

## Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia

Izabel Aparecida dos Santos  
Universidade Federal de Itajubá, [izabel@eafmuz.gov.br](mailto:izabel@eafmuz.gov.br)

Luiz Augusto Horta Nogueira  
Universidade Federal de Itajubá, [horta@unifei.edu.br](mailto:horta@unifei.edu.br)

### Resumo

A bovinocultura brasileira tem se desenvolvido de forma notável nas últimas décadas. O rebanho nacional de 205 milhões de cabeças atende à produção de carne e leite para o mercado interno e exportações, gerando em 2010 cerca de R\$ 67 bilhões. Um subproduto importante da criação de gado bovino é o esterco, cuja utilização como fertilizante em diversas culturas, permite reciclar nutrientes e manter a produtividade do solo em níveis adequados. No presente trabalho, se avalia a produção de esterco bovino, desde o ponto de vista energético, considerando seu valor fertilizante (em termos de macronutrientes disponíveis) e a substituição de adubo químico com igual valor fertilizante. Também se avalia o potencial de produção de biogás a partir de esterco, assumindo dados de operação de biodigestores rurais. Considerando o rebanho brasileiro em 2009, foi estimado um potencial de geração de biogás através do esterco bovino em 62,9 bilhões de m<sup>3</sup>/ano, com valor energético estimado em 7,9.10<sup>8</sup> GJ/ano, a possível geração de 117,08 TWh/ano de energia elétrica e a disponibilidade anual de 17,97.106 toneladas de macronutrientes (N, P, K). Ao considerar a substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante, obteve-se uma economia de energia fóssil na ordem de 6,1.10<sup>8</sup> GJ/ano. Em relação às emissões de gases de efeito estufa evitadas, o manejo adequado do esterco bovino proporciona, aproximadamente, a mitigação de 564.122 Gg de CO<sub>2</sub> eq./ano, o que corresponde a cerca de 73% das emissões totais brasileiras de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O no ano de 2005.

**Palavras-chave:** Biofertilizante, Bovinocultura, Energia, Macronutrientes.

### Study of cattle manure energy: their replacement value and impact of anaerobic biodigestion

#### Abstract

The Brazilian cattle industry has developed dramatically in recent decades. The national herd of 205 million head meets the production of meat and milk for the domestic market and exports, in 2010 generated about R\$ 67 billion. An important byproduct of raising cattle is the manure for use as fertilizer in different cultures, allows recycle nutrients and maintain soil productivity at adequate levels. In this study, to evaluate the production of manure from the energy point of view, considering its fertilizer value (in terms of nutrients available) and the replacement of chemical fertilizer with the same fertilizer value. It also evaluates the potential of biogas production from manure, assuming the operating data of rural digesters. Considering the amount of the Brazilian herd of cattle in 2009, was an estimated the potential for biogas generation through cattle manure in 62.9 billion m<sup>3</sup>/year, with energy value estimated at 7.9.10<sup>8</sup> GJ/year, the possible generation of 117.0<sup>8</sup> TWh/year of electricity and the yearly availability of 17.97.106 tons of macronutrients (N, P, K). When considering the replacement of chemical fertilizers by biofertilizers, we obtained a saving of fossil energy in order 6.1\*10<sup>8</sup> GJ/year. In relation to emissions of greenhouse gases avoided, the proper management of manure provides approximately 564.122 Gg of mitigating CO<sub>2</sub> eq./year, which corresponds to about 73% of Brazil's total emissions of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O in 2005.

**Key-words:** Biofertilizer, Dairy cattle, Energy, Macronutrients.

#### Introdução

O Brasil possui o segundo maior rebanho de bovinos do mundo, sendo superado apenas pela Índia, segundo os dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2010 apud IBGE, 2009). Também é o segundo maior

SANTOS, Izabel Aparecida dos; NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia. *Revista Agroambiental*, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p. 41-49, abr. 2012.

produtor de carne bovina, com um consumo per capita em torno de 34,7 quilos por habitante/ano, ficando atrás dos Estados Unidos, sendo considerado o maior exportador mundial deste produto. A Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) registrou para o ano de 2009 um efetivo de bovinos de 205,292 milhões de cabeças, considerando nesta contagem os animais existentes em 31 de dezembro daquele ano, tanto destinados à produção de carne quanto à de leite. Observou-se o crescimento do efetivo de 1,5% no ano de 2009 em relação ao ano de 2008 (IBGE, 2009).

