (3,5 e 4,5%)	0,56	0,55	0,54	0,004
Redução CO ₂ -eq (ton)	0,00	10,2	16,5	3,38

¹tCO₂-eq: toneladas de dióxido de carbono equivalente; LCGP (3,5 e 4,5%): leite corrigido para gordura (3,5%) e proteína (4,5%); ²EPM = erro padrão da média.

Para pegada de carbono foi observada queda suave entre os sistemas controle, 1,5% e 3% de nitrato correspondendo a 0,76, 0,75 e 0,74 t CO₂-eq/t LCGP, respectivamente. Estes dados são relativos a uma produção anual de 1.310 toneladas de LCGP. O Brasil produziu em 2013 um total de 22,3 bilhões de litros de leite (IBGE, 2013) aproximadamente 20,8 bilhões L (LCGP, 3,5 e 4,5%) resultando em uma emissão de cerca de 72,9 bilhões de tonelada de CO₂-eq, desta forma os resultados do presente trabalho poderiam possibilitar uma redução na emissão GEE pela pecuária leiteira.

Uma vantagem ao produtor seria que embora essa prática de redução de metano entérico não seja preconizada pelo Plano ABC (Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono

na Agricultura), se utilizada, pode vir a auxiliar o produtor na contratação de financiamento na área de reforma de pastagem ou implantação de tratamento de dejetos animais, aumentando assim o potencial de redução de CO₂-eq de sua propriedade.

Com base na análise financeira, os custos totais diferiram entre os três sistemas de produção (Tabela 7), sendo maior no sistema controle (0,74/litro) e menor nos sistemas com 1,5 e 3% de inclusão de nitrato (0,72 e 0,71/litro, respectivamente). Como os custos fixos se mantiveram iguais (R\$ 0,15/litro), pois nenhuma mudança foi aplicada nos custos fixos entre os sistemas avaliados, pode-se observar que a variação é devido ao custo variável, superior no sistema controle (R\$ 0,59/litro) em relação aos demais sistemas (R\$ 0,57/litro). Como o único diferencial entre os sistemas foi o custeio com a alimentação, substituição de

FS por nitrato de cálcio e retirada da ureia, pode-se inferir que esta substituição foi economicamente viável. Desta forma, os menores custos nos sistemas onde o nitrato foi adicionado indicam que estes sistemas são mais sustentáveis, para análises de curto prazo.

Apesar de todos os sistemas apresentaram margem bruta positiva, os sistemas com inclusão de nitrato apresentaram melhores resultados, estes resultados indicam o impacto do custo de alimentação para o

sistema, uma vez que o diferencial entre os sistemas era apenas a alimentação, em especial o custo com proteína advinda do FS. O custo com alimentação representa 50% dos custos operacionais de um sistema (LOPES & CARVALHO, 2000), o que explica a variação da receita entre os sistemas, uma vez que a retirada da ureia e a substituição do FS pelo nitrato de cálcio, como fonte de NNP, reduziram os custos variáveis dos sistemas.

Tabela 7. Medidas de desempenho econômico da atividade leiteira em sistema controle de alimentação (0% nitrato de cálcio) e sistemas com inclusão de nitrato de cálcio (1,5% e 3%)

Item	Níveis de inclusão de nitrato de cálcio			EPM ²
	Controle	1,5%	3%	
Custo variável (R\$/ Litro leite)	0,59	0,57	0,57	0,005
Custo fixo (R\$/ Litro leite)	0,15	0,15	0,15	0
Custo total (R\$/ Litro leite)	0,74	0,72	0,72	0,004
Receita bruta(R\$/ Litro leite)	0,98	0,98	0,98	0
Margem bruta(R\$/ Litro leite)	0,39	0,40	0,41	0,004
Margem líquida(R\$/ Litro leite)	0,24	0,26	0,26	0,005
Custo da alimentação/vaca/dia (R\$)	6,13	5,89	5,81	0,067
Custo alimentação/Kg leite produzido (R\$)	0,28	0,27	0,26	0,004
Receita do Leite, R\$/vaca/dia	21,68	21,68	21,68	0
RMCA ¹ , R\$/vaca/dia	15,60	15,85	15,93	0,071
RMCA, R\$/vaca/ano	5.517,99	5.610,10	5.643,14	0,072

¹RMCA = renda média por animal; ²EMP = erro padrão da média.

