

Balanço de gases de efeito estufa em sistemas de produção de bovinos de corte

Brunes, L.C.¹ e Couto, V.R.M.²

¹Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Escola de Veterinária de Zootecnia. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás. Brasil.

²Departamento de Produção Animal. Escola de Veterinária e Zootecnia. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás. Brasil.

RESUMO

A presente simulação foi desenvolvida com o objetivo de estimar a emissão de gases de efeito estufa (GEE) em diferentes sistemas existentes, bem como o sequestro pelas áreas utilizadas como pastagem. Foram criados quatro cenários hipotéticos de propriedades que trabalham com bovinos de corte, sistema em áreas de pastagens degradadas, com índices equivalentes à média brasileira (SMB), sistema em áreas de pastagens bem manejadas (SMP), sistema de cria e recria em áreas de pastagens bem manejadas e a terminação ocorreu em confinamento (SMC) e sistema em áreas de pastagens bem manejadas com suplementação proteico-energética (SIP). As fontes de GEE consideradas foram metano entérico e fecal, óxido nitroso oriundo dos dejetos e dióxido de carbono oriundo das atividades agrícolas e de suplementação dos animais. Foram utilizadas equações para estimativa da produção de GEE, que se baseiam na qualidade da dieta, no desempenho dos animais e na duração de cada ciclo, utilizando-se a metodologia do Painel intergovernamental de mudanças climáticas (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change), nível 2. O SMP apresentou a maior emissão com 199748,72 t CO₂eq, seguido do SMB, SMC e SIP, com 151 012,17, 125356,63 e 102418,01 t CO₂eq, respectivamente, por ciclo de produção, sendo que a duração destes foram de 42, 30, 24 e 18 meses, respectivamente. Contudo a emissão de CO₂eq individual foi maior no SMB, com 259,23 t CO₂eq/animal. A relação entre a emissão de CO₂ e a produção de carcaça também foi menor nos sistemas mais intensificados. A adoção de sistemas mais intensivos de produção, com a adoção de sistema de confinamento ou suplementação durante todo o ciclo, se mostrou mais eficiente, tanto produtivo quanto ambientalmente, por reduzir a emissão de GEE e aumentar a produção por área.

Greenhouse gas balance in beef cattle production systems

SUMMARY

This simulation was developed aiming to estimate the emission of greenhouse gas (GHG) in different production systems, as well as the uptake by the pasture areas. Four hypothetical scenarios for beef cattle breeding systems were developed. The first system occurred in areas of degraded pastures, with production rates similar to Brazilian average (SMB), the second occurred in areas of well-managed pastures (SMP), the third occurred in a life-cycle raising systems, in which the first part of the raising took place in areas of well-managed pastures and the termination part was in feedlot (SMC), and the fourth occurred in areas of well-managed pastures with protein and energy supplementation (SIP). The GHG sources considered were enteric and fecal methane, nitrous oxide from the wastes and carbon dioxide from agricultural and the animals' supplementation activities. The equations used to estimate the GHG production were based on the diet quality, animal performance and the duration of each cycle, using the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) method, level 2. The SMP showed higher emission with 199.748.72, followed by SMB, SMC and SIP with 151.012.17; 125.356.63 and 102.418.01 t CO₂eq per production cycle, and their duration of 42, 30, 24 and 18 months, respectively. However, the individual CO₂eq emission was higher in SMB, with 259.23 t CO₂eq / animal. The relationship between CO₂ emissions and carcass production was also lower for the more intensified systems. The adoption of more intensive production systems, the adoption of feedlot systems or supplementation through the entire cycle, proved to be more efficient both productive and environmentally, by reducing GHG emissions and increasing production per area.

PALAVRAS-CHAVE ADICIONAIS

Dióxido de carbono.
Metano.
Óxido nitroso.
Estimativa.

ADDITIONAL KEYWORDS

Carbon dioxide.
Methane.
Nitrous oxide.
Estimation.

INFORMATION

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 10.02.2015
Aceptado/Accepted: 16.12.2016
On-line: 15.04.2017
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
ludmillabrunes@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa lugar de destaque como produtor de alimento e um dos principais setores responsável por isso é o de produção de bovinos de corte. No ano de 2014, o Brasil apresentou o segundo maior rebanho

bovino, com 208 milhões de cabeças, ficando atrás somente da Índia (USDA, 2015). No ano de 2013 foram abatidas 34,43 milhões de cabeças, totalizando 8,17 milhões de toneladas de carcaça. Deste total, 14% (1 184 533 toneladas) foram destinadas a exportação resultando em uma receita de US\$ 5 358,66 milhões

(IBGE, 2014). Dentre os segmentos da agropecuária, a bovinocultura vem sendo rotulada como uma das mais prejudiciais ao meio ambiente, devido a emissão de gases que podem contribuir para o aumento excessivo do efeito estufa, os quais são provenientes da fermentação ruminal, da fermentação de dejetos e do manejo de biomassa (Monteiro, 2009). Além disso, há também a emissão indireta de gases de efeito estufa (GEE) ligado ao cultivo de espécies destinadas a alimentação dos animais.

Como um dos maiores produtores de alimento, o Brasil é apontado como um dos países que será capaz de suprir a demanda crescente de alimento, consequência do aumento populacional, projetado pela ONU (2014) em 2,5 bilhões de pessoas em 2050. O aumento da demanda de alimento também se aplicará aos alimentos de origem animal e, em decorrência do aumento de produção, espera-se que haja aumento acentuado na produção de GEE. A agricultura e a pecuária são responsabilizadas pela emissão de três GEE: o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). Apesar de emitidos em menores quantidades que o CO_2 , o CH_4 e o N_2O são os maiores alvos de crítica, por apresentar maior potencial de aquecimento que o CO_2 (IPCC, 2006).

A emissão de CO_2 é resultado, principalmente, da queima de combustíveis fósseis e renováveis. Por isso, a contribuição da agropecuária para este gás, geralmente, não excede 9% do total de CO_2 (FAO, 2015). Entretanto, a agropecuária libera CO_2 durante a queima de combustíveis fósseis durante a produção e utilização de fertilizantes agrícolas, além do uso de pastagens degradadas, desmatamento de florestas e mudança no uso da terra e liberação de carbono dos solos cultivados (FAO, 2015).

Já o CH_4 é produzido, principalmente, na fermentação ruminal funcionando como um aceptor de elétrons e dreno de hidrogênio (H_2) (Kozloski, 2011). Ungerfeld (2015), em uma meta-análise, observou que o acúmulo de H_2 no rúmen promove efeitos deletérios à fermentação ruminal, retardando o crescimento microbiano e inibindo a degradação de materiais vegetais. Logo, a formação de CH_4 contribui para o aumento da taxa de fermentação pela eliminação do efeito inibitório do H_2 na degradação microbiana de materiais vegetais. Além disso, no ciclo de produção de bovinos de corte, o CH_4 pode ser resultado da fermentação intestinal e fermentação dos dejetos (Machado *et al.*, 2011).

Em relação ao óxido nitroso, a produção animal, incluindo ruminantes e não ruminantes, responde por mais de 65% do total das emissões (FAO, 2015). Durante o ciclo de produção de bovinos, o N_2O pode ser oriundo da utilização de fertilizantes nitrogenados, da mineralização da matéria orgânica adicionada ao solo, da lixiviação de solos, da queima de resíduos agrícolas e, principalmente, da adição ou depósito de dejetos animais nos solos. A deposição de nitrogênio (N), seja através do processo de adubação ou pelas fezes e urina de bovinos, aumenta a concentração de N no solo e promove aumento na emissão de N_2O por promover aumento nas concentrações de N mineral no solo (Piva *et al.*, 2014).

Na produção a pasto, quando as gramíneas são bem manejadas e os animais possuem maior eficiência produtiva, o sistema funciona também como agente mitigador de GEE e não somente como agente poluidor (Wang, 2015). Sob boas condições, as pastagens poderão promover maior sequestro de carbono, o que pode conter e reverter o aquecimento resultante do efeito estufa, por meio da captura e estocagem de CO_2 da atmosfera (Cardoso, 2012). Contudo, os baixos índices zootécnicos nos sistemas pecuários, causados pelas pastagens degradadas ou com baixo potencial de produção, resultam em maiores quantidades de gases de efeito estufa por kg de carne ou leite produzidos (IPCC, 2006). Estudos recentes demonstram que é possível alcançar uma taxa de sequestro de carbono de até 1 765 kg/ha/ano, ao promover a recuperação das pastagens (Wang, 2015).