De acordo com FAO (2006) apud Pacheco (2010), a pecuária é uma das atividades econômicas mais importantes do mundo, trazendo inúmeros benefícios. No entanto, utiliza grande quantidade de recursos naturais e contribui para o aquecimento global. A pecuária bovina é a que mais contribui para a degradação do meio ambiente, devido ao grande número de animais e consequente geração de resíduos. As emissões atribuídas à pecuária são provenientes dos processos produtivos que envolvem o segmento de insumos e da atividade em si. Na atividade pecuária, destacam-se as emissões de metano ( $\text{CH}_4$ ) através da fermentação entérica, das fezes e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), emitidas pelas fezes e urina e no eventual uso de fertilizantes nitrogenados em pastagens. Dentre os gases citados, o mais importante para a pecuária de corte é o  $\text{CH}_4$ . Segundo o MCT (2010), o setor de agropecuária é o maior responsável pelas emissões de  $\text{CH}_4$ , representando 71% das emissões desse gás no ano de 2005.

A mitigação desses gases pode ser feita através de tecnologias ou técnicas de produção já existentes. Uma das alternativas seria a intensificação da atividade através da melhora do manejo das pastagens, da qualidade do alimento fornecido aos animais e do manejo dos dejetos de animais confinados, utilizando tecnologias como a biodigestão anaeróbia para o tratamento destes dejetos. Na bovinocultura leiteira Van Horn (1994) apud Haridoim e Gonçalves (2000) observou que do total da energia ingerida pelas vacas, 33% é eliminada, através dos dejetos. Esta energia pode se tornar uma fonte poluidora, quando não existe o manejo correto dos dejetos.

Bettioli et al. (1998) apud Santos (2008) afirma que os biofertilizantes estão surgindo como alternativas de produção para os pequenos produtores rurais, pois representam redução de custos com fertilizantes químicos, sendo mais acessíveis por serem um dos resultados da biodigestão anaeróbia, como também atendem a preocupação com a sustentabilidade na

atividade pecuária. O biofertilizante bovino na forma líquida apresenta na sua composição microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, produção de sais e adição de compostos orgânicos e inorgânicos que atuam não só na planta, mas também sobre a atividade microbiana do solo.

O objetivo do presente estudo é determinar, em valor energético, a contribuição do esterco bovino, considerando o contexto da produção pecuária brasileira.

## 2. Material e Métodos

Visando estudar as condições para uma produção pecuária sustentável, através de dados encontrados na literatura, este trabalho quantificou em valor energético os macronutrientes do esterco bovino e do biogás obtido através da biodigestão anaeróbia. Também foi estimada a mitigação de gases de efeito estufa pelo manejo correto do esterco, pela produção de energia elétrica e pela substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante. Nesse sentido, a seguir são apresentadas as etapas desenvolvidas (Figura 1), que compreendem:

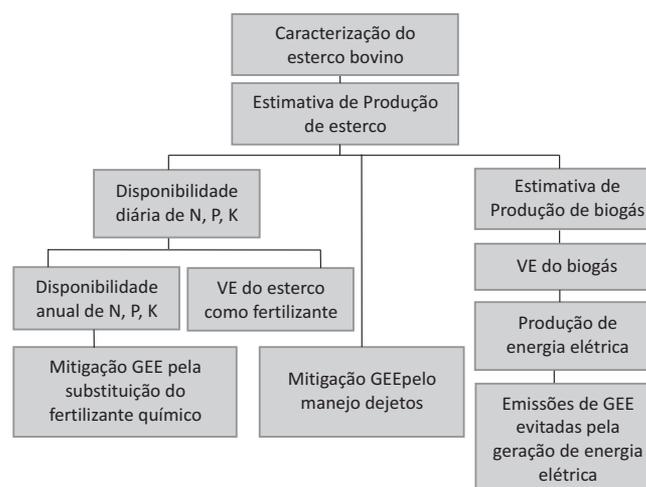


Figura 1: Fluxograma metodológico. Fonte: Elaboração própria.

### 2.1 Caracterização do esterco bovino

Foi feita uma pesquisa bibliográfica a fim de obter dados referentes à quantificação e composição química do esterco bovino, pois a composição dos estercos é variável, sendo influenciada por fatores como a espécie animal, a raça, a idade, a alimentação, o material utilizado como cama, o tratamento dado ao esterco, etc.

As equações utilizadas para os cálculos das estimativas

Peso do animal (kg)	Produção total de esterco ( $\text{m}^3/\text{dia}$ )	Conteúdo em nutrientes (g/dia)		
		(N)	( $\text{P}_2\text{O}_5$ )	( $\text{K}_2\text{O}$ )
68	0,005	27,2	10,4	21,8
113	0,009	45,4	20,8	38,2
227	0,019	90,7	37,4	76,5
454	0,037	186,0	75,9	147,5
635	0,052	258,5	106,0	207,6

Tabela 1. Produção diária de esterco (fezes + urina), por animais de raças leiteiras, com 87,3% de umidade, 933,0  $\text{kg}/\text{m}^3$  de densidade e conteúdo em nutrientes. Fonte: (WPS-18, 1985 apud Campos, 1997).

da produção de esterco, da disponibilidade dos macronutrientes, do valor energético de substituição do esterco, da produção e valor energético do biogás, foram elaboradas a partir dos dados constantes na Tabela 1 abaixo.

