

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE
BOVINOS DE CORTE**

LUDMILLA COSTA BRUNES

Orientador: Dr. Victor Rezende M. Couto

**GOIÂNIA
2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE VETERINÁRIA E ZOOTECNIA
GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

LUDMILLA COSTA BRUNES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE
BOVINOS DE CORTE

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, apresentado como exigência parcial à obtenção do título de Bacharel em Zootecnia.

Orientador: Dr. Victor Rezende M. Couto

**GOIÂNIA
2014**

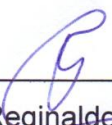
LUDMILLA COSTA BRUNES

**BALANÇO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM SISTEMAS DE
PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE**

Trabalho de Conclusão do Curso de
Gradação em Zootecnia da
Universidade Federal de Goiás,
apresentado como exigência parcial
à obtenção do título de Bacharel em
Zootecnia.

APROVADA: 06/ 06/ 2014

Nota: 10,0



Prof. Dr. Reginaldo Nassar Ferreira
(Membro da banca)



Prof Dr. Rafael Alves da Costa Ferro
(Membro da banca)



Prof Dr. Victor Rezende Moreira Couto
(Orientador)

Dedico aos meus pais, Almir Domingos Brunes e Enia Maria da Costa Brunes, por incalculável esforço e dedicação para tornar possível o meu sonho, por todo o apoio, amor e incentivo. Devo todas as minhas conquistas a vocês...

AGRADECIMENTOS

A Deus, por iluminar meus passos, concedendo-me sabedoria, coragem e força para alcançar todos os meus objetivos e superar as adversidades. Aos meus pais pela cumplicidade, por entender todas as fases, fáceis e difíceis e por não me deixar desistir do meu sonho. A minha irmã Jackeline Brunet e meu cunhado Fabiano Torres por todo o apoio e incentivo dado. As amigas-irmãs Géssica Veras Fontenele e Karina Veras Fontenele por sempre estarem ao meu lado, não apenas durante os anos de graduação, mas em toda a vida, servindo sempre de fortaleza para que pudesse enfrentar todos os problemas e dificuldades da vida, sempre dispostas a ouvir minhas longas frustrações e alegrias. À Rhayssa Fernandes e Renato Pereira, por serem meus portos seguros.

Aos amigos que fiz em sala de aula Leonardo Lopes, Paulo Henrique Oliveira, Luiz Carlos Nunes, Tatiany Tamiris, Renata Morais e Rhaíssa Oliveira, por me fazerem rir e me pôr para cima mesmo em situações adversas, por estarem sempre ao meu lado apoiando-me constantemente, mesmo em horários inusitados, sempre me dando força e me ajudando a vencer obstáculos. Aos amigos que ganhei em meio a vários projetos de pesquisas Tayrone Prado, Marcus Vinicius Siqueira, Victor Hugo Marques e Hugo Peron, pelos ensinamentos, experiências, companhia e auxílio no meu crescimento profissional, pelas confraternizações e momentos de descontração, fazendo com que até as etapas ruins parecessem boas, pela confiança, amizade e acima de tudo, por cuidarem de mim sempre.

Ao meu orientador Prof. Victor Rezende por me auxiliar neste trabalho e por ceder seus conhecimentos. Ao Prof. Aldi França pelos ensinamentos, sábios conselhos e amizade desde o primeiro período de graduação até a conclusão dela. A todos os professores da Escola de Veterinária e Zootecnia, em especial ao Prof. Leonardo Collier, exemplo de profissional e pessoa que contribuiu de forma valiosa na minha formação acadêmica e pessoal.

Ao Dr. Claudio Magnabosco, Dr. Fernando Brito e a Flávia Martins, por seus ensinamentos e interrogações, me fazendo refletir e aprender cada vez mais, por tirar-me de uma zona de conforto, forçando-me a superar meus limites, isso tudo acompanhado de paciência, companheirismo e amizade.

"Percorri esse longo caminho para a liberdade. Tentei não fraquejar; dei passos errados ao longo do percurso. Mas descobri o segredo: que, depois de escalar uma grande montanha, apenas se descobre que há muitas mais montanhas para subir. Parei aqui um pouco para descansar, para dar uma olhada à vista maravilhosa que me rodeia, para olhar para a distância, de onde vim. Mas posso descansar somente por um momento, porque com a liberdade vêm as responsabilidades e não me atrevo a demorar, pois a minha caminhada ainda não terminou".

Nelson Mandela

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	EMISSÃO DE GEE PELA AGROPECUÁRIA	12
2.1	Gás Carbônico.....	12
2.2	Metano.....	12
2.2.1	Produção entérica de metano	13
2.2.2	Produção de metano pelos dejetos	15
2.3	Óxido Nitroso	15
3	SEQUESTRO DE CO₂ PELA PASTAGEM	16
4	MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1	Cenários hipotéticos	17
4.2	Composição do rebanho.....	19
4.3	Emissão de gases de efeito estufa	21
4.3.1	Emissões entéricas de CH ₄	22
4.3.2	Emissão de CH ₄ e N ₂ O pelos dejetos	24
4.3.3	Cálculo da emissão de CO ₂	25
4.4	Balanço das emissões totais de GEE	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1	Emissões de GEE em diferentes cenários.....	27
5.1.1	Emissão de CH ₄	27
5.1.2	Emissões de N ₂ O	33
5.1.3	Emissões de CO ₂	37
5.2	Balanço de CO ₂ equivalente.....	39
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Índices zootécnicos dos cenários simulados	18
Tabela 2 -	Ganho médio diário dos cenários hipotéticos	19
Tabela 3 -	Número de animais por categoria que compõem o rebanho em função do cenário simulado.	21
Tabela 4 -	Número de animais abatidos, produção total de carne por ciclo, área equivalente de cada cenário simulado	21
Tabela 5 -	Concentração de nitrogênio e emissão de óxido nitroso nas fezes e na urina durante as estações de chuva e seca a pasto e em confinamento.....	24
Tabela 6 -	Emissão de CO ₂ pelos insumos utilizados na pecuária e agricultura, desde a produção do mesmo à entrega na fazenda	25
Tabela 7 -	Taxa de acúmulo/perda de carbono pelo solo em função do tipo de manejo da pastagem em cerrados	26
Tabela 8 -	Produção de metano entérica e pelas fezes dos cenários hipotéticos.....	27
Tabela 9 -	Produção individual de metano fecal e entérico pelas diferentes categorias de animais nos sistemas hipotéticos	29
Tabela 10 -	Relação entre a emissão diária de metano e a ingestão de matéria seca e relação entre emissão diária de metano e a ingestão de energia digestível.....	31
Tabela 11 -	Emissão individual diária de metano	33
Tabela 12 -	Proporção da emissão de metano de cada cenário em relação ao total de carcaça.....	33
Tabela 13 -	Emissão de óxido nitroso oriundo das fezes calculada para cada categoria do rebanho, para os quatro cenários prototípicos	34
Tabela 14 -	Emissão de óxido nitroso oriundo da urina calculada para cada categoria do rebanho, para os quatro cenários prototípicos	36
Tabela 15 -	Emissão total de N ₂ O pelos rebanhos dos cenários hipotéticos e relação entre emissão de N ₂ O e produção de carcaça.....	37
Tabela 16 -	Área plantada, produtividade e emissão de GEE do milho para silagem e milho para grão, destinados à alimentação dos animais confinados e suplementados.....	38
Tabela 17 -	Emissão de CO ₂ proveniente dos nutrientes utilizados na adubação e calagem das áreas de pastagem dos cenários hipotéticos	38
Tabela 18 -	Emissão de CO ₂ proveniente dos nutrientes utilizados na suplementação dos animais dos cenários hipotéticos	39
Tabela 19 -	Balanco de CO ₂ equivalente pelos cenários hipotéticos	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AGCC	Ácido graxo de cadeia curta
C	Carbono
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ eq	Dióxido de carbono equivalente
EBI	Energia bruta ingerida
ED	Energia digestível
ELg	Energia líquida para ganho
Elm	Energia líquida de manutenção
FDA	Fibra insolúvel em detergente ácido
FDN	Fibra insolúvel em detergente neutro
GEE	Gás de efeito estufa
GMD	Ganho médio diário
H ₂	Hidrogênio
IED	Ingestão de energia digestível
IMS	Ingestão de matéria seca
IMSD	Ingestão de matéria seca digestível
K	Potássio
MN	Matéria natural
MOD	Matéria orgânica digestível
MS	Matéria seca
N ₂	Nitrogênio
N ₂ O	Óxido nitroso
NADH	Dinucleotídeo de adenina nicotinamida
NDT	Nutrientes digestíveis totais
P	Fósforo
PB	Proteína
SIP	Sistema intensivo a pasto
SMB	Sistema média brasileira
SMC	Sistema melhorado com terminação em confinamento
SMP	Sistema melhorado a pasto

RESUMO

A bovinocultura é responsabilizada pela emissão de três gases que podem contribuir com o aumento excessivo do efeito estufa. Estes gases são o metano, o óxido nitroso e o dióxido de carbono. A baixa eficiência dos sistemas pecuários existentes, seja pela situação das pastagens ou pelos baixos índices zootécnicos utilizados podem resultar não só em impacto ambiental, mas também em baixa produtividade. A presente simulação foi desenvolvida com o objetivo de quantificar 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, o primeiro sistema ocorreu em áreas de pastagens degradadas (SMB), o segundo ocorreu em áreas de pastagens bem manejadas (SMP), o terceiro ocorreu em cria e recria em áreas de pastagens bem manejadas e a terminação ocorreu confinamento (SMC) e o quarto ocorreu 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 GEE, que se baseiam na qualidade da dieta, do desempenho dos animais e na duração de cada ciclo, utilizando-se a metodologia do IPCC, tier 2. O SMP apresentou a maior emissão, seguido do SMB, SMC e SIP, com 151.524,12; 198.951,79; 124.842,53 e 104.880,84 t CO₂eq, respectivamente. Contudo a emissão de CO₂eq individual foi maior no SMB, com 259,23 t CO₂eq. Enquanto SMP, SMC e SIP apresentaram 99,82; 50,64 e 38,70 t CO₂eq/animal, respectivamente. A relação entre a emissão de CO₂ e a produção de carcaça também foi menor nos sistemas mais intensificados. Esses resultados estão associados ao sequestro de carbono pelas áreas ocupadas por pastagens neste sistema. Em contrapartida, para o SMB foi observado perda de carbono para o solo (511,95 t de CO₂). A adoção de sistemas mais intensivos de produção, inclusive com a adoção de sistema de confinamento ou suplementação durante todo o ciclo, se mostrou mais eficiente tanto produtivo quanto ambientalmente, por reduziu a emissão de GEE e aumentar a produção por área.