O sistema de produção mais utilizado no Brasil é baseado em pastagens, por apresentar baixo custo de produção e facilidade de manejo, oferecendo melhores condições de sanidade e conforto animal. Estima-se que dos 190 milhões de hectares de pastagens cultivadas, no Brasil, entre 27 e 42% estejam em algum estado de degradação (Silva *et al.*, 2013). Assim, o Brasil apresenta grande potencial para mitigação de GEE por meio da recuperação das áreas de pastagens degradadas, contribuindo para a remoção do CO_2 atmosférico.

Além do impacto ao meio ambiente, a emissão de GEE por bovinos, como o CH_4 , que possui o teor energético de 55,65 MJ/kg (IPCC, 2006), representa perda de parte da energia ingerida, resultando em queda no desempenho e na produtividade animal. O CH_4 oriundo da metanogênese representa uma perda de até 18% da energia bruta (Kozloski, 2011). Assim, estratégias que reduzam as perdas de energia ingerida na forma de CH_4 , poderão elevar a eficiência produtiva e reduzir o impacto ambiental no sistema de produção. Contudo, estudos que quantifiquem a emissão de GEE nos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil ainda são incipientes.

A utilização de simulação, como forma de estimar a produção de CH_4 , é uma ferramenta útil e flexível, visto que a medição direta da produção de CH_4 em animais requer equipamentos complexos e de alto custo. Além disso, a simulação permite compreender e aperfeiçoar o desempenho dos animais nos diferentes sistemas de produção (Castelán-Ortega, 2014). Considerando a frequente discussão sobre a emissão de GEE pelos bovinos e o impacto desta sob o meio ambiente, objetivou-se com o presente trabalho apresentar alguns resultados disponíveis na literatura sobre a emissão de GEE pela agropecuária bem como prever o balanço de GEE em quatro cenários de ciclo completo de produção de bovinos de corte, criados sob condições típicas brasileiras.

PARÂMETROS UTILIZADOS

Para realização da predição do balanço de GEE foram criados quatro cenários hipotéticos de propriedades que trabalham com a produção de bovinos de corte e que englobam os diferentes sistemas existentes no Centro-Oeste. Estes cenários foram definidos basean-

do-se em propriedades típicas brasileiras, tecnificadas e/ou intensificadas.

O cenário modelo, sistema Média Brasileira (SMB), simulou a situação da maioria das propriedades que trabalham com bovinocultura. Para o Sistema Melhorado a Pasto (SMP), além da utilização de manejo adequado de pastagem, os animais receberiam suplementação com sal proteinado durante a época seca, na fase de recria, promovendo a redução do ciclo para 30 meses. O mesmo manejo do SMP foi preconizado para o Sistema Melhorado com Terminação em Confinamento (SMC), porém com fase de terminação diferente, o que reduziria a idade para 24 meses. A dieta preconizada para o confinamento, formulada com o auxílio do software BR-Corte, foi composta de silagem de milho, farelo de soja, caroço de algodão, casca de soja e milho moído. A área total de cada sistema foi de 522,40 hectares. A área total para a produção de silagem, utilizada no SMC, foi calculada em função do número de animais alimentados (533), período de confinamento (90 dias) e consumo diário individual (8,4 kg/MS/dia). Em relação ao Sistema Intensivo a Pasto (SIP), todo o ciclo seria realizado sob pastejo, sendo que em todas as fases os animais seriam suplementados, com concentrado composto por milho e farelo de soja. Os suplementos foram formulados para atender as exigências de desempenho dos animais, com o auxílio do software BR-Corte.

O desempenho dos animais (Tabela I) foi previsto baseando-se na composição química da pastagem e dos suplementos utilizados, com o auxílio do programa CQBAL 3.0 (Valadares Filho *et al.*, 2014). Para o sistema SMB, foi preconizada uma pastagem com cerca de 50% de nutrientes digestíveis totais (NDT) e 6% de proteína bruta (PB), variando com a época do ano. Já para o SMP, SMC e SIP os teores de NDT e PB das áreas de pastagem preconizados foram de 60% e 9%, respectivamente, variando com a época do ano. A dieta preconizada para o confinamento do SMC continha 14% de PB e 78% de NDT. Para o sistema SIP, os suplementos preconizados continham 70%, 80% e 82% de NDT, e 18, 16 e 14% de PB para as fases de cria, recria e engorda, respectivamente. A variação nos teores de NDT e PB foram consideradas nos cálculos da emissão de gases.

A estação de monta, tomada como padrão para SMP, SMC e SIP, duraria cerca de três meses, com a relação de um touro para 25 vacas. Os nascimentos ocorreriam entre os meses de setembro e dezembro, sendo todos os bezerros desmamados aos sete meses. A produção de leite foi estimada com base no trabalho de Cerdótes *et al.* (2004), preconizando a produção de 3,25 kg/vaca/dia para o cenário SMB e 3,85 kg/vaca/dia para os demais cenários.

A espécie forrageira preconizada, para todos os cenários como padrão, foi *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, porque esta espécie está presente em 30% das áreas ocupadas por pastagens cultivadas no Brasil (Jank *et al.*, 2014). A variação entre os sistemas foi na produção em toneladas por hectare (t/ha) e na eficiência de pastejo, de acordo com o nível de produtividade. A produção de forragem preconizada foi de 9,4 t/ha para o cenário SMB e 13,5 t/ha para os demais cenários (Paulino *et al.*, 2011). Já a eficiência de pastejo preconizada foi de 30%, 40%, 40% e 50% para os cenários SMB, SMP, SMC e SIP, respectivamente. Foi preconizada a produtividade de 40 t/ha para silagem de milho e 7,5 t/ha para milho grão (Cruz *et al.*, 2010). O fornecimento de sal mineral seria semelhante para os quatro cenários, em cocho exclusivo para mineral.

A composição do rebanho do cenário SMB (Tabela III) foi calculada, utilizando as equações propostas por Gouvello *et al.* (2010) e baseando-se em um rebanho estável com 200 matrizes, calculando para este a área útil necessária, de acordo com a taxa de lotação proposta. A partir da área útil do primeiro cenário e dos índices zootécnicos propostos (Tabela II) (Euclides Filho, 2001; Pereira *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2006), foi calculada a composição dos outros três cenários (Tabela III), para que todos ocupassem a mesma área, utilizando as equações propostas por Gouvello *et al.* (2010). O número de cabeças de cada categoria foi multiplicado pelo equivalente em UA para cada categoria, obtendo assim o número de unidade animal (UA) para cada cenário. O número de animais abatidos foi de 88, 405, 533 e 531 para os sistemas SMB, SMP, SMC e SIP, respectivamente. Já a produção total de carne por ciclo de produção foi de 19 857; 95 444; 141 549 e 125 559, para os sistemas SMB, SMP, SMC e SIP, respectivamente.

Tabela I. Ganho médio diário dos cenários simulados (Daily weight gain of the hypothetical scenarios).

Fases	Ganho médio diário (kg)							
	SMB		SMP		SMC		SIP	
	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas
Cria – águas	0,50	0,49	0,62	0,60	0,66	0,61	0,80	0,78
Recria – 1° seca	0,10	0,09	0,25	0,23	0,25	0,23	0,65	0,63
Recria – águas	0,45	0,44	0,65	0,60	0,65	0,60	-	-
Engorda – confinamento			-	-	1,57	1,50	-	-
Engorda – águas	0,42	0,40	0,58	0,53	-	-	0,90	0,88
Idade ao abate (meses)	42		30		24		18	

SMB= média brasileira; SMP= sistema melhorado a pasto; SMC= sistema melhorado com terminação em confinamento; SIP= intensivo a pasto.

Tabela II. Índices zootécnicos dos cenários simulados (Zootechnic indexes of the simulated scenarios).