### 2.2 Estimativa da produção de esterco

Pela impossibilidade de quantificar as diversas categorias animais de todo o rebanho bovino brasileiro, para a determinação da quantidade diária do esterco foi feita a média ponderada de produção de esterco por kg de peso vivo (PV) dos animais. No presente estudo o peso médio dos bovinos foi considerado em 300 kg de peso vivo (PV).

Para a estimativa da produção diária de esterco, foi utilizada a Equação 1 abaixo.

$$Pest = PV * VM \quad [1]$$

Onde:

**Pest**= Produção diária de esterco (kg/dia);

**PV**= Peso vivo do animal (kg);

**VM**= Valor médio de produção de esterco (0,07 kg).

### 2.3 Estimativa de disponibilidade diária de macronutrientes

A disponibilidade diária de macronutrientes (N, P, K), presentes no esterco bovino foi calculada de acordo com as Equações 2, 3 e 4, abaixo.

$$DN = PE * PN \quad [2]$$

Onde:

**DN** = Disponibilidade de nitrogênio presente no esterco bovino (kg/dia);

**PE**= Produção de esterco (kg/dia);

**PN**= Percentual de nitrogênio presente no esterco bovino (0,53%);

$$DP = PE * PP \quad [3]$$

Onde:

**DP** = Disponibilidade de fósforo presente no esterco bovino (kg/dia);

**PE**= Produção de esterco (kg/dia);

**PP**= Percentual de fósforo presente no esterco bovino (0,21%);

$$DK = PE * PK \quad [4]$$

Onde:

**DK** = Disponibilidade de potássio presente no esterco bovino (kg/dia);

**PE** = Produção de esterco (kg/dia);

**PK** = Percentual de potássio presente no esterco bovino (0,43%);

### 2.4 Estimativa do valor energético de substituição do esterco

O valor energético de substituição do esterco foi calculado considerando a disponibilidade diária de macronutrientes (N, P, K), presentes no esterco bovino e os coeficientes energéticos associados à produção de fertilizantes químicos.

A Tabela 2 apresenta os valores mínimos, médios e máximos dos coeficientes energéticos utilizados nos diversos estudos de análises energéticas. Para o cálculo do valor energético de substituição do esterco foram utilizados os valores médios dos coeficientes energéticos para a produção de fertilizantes químicos.

Fertilizantes	CE mínimo	CE médio (MJ/kg)	CE máximo
Nitrogênio (N)	48,9	62,58	73
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	7,5	12,33	17,4
Potássio (K <sub>2</sub> O)	4,6	9,18	13,6

**Tabela 2.** Coeficientes energéticos (CE) médios utilizados na produção de fertilizantes químicos. Fonte: Elaboração própria.

O valor energético de substituição do esterco foi calculado de acordo com a Equação 5, abaixo.

$$VEEst(T) = DN * (CEMN) * a + DP * (CEMP) * a + DK * (CEMK) * a \quad [5]$$

Onde:

**VEEst(T)** = Valor energético total estimado do esterco (MJ/ano);

**DN** = Disponibilidade de nitrogênio presente no esterco bovino (kg/dia);

**CEMN** = Coeficiente energético médio utilizado na produção de nitrogênio químico (MJ/kg);

**DP** = Disponibilidade de fósforo presente no esterco bovino (kg/dia);

**CEMP** = Coeficiente energético médio utilizado na produção de fósforo químico (MJ/kg);

**DK** = Disponibilidade de potássio presente no esterco bovino (kg/dia);

**CEMK** = Coeficiente energético médio utilizado na produção de potássio químico (MJ/kg);

**a** = número de dias no ano (365).

### 2.5 Estimativa de disponibilidade anual de macronutrientes

A disponibilidade anual de macronutrientes (N, P, K) presentes no esterco bovino foi calculada de acordo com as Equações 6, 7 e 8, abaixo. A disponibilidade média diária dos macronutrientes N, P, K, foi estimada em 0,11, 0,04,

0,09 respectivamente. O quantitativo do rebanho bovino nacional foi estimado em 205,3 milhões de cabeças, de acordo com as últimas pesquisas do IBGE (2009).

$$DAN = DMN * n * a \quad [6]$$

Onde:

**DAN**= Disponibilidade anual de nitrogênio presente no esterco bovino (kg/ano);

**DMN**= Disponibilidade média diária de nitrogênio presente no esterco bovino;

**n**= quantitativo nacional de gado bovino;

**a**= número de dias no ano (365).

$$DAP = DMP * n * a \quad [7]$$

Onde:

**DAP** = Disponibilidade anual de fósforo presente no esterco bovino (kg/ano);

**DMP**= Disponibilidade média diária de fósforo presente no esterco bovino;

**n**= quantitativo nacional de gado bovino;

**a**= número de dias no ano (365).

$$DAK = DMK * n * a \quad [8]$$

Onde:

**DAK**= Disponibilidade de potássio presente no esterco bovino (kg/ano);

**DMK**= Disponibilidade média diária de potássio presente no esterco bovino;

**n**= quantitativo nacional de gado bovino;

**a**= número de dias no ano (365).

## 2.6 Estimativa de produção de biogás

A Tabela 3, a seguir, apresenta alguns valores de produtividade de biogás.