1 INTRODUÇÃO

O mercado consumidor está cada vez mais exigente quanto aos produtos de origem animal, buscando produtos que ofereçam qualidade direta (sabor, valor nutritivo e consumo seguro) e indireta (bem estar animal e sustentabilidade ambiental). Em consonância à esta exigência por parte do consumidor, a demanda por produtos de origem animal também é crescente e diretamente proporcional ao crescimento do efetivo de bovinos de corte e leiteiros. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO, 2011) a produção mundial de alimentos deverá crescer cerca de 70% até 2050. Para atender toda a população, esse crescimento também se aplicará aos alimentos de origem animal. Além do crescimento da população e da demanda por alimento, o aumento do poder aquisitivo também deverá promover aumento acentuado da demanda por alimentos de origem animal. O aumento da produção de alimentos pode resultar no aumento na produção de gases de efeito estufa (GEE).

A bovinocultura vem sendo rotulada como prejudicial 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 GEE ligado ao cultivo de espécies destinadas a alimentação dos animais. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2014), entre 2012 e 2013, o Brasil apresentou aumento de 2,1% na produção de carne bovina, chegando a 9,5 milhões de toneladas de equivalente carcaça. Segundo o Ministério de Ciência e Tecnologia (BRASIL, 2009) a emissão de metano (CH_4) por tonelada de carcaça produzida é de 1,3 toneladas. Assim, a pecuária de corte seria responsável por produzir 12,35 milhões de toneladas de CH_4 , apenas no ano de 2013.

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 (PERES e JOSAHKIAN, 2010). 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).

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 (BROUWER, 1965), representa perda de parte da energia ingerida, resultando em queda no desempenho e na produtividade animal. Os bovinos podem produzir até 17 litros de CH_4 /hora, isso representa uma perda de até 18% da energia bruta dietética (RUSSELL, 2003). Assim, estratégias que reduzam as perdas de energia ingerida na forma de CH_4 , poderão trazer aumento no ganho de peso ou produção de leite, resultando em vantagens econômicas ao produtor, em razão do melhor aproveitamento do alimento e ao mesmo tempo reduzirão as emissões de CH_4 na atmosfera (PRIMAVESI et al., 2004).

O uso de simulação é uma ferramenta de alta eficiência, baixo custo e, que pode ser utilizada para melhor compreender e aperfeiçoar o desempenho dos animais nos diferentes sistemas. Além disso, em áreas ou situações onde o conhecimento é escasso, a simulação surge como método de pesquisa mais flexível (LOVATTO e SAUVANT, 2001). Considerando a frequente discussão sobre a emissão de GEE pelos bovinos, é nítida importância de mensurar a quantidade dos gases oriundos da bovinocultura. Diante do exposto, objetivou-se prever o balanço de GEE em quatro cenários de ciclo completo de produção de bovinos de corte no bioma cerrado.

2 EMISSÃO DE GEE PELA AGROPECUÁRIA

A agricultura e a pecuária são responsabilizadas pela emissão de três GEE: o dióxido de carbono (CO_2), o 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. Isso porque o metano apresenta potencial de aquecimento global de 23 a 25 vezes maior que o CO_2 e tempo de vida na atmosfera de 9 a 15 anos. Em relação a emissão de N_2O , o potencial de aquecimento é 298 vezes maior que o do CO_2 , possuindo uma vida atmosférica de 114 anos (IPCC, 2006).

2.1 Gás Carbônico

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 5% do total de CO_2 (SAUERBECK, 2001). Entretanto, a agropecuária pode liberar CO_2 durante a queima de resíduos agrícolas e de áreas de pastagens, além do uso de pastagens degradadas, desmatamento de florestas e mudança no uso da terra (SHIYOMI e KOIZUMI, 2001). A emissão de CO_2 é ocasionada pela respiração das raízes e organismos do solo e pela perda de carbono (C) no solo (BUSTAMANTE et al., 2006). Situações como a utilização de pastagens degradadas agravam a perda de C do solo, contribuindo para o aumento na emissão de CO_2 (CARVALHO, 2009).

2.2 Metano

Dentre as atividades agropecuárias a produção de ruminantes é uma das mais importantes fontes na geração e liberação de metano na atmosfera. Quando se considera apenas a emissão por bovinos, o Brasil é o maior emissor, com a produção de 9,6 milhões de toneladas de CH_4 /ano; seguido pela Índia, com a produção de 8,6 milhões de t de CH_4 /ano; e pelos Estados Unidos, com a produção de 5,1 milhões de t de CH_4 /ano (THORPE, 2009). Os fatores que influenciam a produção de metano vão desde características alimentares, condições de fermentação ruminal, características intrínsecas do animal até o ambiente e manejo. Dentre as características alimentares podem ser citados o consumo de matéria seca,

inclusão de concentrado na dieta, valor nutritivo do alimento, taxa e extensão de degradação das frações dos alimentos. Já para as condições de fermentação podem ser citados pH do líquido ruminal, presença de ácidos graxos de cadeia longa, população microbiana, dinâmica e taxa de passagem de partículas, fluxo salivar e capacidade absorviva da parede ruminal. Para as características do animal e do manejo podem ser citadas raça, nível de produção, peso corporal, regime de alimentação e alojamento (JOHNSON e JOHNSON, 1995).

2.2.1 Produção entérica de metano

Os produtos gerados na fermentação pela microbiota ruminal são os ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), amônia, células microbianas e gases - CO_2 e CH_4 - (MARTIN et al., 2010). Os AGCCs predominantes no fluido ruminal são os ácidos acético, propiônico e butírico. Como resultado da formação de AGCC (com exceção do propionato) tem-se, também, a produção de hidrogênio (H_2) em excesso, sendo a produção de CH_4 a forma de dissipação deste. Assim, o metano é um subproduto da fermentação ruminal e funciona como um acceptor de elétrons (KOZLOSKI, 2002). Do metano produzido por fermentação entérica no rúmen, 95% é excretado por eructação e apenas 5% pelo ânus (MACHADO et al., 2011).

O metano entérico é derivado da atividade das *Archaea* metanogênicas (gêneros *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*, *Methanomicrobium* e *Methanosarcina*), um grupo microbiano distinto das Eukarya (protozoários e fungos) e Bactéria (CHIZZOTTI et al., 2012). Primeiro os microorganismos digestivos hidrolisam o amido dietético e polissacarídeos da parede celular vegetal e produzem açúcares, AGCC, CO_2 e H_2 . Os açúcares e proteínas são então fermentados por microorganismos secundários para AGCC, amônia, hidrogênio e CO_2 (ZOTTI e PAULINO, 2009). As bactérias e protozoários que fermentam carboidratos não produzem metano, mas produzem formato, H_2 e CO_2 . Por sua vez, as *Archaea* metanogênicas removem H_2 e reduzem CO_2 para formar CH_4 (ARCURI et al., 2006).

Manter baixa a concentração de hidrogênio no rúmen faz com que as metanogênicas auxiliem no crescimento de espécies bacterianas e, assim, promovam uma fermentação mais eficiente (TEIXEIRA et al., 1998). De acordo com McSweeney e McCrabb (2001), os efeitos adversos do acúmulo de H_2 no rúmen incluem a inibição da re-oxidação do dinucleotídeo de adenina nicotinamida (NADH)

e o acúmulo de lactato ou etanol, o que proporciona queda de pH, tendo como consequência a redução da eficiência do crescimento de microorganismos que degradam a fibra da dieta. 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. Quanto mais H_2 é retirado do meio, maior proporção do NADH é convertida a H_2 e NAD^+ maior é o rendimento de acetato e de adenosina trifosfato (ATP) por mol de açúcar fermentado (KOZLOSKI, 2009).