Índices zootécnicos	SMB	SMP	SMC	SIP
Natalidade (%)	60	80	80	90
Mortalidade até a desmama (%)	8	4	4	2
Taxa de desmama (%)	55	75	75	88
Mortalidade até 1 ano (%)	4	2	2	1
Mortalidade 1 a 2 anos (%)	4	2	2	1
Mortalidade acima de 2 anos (%)	2	1	1	1
Idade à primeira cria (meses)	48	35	35	30
Intervalo entre partos (meses)	21	16	16	14
Idade média de abate (meses)	42	30	24	18
Taxa de abate (%)	17	22	22	35
Peso médio de carcaça (kg)	230	240	270	240
Rendimento de carcaça (%)	53	54	56	54
Taxa de lotação (UA / ha)	0,9	3	3	5
Reposição de fêmeas (%)	5	8	8	10
Reposição de machos (%)	5	8	8	10

Adaptado de Euclides Filho (2001), Pereira *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2006). SMB= média brasileira; SMP= sistema melhorado a pasto; SMC= sistema melhorado com terminação em confinamento; SIP= intensivo a pasto; UA=Unidade animal.

EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Como fonte de GEE foram consideradas o CH₄ da fermentação entérica, CH₄ oriundo das fezes, o N₂O emitido pela urina e pelas fezes dos bovinos. Além disso, foram contabilizados o CO₂ provenientes das atividades agrícolas, desde a fabricação, transporte e distribuição dos insumos. Também foram consideradas as emissões provenientes da suplementação mineral dos animais.

Para cálculo das emissões de CH₄ foram seguidas as recomendações propostas pelo IPCC (2006), no nível dois, baseando-se na composição do rebanho (**Tabela III**) e desempenho de cada categoria nos quatro cenários hipotéticos. A escolha do método proposto pelo IPCC, nível dois, foi devido a disponibilidade dos dados, possibilidade de estimação da emissão líquidas dos Gases de Efeito estufa, e também foi validada por diversas pesquisas, disponíveis na literatura. Para estimar as exigências de energia líquida para manutenção (ELm) (MJ/cabeça/dia), foi utilizada a Equação 1 (NRC, 1996). Com base nesta equação, foi calculada a exigência líquida para manutenção diária e esta foi somada a fim de se estimar a exigência líquida para manutenção total.

$$ELm = Cfi \cdot PV^{0,75} \quad (1)$$

Onde PV é o peso vivo (kg), sendo utilizado o peso médio com base na categoria e idade, Cfi é um coeficiente de energia de manutenção (MJ/dia/kg) que varia de acordo com a categoria animal (0,386 para vacas lactantes; 0,370 para touros; e 0,322 para outras categorias). Além disso, foi feito um acréscimo de 36% na ELm para os animais do SMB; por ser um sistema no qual os animais ficariam em pasto deficiente, seria necessário percorrer uma grande área para a obtenção de

alimento, aumentando a exigência de energia. Para os animais do sistema SMP, SMC (exceto a fase confinada) e SIP foram adicionados 17% na ELm, valor este que representa a energia gasta para a locomoção na área de pastejo (NRC, 1996).

As exigências de energia líquida para o ganho (ELg), em MJ/dia, foram calculadas (Equação 2) baseando-se no peso (kg) e ganho de peso (GMD) (kg/dia) (NRC, 1996).

$$ELg = 22,02 \cdot (PV / (C \cdot PA))^{0,75} \cdot GMD / dia^{1,097} \quad (2)$$

Onde PA (kg) é o peso de animal adulto, GMD é o ganho de peso diário (kg/dia), e C é um coeficiente com valores de 0,8 para fêmeas; 1,0 para novilhos castrados e 1,2 para machos inteiros (NRC, 1996).

Para vacas, as exigências de energia líquida para a lactação (ELI) foram calculadas baseadas na Equação 3, proposta pelo NRC (1996).

$$ELI = PL \cdot (1,47 + 0,40 \cdot G) \quad (3)$$

Onde PL é a produção de leite (kg/dia) e G é o teor de gordura do leite (%).

A energia líquida necessária para a gestação ELp foi calculada para fêmeas, como uma fração da energia líquida necessária para a manutenção, pela Equação 4 (NRC, 1996).

$$ELp = 0,10 \cdot ELm \quad (4)$$

Para os valores de NDT, fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), PB, lignina e energia digestível (ED) ao longo dos meses da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, milho grão, milho silagem e farelo de soja foram utilizados os valores obtidos no software CQBAL 3.0 (Valadares Filho *et al.*, 2014). Por meio das Equações 5 e

6 (Gibbs e Johnson, 1993), os valores de ED foram convertidos em energia líquida da dieta disponível para manutenção (ELm/ED) e também em energia líquida disponível para o crescimento (ELg/ED).

$$\text{ELm/ED} = [1,123 - 0,004092 * \text{ED} + 0,00001126 * \text{ED}^2 - (25,4/\text{ED})] \text{ (5)}$$

$$\text{ELg/ED} = [1,164 - 0,005160 * \text{ED} + 0,00001308 * \text{ED}^2 - (37,4/\text{ED})] \text{ (6)}$$

Após, foi calculada a ingestão de energia bruta (EBi) pela Equação 7 (IPCC, 2006). Onde DE é a digestibilidade (%) da energia da dieta para cada categoria (Gibbs e Johnson, 1993).

$$\text{EBi} = [(\text{ELm} + \text{ELI} + \text{ELp}) / \text{ELm/ED} + (\text{ELg} / \text{ELg/ED})] / (\text{DE}/100) \text{ (7)}$$

EMIÇÃO DE CH₄ ENTÉRICO

A ingestão de energia bruta foi convertida nos fatores de emissão de metano pela Equação 8 (IPCC, 2006). Onde EFi é a emissão de CH₄ em kg/cabeça/ano e Ym é a fração da energia bruta usada na conversão de CH₄ e foi definido de acordo com a qualidade da dieta. Para dietas contendo forrageiras de baixa qualidade (sistema SMB) foi utilizado o fator de emissão de 7,5%; para dietas baseadas em forragens de melhor qualidade (sistemas SMP e SMC), foi utilizado o fator de 7,0%; e para dietas com inclusão de grãos (sistema SIP e fase confinada do SMC) foi utilizado o fator de 6% (Dijkstra, 2009). Optou-se por estes fatores de emissão, devido estes terem sido validados para dietas específicas, tais como as apresentadas nesta simulação e que podem influenciar a emissão de CH₄ entérico, permitindo, dessa forma, estimativas mais próximas da realidade.

$$\text{EFi} = (\text{EBi} \times \text{Ym} \times \text{dias}) / 55,65 \text{ (8)}$$

EMIÇÃO DE CH₄ E N₂O PELOS DEJETOS

A produção de fezes foi estimada baseando-se na ingestão de matéria seca (IMS), no teor de NDT e no teor de EE do alimento ingerido (Monteiro, 2009). Para prever a IMS foram utilizadas as equações propostas

por Gouvello *et al.* (2010), para animais em crescimento e engorda e na fase adulta, baseada no peso vivo e na ELM.

Os fatores de emissão de CH₄ fecal utilizados foram obtidos por Cardoso (2012), em estudo conduzido em áreas de pastagens em região tropical. Já para a emissão de óxido nitroso, foi levado em consideração os teores de PB das dietas, específicas para cada fase e/ou sistema, na estimativa da produção e emissão de N₂O pelos dejetos. Além disso, devido a influência do sistema de produção e do período do ano na concentração de N nas fezes e na urina, bem como na emissão de N₂O por estes, preconizou-se concentrações diferentes de N e emissão de N₂O para os sistemas a pasto nas épocas de chuva e seca e para o sistema de confinamento. Na época das águas, a maior umidade do solo promove maior emissão de N₂O, devido a maior atividade microbiana que acelera a decomposição da matéria orgânica e afeta a dinâmica do N (Alves, 2009); Caetano, 2008; Denmead, 2000; Gomes *et al.*, 2009).

CÁLCULO DA EMISSÃO DE CO₂

Para a quantificação de CO₂ emitido durante produção de milho grão, silagem de milho e demais insumos necessários para a suplementação e alimentação dos animais contabilizou-se todos os gases, desde a sua plantio, transporte, aplicação e emissão direta após seu uso nas propriedades. Quanto às fontes de minerais para alimentação foram contabilizadas as emissões de CO₂ para fósforo, potássio e uréia. Os fatores de emissão utilizados foram os obtidos por Monteiro (2009).