Material	Produtividade (m <sup>3</sup> /kg)	Material	Produtividade (m <sup>3</sup> /kg)
Esterco bovino, fresco	0,04	Resíduos vegetais, secos	0,30
Esterco de galinha, seco	0,43	Resíduos de matadouro (úmido)	0,07
Esterco suíno, seco	0,35	Lixo	0,05

**Tabela 3.** Produtividade de biogás. Fonte: (Nogueira, 1986).

## 2.7 Valor energético do biogás proveniente da biodigestão de dejetos de bovinos

O conteúdo energético do biogás a partir do esterco bovino foi estimado tendo como parâmetros os valores do poder calorífico inferior (PCI), que para este estudo foi considerado em 16.235 kJ/kg e a produção diária de biogás. O cálculo do conteúdo energético do biogás foi feito segundo a Equação 9.

$$VEest = PCI * Pbiogás \quad [9]$$

Onde:

**Veest**= Valor energético estimado do biogás (kJ/kg);

**PCI**= Poder calorífico inferior do biogás proveniente do esterco bovino (kJ/kg);

**Pbiogás**= Produção diária de biogás (kg/dia).

## 2.8 Estimativa da mitigação de gases de efeito estufa pelo manejo dos dejetos

Baseando-se nos estudos de Martins-Costa (2009), foi feita a estimativa dos impactos ambientais na emissão de gases de efeito estufa (GEE) devido ao manejo dos dejetos, onde foram calculadas as emissões de GEE dos rebanhos de corte e leiteiro. Martins-Costa (2009) quantifica de forma simplificada as emissões de metano e óxido nitroso decorrentes da fermentação entérica e manejo dos dejetos de bovinos leiteiros e de corte nas propriedades rurais.

As Equações 10, 11 e 12, abaixo, foram utilizadas para o cálculo das emissões de GEE do rebanho bovino nacional.

$$M \text{ GEE Gado Corte} = \frac{\sum (GEEca)}{n} \quad [10]$$

Onde:

**M GEE Gado Corte** = Estimativa da mitigação de GEE pelo manejo dos dejetos do rebanho bovino de corte (CO<sub>2</sub> eq);

$\sum (GEEca)$  = Total das emissões de GEE das categorias animais do rebanho bovino de corte (CO<sub>2</sub> eq);

**n**= número de categorias animais do rebanho bovino de corte.

$$M \text{ GEE Gado Leiteiro} = \frac{\sum (GEEca)}{n} \quad [11]$$

Onde:

**M GEE Gado Leiteiro** = Estimativa da mitigação de GEE pelo manejo dos dejetos do rebanho bovino leiteiro (CO<sub>2</sub> eq);

$\sum (GEEca)$  = Total das emissões de GEE das categorias animais do rebanho bovino leiteiro (CO<sub>2</sub> eq);

**n**= número de categorias animais do rebanho bovino leiteiro.

$$M \text{ GEE (T)} = \frac{M \text{ GEE Gado Corte} + M \text{ GEE Gado Leiteiro}}{2} \quad [12]$$

Onde:

**M GEE (T)**= Mitigação total de GEE (CO<sub>2</sub> eq);

**M GEE Gado Corte** = Mitigação de GEE do rebanho bovino de corte;

**M GEE Gado Leiteiro** = Mitigação de GEE do rebanho bovino leiteiro.

Para a obtenção do balanço geral dos GEE, foi realizada a conversão dos fluxos de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O em CO<sub>2</sub> eq, conforme metodologia abaixo, adaptada de Oliveira (2010). Os cálculos foram feitos considerando o Potencial de Aquecimento Global ou GWP (Global Warming Potential). De acordo com MCT (2010), o GWP agrega as emissões relatadas em unidades de dióxido de carbono equivalentes em um horizonte de tempo de 100 anos. Os fluxos de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O em CO<sub>2</sub> eq foram estimados utilizando as Equações 13 e 14.

$$CO_2eq(N_2O) = N_2O * RPMN_2O * PAGN_2O \quad [13]$$

$$CO_2eq(CH_4) = CH_4 * RPMCH_4 * PAGCH_4 \quad [14]$$

Onde:

**CO<sub>2</sub>eq(N<sub>2</sub>O)**= quantidade de N<sub>2</sub>O em CO<sub>2</sub> eq;

**CO<sub>2</sub>eq(CH<sub>4</sub>)**= quantidade de CH<sub>4</sub> em CO<sub>2</sub> eq (21);

**N<sub>2</sub>O**= fluxo de N<sub>2</sub>O na situação;

**Ch<sub>4</sub>**= fluxo de CH<sub>4</sub> na situação;

**RPMN<sub>2</sub>O** = relação entre o peso molecular do N<sub>2</sub>O e do nitrogênio (44/28);

**RPMCH<sub>4</sub>** = relação entre o peso molecular do CH<sub>4</sub> e do carbono (16/12);

**PAGN<sub>2</sub>O** = potencial de aquecimento global do N<sub>2</sub>O em relação ao CO<sub>2</sub> (310);

**PAGCH<sub>4</sub>** = potencial de aquecimento global do CH<sub>4</sub> em relação ao CO<sub>2</sub> (21).

### 2.9 Estimativa da mitigação de GEE decorrente da substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante

As Equações 15, 16 e 17 foram utilizadas para calcular o potencial de mitigação de GEE decorrentes da substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante, considerando o quantitativo do rebanho bovino nacional, de acordo com as últimas pesquisas publicadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2009) e o fator de emissão de GEE na produção de fertilizantes químicos, de acordo com Seabra (2008).

Fertilizantes	Fator de emissão (kg CO <sub>2</sub> eq/kg)
Nitrogênio (N)	3,97
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	130 <sup>c</sup>
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,71

Fonte: c. Adaptado de EBAMM (2005) apud Seabra (2008). Demais, adaptados de Seabra, 2008.

**Tabela 4.** Emissão de GEE na produção de fertilizantes químicos.

$$MGEEFQ = FEGEEN * DMN * n * a \quad [15]$$

Onde:

**MGEEFQ**= Mitigação de GEE pela substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante (Gg CO<sub>2</sub> eq/ano);

**FEGEEN**= Fator de emissão de GEE na produção de nitrogênio (kg CO<sub>2</sub> eq/kg);

**DMN**= Disponibilidade média diária de nitrogênio presente no esterco bovino;

**n**= quantitativo nacional de gado bovino;

**a**= número de dias no ano (365).

$$MGEEFQ = FEGEEP * DMP * n * a \quad [16]$$

Onde:

**MGEEFQ**= Mitigação de GEE pela substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante (Gg CO<sub>2</sub> eq/ano);

**FEGEEP**= Fator de emissão de GEE na produção de fósforo (kg CO<sub>2</sub> eq/kg);

**DMP**= Disponibilidade média diária de fósforo presente no esterco bovino;

**n**= quantitativo nacional de gado bovino;

**a**= número de dias no ano (365).

$$MGEEFQ = FEGE EK * DMK * n * a \quad [17]$$

Onde:

**MGEEFQ** = Mitigação de GEE pela substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante (Gg CO<sub>2</sub> eq/ano);

**FEGE EK**= Fator de emissão de GEE na produção de potássio (kg CO<sub>2</sub> eq/kg);

**DMK**= Disponibilidade média diária de potássio presente no esterco bovino;

**n**= quantitativo nacional de gado bovino;

**a**= número de dias no ano (365).

### 2.10 Estimativa de produção de energia elétrica

A energia elétrica gerada através do biogás foi determinada utilizando a metodologia proposta pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, CETESB (2002), conforme Equação 18, que considera um rendimento de 30% para o grupo gerador.

$$Eelétrica = E * \eta_{gerador} * PCIBiogás \quad [18]$$

Onde:

**Eelétrica**= Energia elétrica gerada através do biogás em biodigestores;

**E**= Potencial energético do biogás;

**η<sub>gerador</sub>**= Rendimento do grupo gerador;

**PCIBiogás**= Poder calorífico inferior: 22.320 kJ/m<sup>3</sup>.

### 2.11 Estimativa das emissões de GEE evitadas pela geração de energia elétrica através do biogás

A quantificação das emissões de GEE evitadas pela geração de energia elétrica utilizando o biogás foi estimada considerando o fator de emissão de CO<sub>2</sub> para a produção de energia elétrica. Para se determinar o fator de emissão de GEE na geração de energia elétrica foi feita uma consulta ao site do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) (2011), onde foram encontrados os fatores médios de emissão de CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>/MWh), da margem de operação, que reflete a intensidade das emissões de CO<sub>2</sub> da energia despachada na margem, para geração de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional, dos meses de janeiro a agosto de 2011. A partir destes dados foi calculado o fator de emissão médio de CO<sub>2</sub> para a produção de energia elétrica, cujo valor foi considerado em 0,2717.

A Equação 19, adaptada de Salomon (2007), demonstra como foi realizado o cálculo do quantitativo de emissões de GEE evitadas pela geração de energia elétrica.