A margem líquida não diferiu entre os sistemas com inclusão de nitrato de cálcio (1,5 e 3%), contudo foi maior que os valores observados no sistema controle (R\$ 0,26 /litro x R\$ 0,24 /litro, respectivamente), estes resultados indicam a estabilidade da atividade, podendo se manter em médio prazo.

Quanto ao custo com a alimentação pode-se observar que o sistema controle foi o que despendeu maiores custos com alimentação/vaca/dia, R\$ 6,13, seguido do sistema 1,5% e 3% de nitrato que

despenderam R\$ 5,89 e R\$ 5,81/vaca/dia (Tabela 7). Quando esses custos são analisados em função da produção média diária de leite (22,2 kg/vaca) os custos com alimentação representaram 0,28, 0,27 e 0,26 R\$/kg leite/vaca para os sistemas controle, 1,5% e 3% de nitrato, respectivamente. Avaliando-se a redução dos gastos do sistema com inclusão de nitrato frente ao sistema controle tem-se uma redução de 3,6 e 7,1 % nos gastos com alimentação/kg de leite, para os sistemas 1,5 e 3% de nitrato em

comparação ao sistema controle, respectivamente, o que indica um aumento na RMCA com a inclusão de nitrato de cálcio na alimentação.

Em relação à quantidade de CO₂ sequestrado e receitas com CREs, o sistema com 3% de nitrato foi o que apresentou maior quantidade de CO₂ sequestrado, 16,5 toneladas, 38% a mais que o sistema com 1,5% que reduziu 10,2 toneladas de CO₂ em relação ao sistema controle. Usando-se de base a venda das CREs pelos valores obtidos no leilão da BMF & BOVESPA (2012), 2,7 € /tonelada de CO₂-eq, os sistemas 1,5% e 3% de nitrato obtiveram uma receita extra de 27,44 e 44,51 €/ano ou, R\$ 878,08 e R\$ 1.424,32, respectivamente, num período de 10 anos, quando se estipulou que os créditos seriam vendidos (cotação do euro mês outubro de 2014, R\$ 3,20). Uma receita praticamente insignificante, porém, além do valor social, pode ser aplicada a venda de CREs por cooperativas no setor de pecuária leiteira ou como moeda de troca em empresas de insumos, estes

valores podem tomar proporções expressivas.

Para avaliação do custo/ benefício nos projetos considerando os custos e a rotação dos sistemas em 10 anos, o VPL, mesmo sem a venda dos CREs, foi mais expressivo nos sistemas com inclusão do nitrato em substituição ao FS (R\$ 22.788,90 e R\$ 68.555,72 para sistema 1,5 e 3% de nitrato, respectivamente) em relação ao sistema controle (R\$ - 111.175,17) e não diferiu com a venda das CREs. Porém, com o aumento da inclusão do nitrato na dieta (1,5 e 3% MS) tanto o VPL (R\$ 22.788,90 e R\$ 68.555,72) como a TIR (14 e 17%) se elevaram, permanecendo superior à taxa do custo de oportunidade do capital, o que significa que, considerando-se a TMA como 10% ao ano o aumento da inclusão de nitrato apresentou-se como alternativa financeiramente viável para o produtor, pois esse ganho está relacionado à maior RMCA (Tabela 8). Contudo, níveis elevados de nitrato na dieta animal podem trazer danos à saúde do animal (LENG et al., 2008).