Considerando que o cenário da SMB não estava sendo manejado adequadamente, a dose de adubação seria de 50, 70, 50 kg de N, fósforo (P) e potássio (K) por ha, respectivamente. Enquanto para os outros cenários, que estavam em melhores condições por manejo e técnicas de conservações adequadas, considerou-se a dose anual de 100, 140 e 100 kg de N, P e K por ha, respectivamente. Preconizou-se que correção da acidez ocorreria, nos cenários SMP, SMC e SIP, a cada 4 anos,

Tabela III. Número de animais por categoria que compõem o rebanho em função do cenário simulado (Number of animals per herd category according to the simulated scenario).

Número de animais	SMB	SMP	SMC	SIP
Matrizes	200	603	680	808
Touros	9	25	28	33
Bezerros	59	240	306	320
Garrote	57	237	304	317
Machos em engorda	54	228	297	298
Bezerras	59	240	306	320
Novilha 1 a 2 anos	57	237	303	317
Novilha 2 a 3 anos	54	0	0	0
Fêmeas de descarte	34	177	235	233
Tourinhos	1	5	6	6
Total	585	1993	2465	2649

SMB= média brasileira; SMP= sistema melhorado com terminação a pasto; SMC= sistema melhorado com terminação em confinamento; SIP= intensivo a pasto.

Tabela IV. Produção de metano fecal + entérico pelas diferentes categorias de animais nos sistemas simulados (Production of fecal + enteric methane by the different animal categories in the hypothetical systems).

Categorias	SMB	SMP	SMC	SIP
	Emissão de CH ₄ entérico + fecal por animal (kg/ciclo)			
Touros	102,72	71,95	71,40	57,52
Vacas	98,06	74,73	74,34	59,94
Bezerros	19,31	14,98	14,98	15,92
Bezerras	19,25	14,50	14,50	15,62
Novilho	67,75	37,22	42,76	26,49
Novilha	65,76	37,08	43,03	26,82
Vaca de descarte	62,63	61,70	21,88	25,97
Macho em terminação	63,44	61,37	21,86	24,84
Emissão de CH ₄ entérico + fecal por rebanho (kg/ciclo)				
CH ₄ (entérico)	37 268	82 182	81 891	75 605
CH ₄ (Fezes)	4,5	4,36	3,42	3,26
Emissão de CH ₄ (kg/ kg carcaça)	1,88	0,97	0,58	0,60

SMB = média brasileira; SMP= sistema melhorado a pasto; SMC= sistema melhorado com terminação em confinamento; SIP= intensivo a pasto.

sendo utilizada a dose de 200 kg/ha de calcário dolomítico (Sousa e Lobato, 2004).

BALANÇO DAS EMISSÕES TOTAIS DE GEE

Todos os gases contabilizados pelas fontes envolvidas nos cenários hipotéticos da pecuária de corte foram convertidos em t CO₂eq (Equação 9), baseadas na metodologia proposta pelo IPCC (2007). Optou-se pela conversão de todos os GEE para CO₂ visando deixá-los na mesma unidade de medida, facilitando, assim, a comparação dos cenários. Onde TCO₂ é a emissão de CO₂ pelo rebanho de cada cenário em cada ciclo; X1 é a emissão de CH₄ oriundo da fermentação entérica e das fezes do rebanho durante cada ciclo, X2 é a emissão de N₂O oriundo das fezes e urina do rebanho durante cada ciclo; X3 é a emissão de CO₂ das demais atividades (combustível, agricultura, adubação de pastagem, suplementação mineral, etc.). Para essa conversão, foi utilizado o fator referente ao potencial de aquecimento global de cada gás em relação ao CO₂, que é de 25 e 298 para o CH₄ e o N₂O, respectivamente (IPCC, 2007).

$$T(\text{CO}_2) = (25X1) + (298X2) + X3 \quad (9)$$

As taxas de sequestro ou perda de C foram calculadas baseando-se nos fatores de mudança no estoque de carbono obtido por Maia *et al.* (2009). Para obter o balanço entre o sequestro de CO₂ e a emissão do mesmo em cada cenário, foram subtraídos o sequestro ou perda de carbono pelo solo e pastagem na área útil de cada cenário das emissões totais de CO₂eq pelo rebanho dos respectivos cenários (Equação 10). Onde ΔC é o sequestro ou perda de carbono pelo solo. O valor 44/12 é o fator de transformação da variação do estoque de C do solo em CO₂eq (IPCC, 2007).

$$\text{Saldo de CO}_2\text{eq} = T(\text{CO}_2) - (\Delta C) 44/12 \quad (10)$$

O ΔC adotado foi de -0,28; -0,03 e 0,61, para pastagens degradadas, nominais e bem manejadas, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

EMISSÕES DE GEE EM DIFERENTES CENÁRIOS

EMISSÃO DE CH₄

Comparando-se as emissões de CH₄, observa-se que a produção entérica total por ciclo de produção em cada cenário foi maior no SMP, seguido por SMC, SIP e SMB (Tabela IV). A maior emissão entérica total de CH₄ do cenário SMP em comparação ao SMB ocorreu porque a melhoria da pastagem permitiu a intensificação da produção e consequentemente, aumento do número de animais, aumentando também a emissão total de metano. Como a taxa de lotação passou de 0,9 para 3 UA/ha, o número de animais passou de 585 no cenário SMB, para 1993 no cenário SMP, considerando áreas úteis semelhantes, cerca de 522 hectares. Ainda em comparação com o SMP, a emissão entérica total de CH₄ foi menor nos cenários SMC e SIP (Tabela IV), porque a maior intensificação, por meio da adoção do sistema de confinamento para terminação ou por meio da suplementação em todas as fases, permitiu a redução da idade de abate e, consequentemente, por ciclo de produção.

A redução na emissão total de CH₄ também pode ser atribuída à melhora na qualidade do alimento que proporcionou melhor desempenho dos animais, contrabalanceando o aumento do número de animais por área. Além disso, esta redução também pode ser atribuída aos fatores de emissão de CH₄ utilizados na presente simulação. Alimentos com maior concentração energética, resultam em menor consumo de EB por unidade de energia requerida, e assim, menores emissões de CH₄. De fato, a utilização alimentos com maior

concentração energética, tais como a silagem de milho ou de grãos, em substituição a gramíneas, pode reduzir a emissão de metano pelos ruminantes. Isso porque a presença de amido dos grãos na dieta, além de favorecer a produção de propionato, promove aumento do consumo voluntário, o que, conseqüentemente, reduz o tempo de retenção da digesta no rúmen e restringe a fermentação ruminal (Goularte *et al.*, 2011). Ademais, a melhoria da qualidade da dieta, através do aumento da digestão, promove aumento da taxa de passagem no rúmen, o que resulta em menor produção de H_2 e, conseqüentemente, de metano (Janseem, 2010).

A redução na emissão por animal também pode ser observada quando há melhoria da qualidade da forragem, representado pelo sistema SMP em comparação com SMB, apesar de ser observado aumento na produção total no ciclo de produção do SMP. Isso porque, o aumento da digestibilidade promove aumento na taxa de passagem do alimento, e assim, reduz o tempo de retenção do alimento no rúmen e a produção de CH_4 , conforme observado na **tabela IV**. O manejo adequado das áreas de pastejo ocorrido nos cenários SMP, SMC e SIP possibilitou aumentar tanto a quantidade como a qualidade da pastagem disponível para os animais. A melhoria na qualidade do volumoso ofertado aos animais, além de aumentar a eficiência alimentar e o desempenho, promove redução da produção de gás CH_4 por animal e incremento no desempenho (Lopes, 2013).

Comparando os sistemas intensificados, a redução da emissão de metano total por ciclo de produção ocorreu, simultaneamente, com o aumento do número de animais no rebanho, passando de um total de 1 993 animais no sistema SMP, para 2 465 e 2 469 para os sistemas SMC e SIP, respectivamente. Porém, o ciclo do SIP teve duração de 18 meses, 3 a menos que o SMC e 12 meses a menos que o SMP. A redução da idade de abate também promoveu menor emissão de total CH_4 fecal (**Tabela IV**), visto que foi calculada de acordo com o tempo de permanência de cada animal em cada fase do sistema e também pelo peso vivo.

Analisando a produção de CH_4 individual por ciclo (**Tabela IV**) foi possível observar uma redução na emissão de CH_4 à medida que promoveu melhoria nos índices zootécnicos dos cenários, como a taxa de natalidade, taxa de prenhez, capacidade de suporte da área e ganho de peso; e também à medida que melhorou a alimentação dos animais, seja por inclusão de alimentos de maior digestibilidade, por melhoria na qualidade da pastagem ou pela utilização de alimentos concentrados. A melhoria da alimentação e dos índices zootécnicos permitiu a redução do tempo de permanência dos animais em cada fase, resultando no encurtamento do ciclo de produção, o que levou a uma menor produção individual de CH_4 . O sistema SMB, que representa animais abatidos aos 42 meses, foi caracterizado por maior permanência do animal no rebanho e assim maior emissão de CH_4 do nascimento ao abate.

Resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa, foram obtidos por Esteves *et al.* (2010), que ao avaliarem a emissão de CH_4 por bovinos, observaram emissão média de 0,104 kg, em garrotes. Resultados semelhantes também foram apresentados por Primavesi *et al.* (2004) e Johnson e Johnson (1995). Já para a fase de terminação, os resultados obtidos nesta simulação são semelhantes aos encontrados por Cezimbra *et al.* (2015), que foram de 0,107 a 0,151 kg de CH_4 por dia, variando em decorrência da maior oferta de forragem. Ainda assim, as variações observadas entre os apresentados na literatura e o deste estudo, são decorrentes das diferenças de manejo e alimentação propostas na simulação. Indicando assim que o manejo alimentar exerce grande influência sobre a emissão de metano.

A menor emissão total (**Tabela IV**) e individual (**Tabela V**) no cenário SIP é explicada, também, pelo alto nível de ingestão de matéria seca digestível (IMSD) em todas as fases. Tais resultados estão de acordo com Knapp (2014), que em uma revisão, observaram que o aumento do consumo de matéria seca é capaz de reduzir a emissão de CH_4 . Esse efeito pode ser atribuído à diluição das exigências de manutenção. Quanto maior o consumo de energia por peso vivo, maior será a quan-

Tabela V. Emissão individual diária de metano pelas diferentes categorias de animais nos sistemas simulados (Daily individual methane emission sorted by the different animal categories in the simulated systems).

Categorias	SMB	SMP	SMC	SIP
	Emissão diária de metano (kg/cabeça)			
Touros	0,27	0,19	0,19	0,16
Vacas	0,26	0,20	0,20	0,16
Bezerros	0,08	0,07	0,07	0,07
Bezerras	0,08	0,07	0,07	0,07
Novilho	0,14	0,11	0,11	0,14
Novilha	0,14	0,11	0,11	0,14
Vaca de descarte	0,12	0,17	0,24	0,17
Macho em terminação	0,12	0,17	0,24	0,17

SMB= média brasileira; SMP= sistema melhorado a pasto; SMC= sistema melhorado com terminação em confinamento; SIP= intensivo a pasto.

tidade de energia depositada em resultado da menor perda de energia na forma de calor, pois as exigências de energia para matança serão diluídas. Com o aumento da IMSD, há mais substrato para a fermentação e, conseqüentemente, pode haver maior produção de metano. Contudo, animais alimentados com dieta de melhor qualidade, tendem a reduzir a emissão de metano, por diminuir a produção em gramas por kg de matéria orgânica digestível (MOD).

O sistema melhorado a pasto com terminação em confinamento, apresentou a maior emissão diária individual de metano (0,24 kg/cab/dia) (Tabela V). Contudo, a emissão total nesta fase foi menor que os demais cenários simulados (Tabela IV), já que quando há aumento na participação de grãos na dieta ocorre aumento do consumo de energia por unidade de peso do animal (Mcal/kg de peso metabólico). Se por um lado o aumento do uso de concentrado promove aumento na produção de metano (kg/dia), a maior ingestão de energia digestível eleva o desempenho animal e, assim, reduz a emissão de metano por quantidade de energia digestível ingerida (Mcal/dia). Assim, nem sempre a maior produção de metano diária é indicativa de ineficiência dos processos metabólicos ou de perda de energia, já que pode ser oriunda da melhor qualidade da dieta consumida pelos animais o que proporciona aumento no nível de IMSD.

Na presente simulação a maior emissão diária de metano (Tabela V) para as categorias de reprodução foi observado no cenário SMB. O aumento na emissão diária de metano foi ocasionada pela maior perda de energia bruta. Isso porque o teor de digestibilidade da forrageira neste cenário seria menor, em decorrência do incremento no material lignocelulósico, havendo menor aproveitamento pelo animal. Brask *et al.* (2013) observaram que, dietas baseadas em plantas forrageiras, a menor digestibilidade resulta em aumento na perda de energia na forma de metano. Além disso, em sistemas como o SMB, os animais apresentam maior exigência de energia porque em situações de pastagem degradada, os animais percorrem longas distâncias para ingerir forragem fazendo com que aumentem as exigências requeridas para matança e atividade de locomoção, ocasionadas pelo gasto energético excessivo (Moraes *et al.*, 2009). Quanto à categoria de matrizes, a alta emissão de CH₄ também está relacionada à maior ingestão de energia bruta devido a energia gasta na gestação e lactação, e também a baixa qualidade do alimento no sistema SMB. Para as categorias em crescimento (novilhos e novilhas) foi observado maior emissão diária individual de CH₄ no sistema SIP (Tabela V) em decorrência da maior IMS; o que, conforme mencionado anteriormente, aumenta a emissão diária.

Tabela VI. Emissão de óxido nitroso oriundo das fezes e urina calculada para cada categoria do rebanho, para os quatro cenários simulados (Faecal and urine nitrous oxide emission calculated for each herd category of the flock, for the four prototypical scenarios).

Touros	N ₂ O oriundo das fezes				N ₂ O oriundo das fezes			
	Cenários							
	SMB	SMP	SMC	SIP	SMB	SMP	SMC	SIP
	g de N ₂ O por animal							
Touros	55,06	44,16	44,15	33,39	94,56	94,56	94,56	94,56
Vacas	42,88	34,40	34,39	26,00	67,77	67,77	67,77	67,77
Bezerros	7,64	6,38	6,38	6,01	8,35	9,46	9,46	11,55
Bezerras	7,31	5,99	5,99	5,64	7,87	8,68	8,68	10,61
Novilho	20,83	12,01	23,77	3,49	24,89	19,27	23,77	5,22
Novilha	19,82	11,65	22,77	3,41	23,30	18,48	22,77	5,06
Vaca de descarte	19,48	21,67	7,81	9,78	25,83	40,84	15,74	25,03
Macho em terminação	20,18	22,10	8,42	9,98	27,07	41,96	17,39	25,75
	kg de N ₂ O por categoria							
Touros	0,53	1,33	1,48	1,10	0,90	2,84	3,17	3,72
Vacas	8,58	20,74	23,39	21,00	13,55	40,87	46,08	54,75
Bezerros	0,45	1,53	1,95	1,92	0,49	2,27	2,89	3,70
Bezerras	0,43	1,50	1,95	1,80	0,46	2,18	2,83	3,55
Novilho	1,20	2,85	7,22	1,10	1,43	4,57	7,22	1,65
Novilha	2,22	2,98	7,44	1,08	2,60	4,39	6,92	1,59
Vaca de descarte	0,67	3,84	1,84	2,27	0,89	7,23	3,71	5,83
Macho em terminação	1,08	5,04	2,50	2,97	1,45	9,57	5,16	7,67
Total de N ₂ O/ sistema (kg)	15,14	39,81	47,78	33,27	21,78	73,91	78,00	82,46

SMB= média brasileira; SMP= sistema melhorado a pasto; SMC= sistema melhorado com terminação em confinamento; SIP= intensivo a pasto.

Em geral, o incremento da qualidade da alimentação e a alteração da microbiota ruminal permitem maior retenção de energia, o que proporciona melhor desempenho animal e, conseqüentemente, menor produção de CH₄ por unidade de produto. Na **tabela IV** pode ser observada que a melhoria na qualidade do alimento fornecido e a redução na idade de abate proporcionaram uma maior taxa de lotação e, conseqüentemente, maior produtividade por área. Assim, também foi possível reduzir a emissão de metano por kg de carcaça produzida. Comparando os cenários SMB e SMP os animais foram abatidos com idade inferior em 12 meses; com isso, obteve-se redução de 49% na emissão de metano por quilograma de carcaça, passando de 1,88 para 0,97 kg de CH₄/kg de carcaça para os cenários SMB e SMP, respectivamente. A implantação do confinamento também resultou em redução de 69% e 40% na emissão de metano do sistema SMC, em comparação com SMB e SMP, respectivamente. Percentual semelhante foi obtida quando se introduziu o sistema de SIP (69% em comparação a SMB), reduzindo a idade ao abate em 22 meses. Além disso, animais submetidos a dietas como SIP apresentam menor taxa de conversão da energia dos alimentos em metano no rúmen do animal proporcionando reduções nas emissões de metano (Cota *et al.*, 2014), o que refletiu no total emitido pelo rebanho e na relação entre a emissão e a produção de carcaça.