A proporção e concentração de cada produto da fermentação ruminal, depende da espécie bacteriana, que possui especificidade para cada tipo de alimento, da dieta e principalmente da concentração de NADH e H_2 na célula (KOZLOSKI, 2002). Segundo BERGMAN(1990), a proporção molar de acetato, propionato e butirato pode variar de 75:15:10 para 40:40:20, quando se altera a relação volumoso: concentrado das dietas. As vias metabólicas que promovem a geração de acetato e butirato contribuem para geração de CH_4 , pois leva a maior formação de H_2 . Enquanto a produção de propionato é considerada uma rota de competição das vias de uso de hidrogênio, e conseqüentemente da produção de metano (MOSS et al., 2000). Quando o produto resultante da fermentação é o ácido propiônico, há a captura de H_2 do ambiente ruminal, sendo possível observar uma relação inversa entre produção de propionato e de metano (WHITELAW et al., 1983). A produção de CH_4 , tanto no rúmen quanto no intestino, pode resultar na perda de 2% a 18% da energia bruta ingerida (dietas à base de grãos ou à base de forragem de baixa qualidade, respectivamente), com uma média de 6% (IPCC, 1996).

A fermentação do alimento para bovinos, ocorre também no ceco e cólon proximal, no entanto o tempo de permanência da digesta é muito inferior ao do rúmen. O intestino grosso é responsável por 12 a 17% da produção de AGCCs e de 6 a 14% da produção de CH_4 do animal por dia (IMMIG, 1996). A proporção da dieta digerida no intestino, e conseqüentemente dos gases produzidos, aumenta em dietas de pior qualidade. Do CH_4 produzido no trato digestivo posterior, 89% é excretado através da respiração e apenas 11% pelo ânus (MACHADO et al., 2011).

2.2.2 Produção de metano pelos dejetos

Os microorganismos presentes no trato gastrointestinal, incluindo as *Archaea* metanogênicas, são excretados e estão presentes no material fecal, podendo assim continuar a fermentação da matéria orgânica sob certas condições ambientais (GONZÁLEZ-AVALOS e RUIZ-SUÁREZ, 2001). Assim, os dejetos produzidos pelos bovinos podem ser fontes tanto para a emissão de CH₄ quanto para a emissão de N₂O. Willians (1993), avaliando a emissão de CH₄ pelas fezes de bovinos, observou taxas de emissão individual de 2,74 g/dia, durante os meses de dezembro a março (Temperatura 25-32 °C). Em uma revisão sobre emissão de CH₄ a partir de fezes em bovinos, SAGGAR et al. (2004) relataram resultados entre 0,167 a 3,236 g de CH₄/kg de fezes.

2.3 Óxido Nitroso

A produção animal, incluindo ruminantes e não ruminantes, responde por mais de 50% do total das emissões de óxido nitroso atribuídas à agropecuária (BRASIL, 2009). Este gás é produzido em consequência dos processos de nitrificação e desnitrificação. Na nitrificação os microorganismos oxidantes do amônio utilizam o nitrito (NO²⁻) como acceptor final de elétrons, minimizando assim a acumulação intracelular de níveis tóxicos de nitrito. A desnitrificação é o processo pelo qual o nitrato (NO³⁻) e o nitrito são reduzidos para formarem compostos como o óxido nítrico (NO), N₂O e nitrogênio (N₂) (RITCHIE e NICHOLAS, 1972). Durante o ciclo de produção de bovinos, o N₂O 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.

De acordo com Barrow (1987), de todo o alimento consumido pelos animais uma pequena porção é retida, e entre 60% e 90% do nitrogênio ingerido pode retornar ao meio ambiente, através das excreções. Esses dejetos, podem se comportar como poluentes, tanto para a atmosfera quanto para as águas de superfície e do lençol freático por serem fonte para a produção de óxido nitroso (LESSA, 2011). A deposição de N, seja pelas fezes ou urina dos bovinos, estimula a emissão de N₂O por promover aumento nas concentrações de N mineral no solo. Cardoso (2012) observou emissão de 91,6 mg de N₂O para cada litro de urina

depositada no solo. Enquanto para fezes, Cardoso (2012), observou emissão de 0,66 kg de N₂O por ano.

3 SEQUESTRO DE CO₂ PELA PASTAGEM

Uma forma de mitigar a emissão de GEE é o manejo correto de pastagens, pois estas, sob boas condições, poderão promover maior sequestro de carbono. Este processo visa conter e reverter o aquecimento resultante do efeito estufa, por meio da captura e estocagem de CO₂ da atmosfera (CARDOSO, 2012). Carvalho (2009) observou acúmulo no solo de 0,46 tonelada de carbono/ha/ano, em uma pastagem não degradada e sem restrições quanto à fertilidade do solo. Já em uma pastagem implantada em solo de baixa fertilidade, o Carvalho (2009) observou emissão de C para atmosfera, com taxas variando de 0,15 a 1,53 t de C/ha/ano, para pastagem não degradada e degradada, respectivamente.

O governo de Portugal, com o objetivo de reduzir as emissões de GEE, promoveu a recuperação de 42.000 hectares de pastagens e conseguiram um sequestro estimado em 910 mil toneladas de CO₂ equivalente (CO₂eq), em dois anos (WATSON, 2010). 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. Segundo o IBGE (2006), 158,6 milhões de hectares são ocupados por pastagens no Brasil, sendo que 70 a 80% encontra-se em algum estado de degradação (PERON e EVANGELISTA, 2004). Assim, o Brasil apresenta grande potencial para mitigação de GEE por meio da recuperação e da intensificação do uso das pastagens, contribuindo para a remoção do CO₂ atmosférico.

4 MATERIAL E MÉTODOS

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.

4.1 Cenários hipotéticos

O cenário modelo, sistema Média Brasileira (SMB), simulou a situação da maioria das propriedades que trabalham com bovinocultura. A composição do rebanho do cenário SMB foi calculada baseada 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 1), foi calculada a composição dos outros três cenários, para que todos ocupassem áreas aproximadas. 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. No SMC, seriam confinados a cada ciclo 297 machos e 236 fêmeas, ocupando a área de 1,1 hectare. 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 para a produção de silagem 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. Em resposta ao ganho de peso proposto os animais atingiriam peso de abate aos 18 meses. Os suplementos foram formulados para atender as exigências de desempenho dos animais, com o auxílio do software BR-Corte.

Tabela 1 – Índices zootécnicos dos cenários simulados

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

O desempenho dos animais (Tabela 2) foi predito baseando-se na composição químico-bromatológica 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 de 70%, 80% e 82% de NDT, para as fases de cria, recria e engorda, respectivamente.

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/dia para o cenário SMB e 3,85 kg/dia para os demais cenários.

Tabela 2 – Ganho médio diário dos cenários hipotéticos

Fases	Ganho médio diário (kg)							
	SMB		SMP		SMC		SIP	
	Mac.	Fêm.	Mac.	Fêm.	Mac.	Fêm.	Mac.	Fêm.
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	

Mac. = machos, Fêm. = fêmeas, SMB = média brasileira, SMP = sistema melhorado a pasto, SMC= sistema melhorado com terminação em confinamento, SIP = intensivo a pasto

A espécie forrageira preconizada, para todos os cenários como padrão, foi *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, porque esta espécie está presente em 60% das áreas ocupadas por pastagens no Brasil (PEREIRA et al., 2005). 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, respectivamente (CASTRO et al., 2007). 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.

4.2 Composição do rebanho

O número de animais de cada rebanho hipotético foi calculado a partir dos índices zootécnicos propostos para cada cenário (Tabela 1) utilizando as equações propostas por Gouvello et al. (2010). O número de nascimentos foi obtido pela Equação 1.

$$N = F0 * \alpha * (1 + \omega p * \alpha / 2) \quad (1)$$

Onde N é o número de nascimentos; F0 é o número de fêmeas; α é a taxa de natalidade; ωp é a taxa de mortalidade até o primeiro parto; O tempo de

permanência na categoria foi calculado para machos e fêmeas pelas Equações 2 e 3.

$$T (Mi) = \max (lx (Mi) - \beta a) \quad (2)$$

$$T (Fi) = \max (lx (Fi) - \beta p) \quad (3)$$

Onde lx é a idade máxima (meses) dos animais em cada categoria e βp e βa são, respectivamente, as idades ao primeiro parto e ao abate (meses), definidas para o sistema.

Para o cálculo do número de bezeros e bezerras (Equação 4), adotou-se a proporção de 50% para machos e fêmeas e taxas de mortalidades (ω_0) de acordo com os índices zootécnicos apresentados na Tabela 1.

$$F1, M1 = 0,5 * N * (1 - \omega_0 / 2) \quad (4)$$

As quantidades de animais nas categorias em crescimento (F_i , M_i) foram calculadas (Equações 5 e 6) com base na quantidade de animais da categoria de idade imediatamente inferior e do mesmo sexo, e da taxa de mortalidade da categoria (ω_{it}).

$$F_{i+1} = F_i * (1 - \omega_{it} (F_i) / 12) \quad (5)$$

$$M_{i+1} = M_i * (1 - \omega_{it} (M_i) / 12) \quad (6)$$

O número de touros foi calculado com base na relação touro/fêmea (θ) proposta para os sistema (1:25), de acordo com a Equação 7.

$$M_0 = F_0 * (1 + \omega_p * \alpha / 2) / \theta \quad (7)$$

Os números de fêmeas e machos abatidos (AF e AM , respectivamente) foram calculados segundo as Equações 8 e 9. Onde R é a taxa de reposição de fêmeas para reprodução.

$$AF = F_0 * (1 - R) * (1 - \omega_{it} (F_i)) \quad (8)$$

$$AM = N / 2 * (1 - \omega_{it} (M_i)) \quad (9)$$

A produção de carcaça (PC) foi então calculada pela Equação 10. Onde CEF e CEM são, respectivamente, o peso de carcaça no abate de fêmeas e machos.

$$PC = AF * CEF + AM * CEM \quad (10)$$

Aplicando-se as fórmulas descritas acima, obteve-se a composição do rebanho de cada cenário (Tabela 3). O número de cabeças de cada categoria foi multiplicado pelo equivalente em UA para cada categoria, obtendo assim o número de UA para cada cenário. O número de animais abatidos, a produção total de carne por ciclo e as áreas uteis estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 3 - Número de animais por categoria que compõem o rebanho em função do cenário simulado

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 4 – Número de animais abatidos, produção total de carne por ciclo, área equivalente de cada cenário simulado

	Unidade	SMB	SMP	SMC	SIP
Animais abatidos	Cabeças	88	405	533	531
Produção de carne	kg	19.857	95.444	141.459	125.559
Área útil	Hectares	522,40	522,57	521,60	522,57

SMB: média brasileira, SMP: sistema melhorado com terminação a pasto, SMC: sistema melhorado com terminação a confinamento, SIP: intensivo a pasto

4.3 Emissão 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 proveniente das atividades agrícolas, desde a fabricação, transporte e distribuição dos insumos. Também foram consideradas as emissões provenientes da suplementação mineral dos animais.