Tabela 8. VPL e TIR dos sistemas controle e inclusão de 1,5 e 3% de nitrato de cálcio em 10 anos, sem e com a venda dos CERs no mercado voluntário a uma taxa de 10% a.a

Crédito de comparação ¹	Aplicabilidade ²	Sistemas		
		Controle	1,5%	3%
VPL (R\$/ano)	s/CREs	-111.175,17	22.788,90	68.555,72
	c/ CREs	-111.175,17	23.127,47	69.104,82
TIR (% a.a.)	s/CREs	-5%	14%	17%
	c/ CREs	-5%	14%	17%

¹VPL = valor presente líquido; TIR: taxa interna de retorno; ²CREs = certificado de emissões reduzidas.

Como a representação das CREs foi pouco significativa para o montante do projeto, a viabilidade se deu pelo custeio com alimentação, em especial a redução da participação de farelo de soja na dieta total,

uma vez que é um produto com alto valor de venda por competir com a alimentação humana. O sistema controle mostrou-se inviável, resultando em VPL e TIR negativos com valores de R\$ -

111.175,17/ano e -5%, respectivamente. Para mudar este cenário, uma alternativa seria a alteração da dieta ou o aumento da produtividade do rebanho o que acresceria a receita.

Analizando os resultados obtidos pelo VPL dos projetos com inclusão de nitrato de cálcio na dieta com as taxas de redução de CO₂-eq, o produtor teria prioridade nas atribuições de incentivos/ financiamentos no programa ABC (MAPA, 2011) para recuperação das pastagens ou implantação de um sistema de compostagem, uma vez que ampliaria suas reduções.

É importante salientar que a emissão de metano por ruminantes, além de contribuir para a concentração de gases de efeito estufa (BEAUCHEMIN et al., 2008), representa uma perda de até 12% do consumo de energia bruta para o animal (JOHNSON & JOHNSON, 1995; ECKARD et al., 2010). Segundo Kaharabata et al. (2000), uma vaca leiteira pesando, aproximadamente, 600kg pode apresentar produção total variando de 268 a 450 g de CH₄/dia, sendo a energia perdida na forma de metano (13,344kcal/g) suficiente para produzir 4,55 e 7,65 kg de leite com 4% de gordura, respectivamente. Assim, o incentivo a comercialização de crédito de carbono resulta em sistemas de produção mais sustentáveis e mais rentável ao produtor.

Conclui-se que a inclusão de nitrato de cálcio, como fonte de NNP em substituição ao farelo de soja, proporciona redução nas emissões de metano *in vitro*, e já bntem sua eficácia de redução comprovada *in vivo* (LEE & BEAUCHEMIN, 2014). Contudo, o elevado nível de sensibilidade dos resultados impede a afirmação de que o uso de nitrato na alimentação de ruminantes seja uma alternativa para a redução dos custos da dieta, uma vez que a incorporação de nitrato a dieta de ruminantes ainda não

tem sua comercialização aprovada, os custos de comercialização do produto são incertos. Porém é importante salientar que a redução do CO₂-eq nos sistemas representa um fator a mais para a aquisição de financiamento no plano de agricultura de baixa emissão de carbono.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, especificamente ao Laboratório de Nutrição Animal por disponibilizar suas instalações para a realização da primeira fase do estudo.

REFERÊNCIAS

- ALVES, J.W.S.; VIEIRA, S.M.M. **Segundo inventário brasileiro de emissão antrópicas de gases de efeito estufa – relatório de referência: emissões de gases de efeito estufa no tratamento e disposição de resíduos**. Brasília: MCT, CETESB, 2010., p.100.
- BEAUCHEMIN, K.A.; KREUZER, M.; O'MARA, F.; MCALLISTER, T.A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. **Australian Journal Experimental Agricultural**, v.48, p.21-27, 2008.
- BOLSA DE VALORES, MERCADORIAS E FUTUROS DE SÃO PAULO [BM&FBOVESPA]. 2012. **Leilão de Venda de Redução Certificada de Emissão (RCE)**. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/Consulta-Leiloes/leiloes-de-credito-de-carbono-login.aspx?idioma=pt-br>>. Acesso em: 10 out. 2014.