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = \text{EE} * \text{FEM} \quad [19]$$

Onde:

**CO<sub>2eq</sub>**= Total de CO<sub>2eq</sub> Evitado (tCO<sub>2eq</sub>/ano);

**EE**= Total de Energia Elétrica Gerada (Mwh/ano);

**FEM**= Fator de Emissão Médio (tCO<sub>2eq</sub>/MWh).

## 3. Resultados e Discussão

Kiehl (1985) afirma que a composição dos esterco não é fixa, variando em função de diversos fatores, como a espécie animal, a raça, a idade, a alimentação, o material utilizado como cama, o manejo do esterco, etc. A alimentação é um dos fatores que mais influencia a composição do esterco.

A Tabela 5 mostra a porcentagem em relação à matéria seca (MS), de macronutrientes presentes nos dejetos de vacas leiteiras, segundo alguns autores.

### 3.1 Estimativa de produção de esterco

No presente estudo, a média de peso do gado bovino foi considerada em 300 kg e a produção diária de esterco em 21 kg.

### 3.2 Estimativa de valor energético de substituição do esterco

A Tabela 6 apresenta os valores energéticos estimados dos macronutrientes do esterco bovino, tendo como parâmetros o peso vivo (PV) dos bovinos leiteiros, a produção de esterco, o conteúdo em macronutrientes e o valor médio dos coeficientes energéticos utilizados para a produção de fertilizantes químicos, considerando a substituição do adubo químico pelo biofertilizante.

Quantidade de macronutrientes em % da MS			
Autores	Nitrogênio(N)	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potássio (K <sub>2</sub> O)
Xavier e Lucas Júnior (2011) <sup>a</sup>	2,51	1,47	1,32
Pertersen et al. (1956) apud Siqueira Junior (2005) <sup>b</sup>	0,38	0,18	1,15
Safley et al. (1984) apud Siqueira Junior (2005) <sup>c</sup>	2,92	1,2	0,84
Osaki (1990) apud Siqueira Junior (2005) <sup>d</sup>	1,11	0,68	0,67

**Tabela 5.** Quantidade média de macronutrientes presentes no esterco de bovinos leiteiros, em porcentagem da MS (matéria seca). Legenda:

a) Vacas leiteiras da raça Holandesa, dieta: silagem de milho, cana-de-açúcar in natura e cana-de-açúcar hidrolisada com cal virgem.

b) Vacas leiteiras de raça não informada, dieta: concentrado, silagem de milho e pastagem.

c) Raça e dieta não informadas.

d) Raça e dieta não informadas.

Peso do animal (kg)	Produção de esterco (kg/animal/dia)	MO *	Disponibilidade em nutrientes (kg/dia)			VE Total ** (MJ/ano)
			N	P	K	
68	4,76	0,78	0,02	0,01	0,02	568,8
113	7,91	1,30	0,04	0,02	0,03	1104,2
227	15,89	2,60	0,08	0,03	0,07	2196,8
454	31,78	5,21	0,17	0,07	0,14	4667,2
635	44,45	7,29	0,23	0,09	0,19	6295,2

**Tabela 6.** Valor energético estimado dos macronutrientes do esterco bovino, considerando a substituição do adubo químico pelo biofertilizante. \* Valores obtidos através de cálculos realizados por Santos (2012), com valor de referência de (Nogueira, 1986). \*\* Valores obtidos através de cálculos realizados por Santos (2012), com os dados constantes na Tabela 8.

Fonte: Adaptada de MWPS-18, 1985 apud Campos, 1997.

A Tabela 7 abaixo demonstra a economia de energia fóssil pela substituição do esterco.

### 3.4 Valor energético do biogás proveniente da biodigestão de dejetos de bovinos

A Tabela 8 apresenta o valor energético estimado do biogás, considerando a densidade de 0,784 kg/m<sup>3</sup>, a composição média do biogás em 55% CH<sub>4</sub> e 45% CO<sub>2</sub> e o poder calorífico inferior (PCI), em 3.877,48 kcal/kg ou 16.235 kJ/kg, conforme Avellar (2001 apud Costa, 2006).

### 3.5 Estimativa da mitigação de GEE decorrente da substituição do fertilizante químico

A Tabela 9 demonstra a estimativa anual das emissões de GEE evitadas, considerando o rebanho bovino brasileiro, o fator de emissão de GEE na produção de fertilizantes químicos e a disponibilidade anual de N, P, K do esterco bovino.

A substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante evitaria, anualmente, a emissão de aproximadamente 427.170 Gg CO<sub>2</sub>eq.

### 3.6 Benefícios decorrentes da biodigestão anaeróbia do esterco bovino

A Figura 2, demonstra a mitigação de GEE pela biodigestão do esterco bovino, que totaliza aproximadamente 564.122 Gg de CO<sub>2</sub> eq/ano, o que corresponde a cerca de 73% das emissões totais de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O no ano de 2005.