4.3.1 Emissões entéricas de CH₄

Para cálculo das emissões de CH₄ foram seguidas as recomendações propostas pelo IPCC (2006), no nível dois, baseando-se na composição do rebanho (Tabela 3) e desempenho de cada categoria (Tabela 2) nos quatro cenários hipotéticos. Para estimar as exigências de energia líquida para manutenção (ELm) (MJ/cabeça/dia), foi utilizada a Equação 11.

$$ELm = Cfi * PV^{0,75} \quad (11)$$

Onde PV é o peso vivo (kg), 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 12) baseando-se no peso (kg) e ganho de peso (GMD) (kg/dia).

$$ELg = 22,02 * (PV/(C*PA))^{0,75} * GMD/dia^{1,097} \quad (12)$$

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 (EL_l) foram calculadas baseadas na Equação 13, proposta pelo NRC (1989).

$$EL_l = PL * (1,47 + 0,40 * G) \quad (13)$$

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 EL_p foi calculada para fêmeas, como uma fração da energia líquida necessária para a manutenção, pela Equação 14 (IPCC, 2006).

$$EL_p = 0,10 \times E_{Lm} \quad (14)$$

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 15 e 16 (GIBBS e JOHNSON, 1993) os valores de ED foram convertidos em energia líquida da dieta disponível para manutenção (E_{Lm}/ED) e também em energia líquida disponível para o crescimento (E_{Lg}/ED).

$$E_{Lm}/ED = [1,123 - 0,004092 * ED + 0,00001126 * ED^2 - (25,4/ED)] \quad (15)$$

$$E_{Lg}/ED = [1,164 - 0,005160 * ED + 0,00001308 * ED^2 - (37,4/ED)] \quad (16)$$

Após, foi calculada a ingestão de energia bruta (E_{Bi}) pela Equação 17 (IPCC, 2006). Onde DE é a digestibilidade (%) da energia da dieta para cada categoria.

$$E_{Bi} = [((E_{Lm} + E_{LI} + E_{Lp}) / E_{Lm}/ED) + (E_{Lg} / E_{Lg}/ED)] / (DE/100) \quad (17)$$

A ingestão de energia bruta foi convertida nos fatores de emissão de metano pela Equação 18 (IPCC, 2006). Onde E_{Fi} é a emissão de CH_4 em kg/cabeça/ano e Y_m é a fração da energia bruta usada na conversão de CH_4 . Dijkstra (2009) cita valores variáveis para Y_m 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%. O valor de 55,65 (MJ/kg CH_4) é o conteúdo energético do metano.

$$E_{Fi} = (E_{Bi} \times Y_m \times \text{dias}) / 55,65 \quad (18)$$

4.3.2 Emissão de CH₄ e N₂O pelos dejetos

A produção de fezes (Equação 19) 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 (Equação 20) e engorda (Equação 21), baseada no peso vivo e na ELM.

$$\text{Prod. de fezes (kg/MS/dia)} = \text{Consumo} * (100 - (\text{NDT} - (0,7 * \text{EE}) * 1,25)) * 0,01 \quad (19)$$

$$\text{IMS} = \text{Peso}^{0,75} * [(0,244 * \text{ELM} - \text{ELM}^2 - 0,472) / \text{ELM}] \quad (20)$$

$$\text{IMS} = \text{Peso}^{0,75} * [(0,0119 * \text{ELM}^2 - 0,1938) / \text{ELM}] \quad (21)$$

Os fatores de emissão de CH₄ fecal utilizados foram obtidos por Cardoso (2012), em estudo conduzido em áreas de pastagens em região tropical, coletando o fluxo de gases em câmaras que continham fezes, e posteriormente quantificando a produção de CH₄ por meio do cromatógrafo. Esse autor obteve o fator de emissão de 1,92^{-0,3} por kg/PV/ano. Já em relação a emissão de óxido nitroso, devido a influência do sistema de produção e do período do ano na concentração de N nas fezes e na urina, bem com na emissão de N₂O por estes, preconizou-se concentrações diferentes de N e emissão de N₂O para o sistema a pasto nas épocas de chuva e seca e para o sistema de confinamento (Tabela 5). Na época das águas, a maior umidade do solo promove maior emissão de N₂O, devido a maior atividade microbologica que acelera a decomposição da matéria orgânica e afeta a dinâmica do N (GOMES et al., 2009).

Tabela 5 – Concentração de nitrogênio e emissão de óxido nitroso nas fezes e na urina durante as estações de chuva e seca a pasto e em confinamento

	Estação Chuvosa	Estação Seca	Confinamento
Fezes (% N/kg fezes)	1,18	1,00	2,00
Urina (g N/kg PV)	0,11	0,11	0,11
N ₂ O Fezes - (% N ₂ O/N total)	0,20	0,07	0,20
N ₂ O Urina - (% N ₂ O/N total)	0,40	0,07	0,40

Fonte: Adaptado de Alves (2009), Denmead (2000) e Caetano, (2008)

4.3.3 Cálculo da emissão de CO₂

Para a quantificação de CO₂ emitido durante produção de milho grão e silagem de milho contabilizou-se todos os gases, desde a sua fabricação, transporte, aplicação e emissão direta após seu uso nas propriedades. Em relação ao farelo de soja, casca de soja e caroço de algodão, por serem considerados co-produtos não tiveram a emissão de CO₂ contabilizada. Quanto às fontes de minerais para alimentação foram contabilizadas as emissões de CO₂ para fósforo, potássio e uréia. Os fatores de emissão utilizados estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Emissão de CO₂ pelos insumos utilizados na pecuária e agricultura, desde a produção do mesmo à entrega na fazenda

Nutrientes/Insumos	CO ₂ /Nutriente	Unidade	Fonte
Nitrogênio	858	(kg/t)	West e Marland, 2002
Fósforo	165	(kg/t)	West e Marland, 2002
Potássio	120	(kg/t)	West e Marland, 2002
Calcário dolomítico	36	(kg/t)	West e Marland, 2002
Sal mineral	120	(kg/t)	Estimado*
Herbicida 1 (Gesaprin 50)	4,7	(kg/L)	West e Marland, 2002
Herbicida 2 (Sanson 405C)	4,7	(kg/L)	West e Marland, 2002
Inseticida (Karate)	4,9	(kg/L)	West e Marland, 2002
Inseticida (Match)	4,9	(kg/L)	West e Marland, 2002
Formicida	4,9	(kg/kg)	West e Marland, 2002
Sementes (Pionner)	1,1	(kg/kg)	West e Marland, 2002
Tratamento de sementes	5,2	(kg/L)	West e Marland, 2002
Uréia	858	(kg/t)	West e Marland, 2002
Diesel	3,1	(kg/kg)	West e Marland, 2002
Lona plástica	0,35	(kg/m ²)	Romanelli, 2002

Fonte: organizado por MONTEIRO (2009). *Estimado em função da emissão média de sais presente no sal mineral

Considerando que o cenário da SMB não estava sendo manejado adequadamente, a dose de adubação foi de 50, 70, 50 kg de N, P e 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. A correção da acidez ocorreu, nos cenários SMP, SMC e SIP, a cada 4 anos. Sendo utilizada a dose de 200 kg/ha de calcário dolomítico (VILELA et al., 2000).

4.4 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 22), baseadas na metodologia proposta pelo IPCC (2007). 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, que é de 25 e 298 para o CH₄ e o N₂O, respectivamente (IPCC, 2007).

$$T (\text{CO}_2) = (X1 * 25) + (X2 * 298) + X3 \quad (22)$$

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), apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Taxa de acúmulo/perda de carbono pelo solo em função do tipo de manejo da pastagem em cerrados

Tipo de pastagem	Variação do estoque de C do solo (Mg C ha/ano)
Degradada	-0,28
Nominal	-0,03
Manejada	0,61

Fonte: 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 23). 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).

$$\text{Saldo de CO}_2\text{eq} = T(\text{CO}_2) - (\Delta\text{C solo}) * 44/12 \quad (23)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Emissões de GEE em diferentes cenários

5.1.1 Emissão de CH₄

Comparando-se as emissões de CH₄, observa-se que a produção entérica total por ciclo de cada cenário foi maior no SMP, seguido por SMC, SIP e SMB (Tabela 8). 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 conseqüentemente, 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 uteis 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 8), 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. Essa idade foi reduzida de 30 meses, no SMP, para 24 e 18 meses, nos sistemas SMC e SIP, respectivamente. A redução de 6 meses na idade de abate proporcionou uma redução de 1,09% na emissão total de metano, enquanto a redução de 12 meses proporcionou uma redução de 9%.