EMISSIONES DE N₂O

Em resposta principalmente ao teor de digestibilidade das dietas, a excreção individual de N₂O pelas fezes apresentou comportamento decrescente à medida que promoveu a intensificação do sistema e melhora na qualidade da dieta (**Tabela VI**). Se por um lado a intensificação da produção promoveu aumento do consumo de matéria seca diária, o que poderia resultar em aumento do volume fecal, por outro lado houve aumento da digestibilidade e conseqüentemente, maior

aproveitamento dos nutrientes, apresentando, assim, menor excreção destes, refletindo na menor emissão de N₂O. O mesmo comportamento foi observado para os bezerras e bezerras, havendo redução em resposta à intensificação do sistema (**Tabela VI**). Redução da emissão de N₂O em decorrência da intensificação do sistema de produção também foi observado por Monteiro (2009). Ademais, os resultados obtidos pelo referido autor foram próximos aos obtidos neste estudo.

Em relação aos animais na fase de recria, os cenários SMC e SMB apresentaram maior emissão devido à maior duração de cada fase, visto que no SMC a fase de recria foi prolongada para atingir o peso para início de terminação em confinamento e no SMB a fase é de longa duração em resposta ao baixo desempenho dos animais. Para a fase de terminação, a maior emissão no cenário SMP foi ocasionada pela maior ingestão de matéria seca, sendo esta dieta exclusivamente a pasto, com menor digestibilidade e menor aproveitamento que a dieta dos cenários SIP e SMC. Já no cenário SMB os animais, além de permanecerem longo tempo na fase de terminação, estavam em pastagem de baixo valor nutritivo, menor digestibilidade com menor aproveitamento, havendo assim maior excreção de N e emissão de N₂O. Isso ocorre porque, se as fontes de alimento, tiverem baixa degradabilidade proteica não ocorre aproveitamento total pelas bactérias ruminais, sendo, então, excretado pelas fezes (Medeiros e Marino, 2015).

Quando avaliado a emissão total do rebanho (**Tabela VII**), os maiores valores foram observados para SMC, SMP, SIP e SMB, respectivamente. Isso ocorreu porque no SIP, apesar de possuir um número maior de animais, foi utilizado uma dieta com maior teor de NDT e digestibilidade, com maior aproveitamento pelos animais do que no SMB. Os resultados obtidos na presente simulação são inferiores aos obtidos por Cardoso (2012), que observou emissão de N₂O varian-

Tabela VII. Emissão total de N₂O para cada categoria do rebanho dos cenários simulados e relação entre emissão de N₂O e produção de carcaça (Total N₂O emission by each flock category of the hypothetical scenarios and the relation between N₂O emission and carcass production).

Categoria	Cenários			
	SMB	SMP	SMC	SIP
	kg de N ₂ O rebanho/ciclo			
Touros	1,43	4,16	4,65	4,82
Vacas	22,13	61,61	69,47	75,75
Bezerros	0,94	3,80	4,84	5,62
Bezerras	0,89	3,68	4,79	5,35
Novilho	2,62	7,42	14,45	2,75
Novilha	4,82	7,37	14,36	2,67
Vaca de descarte	1,56	11,07	5,56	8,1
Macho em terminação	2,53	14,61	7,66	10,64
Total	36,93	113,72	125,77	115,70
Emissão de N ₂ O/kg de carcaça	0,0019	0,0012	0,0009	0,0009

SMB= média brasileira; SMP= sistema melhorado a pasto; SMC= sistema melhorado com terminação em confinamento; SIP= intensivo a pasto.

do de 141,82 a 165,18 kg por ano, em decorrência dos diferentes sistemas de produção avaliados. Esse resultado pode ser atribuído a redução do ciclo produtivo, diminuindo a permanência dos animais no sistema e, conseqüentemente a emissão de N_2O . Comparando os sistemas SMC e SMP, o primeiro apresentou maior emissão, porque apesar de ter um ciclo de menor duração, a implantação do sistema de terminação em confinamento permitiu aumentar o número de animais do rebanho e, assim elevar a emissão. Mas individualmente a excreção de N_2O foi reduzida com a implantação do confinamento. Esses resultados corroboram com Monteiro (2009) que observou redução de 35% na emissão de N_2O por UA com o uso da terminação em confinamento em comparação a terminação a pasto.

As emissões de N_2O são diferentes entre as excretas bovinas, sendo o maior volume emitido pela urina, conforme também foi observado por Lessa (2011). A emissão individual de N_2O via urina (Tabela VI) na fase de cria foi maior no SIP, seguidos por SMC, SMP (ambas semelhantes) e SMB. Isso pode ser explicado devido ao fato de que os animais dos sistemas mais intensificados, ao término de todas as fases, apresentariam maior peso corporal que o SMB, em resposta ao maior ganho de peso proposto. A emissão total de N_2O via urina foi maior nos sistemas que possuíam maior número de animais.

Considerando a emissão total de N_2O (Fezes e urina) de cada cenário em relação à produção de carcaça em (kg) os cenários mais intensificados mostraram-se mais eficientes e menos prejudiciais ao meio ambiente, isso quando comparados a duração total do ciclo e a emissão total (Tabela VII). A redução na relação entre produção de carcaça e emissão de N_2O apresentou redução de 35%, 52% e 52% para os cenários SMP, SMC e SIP em comparação ao SMB, respectivamente. Assim, apesar de haver aumento na emissão total de óxido nítrico quando utilizamos sistemas mais intensificados, este aumento é recompensado pela maior produtividade e rentabilidade do sistema.

EMISSIONES DE CO_2

Outras fontes de emissão de GEE que podem ser atribuídas à produção animal são as práticas de manejo das pastagens, utilização de mineralização e também o plantio de culturas destinadas à suplementação dos animais (Tabela VIII). Apenas os sistemas SMP, SMC

e SIP receberam adubação e calagem nas doses adequadas para correção da acidez e fertilidade do solo. A maior emissão total oriunda de manejo de pastagens ocorreu no SMP (199.748,72 kg de CO_2) devido a maior duração do ciclo. Já para os cenários SMC e SIP, parte da área útil foi utilizada para cultivo de espécies destinadas tanto a produção de alimento para fase confinada do sistema SMC quanto para a suplementação em todas as fases do sistema SIP. Em relação a duração do ciclo, o SMC e SIP foram 18 e 24 meses menores que o SMB, respectivamente. Isso refletiu na menor utilização de insumos nas áreas de pastagens destes dois cenários. Em relação a emissão de CO_2 resultante da suplementação mineral dos animais (Tabela VIII), assim como para os outros fatores avaliados, a redução do ciclo de produção resultou em redução na emissão de CO_2 , considerando o ciclo total de produção, mesmo com o aumento do número de animais do rebanho.

BALANÇO DE CO_2 EQUIVALENTE

Todos os gases gerados durante o ciclo de produção de bovinos de corte foram transformados em uma base única, CO_2eq , permitindo obter a estimativa da emissão total dos gases produzidos durante o ciclo de produção de cada cenário hipotético (Tabela VIII). O sistema SMP foi o que emitiu maior quantidade CO_2eq , 198.951,79 kg/ciclo, isso porque em comparação a SMB, o SMP possui um número maior de animais o que elevou a emissão total. O sistema SMP apresentou um rebanho 240% maior que o rebanho SMB. Por isso, quando analisada a emissão média por animal, que inclui a emissão de todos os gases oriundo de todas as fontes do sistema, o SMP apresentou a emissão de 99,83 kg de CO_2eq , enquanto o SMB apresentou a emissão de 259,02 kg.