BOZIC, A.K.; ANDERSON, R.C.; CARSTENS, G.E.; RICKE, S.C.; CALLAWAY, T.R.; YOKOYAMA, M.T.; WANG, J.K.; NISBET, D.J. Effects of the methane-inhibitors nitrate, nitroethane, lauric acid, Lauricidin and the Hawaiian marine algae Chaetoceros on ruminal fermentation in vitro. **Bioresource Technology**, v.100, p.4017-4025, 2009.

BUENO, I.C.S.; CABRAL FILHO, S.L.S.; GOBBO, S.P.; LOUVANDINI, H.; VITTI, D.M.S.S.; ABDALLA, A.L. Influence of inoculum source in a gas production method. **Animal Feed Science and Technology**, v.23-124, p.95-105, 2005.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. 2014. **Indicadores de preço**. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/indicador/>>. Acesso em: 10 out. 2014.

CONSELHO PARITÁRIO PRODUTORES/INDÚSTRIAS DE LEITE DO ESTADO DO PARANÁ - CONSELEITE-PARANÁ. 2014. **Valor de Referência para o Leite**. Disponível em: <<http://www.conseleitepr.com.br/conseleite/>>. Acesso em: 20 out. 2014.

ECKARD, R.J.; GRAINGER, C.; KLEIN, C.A.M. Option for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. **Livestock Science**, v.130, p.46-56, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Relatórios de referência**: emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. Brasília: MCT, 2010a. 120p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA [EMBRAPA].

Relatórios de referência: emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos. Brasília: MCT, 2010b. 106 p.

EL-ZAIAT, H. M.; ARAUJO, R. C.; SOLTAN, Y. A.; MORSY, A. S.; LOUVANDINI, H.; PIRES, A. V.; PATINO, H. O.; CORREA, P. S.; ABDALLA, A. L. Encapsulated nitrate and cashew nut shell liquid on blood and rumen constituents, methane emission, and growth performance of lambs. **Journal of Animal Science**, v.92, p.2214-2224, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Homepage da FAO**. 2010. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: 12 out. 2014.

HULSHOF, R.B.A.; BERNDT, A.; GERRITS, W.J.J.; DIJKSTRA, J.; VAN ZIJDERVELD, S.M.; NEWBOLD, J.N.; PERDOK, H.B. Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane-based diets. **Journal of Animal Science**, v.10, p.2527-4209, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2013. **Indicadores estatística de produção pecuária, dezembro**. 2013. Disponível em: <<http://ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 out. 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. 2007. **Mudança do Clima 2007**: a base das ciências físicas. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0015/15130.pdf>. Acesso em: 5 out. 2014.

JEYANATHAN, J.; KIRS, M.;
RONIMUS, R.S.; HOSKIN, S.O.;
JANSSEN, P.H. Methanogen community
structure in the rumens of farmed sheep,
cattle and red deer fed different diets.
Microbiology Ecology, v.76, p.311-326,
2011.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E.
Methane emissions from cattle. **Journal of
Animal Science**, v.73, p.2483-2492, 1995.

KAHARABATA, S.K.; SCHUEPP, P.;
DESJARDINS, R.L. Estimating methane
emissions from dairy cattle housed in a
barn and feedlot using an atmospheric
tracer. **Environmental Science
Technology**, v.34, p.3296-3302, 2000.

LEE, C.; BEAUCHEMIN, K.A. A review
of feeding supplementary nitrate to
ruminant animals: Nitrate toxicity, methane
emissions, and production performance.
Canadian Journal of Animal Science,
v.94, p.557-570, 2014.

LENG, R.A. **The potential of feeding
nitrate to reduce enteric methane
production in ruminants**. A Report to the
Department of Climate Change.
Commonwealth Government of Australia,
Canberra. Australia. 2008. 82 p. Disponível
em: <[http://www.penambulbooks.
com/Downloads/Leng-
Final%20Modified%20%2017-9-
2008.pdf](http://www.penambulbooks.com/Downloads/Leng-Final%20Modified%20%2017-9-2008.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2015.