Tabela 8 – Produção de metano entérica e pelas fezes dos cenários hipotéticos

	Unidade	Sistemas			
		SMB	SMP	SMC	SIP
CH ₄ (entérico)	kg/ciclo	37.268	82.182	81.891	75.605
CH ₄ (fezes)	kg/ciclo	4,5	4,36	3,42	3,26

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

A redução na emissão total de CH₄ também pode ser atribuída a melhora na qualidade do alimento que proporcionou melhor desempenho dos animais, contrabalançando o aumento do número de animais por área. A utilização de 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,

favorece a produção de propionato; promove aumento do consumo voluntário e conseqüentemente reduz o tempo de retenção da digesta no rúmen, isto restringe a fermentação ruminal, favorecendo a digestão pós-ruminal (O'MARA et al., 1998). De fato, Tedeschi et al. (2003) mencionam que aumentando a taxa de passagem ruminal em 50% a produção de CH₄ sofre redução de 30%.

A inclusão de concentrado na dieta implica na substituição de carboidratos fibrosos por carboidratos não fibrosos, resultando em modificações nas condições físico-químicas do rúmen e na população microbiana. O aumento na produção de propionato ocorre porque a inclusão de amido e açúcares solúveis favorece o desenvolvimento de bactérias amilolíticas, estas tem como principal produto formado o propionato. Conseqüentemente, há queda na produção de metano devido à menor disponibilidade de H₂ no rúmen. O fornecimento de grãos também provoca redução na emissão entérica de CH₄ por reduzir o pH ruminal. Machado et al. (2011) observaram menores produções de metano e amônia em experimentos *in vitro* quando o pH ruminal foi inferior a 6,0. A redução na produção de metano ocorre porque a redução no pH é resultado da maior produção de ácidos graxos voláteis, redução da motilidade ruminal, menor taxa de diluição do conteúdo ruminal, baixíssima população de protozoários e reduzida atividade de bactérias fibrolíticas (MARTIN et al., 2010). Esses efeitos conjuntos explicam o fato de que todos os sistemas propostos a menor emissão entérica foi observada no SIP, tanto total quanto individual (Tabelas 8 e 9, respectivamente).

A redução na emissão também pode ser observado quando se promove melhoria da qualidade da forragem, representado pelo sistema SMP em comparação com SMB. O aumento da digestibilidade também promove aumento na taxa de passagem do alimento, e assim, reduz o tempo de retenção do alimento no rúmen e a produção de CH₄, conforme observado na Tabela 9. O manejo adequado das áreas de pastejo ocorrido nos cenários SMP, SMC e SIP pôde aumentar tanto a quantidade como a qualidade da pastagem disponível para os animais. De acordo com Chaves et al. (2006) melhoria na qualidade da pastagem resulta em melhoria da eficiência alimentar, redução da produção de gás CH₄ por hectare e incremento no desempenho, o que também aumenta a rentabilidade do sistema.

Comparando os sistemas intensificados, a redução da emissão de metano 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 CH₄ fecal (Tabela 8), visto que foi calculada de acordo com o tempo de permanência de cada animal em cada fase do sistema e também pelo peso vivo.

Tabela 9 – Produção individual de metano fecal e entérico pelas diferentes categorias de animais nos sistemas hipotéticos

Categorias	SMB	SMP	SMC	SIP
	Emissão de CH ₄ entérico por animal (kg/ciclo)			
Touros	98,89	69,21	69,21	55,88
Vacas	95,33	72,78	72,78	58,77
Bezerros	19,20	14,87	14,87	15,79
Bezerras	19,14	14,40	14,40	15,51
Novilho	67,16	36,83	42,29	26,20
Novilha	65,21	36,70	42,58	26,54
Vaca de descarte	62,03	60,97	21,70	25,67
Macho em terminação	62,81	60,62	21,66	24,55
Emissão de CH ₄ fecal por animal (kg/ciclo)				
Touros	3,83	2,74	2,19	1,64
Vacas	2,73	1,95	1,56	1,17
Bezerros	0,11	0,11	0,11	0,13
Bezerras	0,11	0,10	0,10	0,11
Novilho	0,59	0,39	0,47	0,29
Novilha	0,55	0,38	0,45	0,28
Vaca de descarte	0,60	0,73	0,18	0,30
Macho em terminação	0,63	0,75	0,20	0,29

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

Analisando a produção de CH₄ individual por ciclo (Tabela 9) foi possível observar uma redução na emissão de CH₄ 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 e/ou 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 influenciou na menor produção individual de CH₄. O sistema SMB, que representa animais abatidos aos 42 meses, foi caracterizado por maior permanência do animal no rebanho e assim maior emissão de CH₄ do nascimento ao abate. Comparando a emissão por animal dos sistemas SMB e SMP (Tabela 9), é possível observar que o manejo correto da pastagem permitiu melhorar a eficiência e o ganho de peso dos animais, e assim reduziu o ciclo produtivo.

A menor emissão total (Tabela 8) e individual (Tabela 9) 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 Blaxter e Clapperton (1965), os quais afirmaram que, em altos níveis de consumo (duas a três vezes o nível de manutenção), a produção de CH₄ decresce acompanhada do aumento da digestibilidade. A redução da emissão de CH₄ resultante do aumento da eficiência produtiva é atingida pelo efeito da diluição de matéria (CAPPER et al., 2009). Quanto maior o consumo de energia por peso vivo, maior será a quantidade de energia depositada em resultado a menor perda de energia na forma de calor, pois as exigências de energia para manutenção 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), conforme observado na Tabela 10.

Para as categorias em fase de terminação nos sistemas melhorados (SMP, SMC e SIP) a relação entre a emissão de CH₄ por kg de MS ingerida foi maior que o SMB. (Tabela 10). Contudo, comportamento inverso foi observado ao analisar a relação entre a emissão de CH₄ e a IED. Em trabalho com bovinos da raça Brahman, Kurihara et al. (1999) notaram maior IMS para as dietas de feno de alta qualidade (7,07 kg), e o menor consumo para os animais que receberam a dieta com feno de baixa qualidade (3,58 kg). A maior IMS acarretou em maiores produções diárias de metano (g/dia), porém ao avaliar a produção em gramas de metano por kg de MOD (g/kg), observou-se os seguintes valores: 75,4 e 64,6 g/kg MOD, para feno de baixa qualidade e alta qualidade, respectivamente. Tedeschi et al. (2003) observaram que quando expresso como proporção da energia digestível, a diminuição das perdas de CH₄ foram de 1,6 % para cada unidade de aumento no consumo de ração acima da exigência de manutenção. Fato que poderia ocorrer nos sistemas SMC e SIP.

Tabela 10 – Relação entre a emissão diária de metano e a ingestão de matéria seca e relação entre emissão diária de metano e a ingestão de energia digestível

Categorias	SMB	SMP	SMC	SIP
	Emissão de CH ₄ /IMS (g/kg)			
Touros	23,46	16,10	16,10	13,01
Vacas	28,95	21,63	21,63	17,46
Bezerros	14,06	22,16	22,16	20,16
Bezerras	14,45	22,85	22,86	21,12
Novilho	12,38	9,79	9,79	17,13
Novilha	12,64	10,03	10,03	17,72
Vaca de descarte	7,54	9,84	27,16	20,22
Macho em terminação	7,37	10,06	25,21	18,99
Emissão de CH ₄ /IED (g/Mcal)				
Touros	1,27	1,19	1,19	1,10
Vacas	1,27	1,18	1,18	1,09
Bezerros	1,27	1,18	1,18	1,09
Bezerras	1,26	1,18	1,18	1,09
Novilho	1,27	1,14	1,14	1,09
Novilha	1,27	1,13	1,13	1,09
Vaca de descarte	0,75	1,22	1,09	1,14
Macho em terminação	0,75	1,22	1,09	1,04

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

Resultados apresentados por Moss (2001) também evidenciaram que o maior consumo de MOD no rúmen pode levar a maior produção de CH₄ por animal, mas também resulta em maior eficiência produtiva e, conseqüentemente, menor emissão de metano por unidade de produto (leite ou carne) ou por ciclo produtivo. De fato, para os animais na fase de recria a maior emissão diária de metano foi observada para o cenário SIP (Tabela 10), isso ocorreu porque, houve maior IMSD. Contudo, se analisado a emissão total por fase esses valores foram menores no SIP (Tabela 8). O SMC, com terminação em confinamento, apresentou a maior emissão diária individual de metano (0,24 kg/cab/dia) (Tabela 11). Contudo a emissão total nesta fase foi menor que os demais cenários simulados (Tabela 9), 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 quilo ED ingerida (Mcal/dia), conforme apresentado na Tabela 10. 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 11) 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 a ingestão de energia digestível (IED), seria menor no cenário SMB por causa do menor teor de digestibilidade utilizado, havendo assim menor aproveitamento pelo animal. 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 manutenção e atividade de locomoção, ocasionadas pelo gasto energético excessivo. Segundo Paulino et al. (2008), a produção de metano por ruminantes (g/kg de MOD), aumenta com a idade de rebrota de plantas forrageiras, em decorrência do incremento de material lignocelulósico, o que supostamente ocorreu no sistema SMB. 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 11) em decorrência da maior IMS, o que conforme mencionado anteriormente, aumenta a emissão diária.