No presente estudo, a substituição do fertilizante químico foi responsável pela maior quantidade de emissões evitadas, representando cerca de 79% do total mitigado. Isso se deve ao fato dos fertilizantes químicos emitirem grande quantidade de GEE no seu processo produtivo. O manejo dos dejetos respondeu por cerca de 16% do total das emissões evitadas, pois grande parte da bovinocultura brasileira de corte atualmente se

Fertilizantes	Valor médio dos macronutrientes	Produção macronutrientes (kg/ano)	CE médio (MJ/kg)	Economia de energia fóssil (GJ/ano)
Nitrogênio (N)	0,11	8,24 . 10 <sup>9</sup>	62,58	5,1 . 10 <sup>8</sup>
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,04	2,99 . 10 <sup>9</sup>	12,33	3,6 . 10 <sup>7</sup>
Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,09	6,74 . 10 <sup>9</sup>	9,18	6,2 . 10 <sup>7</sup>
<b>Total</b>				<b>6,1 . 10<sup>8</sup></b>

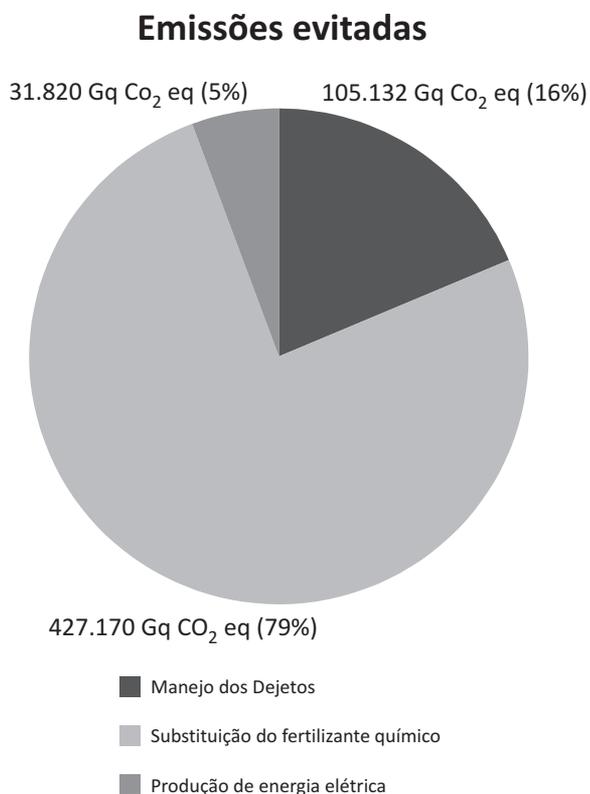
Tabela 7. Economia de energia fóssil pela substituição do esterco. Fonte: Elaboração própria.

Peso do animal (kg)	Produção total de esterco (kg/dia)	Produção biogás* (m <sup>3</sup> /dia)	Produção biogás* (kg/dia)	Valor Energético estimado* (MJ/Ano)
68	4,76	0,19	0,15	888,23
113	7,91	0,32	0,25	1.481,44
227	15,89	0,64	0,50	2.962,89
454	31,78	1,27	0,99	5.866,52
635	44,45	1,78	1,39	8.236,83

Tabela 8. Valor energético (VE) do biogás de acordo com a produção diária de esterco bovino. \*Valores obtidos através de cálculos realizados por Santos (2012), com os dados constantes na Tabela 10, Adaptada de (MWPS-18, 1985 apud Campos, 1997). Fonte: Adaptado de MWPS-18, 1985 apud Campos, 1997.

Fertilizantes	Produção macronutrientes (kg/ano)	Fator de emissão (kg CO <sub>2</sub> eq/kg)	Emissões anuais evitadas (Gg CO <sub>2</sub> eq)
Nitrogênio (N)	8,24 . 10 <sup>9</sup>	3,97	32.723
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2,99 . 10 <sup>9</sup>	130 <sup>C</sup>	389.659
Potássio (K <sub>2</sub> O)	6,74 . 10 <sup>9</sup>	0,71	4.788
<b>Total</b>			<b>427.170</b>

Tabela 9. Emissões anuais evitadas pela substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante.



**Figura 2.** Total das emissões evitadas pela biodigestão anaeróbia do esterco bovino.

Fonte: Elaboração própria

desenvolve em áreas de pastagens, onde a emissão de GEE através do esterco é menor. A produção de energia elétrica foi responsável por apenas 5% do total da mitigação de GEE, devido ao fato das emissões emitidas terem sido calculadas com base em indicadores de produção de energia elétrica em usinas hidrelétricas, sendo uma fonte renovável de energia.

#### 4. Conclusões

A quantificação do valor energético do esterco bovino, neste trabalho, pode contribuir para que o mesmo não continue sendo visto como um resíduo, mas sim como um subproduto da pecuária, buscando condições para que esta atividade econômica tão importante para o Brasil possa se tornar sustentável. A Tabela 10 apresenta os principais resultados encontrados neste estudo.