LENG, R.A.; PRESTON, T.R. Further
considerations of the potential of nitrate as
a high affinity electron acceptor to lower
enteric methane production in ruminants.
**Livestock Research for Rural
Development**, v.22, p.221, 2010.

LI, L.; SILVEIRA, C.I.; NOLAN, J.V.;
GODWIN, I.R.; LENG, R.A.; HEGARTY,
R.S. Effect of added dietary nitrate and
elemental sulfur on wool growth and
methane emission of Merino lambs.
Animal Production Science, v.53,
p.1195-1201, 2013.

LONGO, C.; BUENO, I.C.S.; NOZELLA,
E.F.; GODDOY, P.B.; CABRAL FILHO,
S.L.S.; ABDALLA, A.L. The influence of
head-space and inoculum dilution on in
vitro ruminal methane measurements.
International Congress Series, v.1293,
p.62-65, 2006.

LOPES, M.A.; CARVALHO, F.M. **Custo
de Produção do leite**. Lavras: UFLA,
2000. 42p. (Boletim Agropecuário, 32).

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO -
MAPA. **Projeções do Agronegócio
2010/2011 e 2020/2021 e Plano de
Agricultura de Baixa Emissão de
Carbono (ABC)**. 2011. Disponível em:
<<http://agricultura.gov.br>>. Acesso em: 15
out. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE -
MMA. **Critérios de elegibilidade e
indicadores de sustentabilidade para
avaliação de projetos que contribuam
para a mitigação das mudanças
climáticas e para a promoção do
desenvolvimento sustentável**. Brasília,
2002. 42p.

MOSS, A.R.; JOUANY, J.; NEWBOLD, J.
Methane production by ruminants: its
contribution to global warming. **Annales
de Zootechnie**, v.49, p.231-253, 2000.

RIBEIRO JUNIOR, J.C.; LIMA, J.B.A.; LEMOS, K.L. de; SILVA, L.C.C. da; TAMANINI, R.; BELOTI, V. Microbiota proteolítica e lipolítica de leite cru refrigerado da região nordeste e sul do Brasil. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v.36, n.6, suplemento 2, p.4289-4296, 2015.

SAR, C.; MWENYA, B.; SANTOSO, B.; TAKAURA, K.; MORIKAWA, R.; ISOGAI, N.; ASAKURA, Y.; TORIDE, Y.; TAKAHASHI, J. Effect of *Escherichia coli* wild type or its derivative with high nitrite reductase activity on in vitro ruminal methanogenesis and nitrate/nitrite reduction. **Journal of Animal Science**, v.83, p.644-652, 2005.

SILIVONG, P.; PRESTON, T.R.; LENG, R.A. Effect of sulphur and calcium nitrate on methane production by goats fed a basal diet of molasses supplemented with Mimosa (*Mimosa pigra*) foliage. **Livestock Research for Rural Development** v. 23, n.3, 2011.

STEINFEL, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; HAAN, C. **Livestock's long shadow: environmental issues and options**. Rome: FAO, 2006. 24 p.

THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S.; MCALLAN, A.B.; FRANCE, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, p.185-197, 1994.

UNGERFELD, E.M.; KOHN, R.A. The role of thermodynamics in the control of ruminal fermentation. In: SEJRSEN, K.; HVELPLUND, T.; NIELSEN, M.O.

(Editors). **Ruminant Physiology: digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress**. Wageningen, Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 2006. p.55-85.

VAN ZIJDERVELD, S.M.; GERRITS, W.J.J.; APAJALAHTI, J.A.; NEWBOLD, J.R.; DIJKSTRA, J.; LENG, R.A.; PERDOK, H.B. Nitrate and sulfate: Effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep. **Journal Dairy Science**, v.93, p.5856-5866, 2010.

WESTON, J.F.; BRIGHAM, E.F. **Fundamentos da administração financeira**. 10 ed. São Paulo: MAKRON Books, 2000. 1030p.

Data de recebimento: 05/01/2016

Data de aprovação: 29/07/2016