Em geral, o incremento da qualidade da alimentação e a alteração da microflora ruminal permitem maior retenção de energia, o que proporciona melhor desempenho animal e, conseqüentemente, menor produção de CH₄ por unidade de produto. Na Tabela 12 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.

Tabela 11 – Emissão individual diária de metano

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

Comparando os cenários SMB e SMP os animais foram abatidos em idade inferior 12 meses. Com isso, obteve-se uma redução de 49% na emissão de metano por quilo 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 (JOHNSON e JOHNSON, 1995) o que reflete no total emitido pelo rebanho e na relação entre a emissão e a produção de carcaça.

Tabela 12 - Proporção da emissão de metano de cada cenário em relação ao total de carcaça

	SMB	SMP	SMC	SIP
Produção de carcaça/ciclo (kg)	19.857	95.444	141.459	125.559
Emissão de CH ₄ /ciclo	37.273	82.186	81.894	75.608
Emissão de CH ₄ (kg)/ carcaça (kg)	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

5.1.2 Emissões 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. A quantidade excretada de N_2O fecal individual para o sistema SMB foi de 42,88 g/fêmea, enquanto para os sistemas SMC, SMP e SIP foi de 34,40; 34,40 e 26 g/fêmea, respectivamente (Tabela 13). 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 N_2O . O mesmo comportamento foi observado para os bezerros e bezerras, havendo redução em resposta à intensificação do sistema (Tabela 13).

Tabela 13 - Emissão de óxido nitroso oriundo das fezes calculada para cada categoria do rebanho, para os quatro cenários prototípicos

Categoria	Cenários			
	SMB	SMP	SMC	SIP
	g de N_2O por animal			
Touros	55,06	44,16	44,15	33,39
Vacas	42,88	34,40	34,39	26,00
Bezerros	7,64	6,38	6,38	6,01
Bezerras	7,31	5,99	5,99	5,64
Novilho	20,83	12,01	23,77	3,49
Novilha	19,82	11,65	22,77	3,41
Vaca de descarte	19,48	21,67	7,81	9,78
Macho em terminação	20,18	22,10	8,42	9,98
	kg de N_2O por categoria			
Touros	0,53	1,33	1,48	1,10
Vacas	8,58	20,74	23,39	21,00
Bezerros	0,45	1,53	1,95	1,92
Bezerras	0,43	1,50	1,95	1,80
Novilho	1,20	2,85	7,22	1,10
Novilha	2,22	2,98	7,44	1,08
Vaca de descarte	0,67	3,84	1,84	2,27
Macho em terminação	1,08	5,04	2,50	2,97
Total de N_2O / sistema (kg)	15,14	39,81	47,78	33,27

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

Em relação aos animais na fase de recria, os cenários SMC e SMB apresentaram maior emissão devido ao maior tempo na categoria, 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 (Tabela 13). Já no cenário SMB os animais, além de permanecerem longo tempo na fase de terminação, estavam em pastagem de baixo valor nutritivo, havendo assim maior emissão de N_2O .

Quando avaliado a emissão total do rebanho (Tabela 8), 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. Além disso, foi possível promover 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.

Assim como confirmado por Lessa (2011), as emissões de N_2O são diferentes entre as excretas bovinas, sendo o maior volume emitido pela urina (Tabela 14). A emissão individual de N_2O via urina na fase de cria foi maior no SIP, seguidos por SMC, SMP (ambas semelhantes) e SMB. Isso pode ser explicado porque 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.

Tabela 14 - Emissão de óxido nitroso oriundo da urina calculada para cada categoria do rebanho, para os quatro cenários prototípicos

Categoria	Cenários			
	SMB	SMP	SMC	SIP
	g de N ₂ O por animal			
Touros	94,56	94,56	94,56	94,56
Vacas	67,77	67,77	67,77	67,77
Bezerros	8,35	9,46	9,46	11,55
Bezerras	7,87	8,68	8,68	10,61
Novilho	24,89	19,27	23,77	5,22
Novilha	23,30	18,48	22,77	5,06
Vaca de descarte	25,83	40,84	15,74	25,03
Macho em terminação	27,07	41,96	17,39	25,75
	kg de N ₂ O por categoria			
Touros	0,90	2,84	3,17	3,72
Vacas	13,55	40,87	46,08	54,75
Bezerros	0,49	2,27	2,89	3,70
Bezerras	0,46	2,18	2,83	3,55
Novilho	1,43	4,57	7,22	1,65
Novilha	2,60	4,39	6,92	1,59
Vaca de descarte	0,89	7,23	3,71	5,83
Macho em terminação	1,45	9,57	5,16	7,67
Total de N ₂ / sistema (kg)	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

Na Tabela 15 está apresentada a relação entre a emissão de N₂O e a produção de carcaça de cada cenário avaliado. Considerando a emissão total de N₂O (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. A redução na relação entre produção de carcaça e emissão de N₂O 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 nitroso quando utilizamos sistemas mais intensificados, este aumento é recompensado pela maior produtividade e rentabilidade do sistema.

Tabela 15 – Emissão total de N₂O pelos rebanhos dos cenários hipotéticos e relação entre emissão de N₂O e produção de carcaça

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

5.1.3 Emissões de CO₂

Outras fontes de emissão de GEE que podem ser atribuídas à produção animal são as práticas de manejo das pastagens e também o plantio de culturas destinadas à suplementação dos animais. Práticas que promovem a intensificação e a redução do ciclo de produção, como o uso de confinamento e suplementação, aumenta a dependência de insumos externos, o que pode resultar no aumento da emissão de GEE. Para alimentação dos animais terminados em confinamento no sistema SMC foram necessários o plantio de 28 hectares de milho para a ensilagem e 41 de milho para ser utilizado no concentrado. Já para a alimentação dos animais do sistema SIP foi necessário o plantio de 89 hectares de milho para produção de concentrado, visto que em todas as fases foi utilizada alimentação suplementar para que os animais atingissem alto desempenho. Na Tabela 16 são apresentados a área total, produção e emissão de CO₂ para os sistemas SMC e SIP. Esses valores são importantes para avaliar se realmente as estratégias de suplementação, apesar de promoverem redução da emissão de GEE, não irão promover aumento na produção de GEE oriundas das outras culturas, e assim, se podem ser recomendadas como opções de redução da emissão total de GEE.

Tabela 16 - Área plantada, produtividade e emissão de GEE do milho para silagem e milho para grão, destinados à alimentação dos animais confinados e suplementados

Variável	SMC		SIP
	Milho silagem	Milho Grão	Milho Grão
Área plantada (ha)	28,05	41,04	89,76
Produtividade (kg/MN/ha)	40,00	7,50	7,50
Produtividade (kg/MS/ha)	14,00	6,60	6,60
Produção total (kg/sistema)	129.584	270.864	591.528
Emissão de CO ₂ (kg)	33.098	40.630	88.862
Emissão de CO ₂ (kg/ha plantado)	1.180	990	990
Emissão de CO ₂ (kg/t produzida)	255	150	150

MN = matéria natural, MS= matéria seca, SMC= sistema melhorado com terminação em confinamento, SIP= sistema intensivo a pasto

Apenas os sistemas SMP, SMC e SIP receberam adubação e calagem nas doses adequadas para correção da acidez e fertilidade do solo. A emissão foi calculada com base no período total de duração do ciclo, 30, 24 e 18 meses para o sistema SMP, SMC e SIP, respectivamente (Tabela 17). A maior emissão total oriunda de manejo de pastagens ocorreu no SMP (155.651,63 t de CO₂) devido a maior área destinada a pastejo (522,57 ha) e também 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 6 e 12 meses menores que o SMB, respectivamente. Isso refletiu na menor utilização de insumos nas áreas de pastagens destes dois cenários.

Tabela 17 - Emissão de CO₂ proveniente dos nutrientes utilizados na adubação e calagem das áreas de pastagem dos cenários hipotéticos

Nutriente	Unidade	SMB	SMP	SMC	SIP
Nitrogênio	(t/CO ₂)	69.374,70	110.462,04	68.070,41	53.822,12
Fósforo	(t/CO ₂)	18.677,80	29.739,78	18.326,65	14.490,57
Potássio	(t/CO ₂)	9.702,75	15.449,24	9.520,34	7.527,57
Calcário	(t/CO ₂)	0,81	0,58	0,36	0,27
Total	(t/CO ₂)	97.756,07	155.651,63	95.917,75	75.840,53

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

Na Tabela 18 esta apresentada a emissão de CO₂ resultante da suplementação mineral dos animais. Assim, como para os outros fatores avaliados, a redução do ciclo de produção resultou em redução na emissão de CO₂, mesmo com o aumento do número de animais do rebanho.