A pegada de carbono é adequada para avaliar qual o sistema de produção de carne é potencialmente menos poluente. Se analisarmos a relação entre emissão de CO_2eq e a produção de carcaça, ou seja, a pegada de carbono, o SMP foi quase 4 vezes mais eficiente que o SMB, por emitir 2,08 kg de CO_2eq/kg de carcaça produzido, enquanto o SMB emitiu 7,63 kg de CO_2eq/kg de carcaça produzido. O sistema de produção baseado em pastagens degradadas (SMB), resultando em baixa qualidade da dieta e baixo desempenho, fez com que o ciclo apresentasse duração de 42 meses, elevando a emissão de GEE. Monteiro (2009) observaram valores variando de 12,30 a 19,88 kg de $CO_2/$

Tabela VIII. Balanço de CO_2 equivalente pelos cenários simulados (Evaluation of CO_2 equivalent by the hypothetical scenarios).

	Unidade	SMB	SMP	SMC	SIP
Total de CO_2 equivalentes	kg	151.012,17	199.748,72	125.356,63	102.418,01
Sequestro CO_2	kg	-511,95	796,93	514,1	388,2
Balanço de CO_2	kg	151.524,12	198.951,79	124.842,53	102.029,81
$CO_2/$ carcaça	kg/kg	7,63	2,08	0,88	0,81
$CO_2/$ animal	kg/UA	259,02	99,83	50,65	38,70
$CO_2/$ ano	kg	43.292,61	79.580,72	62.421,27	68.019,87

SMB= média brasileira; SMP= sistema melhorado a pasto; SMC= sistema melhorado com terminação em confinamento; SIP= intensivo a pasto; UA=Unidade animal

kg de carcaça produzida sendo estes superiores aos obtidos neste trabalho. Valores superiores aos observados nesta revisão também foram observados por Cardoso (2012). As diferenças observadas podem ser atribuídas a abordagem das fontes de GEE e também aos fatores de emissão utilizados. Contudo, foi observado o mesmo comportamento da presente simulação, onde, a medida que aumentou-se a intensificação da produção, reduziu-se a emissão de CO₂eq por kg de carcaça produzida. Além disso, quando adotou-se manejo adequado das pastagens, nos cenários SMP, SMC e SIP, foi possível sequestrar carbono, o que reduziu a emissão total de CO₂eq. Wang *et al.* (2015) observaram que a utilização de manejo e gestão adequada das áreas de pastagens associada a técnicas de pastejo rotacionado elevam a capacidade de sequestro de carbono pelas pastagens. Chang *et al.* (2014), avaliando áreas de pastagens degradadas e recuperadas, observaram taxas de sequestro de carbono 0.04 a 2 Mg/ha/ano. Assim, além de reduzir a emissão de CH₄ e trazer incremento no desempenho animal, a melhoria nas condições das pastagens pode aumentar o sequestro de carbono mitigando a emissão de GEE. Para a presente simulação, o manejo adequado das áreas de pastejo tornou possível o sequestro de 796,93; 514,1 e 388,2 kg de CO₂ por ciclo, para os cenários SMP, SMC e SIP. Já no cenário que simula uma pastagem degradada houve emissão de 511,95 t de CO₂ para a atmosfera.

O sistema SMC foi responsável por emitir 124 842,53 t de CO₂eq, assim é possível observar que a adoção do sistema de confinamento para terminação promoveu uma redução de 38% na emissão de CO₂eq, em comparação com o sistema SMP. O cenário SIP também se mostrou mais eficiente que o SMP em termos ambientais, visto que a utilização de alimentação complementar permitiu melhora no desempenho, reduzindo a duração de ciclo e, conseqüentemente, a emissão de GEE, mesmo com o aumento no número de animais no rebanho e com cultivo de grãos. A adoção de suplementação em todas as fases, fez com que aumentasse o desempenho e a eficiência dos animais no sistema SIP, refletindo na menor emissão total comparada a todos os outros sistemas, mesmo havendo aumento na emissão diária individual. Esses resultados foram possíveis mesmo com o plantio de 89 hectares de milho, ou seja, a maior produtividade supera as emissões adicionais pelo uso de combustíveis, adubos e insumos utilizados na produção de alimento. Contudo, a produção em kg de carcaça do SMC foi maior que o SIP, já que o primeiro apresentou maior produção de carcaça, por abater animais mais pesados, em decorrência da terminação em confinamento.

Embora, sistemas de produção mais intensivos, levem a um aumento nas emissões de óxido nitroso e metano em resposta a utilização de adubos como o N, as áreas de pastagens bem manejadas atuam como possíveis mitigadoras do efeito estufa, através do acúmulo de carbono (Smith, 2014). De fato, Rosendo e Rosa (2012) demonstraram que pastagens bem manejadas possuem estoques de carbono no solo superiores ao de pastagens nativas e/ou degradadas. O alto desempenho dos animais e a menor perda de energia podem ser atribuídas ao fato de que quando se utilizou a su-

plementação os animais apresentaram maior ingestão de energia digestível em comparação aos animais de mesma exigência de manutenção, assim houve diluição desta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da simulação desenvolvida foi observada diferença no balanço de GEE entre os cenários hipotéticos. Sendo que a adoção de sistemas mais intensivos de produção, inclusive com a adoção de sistema de confinamento ou suplementação durante todo o ciclo, reduziu a emissão de GEE por produto formado. Isso ocorreu em resposta a redução do ciclo produtivo, melhoria nos índices zootécnicos, melhoria na qualidade das áreas de pastagens e melhoria na qualidade da dieta. Somado a redução direta por melhorar o valor nutritivo, o manejo correto das pastagens funcionou como agente mitigador dos GEE emitidos pelo sistema, anulando ou invertendo o fluxo de GEE, por meio do sequestro de carbono, com exceção do SMB.

O sistema que simula a propriedade típica brasileira foi o sistema menos eficiente quando avaliada a emissão total. Já os sistemas melhorados, apresentam maior emissão diária, mas apresentam também maior eficiência produtiva. Métodos que visam a redução do impacto ambiental causado pela produção de bovinos de corte devem vir associados da melhora do desempenho animal, redução da perda de energia e excreção de nutrientes, resultando na maximização da produtividade. Sendo que estes métodos devem ser analisados do ponto de vista econômico, ambiental e social.

BIBLIOGRAFIA

- Alves, B.J.R.; Carvalho, A.M.; Madari, B.E.; Franchini, J.C.; Jantalia, C.P.; Dos Santos H.P. e Carvalho, C.J.R. 2009. In: Lima, M.A., Alves, B.J.R., Machado, P.L.O.A. (Eds.). Estoques de carbono e gases de efeito estufa em sistemas agropecuários e florestais brasileiros: resultados da Rede Agrogases. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariuna.
- Brask, M.; Lund, P.; Hellwing, A.L.F.; Poulsen, M. and Weisbjerg, M.R. 2013. Enteric methane production, digestibility and rumen fermentation in dairy cows fed different forages with and without rapeseed fat supplementation. *Anim Feed Sci. Techn.*, 184: 67-79.
- Caetano, M. 2008. Estudos das perdas de amido em confinamentos brasileiros e do uso do amido fecal como ferramenta de manejo de bovinos confinados. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. Piracicaba. 77 pp.
- Cardoso, A.S. 2012. Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 84 pp.
- Castelán-Ortega, O.A.; Ku-Vera, J.C. and Estrada Flores, J.G. 2014. Modeling methane emissions and methane inventories for cattle production systems in Mexico. *Atmósfera*, 27: 185-191.
- Cerdótes, L., Restle, J.; Alves Filho, D.C.; Nörnberg, M.F.B.L.; Nörnberg, J.L.; Heck, I. e Silveira, M.F. 2004. Produção e composição do leite de vacas de quatro grupos genéticos submetidas a dois manejos alimentares no período de lactação. *Rev Bras Zootecn.*, 33: 610-622.
- Cezimbra, I.M. 2015. Emissão de metano por bovinos sob níveis de oferta de forragem em pastagem nativa do Bioma Pampa. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. pp. 1-96.