Considerando a produtividade anual estimada de N, P, K, disponível no esterco bovino em 17,9.106 toneladas anuais, este quantitativo representa aproximadamente 63% do consumo de fertilizantes químicos no Brasil no ano de 2011, o que demonstra a importância do aproveitamento dos macronutrientes presentes no esterco bovino.

A mitigação de GEE totalizou, aproximadamente, 564.122 Gg de CO<sub>2</sub> eq/ano, o que corresponde a cerca de 73% das emissões totais de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O no ano de 2005. Em

Economia de energia de origem fóssil	6,1. 10 <sup>8</sup> GJ/ano
Disponibilidade de N, P, K	17,9. 10 <sup>6</sup> t/ano
Produção de biogás	62,9. 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> /ano
Produção de energia elétrica	117,08 TWh/ano
Total das emissões evitadas	564.122 Gg de CO <sub>2</sub> eq/ano
Energia contida no biogás	7,9.10 <sup>8</sup> GJ/ano

**Tabela 10.** Benefícios potenciais da biodigestão anaeróbia do esterco.

relação às emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O do rebanho bovino brasileiro no ano de 2005, as emissões evitadas pelo manejo correto dos dejetos, substituição do fertilizante químico pelo biofertilizante e geração de energia elétrica através do biogás, correspondem a aproximadamente 180% do total emitido por este rebanho.

A produção de energia elétrica através do biogás do esterco dos bovinos do rebanho brasileiro geraria anualmente cerca de 117,08 TWh de energia elétrica, o que significa aproximadamente 27,5% do consumo de energia elétrica no Brasil, no ano de 2009. Esta produtividade de energia elétrica através do biogás também supriria com folga as necessidades deste tipo de energia no setor agropecuário.

Os resultados encontrados neste trabalho possuem valores significativos, tanto em termos de geração de energia, como em relação ao quantitativo de emissões evitadas e disponibilidade de N, P, K. O estudo foi desenvolvido considerando a possibilidade de total aproveitamento do esterco do rebanho bovino nacional. No entanto, sabe-se que existe perda de grande parte do esterco produzido quando os animais são criados em regime extensivo ou de semi-confinamento. Mesmo considerando o não aproveitamento total do esterco, a proposta do manejo adequado do esterco se justifica pelos ganhos econômicos, sociais e ambientais.

#### Referências Bibliográficas

CAMPOS, A.T. (1997) **Análise da viabilidade da reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico, em sistema intensivo de produção de leite.** Botucatu/SP. 161 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônômicas.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Emissões de metano no tratamento e na disposição de resíduos.** Ministério de ciência e tecnologia. São Paulo. 2002.

COSTA, D. F. (2006) **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto.** São Paulo. 194 p. Dissertação (Mestrado), PIPGE/USP.

HARDOIM, P. C.; GONÇALVES, A. D. M. A. **Avaliação do**

**potencial do emprego do biogás nos equipamentos utilizados em sistemas de produção de leite.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Disponível em:** <<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php>> Acesso em: 10 out. 2007.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal.** Vol 37. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos.** Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda., 1985. 492p.  
MARTINS-COSTA, T. V. A (2009) **Agripec: um modelo para estimar custos econômicos e emissões de gases efeito estufa para a pecuária bovina leiteira.** Brasília/DF. 361 p. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília – Centro de Desenvolvimento Sustentável.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. **Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal - Parte II da Segunda Comunicação Nacional do Brasil.** 2010. Disponível em: <[www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br)> Acesso em: 05 out. 2011.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia. 2011. Disponível em: <[www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br)> Acesso em: 20 set. 2011.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão A Alternativa Energética.** São Paulo: Nobel, 1986. 93 p.  
OLIVEIRA, B. G. de (2010) **Vinhaça da cana-de açúcar: fluxos de gases de efeito estufa e comunidades de archaea presente no sedimento do canal de distribuição.** Piracicaba/SP. 96 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

PACHECO, M. H. S. (2010), **Análise econômico ambiental da intensificação da pecuária de corte no centro-oeste brasileiro.** Piracicaba/SP. 86 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.

SALOMON, K. R. (2007), **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade.** Itajubá. 219 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Conversão de Energia) – Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

SANTOS, J. F. dos (2008) **Fertilização orgânica de batata-doce com esterco bovino e biofertilizante.** Areia/PB. 109p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba.

SEABRA, J. E. A (2008) **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil.** CAMPINAS/SP. 298 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica.

SIQUEIRA JÚNIOR, L. A.(2005), **Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira.** Curitiba/PR. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

XAVIER, C. A. N., LUCAS JÚNIOR, J. **Qualidade de biofertilizantes obtidos na digestão anaeróbia de dejetos de vacas em lactação confinadas que receberam diferentes dietas.** In: II SIGERA – Simpósio Internacional Sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais. 2011.