Tabela 18 - Emissão de CO₂ proveniente dos nutrientes utilizados na suplementação dos animais dos cenários hipotéticos a cada ciclo

Nutriente	Unidade	SMB	SMP	SMC	SIP
Fósforo	(t/CO ₂)	2.608,32	2.410,32	1.982,64	1.728,99
Nitrogênio	(t/CO ₂)	24.710,40	16.988,40	7.722,00	9.057,82
Sal mineral	(t/CO ₂)	24.994,56	22.609,92	17.575,68	15.626,09
Total	(t/CO ₂)	52.313,28	42.008,64	27.280,32	26.412,90

SMP = sistema melhorado a pasto, SMC = sistema melhorado com terminação em confinamento, SIP = sistema intensivo a pasto

5.2 Balanço de CO₂ equivalente

Todos os gases gerados durante o ciclo de produção de bovinos de corte foram transformados em uma base única, CO₂eq, permitindo obter a estimativa da emissão total dos gases produzidos durante o ciclo de produção de cada cenário hipotético. Os resultados estão apresentados na Tabela 19. O sistema SMP foi o que emitiu maior quantidade CO₂eq, 198.952 ton/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 total por animal, o SMP apresentou a emissão de 99,82 toneladas de CO₂eq, enquanto o SMB apresentou a emissão de 259,23 toneladas. Já se analisarmos a relação entre emissão de CO₂eq e a produção de carcaça, o SMP foi quase 4 vezes mais eficiente que o SMB, por emitir 2,09 t de CO₂eq/kg de carcaça produzido, enquanto o SMB emitiu 7,61 t de CO₂eq/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.

Tabela 19 – Balanço de CO₂ equivalente pelos cenários hipotéticos

	Unid.	SMB	SMP	SMC	SIP
CH ₄	t	37,27	82,18	81,89	75,61
N ₂ O	t	0,04	0,11	0,13	0,11
CO ₂ adubação	t	97.756,07	155.651,63	95.917,75	75.840,53
CO ₂ suplementação	t	52.313,28	42.008,64	27.280,32	26.412,90
CO ₂ milho	t	0	0	73,73	88,86
Total de CO ₂ eq	t	151.012,17	199.748,72	125.356,63	102.418,01
Total d Carcaça	t	19.856,55	95.443,75	141.458,94	125.559,12
Sequestro/Perda CO ₂	t	-511,95	796,93	514,1	388,2
Balanço de CO ₂	t	151.524,12	198.951,79	124.842,53	102.029,81
CO ₂ / carcaça	t/kg	7,63	2,08	0,88	0,81
CO ₂ / animal	t/UA	259,02	99,83	50,65	38,70
CO ₂ / ano	T	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

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. Conant et al. (2001) revisaram cerca de 115 estudos em 17 países sobre os efeitos do manejo da pastagem sobre a matéria orgânica do solo. Identificaram que fertilização, manejo do pastejo adequado, espécies produtivas, conversão de cultivos agrícolas em pastagens permanentes, presença de leguminosas e irrigação aumentaram o sequestro de C no solo. A taxa média de sequestro de C nesses estudos foi 0,2 a +3,0 t C/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 t 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 suplementar 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 produtividade do SMC foi maior que o SIP, já que o primeiro apresentou maior produção de carcaça, por abater animais mais pesados.

Estudos conduzidos na Europa demonstraram que o aumento nas emissões de óxido nitroso e metano pelo uso de N para sustentar maior taxa de lotação ou maior desempenho de bovinos podem ser compensados pelo grande influxo de carbono atmosférico para o solo, configurando essas áreas de pastagens como prováveis mitigadoras do efeito estufa (SOUSSANA et al., 2007). O alto desempenho dos animais e a menor perda de energia podem ser atribuídas ao fato de que quando se utilizou a suplementação os animais apresentaram maior IED em comparação aos animais de mesma exigência de manutenção, assim houve diluição desta.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da simulação desenvolvida foi observado 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 funciona como agente mitigador dos GEE emitidos pelo sistema, anulando ou invertendo o fluxo de GEE, por meio do sequestro de carbono. A adoção de sistemas mais intensivos também possibilitará a liberação de áreas, que até então estavam ocupadas por pastagens ou cultivos agrícolas, para sistemas que contribuam ainda mais com a mitigação de gases de efeito estufa, como florestas.

O sistema que simula a propriedade típica brasileira foi o sistema menos eficiente, isso demonstra o grande potencial brasileiro para aumento na disponibilidade de carne bovina mantendo ou reduzindo as emissões de GEE, já que este sistema é passível de melhorias, por meio de estratégias simples como manejo adequado de pastagens ou oferta de alimento de melhor qualidade. 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.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, B.J.R.; CARVALHO, A.M.; MADARI, B.E.; FRANCHINI, J.C.; JANTALIA, C.P.; DOS SANTOS H.P.; CARVALHO, C.J.R. In: LIMA, M.A.; ALVES, B.J.R.; MACHADO, P.L.O.A (Ed.). Estoques de carbono e gases de efeito estufa em sistemas agropecuários e florestais brasileiros: resultados da Rede Agrogases. Embrapa Meio Ambiente: Jaguariuna, 2009.

ARCURI, P.B.; LOPES, F.C.F.; CARNEIRO, J.C. Microbiologia do rúmen. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G (Ed). **Nutrição de Ruminantes**. Ed. Jaboticabal: Funep, 2006. p.115-147.

BARROW, N.J. Return of nutrients by animals. In: SNAYDON, R.W. (Ed.) Ecosystems of the world 17B- Managed Grassland/ Analytical Studies. Amsterdam: Elsevier, p.181-186, 1987.

BERGMAN, E.N. Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. **Physiological Reviews Published**, v.70, p.567-570, 1990.

BLAXTER, K.L. e CLAPPERTON, J.L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **British Journal of Nutrition**, v.19, p.511-522, 1965.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa: Informações gerais e valores preliminares. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/geesp/docs/brasil/6.pdf>>. Acessada em: 17/03/2014.

BROUWER, E. Report of sub-committee on constants and factors. In: BLAXTER, K. L. (Ed.). Proceedings of the 3 Symposium on energy Metabolism. London: EAAP Academic, v.11, p.441-443, 1965.

BUSTAMANTE, M.M.C.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; ROSCOE, R. Soil carbon storage and sequestration potential in the Cerrado region of Brazil. In: LAL, R; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ESTCHEVERS, J.; CERRI, E. (Ed). **Carbon sequestration in soils of latin America**. New York, Food Products Press, p.250-290, 2006.

CAETANO, M. **Estudos das perdas de amido em confinamentos brasileiros e do uso do amido fecal como ferramenta de manejo de bovinos confinados**. 2008.

77p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo - Piracicaba, 2008.

CARDOSO, A.S. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central.** 2012. 6-60p. Dissertação (Mestrado em agronomia). Universidade Federal do Rio de Janeiro – Seropédica, RJ.

CAPPER, J.L.; R.A. CADY, R.A.; BAUMAN, D.E 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. **Journal of Animal Science**, v.87,p.2160-2167, 2009.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; PICOLLO, M.C.; GODINHO, V.P. CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil Tillage Research**, v.103, p.342-349, 2009.

CASTRO, G.H.F; GRAÇA, D.S.; GONÇALVES, L.C. Cinética de degradação e fermentação ruminal da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu colhida em diferentes idades ao corte. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.59, n.6, p.1538-1544, 2007.

CERDÓTES, L.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; NÖRNBERG, M.F.B.L.; NÖRNBERG, J.L.; HECK, I.; SILVEIRA, M.F. Produção e Composição do Leite de Vacas de Quatro Grupos Genéticos Submetidas a Dois Manejos Alimentares no Período de Lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.610-622, 2004.

CHAVES, A.V.; THOMPSON, L.C.; IWAASA, A.D. Effect of pasture type (alfafa vs. grass) on methane and carbon dioxide production by yearling beef heifers. **Canadian Journal of Animal Science**, v.86, p.409-418, 2006.

CHIZZOTTI, M.L.; PEREIRA, L.G.R.; CHIZZOTTI, F.H.M.; LADEIRA, M.M.; MACHADO NETO, O.R. Uso da nutrição para redução na geração de metano: Eficiência no uso da energia para ruminantes x meio ambiente. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES NO CERRADO. Anais... Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

CONANT, R.T.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. **Ecological Application**, v.11, p.343-355, 2001.

CRUZ, J.C.; MELHORANÇA, A.L.; COELHO, A.M.; ANDRADE, C.L.T; et al. Cultivo do milho. EMBRAPA MILHO E SORGO. Sistemas de Produção, n.1, 2010. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm>. Acesso em: 02/03/2014.

DENMEAD, O.T.; LEUNING, R.; JAMIE, I.; GRIFFITH, D.W.T. Nitrous oxide emissions from grazed pastures: measurements at different scales. **Chemosphere Global Change Science**, Canberra, v.2, p.301-312, 2000.

DIJKSTRA, J.; FRANCE, J.; ELLIS, J.L.; KEBREAB, E.; LOPEZ, S.; REJIS, J. BANNINK, A. Effects of nutritional strategies on N and methane losses in dairy cattle. In: 7th international workshop 'Modelling nutrient digestion and utilization in farm animals'. 2009, Paris. Anais... 7th international workshop MODNUT, 2009.

EUCLIDES FILHO, K. Interação Genótipo-ambiente-mercado na produção de carne bovina nos trópicos. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 2, 2001, Viçosa. Anais...Viçosa: UFV/DZO, 2001. p.93-115.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org.br/FAOddma.asp>>. Acesso em: 26/02/2014.