- Chang, X.F., X.X. Zhu, X.X.; Wang, S.P.; Cui, S.J.; Luo, C.Y.; Zhang, Z.H. and Wilkes, A. 2014. Impacts of management practices on soil organic carbon in degraded alpine meadows on the Tibetan Plateau. *Biogeosciences*, 11: 3495-3503.
- Cota, O.L., de Figueiredo, D.M.; Branco, R.H.; Magnani, E.; do Nascimento, C.F.; de Oliveira, L.F. and Mercadante, M.E.Z. 2014. Methane emission by Nelore cattle subjected to different nutritional plans. *Trop Anim Health Produc*, 46: 1229-1234.
- Cruz, J.C. (Editor). 2010. Cultivo do milho. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, n. 1.
- Denmead, O.T.; Leuning, R.; Jamie, I. and Griffith, D.W.T. 2000. Nitrous oxide emissions from grazed pastures: measurements at different scales. *Chem Global Change Sci*, 2: 301-312.
- Dijkstra, J.; J. France, J.; Ellis, J.L.; Kebreab, E.; Lopez, S.; Rejis, J. and Bannink, A. 2009. Effects of nutritional strategies on N and methane losses in dairy cattle. In: 7th International Workshop 'Modelling Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals'. Paris.
- Esteves, S.N.; Bernardi, A.C.C.; Vinholis, M.M. e Primavesi, O. 2010. Estimativas da emissão de metano por bovinos criados em sistema de integração lavoura-pecuária em São Carlos, SP. Embrapa. São Carlos. pp. 1-7.
- Euclides Filho, K. 2001. Interação genótipo-ambiente-mercado na produção de carne bovina nos trópicos. Simpósio de Produção de Gado de Corte, 2, 2001. Anais... UFV/DZO. Viçosa. pp. 93-115.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. The role of livestock in climate change. <<http://www.fao.org/agriculture/lead/themes0/climate/en/>> (18/01/2016).
- Florentini, G.; Carvalho, I.P.; Messana, J.D.; Castagnino, P.S.; Berndt, A.; Canesin, R.C.; Frighetto, R.T.; Berchielli, T.T. 2014. Effect of lipid sources with different fatty acid profiles on the intake, performance, and methane emissions of feedlot Nelore steers. *J Anim Sci*, 92: 1613-1620.
- Gibbs, M.J. and Johnson, D.E. 1993. Livestock emissions. In: International Methane Emissions. U.S. Environmental Protection Agency. Climate Change Division. Washington, D.C.
- Gomes, J.; Bayer, C.; Costa, F.S.; Piccolo, M.C.; Zanatta, J.A.; Vieira, F.C.B. and Six, J. 2009. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. *Soil Till Reser*, 106: 36-44.
- Goularte, S. R.; Itavo, L.C.V.; Santos, G.T.; Itavo, C.C.B.F.; Oliveira, L.C.S.; Favaro, S.P.; Dias, A.M.; Torres Junior, R.A.A. e Bittar, C.M.M. 2011. Ácidos graxos voláteis no rúmen de vacas alimentadas com diferentes teores de concentrado na dieta. *Arq Bras Med Vet Zootec*, 63: 1479-1486.
- Gouvello, C.; Soares-Filho, B.S. e Nassar, A. 2010. Estudo de baixo carbono para o Brasil. Uso da terra, mudanças do uso da terra e floresta. Ed. Banco Mundial. pp. 70-170.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Estatística da produção Pecuária. 2014. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201401_publ_completa.pdf> (22/08/2015).
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. Emissions from livestock and manure management. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tabane, K. (Eds.). IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. IGES. Hayama. pp. 747-846.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. Climate Change: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate change. Cambridge University Press. Cambridge. UK. 996 pp.
- Jank, L.B.; Sanziao, C.; Valle, C.B.; Simeão, R.M. and Alves, G.F. 2014. The value of improved pastures to Brazilian beef production. *Crop Past Sci*, 65: 1132-1137.
- Janseem, P.H. 2010. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Anim Feed Sci Techn*, 160:1-22.
- Johnson, K.A. and Johnson, D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *J Ani. Sci*, 73: 2483-2492.
- Kozloski, G.V. 2011. Bioquímica dos ruminantes. 3ª. ed. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 140 pp.
- Knapp, J.R.; Laur, G.L.; Vadas, P.A.; Weiss, W.P. and Tricarico, J.M. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J Dairy Sci*, 97: 3231-3261.
- Lessa, A.C.R. 2011. Emissão de óxido nitroso e volatilização da amônia de urina e fezes bovinas em pastagens. Dissertação Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seropédica.
- Lopes, K.S.M.; Yokobatake, K.L.A. e Pinheiro, R.S.B. 2013. Sistemas de produção de bovinos e a emissão de metano. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental de Alta Paulista*, 9: 153-158.
- Maia, S.M.F.; Ogle, S.M. and Cerri, C.E.P. 2009. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, 149: 84-91.
- Medeiros, S.R. e Marino, C.T. 2015. Proteínas na nutrição de bovinos de corte. In: Medeiros, S.R., Gomes, R.C., Bungenstab, D.J. Nutrição de bovinos de corte: Fundamentos e aplicações. Embrapa. Brasília. pp. 27-44.
- Monteiro, R.B.N.C. 2009. Desenvolvimento de um modelo para estimativas da produção de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de produção de bovinos de corte. Dissertação. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba. São Paulo.
- Moraes, E.H.B.K.; Paulino, M.F.; Moraes, K.A.K.; Figueiredo, D.M.; Valadares Filho, S. de C.; Paulino, P.V.R. e Couto, V.R.M. 2009. Exigências de energia de bovinos de corte em pastejo. *Rev Bras Zootecn*, 38: 933-940.
- NRC - National research council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7 ed. Washington, D.C. 242 pp.
- Oliveira, R.L.; Barbosa, M.A.A.F.; Ladeira, M.M.; Silva, M.M.P.; Ziviani, A.C. e Bagaldo, A.R. 2006. Nutrição e manejo de bovinos de corte na fase de cria. *Rev Bras Saúde Prod Anim*, 7: 57-86.
- Paulino, H.B.; Souza, E.D.; Carneiro, M.A.C. and Smiljanik Junior, E. 2011. Production and quality of Brachiaria forage plants in southwestern Goiás state. *Acta Sci*, 33: 341-346.
- Pereira, M.A.; Costa, F.P.; Corrêa, E.S.; Cezar, I.M.; Melo Filho, G.A.; Wander, A.E. e Nascimento, D.S. 2005. Sistema e custo de produção de gado de corte no Estado de Goiás. Embrapa Gado de Corte. Campo Grande, MS. Comunicado técnico n° 94.
- Piva, J. T.; J. Dieckow, J.; Bayer, C.; Zanatta, J.A.; Moraes, A.; Tomazi, M.; Pauletti, V.; Barth, G. and Piccolo, M. de C. 2014. Soil gaseous N₂O and CH₄ emissions and carbon pool due to integrated crop-livestock in a subtropical Ferralsol. *Agric Ecosy Environ*, 190: 87-93.
- Primavesi, O.; Frighetto, R.T.S.; Pedreira, M. dos S.; Lima, M.A. de; Berchielli, T.T. e Barbosa, P.F. 2004. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq Agropec Bras*, 39:277-283.
- Rosendo, J.S. and Rosa, R. 2012. Comparação do estoque de C estimado em pastagem e vegetação nativa de cerrado. *Sociedade & Natureza*, 24: 359-379.
- Silva, E.B.; Ferreira Jr, L.G.; Anjos, A.F. e Miziara F. 2013. Análise da distribuição espaço temporal das pastagens cultivadas no bioma Cerrado entre 1970 a 2006. *Revista IDEAS*, 7: 174-209.
- Smith, P. 2014. Do grasslands act as a perpetual skin for carbon? *Global Change Bio*, 20: 2708-2711.
- Sousa, D.M.G. and Lobato, E. 2004. Cerrado correção do solo e adubação. Embrapa. Planaltina. 416 pp.
- Ungerfeld, E.M. 2015. Shifts in metabolic hydrogen sinks in the methanogenesis-inhibited ruminal fermentation: a meta-analysis. *Front Microbiol*, 6: 37.
- ONU. Organização das Nações Unidas. 2014. World Urbanization Prospects. <<http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>> (20/01/2016).

USDA. United States Department of Agriculture. 2013. Livestock and poultry: World markets and trade. Foreign Agricultural Service. Washington, D.C. <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.PDF> (10/08/2015).

Valadares Filho, S.C.; Machado, P.A.S.; Chizzotti, M.L.; Amaral, H.F.; Magalhães, K.A.; Rocha Junior, V.R., Capelle, E.R. CQBAL3.0. Tabelas

brasileiras de composição de alimentos para bovinos. <www.ufv.br/cqbal>. (04/08/2015).

Wang, T.; Teague, W.R.; Park, S.C. and Bevers, S. 2015. GHG Mitigation potential of different grazing strategies in the United States Southern great plains. *Sustainability*, 7: 13500-13521.