GIBBS, M.J. e Johnson, D.E. "Livestock Emissions". In: International Methane Emissions, U.S. Environmental Protection Agency, Climate Change Division, Washington, D.C. 1993.

GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F.S.; PICCOLO, M.C.; ZANATTA, J.A.; VIEIRA, F.C.B; SIX, J. Soilnitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil & Tillage Research**, v.106, n.1, p.36-44, 2009.

GONZÁLEZ-AVALOS, E. e RUIZ-SUÁREZ, L.G. Methane emission factors from cattle manure in Mexico. **Bioresource Technology**. v. 80:1, p.63-71, 2001.

GOUVELLO, C.; SORES-FILHO, B.S.; NASSAR, A. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Uso da Terra, Mudanças do Uso da Terra e Floresta. Ed. Banco Mundial. p. 70-170, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Censo Agropecuário de 2006. Disponível em: <<http://www.bb.com.br/docs/pub/siteEsp/agro/dwn/CensoAgropecuario.pdf>>. Acesso em: 22/05/2014.

IMMIG, I. The rumen and hindgut as a source of ruminant methanogenesis. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.42, p.57-72, 1996.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: 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, United Kingdom and New York, NY, USA, 996p., 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Emissions from livestock and manure management. In: Eggleston, H.S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tabane, K. (Ed.). **IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama: IGES, p.747-846, 2006.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analysis**. Cambridge: University Press, 878p, 1996.

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

KOZLOSKI, V.G. Metabolismo microbiano ruminal. KOZLOSKI, V. G. In: **Bioquímica dos ruminantes**. 3 ed. Santa Maria: UFMS, 2009, p.212.

KOZLOSKI, G.V. **Bioquímica dos ruminantes**. 1 ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2002. 140p.

KURIHARA, M.; MAGNER, T.; HUNTER, R.A.; McCRABB, G.J. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. **British Journal of Nutrition**, v.81, p.227-234, 1999.

LESSA, A.C.R. **Emissão de óxido nitroso e volatilização da amônia de urina e fezes bovinas em pastagens.** Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Curso de Pós-graduação em Agronomia. Seropédica, 2011.

LOVATTO, P.A.; SAUVANT, D. Modelagem aplicada aos processos digestivos e metabólicos do suíno. **Ciência Rural**, v.31, p.663-670, 2001.

MACHADO, F.S.; PEREIRA, L.G.R.; GUIMARAES JUNIOR, R.; LOPES, F.C.F.; CHAVES, A.V.; CAMPOS, M.M.; MORENZ, M.J.F. Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliações e estratégias de mitigação. EMBRAPA Gado de leite, n.147, 92p. MG, 2011.

MAIA, S.M.F.; OGLE, S.M.; CERRI, C.E.P. Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and MatoGrosso states, Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.149, p.84-91,2009.

MARTIN, C.; MORGAVI, D.P.; DOREAU, M. Methane mitigation in ruminants: from microbes to the farm scale. **Animal**, v.4, n.3, p.351- 365, 2010.

McSWEENEY, C.S. e McCRABB, G.J. Inhibition of rumen methanogenesis and its effects on feed intake, digestion, and animal production. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE – GGAA, 1, 2001. Anais... Greenhouse Gases and Animal Agriculture, p.96-104, 2001.

MONTEIRO, R.B.N.C. **Desenvolvimento de um modelo para estimativas da produção de gases de efeito estufa em diferentes sistemas de produção de bovinos de corte.** 2009. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

MOSS, A.R. Environmental control of methane production by ruminants. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE, 2001, Hokkaido. Anais... Hokkaido: Greenhouse Gases and Animal Agriculture, 2001, p.35-43.

MOSS, A.R.; JOUANY, J.P.; NEWBOLD, J. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. **Animal Zootechnie**, v.49, p.231–253, 2000.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7.ed. Washington, D.C.: 1996. 242p.

NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 5. ed. Rev. Washinton D.C. 1989. 100p.

OLIVEIRA, R.L.; BARBOSA, M.A.A.F.; LADEIRA, M.M.; SILVA, M.M.P.; ZIVIANI, A.C.; BAGALDO, A.R. Nutrição e manejo de bovinos de corte na fase de cria. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.7, n.1, p.57-86, 2006.

O'MARA, F.P.; FITZGERALD, J.J.; MURPHY, J.J.; RATH, M. The effect on milk production of replacing grass silage with maize silage in the diet of dairy cows. **Livestock Production Science**, v.55, p.79–87, 1998.

PAULINO, V.T.; LUCENA, M.A.C.; GERDES, L.; COLOZZA, M.T.; BRAGA, G.J. Sustentabilidade de pastagens consorciadas - ênfase em leguminosas forrageiras. In: II ENCONTRO SOBRE LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS. 1 ed. Nova Odessa: IZ/APTA/SAA, v.1, p.1-55, 2008.

PEREIRA, M.A.; COSTA, F.P.; CORRÊA, E.S.; CEZAR, I.M.; MELO FILHO, G.A.; WANDER, A.E.; NASCIMENTO, D.S. Sistema e custo de produção de gado de corte no Estado de Goiás. Comunicado técnico nº 94. Embrapa Gado de Corte. Campo Grande, MS, 2005.

PERES, M.A. e JOSAHKIAN, A.L. Estratégias de mitigação dos gases de efeito estufa na pecuária de Corte. **Cadernos de pós-graduação da FAZU**, V. 1 Uberlândia, MG. 2010.

PERON, A.J. e EVANGELISTA, A.R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. *Ciência e agrotecnologia*, vl.28, n.3, p.655-661. 2004.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R.T.S.; PEDREIRA, M.S.; LIMA, M.A.; BERCHIELLI, T.T.; DEMARCHI, J.J.A.A.; MANELLA, M.Q.; BARBOSA, P.F.; JOHNSON, K.A.; WESTBERG, H.H. Técnica do gás traçador SF₆ para medição de campo do metano ruminal em bovinos: adaptações para o Brasil. EMBRAPA. São Carlos, SP, 2004.

RITCHIE, G.A.F.; NICHOLAS, D.J.D. Identification of the sources of nitrous oxide produced by oxidative and reductive processes in *Nitrosomonas europaea*. **Biochemical Journal**, London, v.126, p.1181-1191, 1972.

ROMANELLI, T.L. **Modelagem do Balanço Energético na alimentação suplementar para Bovinos. 2002.** Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo (USP), 110p.

RUSSELL, J. B. e HOULIHAN, A.J. The ionophore resistance of ruminal bacteria and its potential impact on human health. **FEMS Microbiology Review**, p.27-65, 2003.

SAGGAR, S.; BOLAN, N.S.; BHANDRAL, R.; HEDLEY, C.B.; LUO, J. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. **New Zealand Journal of Agricultural Research**. v.47, p.513-544, 2004.

SAUERBECK, D.R. CO₂ emissions and C sequestration by agriculture – perspectives and limitations. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v.60, p.253-266, 2001.

SHIYOMI, M. e KOIZUMI, H. **Structure and function in agroecosystem design and management: design and management.** Cambridge: CRC Press. 2001. 435p.

SOUSSANA, J.F.; ALLARD, V.; PILEGAARD, K. AMBUS, P.; CAMPBELL, C.; CESCHIA, E.; CLIFTON-BROWN, J.; CZOBEL, S.; DOMINGUES, R.; et al. Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.121, p.121-134, 2007.

TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P. Potential Environmental Benefits of Ionophores. **Journal Environment Quarterly**, v.32, p.1591-1602, 2003.

TEIXEIRA J.C. e TEIXEIRA L.F.A.C. **Do alimento ao leite: Entendendo a função ruminal.** Lavras: UFLA-FAEPE, 1998, 74p.

THORPE, A. Enteric fermentation and ruminant eructation: the role (and control) of methane in the climate change debate. **Climatic change**, v.93, p.407-431, 2009.

USDA - United States Department of Agriculture. 2014. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade.** Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf>. Acesso em: 04/04/2014.

VALADARES FILHO, S.C., MACHADO, P.A.S., CHIZZOTTI, M.L. et al. CQBAL 3.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Bovinos. Disponível em <www.ufv.br/cqbal>. Acesso em: 04/04/2014.

VILELA, L.; SOARES, W.V.; SOUSA, D.M.G.; MACEDO, M.C.M. Calagem e adubação para pastagens na região do Cerrado. 2 ed., rev. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000, 15p. (Circular técnica 37).

WATSON, L. Portugal gives green light to pasture carbon farming as a recognized offset. **Australian Farm Journal.** p.44-47. 2010.

WEST T. O. e MARLAND G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. **Agriculture, Ecosystems and Environment.** v.91, p 217-232, 2002.

WHITELAW, F.G.; EADIE, J.M.; BRUCE L.A.; SHAND, W.J. Methane formation in faunated and ciliate-free cattle and its relationship with rumen volatile fatty acid proportions. **British Journal of Nutrition** v.52, p.261-275. 1983.

WILLIAMS, D.J. Methane emissions from manure of free-ranging dairy cows. **Chemosphere.** v.26, p.179-187, 1993.

ZOTTI, C.A. e PAULINO, V.T. Metano na produção animal: emissão e minimização de seu impacto. Ecologia de Pastagens, Curso de Pós-graduação em Produção Animal Sustentável. Instituto de Zootecnia, APTA/SAA, 2009. Disponível em: <<http://www.iz.sp.gov.br/pdfs/1259324182.pdf>>. Acesso em: 17/03/2014.